

Éditorial

François Valérian

L'histoire de la production nucléaire d'électricité est à peine vieille de trente ans, mais elle est déjà très complexe, et a suscité de nombreux débats. Après la phase d'optimisme technologique, le nucléaire a traversé une période de doutes, vers la fin des années 80 et au début des années 90. La peur était forte d'un nouveau Tchernobyl, auquel aucun pays d'industrie nucléaire n'aurait pu résister, tant l'opinion aurait alors été bouleversée. De plus, l'industrie nucléaire a commencé à connaître, à cette époque, des problèmes de maturité : la perspective du renouvellement des réacteurs, et la gestion des déchets radioactifs.

De cette crise est née une transparence accrue, avec en France la commission nationale du débat public, qui a déjà organisé plusieurs débats touchant au nucléaire, et la récente autorité indépendante de sûreté nucléaire. Quelle importance y a-t-il à transformer une direction de l'Etat en autorité indépendante ? L'enjeu de cette transformation tient à une caractéristique de l'industrie nucléaire. Certes, il s'agit d'une industrie énergétique, mais c'est aussi dans une grande mesure une industrie d'opinion, dont le succès ou l'échec dépendent de la capacité à convaincre les populations et leurs représentants.

Qu'on le veuille ou non, l'image du nucléaire, même civil, reste intimement liée à deux explosions de l'été 45, et aux incertitudes sur l'utilisation des découvertes scientifiques du XX^e siècle. L'expert, le savant ou l'industriel s'agacent parfois de ces rapprochements, et de l'ignorance supposée de l'opinion, mais l'opinion sait bien que la science n'est pas toujours consciente des conséquences de ses avancées.

Le nucléaire profite aujourd'hui d'une embellie mondiale, largement due à une perception plus négative des hydrocarbures. La principale ressource concurrente de l'atome est en effet de plus en plus associée à l'effet de serre, aux menaces de flambée des prix, et aux risques d'interruption des approvisionnements. Différents pays profitent de cette embellie pour étudier et programmer de nouveaux réacteurs, dont on espère qu'ils produiront moins de déchets. Ils se projettent même dans la deuxième moitié de ce siècle, avec un réacteur international d'étude de la fusion nucléaire. Ces progrès technologiques ne seront tangibles que si les opinions sont informées à la fois de leurs bienfaits et de leurs limites.



Rédaction

120, rue de Bercy - Télédock 797
75572 Paris Cedex 12
Tél. : 01 53 18 52 68
Fax : 01 53 18 52 72
<http://www.anales.org>

François Valérian, rédacteur en chef

Danièle Barbier, secrétaire générale
de la rédaction de *Réalités industrielles*

Danielle Degorce, Martine Huet,
assistantes de la rédaction

Comité de rédaction de la série
Réalités industrielles :
Michel Matheu, président,
Pierre Amouyel,
Grégoire Postel-Vinay,
Claude Trink,
François Valérian

Maquette conçue par
Tribord Amure

Iconographe
Christine de Coninck - CLAM !

Fabrication : **AGPA Editions**
4, rue Camélinat
42000 Saint-Étienne
Tél. : 04 77 43 26 70
Fax : 04 77 41 85 04
e-mail : agpaedit@yahoo.com

Abonnements et ventes

Editions ESKA
12, rue du Quatre-Septembre
75002 Paris
Tél. : 01 42 86 55 73
Fax : 01 42 60 45 35
<http://www.eska.fr>

Directeur de la publication :

Serge Kebabitchief
Editions ESKA SA
au capital de 40 000 €
Immatriculée au RC Paris
325 600 751 000 26

Un bulletin d'abonnement est encarté
dans ce numéro entre les pages 96 et 99.

Vente au numéro par correspondance
et disponible dans les librairies suivantes :
Presses Universitaires de France - PARIS ;
Guillaume - ROUEN ; Petit - LIMOGES ;
Marque-page - LE CREUSOT ;
Privat, Rive-gauche - PERPIGNAN ;
Transparence Ginetet - ALBI ;
Forum - RENNES ;
Mollat, Italice - BORDEAUX.

Publicité

J.-C. Michalon
directeur de la publicité
Espace Conseil et Communication
44-46, boulevard G. Clemenceau
78200 Mantes-la-Jolie
Tél. : 01 30 33 93 57
Fax : 01 30 33 93 58

Table des annonceurs

Annales des Mines : 2^e, 3^e et 4^e de couverture, page 4.

Illustration de couverture :
Sacs et fûts de déchets radioactifs de très faible
activité, TFA, de l'Andra.
Photo © Gilles Rolle / REA.

S o m m a i r e

1 Éditorial

François Valérian

ENJEUX D'AVENIR DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

5 Le nucléaire, un des atouts maîtres dans la nouvelle donne énergétique mondiale

Anne Lauvergeon

10 EDF et la production nucléaire : les clés d'une réussite industrielle

Bernard Dupraz et Laurent Joudon

16 Les déchets radioactifs

Marie-Claude Dupuis

23 La R&D sur les filières nucléaires actuelles et futures : enjeux et perspectives

Philippe Pradel

31 L'industrie nucléaire : les grands enjeux pour la France en termes de politiques industrielle, énergétique et environnementale

Florence Fouquet, Cyrille Vincent, Francis Iglésias

38 L'Autorité de sûreté nucléaire, Autorité administrative indépendante

André-Claude Lacoste

42 L'industrie nucléaire et le débat public

Yves Mansillon

48 Les Français et les déchets nucléaires

Philippe d'Iribarne

53 Du cachalot au tritium

Jacky Bonnemains

-
- 57 **L'énergie nucléaire au Royaume-Uni**
Sir David King
- 60 **Les nouvelles perspectives de la politique énergétique au Royaume-Uni**
Malcolm Grimston
- 67 **L'énergie nucléaire aux États-Unis**
Richard Meserve
- 71 **Avons-nous un avenir commun en matière énergétique ?**
Bjorn Stigson

HORS DOSSIER

- 77 **Les horizons temporels de l'entreprise**
Les ingénieurs-élèves de l'Ecole nationale supérieure des Mines de Paris, promotion 2004
- 83 **La gestion du risque humain : de la difficulté de disposer de signaux et d'indicateurs. Des procédures à la réflexivité**
Cécile Banon, Olivier Guillaume, Gilles Deleuze
- 93 **Trop de pétrole ! Energie fossile et réchauffement climatique de Henri Prévot, Le Seuil, janvier 2007**
Recension par Jean-Pierre Dupuy, professeur à l'Ecole Polytechnique
- 99 **Résumés étrangers**

*Le dossier a été coordonné
par Pierre AMOUYEL*

*Nous remercions aussi pour son aide
Alain BUCAILLE (Areva)*

R É A L I T É S INDUSTRIELLES

une série des Annales des Mines

SOMMAIRE

LA CHAÎNE LOGISTIQUE, ENTRE ESPACE DILATÉ ET TEMPS RÉDUIT

Après 20 ans de *supply chain management*, quelles évaluations, quelles perspectives ?

Pascal Eymery

Pourquoi le *supply chain management* est-il devenu un enjeu si difficile à maîtriser ?

Philippe-Pierre Dornier

Profits des entreprises : du bon usage de la mondialisation
Jon Bumstead avec la collaboration de Malcolm Wheatley

Le *direct sourcing* dans le groupe Kingfisher

Patrick Gentine

Revoir les paradigmes de la chaîne d'approvisionnement

Les challenges de l'intégration du transport dans une *supply chain agile*

Roland Dachs

Qui sont les hommes et les femmes de la *supply chain* ?

Joseph Beaurain

Le système d'information : système nerveux des *supply chains*

De l'intégration à la modularisation

Si-Mohamed Said

La *supply chain* doit-elle être repensée pour les services et l'après-vente ?

Angélique Régat et Pascal Eymery

HORS-DOSSIER

L'espace, facteur d'intégration pour la gestion de la sécurité en Europe ?

Bertrand de Montluc et Florent Perache

Le médicament : une industrie du bien public

Compte rendu du Rendez-vous du Club des Annales des Mines du 8 décembre 2005

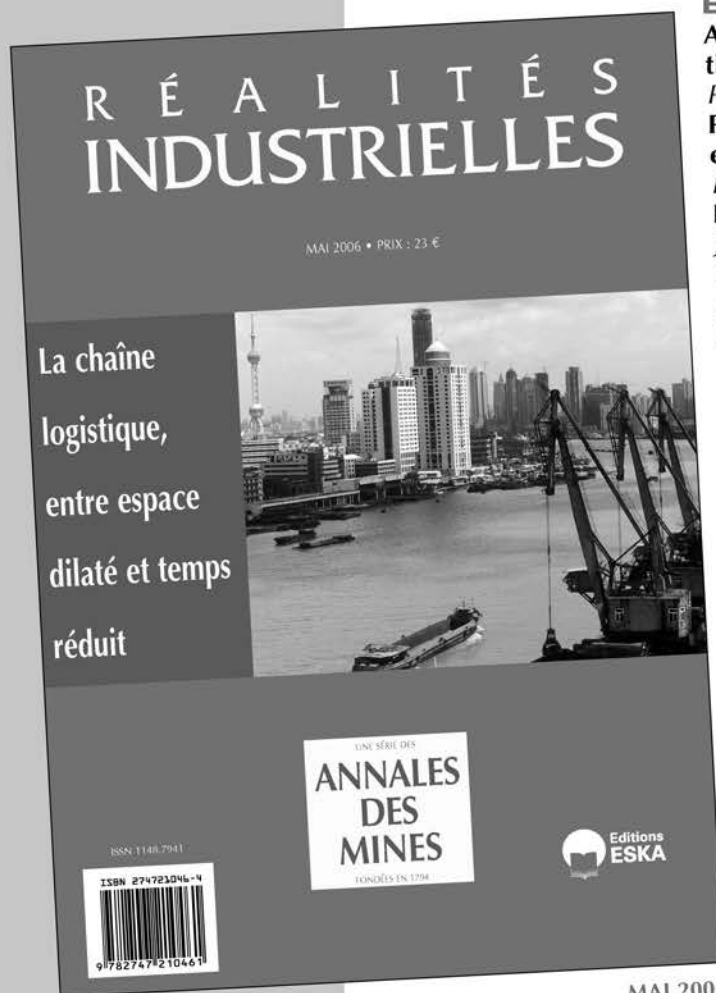
François Boisivon

Avec la participation de Jean-François Bergmann,

Marc de Garidel, Noël Renaudin

Débat animé par Jacques Biot

Le dossier a été coordonné par Pascal EYMERY



MAI 2006
ISSN 1148.7941
ISBN 2-7472-1046-4

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de *Réalités Industrielles* mai 2006 « La chaîne logistique, entre espace dilaté et temps réduit » (ISBN 2-7472-1046-4) au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

Code postal Ville

Le nucléaire, un des atouts maîtres dans la nouvelle donne énergétique mondiale

ENJEUX D'AVENIR
DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

La question énergétique est au cœur des défis d'un monde en profonde mutation : comment garantir l'accès durable à l'énergie pour tous à un prix raisonnable et dans le respect de l'environnement ? Sortie du cadre étroit de la discussion entre spécialistes, cette question occupe maintenant le devant de la scène politique et médiatique. Il n'y a évidemment pas une mais des réponses. La raréfaction et la hausse du coût des énergies fossiles, la nécessité de sécuriser les approvisionnements et de réduire les émissions de gaz à effet de serre doivent nous conduire à faire preuve de réalisme. Voilà pourquoi le nucléaire a toute sa place dans la nouvelle donne énergétique mondiale. L'industrie nucléaire en général, et son *leader* AREVA en particulier, sont aujourd'hui prêts à contribuer, dans la transparence la plus totale, à la construction d'une politique énergétique équilibrée, sûre et durable.

Par **Anne LAUVERGEON**, Présidente du directoire d'AREVA

La presse écrite ou audiovisuelle, les nombreux ouvrages scientifiques sur le sujet, les discours des politiques, les rapports d'experts, ou plus concrètement, hélas, les catastrophes naturelles et les phénomènes de *black-out*... Comment ignorer que notre environnement, patrimoine commun de l'humanité, est aujourd'hui menacé ?

Nous sortons d'une longue période d'insouciance au cours de laquelle le recours à des ressources faciles d'accès, non renouvelables et très polluantes (pétrole, gaz et charbon) a été privilégié. La consommation des ressources naturelles des quarante dernières années dépasse celle cumulée par toutes les générations depuis les origines de l'Homme !

Les besoins énergétiques des peuples vont continuer de croître tout au long de notre siècle, sous l'effet inexo-

nable du développement des pays du Sud. La croissance de la consommation électrique mondiale sera multipliée par deux d'ici 2030. Ce phénomène ne peut être durable s'il se fonde sur les déséquilibres actuels.

Comment anticiper la diminution progressive de la production mondiale de pétrole puis de gaz, entraînant un écart croissant entre l'offre et la demande, et, dans le même temps, prendre, ensemble, des mesures fortes et efficaces contre le changement climatique ?

Avec la publication du rapport Stern (1), qui chiffre à 5 500 milliards d'euros son impact sur l'économie

(1) L'intégralité du rapport peut être consultée à l'adresse suivante : http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm

mondiale, la prise de conscience s'est accélérée. En touchant au portefeuille, l'auteur a sans doute visé juste, ce montant astronomique parlant en effet beaucoup plus que les prévisions des scientifiques (élévation du niveau des océans de près d'un mètre ou de la température de 1,4 °C à 5,8 °C au cours du XXI^e siècle).

Dans ce contexte, la création d'AREVA en 2001 a pris tout son sens. Le Groupe propose à ses clients des solutions technologiques pour produire de l'énergie sans CO₂ et acheminer l'électricité en toute fiabilité. La prise de participation dans le fabricant d'éoliennes REpower, l'un des acteurs clés du secteur, et la montée en puissance dans la biomasse, ont donné corps à cette offre. Aujourd'hui, au regard d'une triple affirmation – celle d'un métier (l'énergie), d'un *leadership* appuyé sur notre modèle intégré dans l'ensemble de la chaîne du nucléaire, et d'un modèle de management, fondé sur une rentabilité responsable – AREVA est clairement positionné comme un *leader* mondial. Le magazine américain « *Fortune* » l'a classé en 2006 au premier rang des entreprises du secteur de l'énergie les plus admirées dans le monde.

LA NOUVELLE DONNE ÉNERGÉTIQUE MONDIALE

La question énergétique est éminemment politique. Au XX^e siècle, les rapports de force ont réglé l'appropriation des ressources rares. Le défi est aujourd'hui de mettre en commun, de façon solidaire et positive, les moyens de préserver l'écosystème tout en améliorant le sort de ses habitants. Nous pouvons nous appuyer sur les progrès de la science et de la technologie pour favoriser une nouvelle relation entre l'homme et l'économie, entre l'homme et la nature, afin de conjuguer développement et respect de l'environnement. L'erreur serait de considérer que les préoccupations écologiques impliquent forcément la décroissance. Bien au contraire, la production et la diffusion des nouvelles technologies de l'énergie et de l'environnement seront, à l'avenir, de véritables moteurs de croissance.

Sans coopération internationale, rien ne sera possible. Mais en cherchant toujours le compromis, nous n'y arriverons pas non plus ! Le protocole de Kyoto est, par exemple, bien trop mesuré. Il n'impose rien aux pays en voie de développement et laisse de côté des solutions telles que le nucléaire. Pourtant, au sein d'un « mix énergétique » diversifié, il est incontournable. Chaque année, l'électronucléaire évite ainsi le rejet de plus de 2 milliards de tonnes de gaz carbonique, soit 10 % des émissions mondiales. En le combinant avec l'amélioration de l'efficacité énergétique et un usage accru des énergies renouvelables, pour certaines intermittentes mais très utiles comme énergies d'appoint, nous pourrions stabiliser les émissions de gaz à effet de serre.

Au-delà de la seule production d'électricité, l'énergie nucléaire pourrait contribuer dans le futur à produire de l'hydrogène pouvant ainsi être utilisé en complé-

ment ou en substitution au gaz naturel ou même participer à la transformation de combustibles solides – y compris la biomasse – en fractions liquides. C'est une réponse à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, mais également à la diversification des sources d'énergie.

L'Agence internationale de l'énergie (AIE), dans son rapport (2) de novembre 2006, conforte cette analyse. Elle affirme qu'il faudra consacrer 20 000 milliards de dollars au secteur énergétique d'ici à 2030 pour assurer notre avenir, un chiffre en hausse de plus de 17 % par rapport à sa publication de 2005. Elle ajoute que « *l'énergie nucléaire a fait ses preuves en tant qu'énergie propre et fiable et devrait à ce titre demeurer un des piliers énergétiques des vingt-cinq années à venir* » !

Cette reconnaissance par l'AIE a été rendue possible par les gains de compétitivité obtenus par notre industrie au cours des 30 dernières années. L'électronucléaire à grande échelle est devenu, aux côtés de l'hydraulique, le moyen le moins cher de produire de l'électricité. Il garantit un coût de production prévisible, stable et compétitif. Des centrales nucléaires de nouvelle génération, plus sûres et utilisant moins de matières premières, donc créant moins de déchets, peuvent être construites et exploitées dans le respect des mécanismes du marché. Les risques financiers qui pourraient peser sur ces constructions, les contraintes de leur futur démantèlement, l'approvisionnement en uranium et la gestion des déchets ne constituent pas d'obstacles à une telle stratégie, nous y reviendrons.

LE BEL AVENIR DU NUCLÉAIRE DANS LE MONDE

Aujourd'hui, plus de 440 réacteurs nucléaires – pour une puissance électrique totale de 370 000 MWe – fournissent 16 % de l'électricité mondiale dans 31 pays. La moitié des Etats membres de l'UE recourent à l'énergie nucléaire qui, à 35 %, constitue la principale source de production d'électricité de l'UE (3). Aux Etats-Unis, 103 réacteurs fournissent 20 % de l'électricité. Au Japon, 52 réacteurs couvrent, pour leur part, 34 % de l'électricité nationale.

Près de 30 réacteurs, dont la puissance est équivalente à 6 % de la puissance totale existante, sont en construction dans 12 pays, notamment en Chine, en Corée du Sud, au Japon et en Russie. De plus, la réalisation de 35 autres réacteurs, soit 10 % de la capacité de production électrique actuelle, est définitivement planifiée. La plu-

(2) Ce rapport peut être commandé sur le site de l'AIE : World Energy Outlook 2006 Edition.

(3) Au plan mondial, parmi les 31 pays qui ont recours à l'énergie nucléaire, 17 en dépendent pour au moins un quart de leur électricité. Au sein de l'UE, environ trois quarts de l'électricité de la France et de la Lituanie sont d'origine nucléaire ; cette fraction atteint ou dépasse un tiers en Slovaquie, en Suède, en Slovaquie et en Belgique (deux tiers). En Allemagne et en Finlande, la proportion est de plus d'un quart.

part d'entre eux sont situés dans la région asiatique, caractérisée par des économies à croissance rapide, dont les besoins en électricité sont en forte augmentation.

La Chine, où 9 réacteurs sont actuellement exploités, a l'intention de quadrupler sa capacité nucléaire d'ici à 2020 par rapport à ce qu'elle utilise déjà ou construit actuellement, en ajoutant 20 à 30 réacteurs au réseau. En Inde, le gouvernement envisage un programme nucléaire équivalent à celui de la Chine. Il a donné l'an dernier son accord de principe à la construction de 8 réacteurs supplémentaires. Leur réalisation, qui pourrait être confiée à des firmes étrangères, est liée à un accord international sur les garanties de non-prolifération.

Aux Etats-Unis, en application du *Energy Policy Act* (2005) (4), le recours à de nouveaux réacteurs est enclenché, certains étant déjà en voie d'approbation ou de commande : près de 15 nouvelles centrales nucléaires, d'une puissance globale de 23 GWe, pourraient fonctionner d'ici à 2015. Parallèlement, une vision globale du développement de l'énergie nucléaire dans le monde, *Global Nuclear Energy Partnership* (GNEP), associée à un programme à long terme de R&D, entend relancer le recyclage des combustibles nucléaires usés. L'objectif final est de développer des réacteurs avancés pour éliminer les déchets de haute activité isolés par le processus de traitement, et de louer à d'autres pays les services du combustible nucléaire, en vue d'éviter les risques de non-prolifération.

L'Afrique du Sud, qui dispose de deux réacteurs de 1 000 MWe fournis par AREVA, près du Cap, a annoncé un programme de 8 à 10 nouveaux réacteurs. Un premier appel d'offres sera lancé en 2007, le gouvernement souhaitant mettre en œuvre ce projet au plus tôt.

Au sein de l'Union européenne, les situations sont contrastées. Certains Etats membres – Allemagne et Belgique – ont approuvé une politique d'abandon progressif du recours à l'énergie nucléaire. Celle-ci semble pouvoir être remise en cause, notamment en Belgique (un récent rapport parlementaire démontrant l'impossibilité de respecter le protocole de Kyoto en se passant du nucléaire). En Suède, un moratoire sur un programme de ce type a été adopté. Au final, et à ce jour, peu de réacteurs ont été réellement arrêtés. Simultanément, un réacteur avancé de nouvelle génération de 1 600 MWe – l'EPR, dont la conception « évolutionnaire » intègre l'expérience mondiale d'exploitation des réacteurs à eau pressurisée, les résultats de la R&D, un niveau de sûreté accru, des performances et un rendement plus élevés – est en construction à Olkiluoto, en Finlande. Un autre, commandé en France par EDF,

sera implanté sur le site de Flamanville. Des négociations sont en cours en vue d'un éventuel partenariat avec d'autres électriciens. Aux Etats-Unis, qui pourraient obtenir une fraction de l'énergie produite tout en participant à la construction du réacteur, elles ont abouti à la création, en septembre 2005, d'une *joint-venture*, *UniStar Nuclear*, avec l'électricien *Constellation Energy*. En plus d'avoir précommandé deux réacteurs pour son propre compte, ce dernier fait avec AREVA la promotion de l'EPR aux Etats-Unis.

Au Royaume-Uni, l'énergie nucléaire est revenue à la une de la nouvelle politique énergétique gouvernementale (*Government's Energy Review*), qui envisage que le secteur privé propose, développe, construise et exploite une nouvelle génération de réacteurs nucléaires à l'horizon 2015-2020. Plusieurs Etats membres ayant rejoint plus récemment l'UE ont également confirmé leur engagement en faveur de l'énergie nucléaire.

En conclusion, le recours à cette énergie pour la fourniture de l'électricité de base est une option choisie par plus de trente-cinq pays dont le poids démographique, économique et géopolitique total est considérable.

AREVA entend se positionner clairement comme l'acteur de référence, avec la construction en Finlande de la tête de série EPR, qui sera suivie par celui de Flamanville. Le Groupe a de fortes ambitions aux Etats-Unis grâce à notre alliance avec *Constellation Energy*, mais également en Europe et en Asie où, par le biais de l'accord avec *Mitsubishi Heavy Industries*, nous développons un réacteur nucléaire de 1 000 MWe de troisième génération, complémentaire de l'offre EPR à 1 600 MWe. Au total, il vise un tiers du marché mondial dans le nucléaire d'ici cinq ans.

LE NUCLÉAIRE, ÉNERGIE COMPÉTITIVE ?

Bien que l'énergie nucléaire soit d'un coût élevé en capital, le recours à cette dernière est une solution compétitive pour la fourniture d'une puissance électrique de base à un faible coût marginal avec une disponibilité très élevée. Sa sensibilité aux évolutions du coût du combustible est faible. Elle peut jouer un rôle majeur dans la production d'électricité en offrant une très bonne prédictibilité des coûts.

De très nombreuses études ont examiné, au cours des dernières années, les coûts de l'énergie nucléaire et de quelques autres sources d'énergie. Ces derniers, comprenant les coûts de construction, les coûts de fonctionnement, de maintenance et de démantèlement et le coût du combustible, peuvent être globalement ventilés selon les indications du tableau I ci-après.

Les frais d'investissement peuvent représenter jusqu'à 60 % du coût global de l'énergie nucléaire. Des études internationales récentes convergent avec les évaluations faites par l'OCDE qui considère que le coût de construction d'un réacteur EPR est de l'ordre de 1 300-1 800 €/kW, les différences dépendant notamment des

(4) La loi prévoit une garantie sur les emprunts couvrant jusqu'à 80 % du coût de construction des nouvelles centrales, la prolongation pour vingt ans des dispositifs d'assurance limitée financés par les exploitants eux-mêmes et un crédit d'impôt (1,8 centime de dollar par kWh pour les premiers 6 GWh produits par les nouveaux réacteurs pendant les huit premières années de fonctionnement) limité annuellement à un montant de 125 M\$.

	Nucléaire	Gaz (CCGV)	Charbon	Eolien
Investissement	50-60 %	15-20 %	40-50 %	80-85 %
Fonctionnement	30-35 %	5-10 %	15-25 %	10-15 %
Combustible	15-20 %	70-80 %	35-40 %	0 %

Tableau I – Structure des coûts de différentes technologies de production d'électricité.

effets de série et de certaines spécifications particulières. C'est dans cette marge que l'énergie nucléaire est compétitive.

Les frais de combustible constituent une composante du coût de production de l'électricité nettement moindre pour l'énergie nucléaire que pour le charbon ou le gaz (voir le tableau II). Le prix de l'uranium n'est lui-même qu'une fraction réduite du coût du combustible nucléaire. Les coûts globaux de la production électrique nucléaire sont en conséquence peu sensibles aux évolutions du coût des matières premières (5).

Un doublement du prix du combustible augmenterait le coût marginal de l'électricité produite par une centrale au gaz de 70 à 80 %, tandis que le coût de l'électricité nucléaire n'augmenterait que de 5 %. Le tableau III illustre cette caractéristique dans trois hypothèses relatives à l'évolution du prix de l'uranium.

Les coûts de fonctionnement et de maintenance (voir le tableau IV) peuvent varier selon les compagnies qui exploitent les réacteurs et selon les exigences nationales (coût de la main-d'œuvre, assurances, investissements d'entretien, stratégies des opérateurs, etc.). Pour l'essentiel, ils ne dépendent pas sensiblement de la taille des réacteurs et de la quantité d'électricité produite, de sorte que les exploitants s'efforcent d'atteindre une disponibilité élevée des installations.

Les sommes correspondant au démantèlement des installations sont provisionnées tout au long de leur durée de fonctionnement – 60 ans dans le cas de l'EPR – et ne constituent pas un obstacle financier à l'expansion du recours à l'énergie nucléaire car ils n'en altèrent pas l'économicité.

	Nucléaire	Gaz (CCGV)	Charbon
Fuel (€/MWh)	4.4	26.5 – 32.4	14.7 – 22.1

Tableau II – Coûts comparés du combustible (hors coût du CO₂).

Prix de l'uranium (\$/lb U ₂ O ₂)	10	20	40
Investissement	16,3	16,3	16,3
Fonctionnement	5,1	5,1	5,1
Combustible	3,7	4,4	5,9
Taxes	2,1	2,1	2,1
R&D	0,6	0,6	0,6
Total	27,8	28,4	29,9
	- 2,5 %	-	+ 5 %

Tableau III – Coût de l'électricité d'un réacteur EPR (€/MWh 2001).
Source : DGEMP, ministère de l'Industrie, Paris, 2003.

Ainsi, en France, le rapport Charpin-Dessus-Pellat de juillet 2000 (6), relatif aux coûts de la filière nucléaire, estime à 15 % du coût du kW la part imputable à la fin du cycle.

Globalement, l'énergie nucléaire est dès lors compétitive pour la production d'électricité de base par rapport au charbon et au gaz naturel.

	Nucléaire	Gaz (CCGV)	Charbon (pulvérisé)
France	7.1	5.1	8.7
Finlande	7.2	3.5	7.4
Royaume-Uni	7.9	4.7	4.7
OCDE	6.0 – 9.1	4.6 – 5.1	6.6 – 8.7

Tableau IV – Coûts de fonctionnement (électricité de base), €/MWh 2001.

LES DÉCHETS : DES SOLUTIONS EXISTENT

La question des déchets radioactifs préoccupe l'opinion publique. Elle mérite d'être abordée sans dogmatisme et sur la base de données objectives qui sont les suivantes. Les déchets nucléaires représentent 1 % de la totalité des déchets industriels produits, et 5 % seulement des déchets nucléaires sont fortement radioactifs (en volume, l'ensemble des déchets hautement radioactifs produits par le parc électronucléaire depuis 50 ans est contenu dans un espace limité à un hall d'usine). Il est faux de laisser penser que nous allons être envahis par des volumes ingérables de déchets radioactifs.

Des solutions industrielles existent déjà pour certains types de déchets : stockage pour ceux de faibles et de très faible activité. Pour ceux de moyenne et haute activité, après réduction de leur volume, ils sont maintenant conditionnés sous forme stable et sûre puis entreposés dans des installations sécurisées.

(5) On notera que la diversification géographique des gisements d'uranium conforte l'assurance de sa disponibilité. Cette dernière peut être affectée par des opérations largement prévisibles et programmées (remplacement du combustible, inspection, maintenance). Comme son coût marginal est faible, l'électricité électronucléaire vient en tête dans la chaîne du mérite et l'exploitant vise la pleine puissance le plus fréquemment possible : des facteurs de disponibilité de plus de 90 % sont habituels dans les réacteurs qui fournissent l'électricité de base. Le tableau II illustre les coûts de fonctionnement comparés de trois technologies de production d'électricité selon quatre études récentes.

(6) <http://www.industrie.gouv.fr/energie/nucleair/pdf/rapport-charpin.pdf>

La France a adopté un dispositif législatif complet (7) qui fait maintenant référence dans le monde. La loi de 2006 institue un plan national de gestion des matières et déchets radioactifs et fixe un programme de recherches et de travaux, assorti d'un calendrier pour le mettre en œuvre.

Ce texte prévoit un renforcement des procédures d'évaluation, d'information du public et de concertation. C'est après examen par l'Autorité de sûreté nucléaire, débat et enquête publics, et avis des collectivités locales que la construction d'un stockage sur un site précis pourra être autorisée, à l'horizon 2015, par décret du Premier ministre. Ce sont les producteurs de déchets qui devront eux-mêmes provisionner, dès maintenant, les sommes nécessaires aux financements prévus pour le long terme.

L'exemple de notre pays démontre que sur ce sujet sensible, il est possible d'apporter des réponses concrètes et positives.

AGIR SUR PLUSIEURS LEVIERS

L'énergie nucléaire sera sans nul doute un acteur majeur de la nouvelle donne énergétique mondiale que vont devoir mettre en œuvre, très rapidement, les Etats. Ces derniers vont devoir être inventifs pour trouver une voie originale entre les exigences de la compétitivité, celles de la sécurité d'approvisionnement et celles de la protection de l'environnement. Pour atteindre un tel objectif, il n'y a pas de solution miracle. Il faut donc agir sur plusieurs leviers, en multipliant les sources, et en utilisant de manière plus rationnelle l'énergie. C'est à ce prix que nous réussirons.

(7) Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

EDF et la production nucléaire : les clés d'une réussite industrielle

Dans le cadre d'une politique énergétique française claire et constante, EDF a réussi le programme nucléaire grâce à la standardisation et à ses compétences d'architecte ensemblier, mais aussi parce qu'elle avait déjà effectué les bons choix industriels. Au-delà de l'exploitation performante – la sûreté avant tout – d'un parc de 58 tranches, l'enjeu se tourne à présent vers la durée de vie de celles-ci et la préparation de leur remplacement. Le réacteur EPR a été développé dans ce but depuis quinze ans ; sa tête de série, Flamanville 3, est engagée. Ainsi pérennisé, le savoir-faire d'EDF devient un atout d'autant plus fort que le crédit économique et politique du nucléaire s'accroît mondialement.

Par **Bernard DUPRAZ**, Directeur général adjoint, Production et Ingénierie
et **Laurent JOUDON**, Directeur adjoint « Economie et Stratégie de la Production »

Le développement rapide du programme électronucléaire français des années 1970 est un trait majeur de l'histoire d'EDF, qui a fortement façonné l'identité actuelle du Groupe. Conduire un aussi vaste programme n'aurait cependant pas été possible sans l'active préparation de l'avenir, qui avait commencé vingt ans plus tôt, alors que l'équipement hydroélectrique et l'efficacité des filières à combustible fossile mobilisaient tous les efforts.

LA GENÈSE : DES RÉACTEURS « GAZ-GRAPHITE » AUX RÉACTEURS À EAU PRESSURISÉE

En 1956, le CEA met en service son premier réacteur sur le site de Marcoule. L'objectif premier est la production de matière fissile, mais EDF y couple un géné-

rateur d'électricité – d'une puissance symbolique de 2 MW – pour acquérir des connaissances dans cette forme de production. L'expérience est renouvelée avec deux autres réacteurs sur le même site, la puissance électrique passant à 40 MW. EDF lance alors dans la décennie qui suit, désormais comme investisseur et exploitant, la construction de six centrales du même type que Marcoule, mais de taille unitaire croissante (jusqu'à 540 MW). Cette filière, « UNGG » (uranium naturel – graphite – gaz), est la seule que la France des années 1960 peut déployer en toute indépendance. Parallèlement, EDF s'engage dans les filières à uranium enrichi et eau légère, qui se développent notamment aux Etats-Unis. Une centrale REP (réacteur à eau pressurisée) de 300 MW est construite à Chooz de 1959 à 1967, en partenariat avec les électriciens belges, dans le cadre du traité Euratom ; le constructeur en est Framatome, associé au concepteur Westinghouse. Le

même partenariat franco-belge construit quelques années plus tard la centrale belge de Tihange 1, mise en service en 1975, qui, avec ses 900 MW, n'est plus du tout expérimentale.

Ces années de « gymnastique nucléaire », selon les mots de Marcel Boiteux, permettent à EDF de prendre la mesure des enjeux économiques et de se convaincre pour cette raison de la supériorité de la filière à eau légère. Celle-ci est ainsi choisie lorsque la France décide, en 1970, d'un renforcement de sa capacité nucléaire (1) : six tranches REP de 900 MW, sous licence Westinghouse, sont lancées entre 1970 et 1973 sur les sites de Fessenheim et de Bugey. EDF en est « architecte assembleur », établissant des relations durables avec les principaux fournisseurs, portant elle-même la relation avec l'autorité de sûreté nucléaire.

Grâce au choix d'un modèle de réacteur aux qualités techniques et économiques éprouvées, grâce à la mise en place d'une filière industrielle française (autour de Framatome pour la construction de la chaudière nucléaire, de Cogema pour le cycle du combustible et d'Alsthom pour le groupe turbo-alternateur), grâce au grément d'une compétence d'ingénierie nucléaire, EDF aborde les années 1970 avec des acquis décisifs pour l'avenir.

LE PROGRAMME NUCLÉAIRE : LE CHOIX DE LA STANDARDISATION

En octobre 1973, le choc pétrolier rompt brutalement en faveur du nucléaire les incertitudes sur la compétitivité relative des divers moyens de production, tandis que se matérialisent les risques d'une dépendance énergétique française qui a dépassé 75 %. Le Gouvernement, fort de la qualité des choix industriels qui ont été faits, peut engager le pari d'un vaste programme électronucléaire. Décidé en mars 1974, le Plan Messmer prévoit l'engagement de 16 tranches REP de 900 MW, toutes identiques. Dix nouvelles tranches de 900 MW sont programmées en 1976. L'industrie, comme l'ingénierie d'EDF, se dotent des capacités pour tenir un rythme de cinq à six mises en service par an. Cette même année, EDF lance à Paluel la tête de série d'un nouveau palier de 1 300 MW, qui comprendra 20 unités couplées entre 1984 et 1993. Enfin, EDF et Framatome conçoivent, dès 1978, un palier de 1 500 MW qui s'affranchit de la licence du constructeur américain.

La puissance publique soutient le programme nucléaire d'une politique énergétique claire et constante. Du point de vue industriel, des procédures rigoureuses en matière de qualité, des exigences de sûreté en ligne avec

(1) Les réflexions étaient conduites par la Commission consultative pour la production d'électricité d'origine nucléaire. Voir notamment les rapports sur « les perspectives de développement des centrales nucléaires en France » (1968) et sur « le choix du programme de centrales nucléo-électriques pour le Sixième Plan » (1970).

les meilleurs standards internationaux se révèlent compatibles avec la gestion des évolutions ou des modifications techniques et le respect des délais (par exemple lorsque les enseignements de l'accident de Three Mile Island, en 1979, sont tirés). Enfin, EDF et les pouvoirs publics partagent d'emblée le souci de l'information du public et du dialogue à tous les niveaux avec les élus et les parties concernées, favorisant ainsi l'acceptation du nucléaire en France. Comme actionnaire en revanche, l'Etat ne contribue guère à l'effort d'investissement : EDF le finance par endettement et ressources propres, recherchant par sa politique tarifaire une allocation efficace, dans la durée, des avantages économiques vers les consommateurs, jetant aussi les prémices d'un marché européen *via* les exportations que permet la compétitivité de son parc nucléaire.

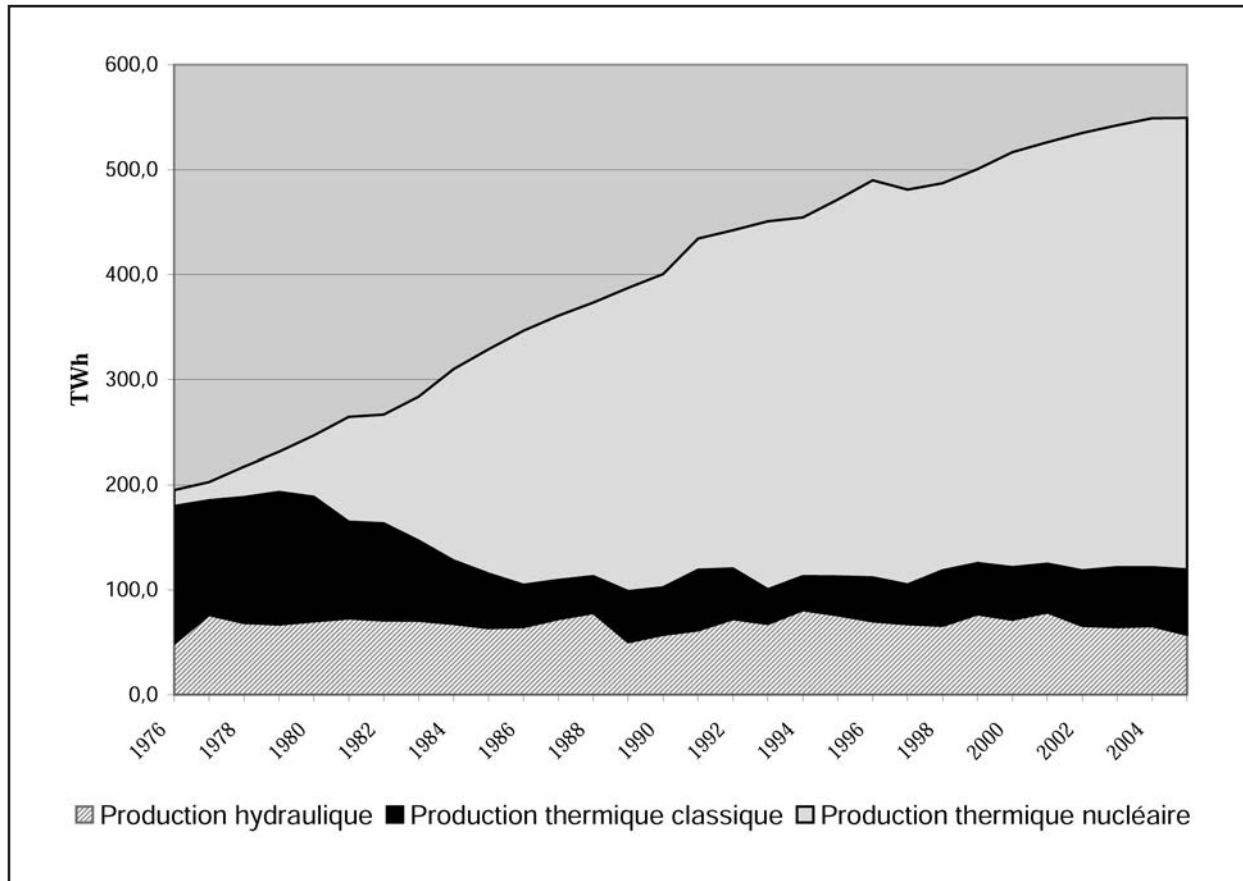
Sur le plan industriel, tout s'organise autour de la standardisation des ouvrages, qui relèvent d'une seule filière, et de la politique de paliers. Un effet de série est ainsi obtenu, puisque EDF et les constructeurs peuvent amortir les frais de développement sur un nombre important d'unités. La conception par paliers permet de conserver cet avantage tout en profitant des améliorations techniques (notamment celles issues de l'expérience du palier précédent) et des gains de productivité (notamment ceux permis par l'augmentation de la taille unitaire). Enfin, la possibilité d'enchaîner la construction de deux – et même souvent de quatre – tranches identiques sur un même site a complété les économies d'échelle. Au total, agissant comme architecte assembleur grâce à son ingénierie intégrée (2), jouant un rôle central dans la conception des paliers et des référentiels de sûreté, lotissant les travaux d'aménagement et sélectionnant les fournisseurs, EDF, avec l'engagement des industriels, réussit à maîtriser les coûts et les délais de construction.

L'objectif de politique énergétique est tenu : dès la fin des années 1980, plus de la moitié de la consommation d'énergie primaire française est couverte par une production nationale (dont l'essentiel, près de 40 %, par le nucléaire). En 2005, la production française d'électricité est à 90 % indépendante des énergies fossiles (voir la figure ci-après).

L'EXPLOITATION ET LA MAINTENANCE : LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE, PREMIÈRE DES PERFORMANCES OPÉRATIONNELLES

EDF exploite aujourd'hui 58 centrales REP d'une puissance totale de 63 GW et a accumulé une expérience de 1 200 années × réacteur, une situation sans

(2) Le témoignage de la Direction de l'Équipement d'EDF est livré dans : « Chooz de A à B, une histoire de la filière à eau pressurisée », F. Torres et V. Lefebvre, Public Histoire / Efil Communication, 1996.



Production d'électricité en France (1976-2005).

équivalent dans le monde : cette taille dépasse d'un facteur 3 à 4 le parc d'autres grands producteurs qui, de plus, est souvent réparti en plusieurs filières (3). Le métier d'exploitant s'est construit en prolongeant l'avantage de la standardisation, en profitant de la proximité avec l'ingénierie qui a conçu et construit les centrales, en recherchant un progrès permanent pour toutes les performances, au premier rang desquelles figure la sûreté nucléaire.

La « culture sûreté » est développée, notamment par la formation et l'entraînement du personnel (celui d'EDF, près de 25 000 salariés, comme des sous-traitants), par des processus permanents de comparaison des résultats et des bonnes pratiques entre les sites et les tranches, et par l'anticipation des défaillances *via* l'analyse des incidents précurseurs.

La sûreté nucléaire repose également sur un contrôle interne présent à tous les niveaux. Un ingénieur de sûreté est en appui permanent auprès du chef d'exploitation, responsable de la conduite des installations ; une mission sûreté qualité est directement rattachée à chaque directeur de site ; auprès du directeur de la production nucléaire, un service « d'inspection nucléaire » effectue régulièrement une évaluation globale de la

sûreté de chaque site ; l'inspecteur général pour la Sûreté nucléaire, auprès du président d'EDF, porte chaque année un avis sur la sûreté globale du parc nucléaire, avis rendu public. Enfin, l'ensemble des dispositions relatives à la sûreté (conception et exploitation) est contrôlé par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

On illustrera la performance et la qualité d'exploitation par la réduction de la dose moyenne de radiation collectivement reçue pendant l'exploitation annuelle d'une tranche (de 2 à moins de 0,8 Sievert de 1990 à 2005), ou encore par celle du nombre annuel moyen d'arrêts automatiques de réacteur (divisé d'un facteur 4, toujours sur les 15 dernières années).

UNE PRODUCTION À 85 % NUCLÉAIRE : OPTIMISATION ET DURÉE D'UN PARC PRODUISANT EN BASE ET EN SEMI-BASE

Avec près de 430 TWh (2005), le parc nucléaire fournit environ 85 % de l'électricité produite par EDF en France, un atout majeur quand le pétrole coûte 60 USD par baril et quand la lutte contre l'effet de serre devient une réalité politique et économique. La production d'électricité en France émet, en effet, 8 fois moins de dioxyde de carbone que la moyenne des pays de l'OCDE.

(3) ROSENERGOATOM exploite environ 21 GW, TEPCO (Japon), EXELON (E.-U.) et KHNP (Corée) 15 à 17 GW chacun, British Energy (R.-U.) et E.On (All.), premiers exploitants nucléaires après EDF dans l'Union européenne, une dizaine.

En matière de performances économiques, l'évolution du taux de disponibilité, après les « difficultés de jeunesse » des années 1980, traduit, depuis désormais 15 ans, la maturité industrielle des centrales et de leur exploitation, avec une disponibilité toujours supérieure à 80 % (83,4 % en 2005).

A cet égard, le poids relatif considérable de la production nucléaire dans le système électrique français lui confère un mode d'exploitation atypique au plan international. Le parc nucléaire fonctionne à la fois en base et en semi-base, ce qui explique pourquoi son facteur de charge est structurellement inférieur à celui d'autres exploitants, dont les centrales sont exploitées uniquement en base ; EDF place en saison creuse les arrêts pour entretien et renouvellement du combustible et, parfois, ne peut appeler toute la puissance nucléaire techniquement disponible.

selon les pays. Dans certains pays, la durée de vie autorisée est fixée à l'origine; ainsi, aux Etats-Unis, cette durée était initialement fixée à 40 ans ; elle a été, ces dernières années, étendue à 60 ans pour plus de quarante de la centaine de centrales américaines, dont beaucoup sont proches des centrales françaises.

L'approche française est plus continue ; tous les dix ans, l'exploitant effectue, sous le contrôle de l'ASN, un réexamen du référentiel de sûreté, pour tenir compte du retour d'expérience et du progrès des connaissances ; à l'occasion des visites décennales des centrales, l'exploitant apporte des modifications aux centrales, conformément à ce réexamen ; ce n'est enfin qu'à l'issue de ces opérations que l'ASN se prononce sur une nouvelle période de 10 ans. Ainsi, les troisièmes visites décennales du palier 900 MW, dont le contenu a fait l'objet de plus de cinq ans d'études par EDF et d'ana-



Le site de Flamanville en 2012 : à gauche la « tête de série » EPR ; à droite les deux tranches de 1 300 MWe (image de synthèse).

La durée de vie du parc nucléaire : un objectif au-delà de 40 ans

EDF se donne comme objectif au moins 40 ans d'exploitation pour toutes ses centrales nucléaires, cette durée prudente étant utilisée pour les amortissements comptables. L'ambition de dépasser substantiellement 40 ans est raisonnable. Sur un plan technique, d'importants travaux de R&D sont consacrés à l'étude du vieillissement des installations ; ils visent notamment à démontrer l'acceptabilité d'une durée de vie de 50, voire 60 ans, pour les composants non remplaçables, la cuve du réacteur en premier lieu. D'autres matériels lourds, comme les générateurs de vapeur, peuvent, eux, être remplacés ; ce type d'opération est même devenu courant. Au-delà des questions techniques, le cadre réglementaire relatif à la durée de vie des centrales varie

lyses par l'ASN, commenceront en 2009, avec, pour EDF, l'objectif d'obtenir une autorisation d'exploitation jusqu'à 40 ans.

Allonger la durée de vie au-delà de 40 ans comporte un enjeu économique considérable, puisqu'il s'agit de différer d'autant l'investissement pour remplacer 63 GW de capacité. Compte tenu du retour d'expérience français et international, notamment américain, et des résultats des importants travaux d'ingénierie et de R&D qui y sont consacrés, EDF est confiant. Cependant, il ne serait pas raisonnable de parier aujourd'hui sur une extension future et importante de la durée de vie de toutes les centrales. Dès lors, disposer d'un modèle capable de prendre le relais vers 2020, quand les plus anciennes centrales auront 40 ans, est indispensable. C'est la raison première de l'implication d'EDF dans le développement de l'EPR.

LE DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE EPR : PRÉPARER À NOUVEAU L'AVENIR

Un double constat marque la fin des années 1980 : d'une part, le parc nucléaire d'EDF, dont la construction s'achève, fonctionne bien et vieillit bien ; d'autre part, le ralentissement de la croissance de la demande d'électricité rend suffisante pour longtemps la capacité installée ou en cours d'installation. Il en résulte que le dernier palier de 1 500 MW ne connaîtra que quatre réalisations (mises en service entre 1997 et 2002) et, surtout, qu'une vingtaine d'années sans nouvelle construction nucléaire. Une nouvelle page s'ouvre ; pour garder ouverte l'option nucléaire et pérenniser l'avantage comparatif acquis, l'heure est à la préparation d'un nouveau modèle, pouvant être déployé à partir des années 2010, capitalisant tous les progrès techniques au service de performances encore accrues. EDF souhaite naturellement conserver l'organisation industrielle qui a permis de recueillir les fruits de la standardisation et de maîtriser les coûts, et donc un rôle d'architecte ensemblier.

EPR est conçu comme un projet à vocation européenne et conduit par tous les partenaires français et allemands, électriciens, constructeurs (Framatome et Siemens) et Autorités de sûreté des deux pays. Les études sont engagées dès 1992 ; les améliorations sont recherchées à partir des plus récents paliers, le 1 500 MW français et le « Konvoi » allemand. L'objectif est la validation du modèle par les ASN des deux pays. Le projet demande beaucoup de ténacité, alors que l'accident de Tchernobyl a entraîné l'arrêt de la construction de centrales nucléaires dans de nombreux pays et que le contre-choc pétrolier amène le prix du pétrole à moins de 20 dollars par baril, ce qui rend largement compétitif le cycle combiné à gaz pour produire de l'électricité en base. L'avant-projet détaillé, dit « *basic design* », commence en 1995 ; les plans de l'îlot nucléaire sont prêts en 1999 ; les études détaillées se poursuivent jusqu'en 2003.

Entre temps, les contextes politiques ont divergé. La République fédérale d'Allemagne décide, en 2000, d'une sortie progressive du nucléaire, tandis que la France confirme le rôle du nucléaire dans le mix énergétique (loi d'orientation énergétique de 2005). C'est donc EDF qui conduit le projet d'une centrale EPR, tête de série d'un futur palier. Le site de Flamanville, déjà équipé de deux tranches de 1 300 MW, est choisi en octobre 2004 ; un large débat public est organisé entre l'automne 2005 et le printemps 2006, à l'issue duquel EDF décide l'engagement effectif du projet. A ce jour, les principaux contrats sont signés (chaudière, groupe turbo-alternateur, génie civil). Les travaux préparatoires de terrassement ont commencé en août 2006. Les prochaines étapes sont le décret d'autorisation de création, puis les premiers bétons (fin 2007). Flamanville 3 doit être mise en service en 2012, un horizon où l'addition d'une puissance de production de

base de 1 600 MW sera utile au système électrique français. Surtout, ce calendrier s'inscrit parfaitement dans la logique de préparation industrielle du remplacement du parc actuel. Si l'on veut pouvoir mettre en service les unités suivantes vers 2020, il faut les mettre en chantier vers 2012-2015 : on disposera d'un premier retour d'expérience de la construction et des débuts de l'exploitation de la tête de série. Dit autrement, il devenait risqué d'attendre davantage.

La première centrale EPR engagée dans le monde n'est cependant pas celle de Flamanville. Fin 2003, l'électricien finlandais TVO, dont les actionnaires sont notamment des industriels électro-intensifs et soucieux d'assurer durablement leur approvisionnement à des prix stables et compétitifs, a en effet choisi ce modèle, à l'issue d'un appel d'offre international.

LES PERSPECTIVES MONDIALES DU NUCLÉAIRE : COMMENT CULTIVER UN AVANTAGE COMPARATIF

Un regard sur les perspectives de développement de la production nucléaire passe par trois questions : a-t-on besoin de construire des capacités ? Le nucléaire est-il accepté ? Est-il compétitif ? (4). Les réponses semblent aujourd'hui claires dans les grands pays asiatiques, qui représentent la moitié, soit quelque 80 GW, des centrales nucléaires engagées ou prévues pour 2020.

Le besoin de construire de nouveaux moyens de production est également réel en Europe. D'une part, la période du suréquipement est révolue et il faut répondre à la croissance – même modeste – de la consommation. D'autre part – et surtout – le vieillissement du parc de production imposera d'aujourd'hui à 2030 le remplacement de 300 GW de capacité de production en base. Ce nouveau cycle d'investissement vient de commencer ; il a été anticipé par la remontée de 50 % du prix de marché de l'électricité constatée en Europe entre 2002 et 2004 (donc avant que la hausse du prix des hydrocarbures n'amplifie le mouvement). Pour renouveler les moyens de production sans dégrader l'environnement ni dépendre massivement de l'approvisionnement gazier, même en développant au mieux les énergies renouvelables et la maîtrise de la demande, le nucléaire est incontournable : cette prise de conscience a provoqué la réouverture récente des débats dans nombre de pays où les projets de nouvelles centrales – parfois en cours de construction – avaient été abandonnés depuis plus de vingt ans. Aux Etats-Unis, l'*Energy Policy Act* de 2005 encourage de nouveaux projets *via* des crédits d'impôt et des garanties financières. En Grande-Bretagne, le Gouvernement a conclu l'*Energy Review*, en juillet 2006, en affirmant le

(4) Le « World Energy Outlook 2006 » de l'AIE contient de nombreux éclairages sur ces questions.

rôle du nucléaire parmi les moyens de production futurs et en initiant, avec les acteurs intéressés, une réflexion sur les conditions réglementaires adéquates. Plusieurs pays européens s'interrogent sur la pérennité du moratoire qu'ils ont décidé.

Comparer le coût de revient des diverses filières de production en développement est une question délicate en raison du choix des hypothèses à retenir : le coût du capital est crucial pour le nucléaire, tandis que le coût d'un cycle combiné à gaz provient pour deux tiers du combustible. Les estimations actuelles placent le coût d'une production en base entre 50 et 60 €/MWh pour le gaz ou le charbon (sur la base de scénarios situant le prix du pétrole entre 40 et 60 dollars par baril, et d'une pénalisation des émissions de CO₂ entre 10 et 20 € par tonne). EDF évalue le coût de la tête de série EPR à 46 €/MWh, mais les gains que permettrait le déploiement d'une série pourraient réduire ce coût d'environ 10 %. La production nucléaire est donc compétitive vis-à-vis du charbon et du gaz, dans le nouveau paysage énergétique mondial.

La mesure de l'avantage compétitif du nucléaire ne serait pas complète sans considérer la question du financement et des risques. L'intensité en capital de l'investissement nucléaire, qui doit de surcroît être décidé huit à dix ans avant la mise en service, invite à s'assurer des conditions dans lesquelles l'autorisation d'exploiter sera donnée, l'énergie produite vendue (gestion des

risques de marché), les obligations de long terme honorées (déconstruction, déchets). La clarté des règles du jeu édictées par la puissance publique est cruciale. Tel est, par exemple, l'objet des travaux lancés par le Gouvernement britannique.

Un nouveau défi pour le leader mondial de la production nucléaire

L'EPR, dont deux exemplaires sont engagés en Europe et que l'électricien américain Constellation souhaite faire certifier aux Etats-Unis, semble correctement placé dans la compétition avec ses trois ou quatre concurrents. Cela dit, l'avantage compétitif que construit EDF autour de l'EPR réside tout autant dans la capacité du Groupe à développer ce modèle (voire d'autres) comme investisseur et exploitant, et aussi, dans les marchés où le Groupe EDF est présent, à en tirer parti comme commercialisateur.

Quand EDF, il y a plus de quinze ans, a lancé le développement d'un réacteur avancé, elle songeait principalement au remplacement futur du parc nucléaire français. Aujourd'hui, une seconde façon de gagner est offerte par les perspectives qui s'ouvrent au-delà de l'Hexagone : voilà un nouveau défi pour le *leader* mondial de la production nucléaire.

Les déchets radioactifs

Autrefois activité marginale au sein du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), la gestion des déchets radioactifs est devenue en près de 40 ans une composante à part entière du cycle électronucléaire. Les résultats de 15 années de recherches synthétisées dans le dossier 2005 remis par l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (Andra) au gouvernement font désormais référence au-delà de nos frontières. En élargissant son champ de compétences, la loi du 28 juin 2006 reconnaît les progrès accomplis et la qualité des résultats acquis par l'Andra et spécifie les développements pour les années à venir, avec l'objectif d'apporter des solutions à la gestion de toutes les formes de déchets radioactifs.

Par **Marie-Claude DUPUIS**, Directrice générale, Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra)

L'histoire de la gestion des déchets radioactifs en France débute en 1969, avec la réalisation du premier centre de stockage de déchets faiblement à moyennement radioactifs et à vie courte, le Centre de stockage de la Manche (CSM). Les premiers colis de déchets sont placés en pleine terre dans des tranchées sur le site. En 1974, l'exploitation du centre se rationalise, avec la création des premières structures de stockage aménagées pour assurer une performance conforme avec la nouvelle réglementation nucléaire de 1973. L'importance accordée à l'activité de stockage des colis de déchets radioactifs est confirmée en 1979 avec la création de l'Agence pour la gestion des déchets radioactifs au sein du CEA, peu de temps après l'entrée en vigueur de la convention de Londres interdisant le rejet en mer de colis de déchets radioactifs. L'exploitation prend alors une dimension industrielle qui se confirmera rapidement avec la recherche d'un nouveau site, anticipant ainsi les quantités de déchets prévues pour les décennies à venir. Le site de Soullaines, dans l'Aube, est alors retenu pour ses caractéristiques géologiques et hydrogéologiques bien adaptées à la sûreté du stockage. Il deviendra en 1992 le Centre de stockage de l'Aube (CSA), dimensionné pour recevoir un million de mètres cubes de déchets, soit près de deux fois plus que le CSM. Sa capacité devait permettre une exploitation

de l'ordre d'une cinquantaine d'années. Les efforts de réduction des volumes de déchets produits par l'industrie électronucléaire permettent désormais d'envisager une durée d'exploitation plus longue.

Durant la même période que celle de la conception du CSA, à la fin des années 80, se pose la question du stockage des déchets issus de la production électronucléaire. Ces déchets sont produits dans l'usine Cogema de traitement de la Hague. Ce sont pour l'essentiel des verres contenant les matières non valorisables, à haute activité et à vie longue. Leurs caractéristiques radioactives et thermiques particulières ne permettant pas un stockage sûr à long terme en conditions de surface, des études sont nécessaires pour rechercher les formations adaptées à leur stockage géologique. C'est avec cet objectif que sont engagés en 1989 des travaux de reconnaissance dans quatre formations géologiques différentes, l'argile, le sel, le granite et le schiste, avec la perspective de poursuite des recherches à partir de laboratoires souterrains. Rapidement, face à une opposition parfois violente, les travaux sont arrêtés. Le Premier ministre décrète alors un moratoire qui conduira au vote de la loi du 30 décembre 1991. Cette loi organise les recherches en matière de gestion des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue et donne à l'Andra son statut d'établissement public à



Vue aérienne du Centre de stockage de la Manche, fermé en 1994, et maintenant en phase de surveillance.

caractère industriel et commercial. Durant les quinze années qui suivront, l'Andra poursuit non seulement les programmes de recherches, mais également sa mission industrielle de conception, construction et exploitation de stockages de déchets radioactifs. Dans le courant de l'été 2003, le centre de stockage pour les déchets à très faible activité (CSTFA) est mis en exploitation à Morvilliers, tout près du CSA.

UN SAUT POLITIQUE AVEC LA LOI DE 1991

La crise déclenchée en 1989 par les premières tentatives d'implantation de sites de recherches pour le stockage des déchets à haute activité et à vie longue aura marqué un tournant important. La problématique de la gestion des déchets radioactifs, jusqu'alors exclusivement portée par les techniciens et les scientifiques du nucléaire, passe au rang des questions de société. Avec la mission confiée à l'Office parlementaire pour l'évaluation des choix scientifiques et techniques, puis le vote de la loi du 30 décembre 1991, elle revêt une dimension nationale, placée sous le contrôle du Parlement. La poursuite des recherches et investigations dans le domaine des déchets radioactifs est désormais structurée, dotée d'un cadre précis et d'échéances claires. Les rôles, missions et responsabilités de chacun sont précisés.

L'Andra devient alors un établissement public, outil de l'Etat, chargé d'assurer la gestion des déchets radioac-

tifs, d'en concevoir et conduire les programmes de recherche. Elle n'a donc plus de lien de structure avec le CEA et est indépendante des producteurs de déchets. En revanche, son mode de financement en fait un établissement public original, puisqu'il lui permet de fonctionner sans intervention du budget de l'Etat, si ce n'est pour sa mission de réalisation de l'inventaire national des déchets. En effet, les activités industrielles et celles de recherche sont financées par convention avec les producteurs de déchets selon le principe du « pollueur-payeur ».

Parallèlement à l'évolution de son statut, de nouveaux modes d'intervention sont imaginés. Le pilotage de la recherche sur le stockage des déchets radioactifs n'étant plus du ressort du CEA, on assiste à la mobilisation de l'ensemble de la communauté scientifique autour des problématiques posées par la gestion de ces déchets. Les programmes et les résultats sont placés sous le contrôle d'une commission nationale d'évaluation rendant compte directement au Gouvernement et au Parlement. Le nouveau dispositif implique un niveau élevé de transparence qui favorise l'intensification des programmes de recherche et, surtout, la qualité des développements méthodologiques ou des connaissances scientifiques. Ainsi, la mobilisation de compétences diverses a certainement été un des facteurs de richesse et de succès des recherches.

Enfin, la loi du 30 décembre 1991 est également innovante en matière de prise de décision. Elle instaure un processus ouvert et progressif, avec une période de 15

années de recherches, au terme de laquelle un nouveau rendez-vous est fixé au plan national pour décider des étapes suivantes. C'est avec l'éclairage des résultats acquis dans différentes voies alternatives (séparation et transmutation, entreposage de longue durée) que la décision d'un stockage pour les déchets à haute activité et à vie longue pourra être envisagée.

Les missions confiées au nouvel établissement public se structurent autour de :

- l'activité industrielle, de conception, construction, exploitation, puis fermeture et surveillance des centres de stockage de déchets radioactifs ;
- l'information, avec notamment la réalisation de l'inventaire national des déchets radioactifs, recensant l'ensemble des déchets sur le territoire national ;
- la recherche sur le stockage en formation géologique profonde des déchets à haute activité et à vie longue.

QUINZE ANNÉES DE RECHERCHES

Dans la foulée du vote de la loi du 30 décembre 1991 et du décret d'application, le Gouvernement confie au député Christian Bataille une mission de concertation destinée à rechercher les sites de construction de laboratoires souterrains dédiés aux recherches sur le stockage géologique des déchets à haute activité et à vie longue. En 1993, quatre sites candidats sont sélectionnés parmi une trentaine de volontaires. Il s'agit d'un site en milieu granitique, sous couverture sédimentaire, dans la Vienne, d'un site dans les marnes profondes du Gard rhodanien, et de deux sites dans les argilites du Callovo-Oxfordien, l'un en Meuse et l'autre en Haute-Marne. Ces deux derniers sites seront rapidement réunis pour leur proximité, donnant naissance au site de Meuse/Haute-Marne.

Les investigations détaillées à partir de forages et de campagnes de mesures géophysiques sont engagées dès 1994, et se poursuivront durant deux ans. Elles permettront de vérifier les qualités de chacun des sites ; également de découvrir une formation de l'ordre de 400 mètres de puissance dans le sous-sol du Gard rhodanien.

Des commissions locales d'information et de suivi ainsi que des fonds d'accompagnement sont mis en place sur chacun des sites durant cette période. Les études pilotes par l'Andra la conduisent à déposer trois demandes d'autorisation de création de laboratoire souterrain : dans le département de la Vienne, dans le Gard et en Meuse/Haute-Marne. Ces dossiers rendent compte de l'état des acquis sur chacun des trois sites. Ils présentent les programmes de réalisation des travaux de création de laboratoires souterrains ainsi que les programmes de recherches et d'expérimentations, destinés à compléter le corpus de connaissances nécessaires dans la perspective de l'échéance de 2006.

En 1997, les dossiers sont soumis à enquêtes publiques. Les collectivités territoriales, appelées à se prononcer,

confirment leur volontariat, et donc leur accord pour la construction de laboratoires souterrains.

Après instruction des dossiers par les services concernés, le Gouvernement décide la poursuite des travaux en Meuse/Haute-Marne, avec la création d'un laboratoire souterrain, à Bure. En revanche, le site du Gard est abandonné, de même que celui de la Vienne ; ce dernier ayant fait l'objet de réserves de la part de la Commission nationale d'évaluation (CNE), notamment parce que la série sédimentaire recouvrant le massif granitique dispose de ressources en eau exploitées pour l'agriculture. Pour ce qui concerne le milieu argileux, on choisit le Callovo-Oxfordien de Meuse/Haute-Marne, qui est mieux connu et qui bénéficie d'une configuration plus favorable pour le stockage que celui du Gard. Parallèlement, le Gouvernement met en place une mission de recherche d'un nouveau site granitique. Celle-ci, ne trouvant pas de soutien local et devant faire face à de très nombreuses oppositions, arrêtera ses travaux en 1999. Pendant ce temps, les travaux préparatoires à la construction du laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne sont engagés. La construction du laboratoire souterrain et les premières expérimentations se déroulent de 2001 à 2006, et nourrissent le Dossier 2005 Argile, remis mi-2005 au gouvernement.

Durant la même période, un Dossier 2005 Granite sera aussi constitué, à partir de l'ensemble des connaissances accumulées sur ce type de milieu géologique, en y intégrant l'expérience acquise dans les laboratoires souterrains et les programmes à l'étranger, au Canada, en Suisse, en Suède et en Finlande. Les dossiers remis au Gouvernement comprennent une compilation de l'ensemble des connaissances acquises sur les formations géologiques, sur les colis de déchets et sur les moyens qui pourraient être mis en œuvre dans un stockage géologique.

Les analyses effectuées montrent la faisabilité d'un stockage dans la formation du Callovo-Oxfordien [1], dont la réversibilité peut être assurée au-delà de la centaine d'années. Les fonctions de sûreté consistant à retarder la migration de radionucléides sont satisfaites. Les calculs de sûreté montrent que le niveau de radioactivité susceptible de revenir à l'environnement humain est de plusieurs ordres de grandeurs inférieur à la limite réglementaire, avec un paroxysme à quelques centaines de milliers d'années.

DES ÉVALUATIONS, UN DÉBAT PUBLIC

Lors de l'élaboration du Dossier 2005, l'Andra a sollicité des personnalités du monde scientifique français ou des représentants des organismes étrangers homologues de l'Agence pour une revue critique des principaux documents. Au cours de l'année 2005, le Dossier 2005 Argile fait l'objet d'une triple évaluation à la demande des pouvoirs publics : une première par la Commission nationale d'évaluation (CNE), requise par la loi, une

deuxième par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) au titre de ses prérogatives, et une troisième par un groupe d'experts internationaux sous l'égide de l'OCDE/AEN, à la demande des ministères de tutelle de l'Andra. Le Dossier 2005 Granite est également évalué par la CNE et l'ASN.

La CNE, qui a instruit continûment l'avancement du programme de recherche, remet son rapport d'évaluation finale au Gouvernement le 30 janvier 2006. Il porte un regard sur les trois axes de la loi. En particulier, il recommande que le stockage soit considéré comme la solution de référence. Il considère que les travaux conduits sur ce thème sont « *au meilleur niveau international* ». En particulier, la CNE considère que les études ont montré que les travaux de reconnaissance de la formation du Callovo-Oxfordien constituaient un « *ensemble remarquable, tant en qualité qu'en quantité* » ; ces travaux montrent, de son point de vue, que la roche présente sur le site de Bure une grande homogénéité et qu'elle est dépourvue de failles conductrices d'eau.

A la demande de l'ASN, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) instruit les deux dossiers, argile et granite. L'IRSN émet un rapport d'évaluation qui est lui-même soumis au groupe permanent « déchets » dont l'avis est ensuite communiqué à l'Andra : « *le groupe permanent souligne que le Dossier 2005 Argile présente un ensemble complet de grande qualité, constituant une avancée significative. (...il...) émet un avis favorable sur l'évaluation faite par l'Andra et estime qu'un stockage de déchets radioactifs dans la formation argileuse, dont l'étude se poursuit au moyen du laboratoire souterrain de Bure, est réalisable. ... le groupe permanent considère qu'il n'existe pas d'obstacle du point de vue de la sûreté à la recherche d'un site de stockage dans la zone de transposition définie par l'Andra* ».

Par ailleurs, l'IRSN rend à l'Autorité de sûreté un avis sur le dossier granite. Il ressort que son contenu est positif, constatant que l'Andra a répondu dans l'ensemble aux demandes du groupe permanent formulées en 2003 et que l'Agence a tiré le meilleur parti des données dont elle disposait, en l'absence d'un site d'étude.

Dans son avis rendu au Gouvernement le 1^{er} février 2006, l'ASN indique que « *le stockage en formation géologique profonde est une solution de gestion définitive qui apparaît incontournable* ».



Galerie d'expérimentation dans le laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne, à - 490 m.

La revue du Dossier 2005 Argile par l'équipe de revue internationale (IRT) mise en place par l'OCDE/AEN conclut en particulier que le programme répond entièrement aux meilleures pratiques internationales et se situe, dans plusieurs domaines, en pointe. L'approche de la réversibilité par l'Andra est considérée comme innovante, sans compromettre la sûreté du stockage.

A la demande du Gouvernement, un débat national est également organisé sur la gestion à long terme des déchets radioactifs. La Commission nationale du débat public est saisie : six mois de préparation, treize réunions de septembre 2005 à janvier 2006. Les thèmes scientifiques et techniques, les stratégies de gestion et la gouvernance sont largement discutés. Dans son rapport, la Commission nationale du débat public soulignera la demande générale pour que l'ensemble des déchets soit pris en compte par la loi, ainsi que la nécessité d'améliorer la gouvernance sur la gestion des déchets radioactifs, l'intérêt d'un processus de prise de décision progressif, et la nécessité d'un véritable projet

territorial pour les départements sur lesquels un stockage serait implanté.

Enfin, le rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques, publié en mars 2005 par messieurs Birraux et Bataille, analyse les résultats des recherches sous l'angle des stratégies de gestion et conclut à la complémentarité entre les trois voies de recherches étudiées en application de la loi du

30 décembre 1991, la séparation et la transmutation, le stockage en formation géologique profonde et l'entreposage de longue durée.

LA NOUVELLE LOI DE 2006

La loi de programme, publiée le 28 juin 2006, prolonge la démarche de la loi de 1991 en précisant les dates auxquelles les différentes solutions de gestion pourront entrer en vigueur. Pour la séparation et la transmutation, devront être évaluées, en 2012, les perspectives industrielles liées aux recherches dans le cadre de la quatrième génération de réacteurs. Pour le stockage réversible en couche géologique profonde, il est prévu de réunir d'ici 2015 tous les éléments nécessaires pour l'instruction d'une demande d'autorisation de création d'un stockage géologique. Sa date de

mise en fonctionnement est fixée à 2025, date compatible avec le calendrier de production des déchets à haute activité et à vie longue issus du cycle nucléaire français.

Le texte apporte également deux éléments essentiels dans des domaines non couverts par la loi de 1991. D'une part, répondant au souhait émis lors du débat public, il propose une véritable gestion nationale pour les déchets, mais aussi pour les matières radioactives, valorisables ou non, en instituant le plan national de gestion des déchets radioactifs. La loi définit non seulement des échéances pour les déchets de moyenne et haute activité et à vie longue, mais aussi l'échéance pour la mise en exploitation d'un stockage en 2013 pour les déchets graphites et les déchets radifères, déchets à faible activité et à vie longue. Ainsi, à l'horizon de quelques années, toutes les catégories de déchets radioactifs disposeront d'un exutoire.

D'autre part, la loi donne un cadre législatif au démantèlement des installations nucléaires et, en particulier, à la question des provisions financières sécurisées constituées par les exploitants pour que le montant de 68 milliards d'euros, aujourd'hui jugé nécessaire, soit disponible. Le Parlement participera au contrôle de ces provisions financières et de leur sanctuarisation dans les comptes des entreprises.

Enfin, le texte de la loi renforce l'accompagnement socio-économique des territoires concernés par un éventuel stockage. La loi renforce ainsi les groupements d'intérêt public de développement local, déjà créés en Meuse et en Haute-Marne ; elle vise à mieux impliquer les industriels du nucléaire dans des projets industriels locaux et conforte le statut du Comité local d'information et de suivi (CLIS).

Au-delà de ses missions industrielles de gestion des déchets radioactifs, de ses missions de recherche, et de ses missions d'information et de diffusion des connaissances, les principales évolutions des missions de l'Andra concernent :

- le pilotage des recherches sur l'entreposage ;
- l'évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre de solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs, qui serviront de base aux calculs des provisions des producteurs ;
- le conditionnement des déchets pour lequel l'Andra pourra donner son avis ;
- la prise en charge des déchets et des sites pollués orphelins (mission de service public).

LES ENJEUX DES DIX ANNÉES À VENIR

La loi de programme du 28 juin 2006 précise le cadre et les objectifs en matière de gestion des déchets radioactifs pour les années à venir. La prochaine étape importante pour les déchets de moyenne et haute activité et à vie longue est celle de la demande d'autorisation de création d'un stockage géologique en 2015.

La demande d'autorisation implique l'identification d'un site et la définition d'un concept et d'une architecture de stockage satisfaisant aux exigences de sûreté et de réversibilité. Les efforts des dix années à venir seront consacrés à réunir l'ensemble des éléments permettant de convaincre. Ils nécessiteront la mobilisation de tous pour apporter les réponses techniques, sociales et politiques.

L'identification d'un site exige, d'une part, des caractéristiques géologiques adaptées aux exigences du stockage et, de l'autre, son acceptation par les populations locales. Dans le cadre du Dossier 2005 Argile, une zone de transposition de 200 km² a été identifiée. Elle correspond à la zone à l'intérieur de laquelle les caractéristiques géologiques sont similaires à celles rencontrées sur le site de Meuse/Haute-Marne, notamment reconnues depuis le laboratoire souterrain de Bure. C'est à l'intérieur de cette zone que l'ASN a recommandé la recherche d'un périmètre propice pour le stockage. Il reviendra à l'Andra de poursuivre les travaux de reconnaissance de plus en plus fins sur la zone de transposition, notamment à partir de profils sismiques en 2D, puis, à une échelle plus restreinte, de relevés en sismique 3D, ainsi que par de nouveaux forages de reconnaissance destinés à enrichir l'information géologique de la zone.

Sur le plan de la politique des territoires, la perspective d'implantation de stockage ne peut s'inscrire que dans le cadre d'un projet concerté avec les représentants des collectivités, de l'Etat et du monde industriel, et prévoyant notamment le développement économique autour du site envisagé. L'accompagnement au développement de territoire a été prévu dans le cadre de la loi du 28 juin 2006. L'année 2007 devrait être marquée par une intense activité d'échanges et d'élaboration de projets de territoires destinés à apporter localement à la fois l'activité économique et les valeurs sociales favorisant l'acceptation de la création d'un stockage. La filière électronucléaire se mobilise pour stimuler le développement de l'activité sur les territoires du site de Meuse/Haute-Marne, avec des perspectives annoncées d'implantations porteuses d'emplois locaux. Les aménagements et infrastructures locales et régionales devraient également connaître un nouveau développement sous l'impulsion du groupement d'intérêt public mis en place à cet effet, et doté d'un financement par une taxe additionnelle due par les exploitants d'installations nucléaires de base.

Parmi les valeurs sociales qui pourront soutenir l'implantation locale, le haut niveau scientifique et de technicité d'un stockage géologique devrait fournir l'opportunité de développer une vitrine internationale. Une large gamme d'initiatives permettant de valoriser la proximité du laboratoire souterrain, puis du stockage, peut être envisagée par les différents intervenants : circuit de tourisme industriel, centre d'information, musée des sciences et techniques, pôle de formation, ou encore très grand équipement scientifique. Elles sont toutes susceptibles de contribuer à la promotion socia-

le des populations, renforçant le sentiment de fierté d'appartenance à une communauté à la pointe des connaissances ; elles peuvent aussi largement contribuer au rayonnement de la région et au développement de son économie.

Tous ces arguments alimenteront le dialogue avec les collectivités pour parvenir à un choix de site. Cependant, un certain nombre de garanties devra pouvoir être apporté aux populations pour instaurer la confiance. La garantie la plus importante sera celle de la sûreté du stockage. Elle se décline sous différents aspects qui sont pris en compte par le concept même du stockage, son architecture et ses modalités d'exploitation.

De la faisabilité du stockage : sûreté et réversibilité

L'architecture du stockage, encore au stade de la faisabilité, est envisagée selon un développement horizontal au milieu de la formation du Callovo-Oxfordien, aux environs de 500 m de profondeur. Elle permet le stockage des différents types de déchets de moyenne et haute activité et à vie longue, à l'intérieur d'ouvrages adaptés aux caractéristiques, notamment thermiques, de chacun d'entre eux. L'organisation des puits et galeries d'accès, des cellules ou cavités de stockage, leur géométrie et le choix des matériaux de construction ont été guidés par les critères de sûreté, l'objectif étant d'assurer le plus grand retard possible au relâchement des radionucléides contenus dans les déchets, et la rétention la plus efficace possible à l'intérieur des ouvrages et de la formation du Callovo-Oxfordien.

Les ouvrages ont été conçus de manière à pouvoir assurer la réversibilité, c'est-à-dire de laisser la possibilité de reprendre les déchets, conformément à la demande du Gouvernement en 1998. Il a été montré que cette possibilité pouvait être assurée au-delà d'une centaine d'années, sans que les conditions de la sûreté à long terme ne soient altérées. Une approche progressive de fermeture des ouvrages a été conçue, laissant ainsi à la société la possibilité de décisions pas à pas, et à l'exploitant celle de revenir à l'état antérieur. Ainsi, en cas d'anomalie ou d'écart notoire de comportement du stockage par rapport à l'évolution prévue, la reprise de colis de déchets ou l'adaptation des ouvrages reste possible.

Une connaissance aussi fine que possible des différents phénomènes physico-chimiques affectant l'évolution du stockage est développée depuis de nombreuses années pour évaluer la sûreté aux différents horizons de temps. Cette connaissance est à la base de l'étude des moyens d'observation et de surveillance du stockage et de l'environnement, fondement technique à toute prise de décision en matière de fermeture du stockage et de réversibilité.

La conception du stockage et l'accumulation de connaissances s'inscrivent dans un processus itératif avec l'évaluation de sûreté du stockage, dont la

démonstration reste l'élément essentiel de la confiance. Des garanties complémentaires sont apportées aux populations et aux collectivités locales en assurant la surveillance de l'évolution du stockage et la réversibilité. Cependant, ces garanties à caractère technique n'ont de sens que dans la mesure où elles sont aussi supportées par la collectivité nationale dont le rôle aura été déterminant dans la prise de décision de réalisation du stockage. Le processus décrit par la loi du 28 juin 2006 prévoit l'intervention politique à travers, d'une part, un débat public et, de l'autre, les décisions relatives à la réversibilité et à la fermeture du stockage par la représentation nationale.

En instaurant un débat public préalablement au dépôt de demande d'autorisation de création d'un stockage géologique, une nouvelle opportunité est fournie à chacun d'exprimer ses commentaires, suggestions ou recommandations, à la lumière de l'ensemble des connaissances qui seront mises à disposition par l'Andra. L'objectif est de pouvoir assurer collectivement les conditions d'une gestion sûre et efficace pour les générations actuelles, prochaines et sur le très long terme (centaines de milliers d'années). La planification actuelle des investigations prévoit le déroulement du débat public fin 2012 - début 2013.

Privilégiant une approche progressive, le Parlement a souhaité être à nouveau consulté avant toute décision d'autorisation par le Gouvernement. Deux points de contrôle ont été institués. Le premier est destiné à fixer les conditions de la réversibilité du stockage, préalablement à toute autorisation de création du stockage. Selon le calendrier fixé par la loi du 28 juin 2006, la loi correspondante devrait être votée après le dépôt de la demande d'autorisation de création du centre de stockage, soit en 2016. Ensuite, à l'issue de la phase d'exploitation, prévue pour s'étendre sur plusieurs décennies, la fermeture définitive ne pourra à nouveau être prononcée qu'après le vote d'une nouvelle loi. L'observation et la surveillance du comportement des ouvrages et des colis durant toutes ces décennies fourniront alors l'information technique sur laquelle pourra se fonder cette décision.

UNE MISSION INDUSTRIELLE ET DE RECHERCHE, MAIS AUSSI D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION

A coté de l'enjeu le plus visible de la gestion des déchets radioactifs, ceux de haute activité et à vie longue, l'Andra poursuit sans relâche l'accueil des déchets à très faible activité sur le site de Morvilliers et des déchets à faible et moyenne activité et à vie courte sur le Centre de stockage de l'Aube. Les procédures d'exploitation s'inscrivent dans un cadre d'amélioration continue, conformément au processus de qualité en œuvre à l'Andra. De nombreuses études accompagnent l'exploitation des centres afin d'évaluer les conditions d'accep-

tabilité de colis de déchets atypiques, non pris en compte lors de la conception. Ce fut notamment le cas, ces dernières années, pour les couvercles de cuves des réacteurs des centrales EDF. C'est également le cas des modélisations de sûreté, constamment mises à jour à partir des données sur les colis réceptionnés et stockés, et de celles issues de la surveillance des centres et de leur environnement.

Le Centre de stockage de la Manche, fermé depuis maintenant plus de dix ans, fait aussi l'objet d'une attention particulière. A la surveillance de l'environnement s'ajoute aussi celle des ouvrages de couverture dont l'objet est de réduire au maximum les infiltrations d'eaux météoriques à travers les ouvrages de stockage. Des réévaluations périodiques de la sûreté sont également menées sur le centre.

Le prochain ouvrage à devoir être mis en service sera celui du stockage des déchets radifères et graphites. La recherche de site, la conception et la construction devront être menées afin de permettre l'accueil des premiers déchets dès 2013.

La qualité de réalisation et d'exploitation des ouvrages de surface représente une vitrine essentielle pour l'Andra. Elle est de nature à renforcer la confiance pour les projets plus ambitieux de stockage géologique. L'information et la communication, mission explicite de l'Andra à côté de la mission industrielle et de celle de

recherche, a accompagné de tous temps les projets de l'Agence. Leurs dimensions multiples, scientifiques, techniques, sociales et politiques, nécessitent d'être exposées, expliquées, débattues, aussi bien localement autour de chacun des sites, qu'au plan national où les décisions concernent chaque citoyen consommateur d'électricité ou de services faisant appel à la matière radioactive. L'effort de communication, de formation et de diffusion de la culture scientifique et technologique en matière de gestion des déchets radioactifs, ainsi que celui de diffusion à l'étranger de son savoir-faire sont également demandés par la loi du 28 juin 2006. Ce sont là des conditions nécessaires à la réussite des nouveaux projets, grâce au partage et à l'appropriation des approches de l'Andra par tous ceux qui, à un titre ou à un autre, seront susceptibles d'émettre un avis.

RÉFÉRENCE

[1] Sûreté du stockage géologique de déchets radioactifs HAVL en France. Examen international par des pairs du «Dossier 2005 Argile» concernant le stockage dans la formation du Callovo-Oxfordien, Agence pour l'énergie nucléaire, OCDE, 2006. <http://www.nea.fr/html/rwm/reports/2006/nea6179-havl.pdf>.

La R&D sur les filières nucléaires actuelles et futures : enjeux et perspectives

ENJEUX D'AVENIR
DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

Indépendance énergétique et défense, impératifs économiques et exigences renforcées en matière de sûreté, adaptation aux critères du développement durable enfin : l'évolution technologique des filières nucléaires a été dictée par le contexte politique, économique et sociétal. Aujourd'hui, la R&D nucléaire répond à deux types d'objectifs : optimiser le fonctionnement et la durée de vie des centrales de 2^e génération et mener les études nécessaires au développement des réacteurs à eau de 3^e génération pour les vingt à trente prochaines années ; pour le plus long terme, élaborer les systèmes nucléaires de 4^e génération qui répondront mieux aux exigences d'un développement durable à l'horizon 2040. L'un des principaux enjeux : garder à notre industrie nucléaire sa place de *leader* sur la scène internationale, ce qui appelle à optimiser la coopération entre partenaires français de la recherche et de l'industrie comme à démultiplier l'effort national par la coopération internationale.

Par **Philippe PRADEL**, Directeur de l'Énergie nucléaire, Commissariat à l'énergie atomique

L'évolution des filières nucléaires depuis la fin des années 1940 a été déterminée par des impératifs politiques – indépendance énergétique, défense. Elle a été aussi marquée par l'évolution des attentes de la société, intégrant d'abord des impératifs d'économie (dans le passage de la filière graphite-gaz à celle des réacteurs à eau légère) puis, après Tchernobyl en 1986, des exigences renforcées en matière de sûreté. Enfin, on note aujourd'hui dans les objectifs de la R&D sur la « 4^e génération » une meilleure adaptation aux critères du développement durable, notamment une utilisation optimisée des ressources – produire 50 fois

plus d'électricité avec la même quantité d'uranium – et une réduction de la quantité et de la toxicité des déchets ultimes.

Parallèlement au nucléaire de fission sont menées des recherches sur la fusion thermonucléaire, notamment avec le projet international ITER qui sera accueilli sur le centre de Cadarache. Ces recherches sur la fusion sont à un stade de développement encore très éloigné du prototype industriel et de la production d'électricité et peuvent être considérées davantage comme de la recherche fondamentale que comme de la recherche et développement sur une filière.

A l'heure actuelle, sur le plan industriel, coexistent trois «générations» de réacteurs de fission (voir la figure 1 présentant le calendrier des générations nucléaires). Les réacteurs de première génération sont pour l'essentiel arrêtés, et leur démantèlement tel que pratiqué en France est une exigence de la renaissance du nucléaire. Les réacteurs à eau composent la 2^e génération – réacteurs à eau pressurisée, réacteurs à eau bouillante, réacteurs à eau lourde et une dizaine de «RBMK» de conception soviétique encore en activité en Russie. Quelques réacteurs de génération 3 sont actuellement en construction (EPR ou *European Pressurized Reactor*, en construction en Finlande sur le site d'Olkiluoto et en France à Flamanville, avec une technologie dite «évolutionnaire» par rapport à la 2^e génération, intégrant notamment des dispositifs de sûreté encore renforcés). Ils formeront, à terme, la plus grande part du parc mondial. S'y ajoutent, enfin, quelques réacteurs rapides prototypes refroidis au sodium : Phenix en France, BOR 60 et BN 600 en Russie, Monju et Joyo au Japon.

OPTIMISER LE FONCTIONNEMENT DES FILIÈRES EXISTANTES ET DÉVELOPPER LE NUCLÉAIRE DU FUTUR

La R&D nucléaire aujourd'hui répond à deux types d'objectifs.

Il s'agit, d'une part, à court et moyen termes, d'optimiser le fonctionnement et la durée de vie des centrales de 2^e génération composant l'essentiel du parc existant, et de mener les études nécessaires au développement des réacteurs à eau de 3^e génération qui vont se construire dans les vingt à trente prochaines années.

Il s'agit, d'autre part, pour le plus long terme, d'élaborer les systèmes nucléaires de 4^e génération dont l'horizon d'industrialisation se situe autour de 2040 et qui répondront mieux aux exigences d'un développement durable. En effet, la satisfaction du cahier des charges pour de tels systèmes nucléaires, qui a été élaboré par le Forum International Génération IV lancé en 2000 par les Etats-Unis et auquel la France est associée ainsi que douze autres grands pays nucléaires, suppose de lever certains verrous technologiques, notamment relatifs aux matériaux et aux combustibles, et cela ne semble pas envisageable avant ces échéances. Il y a donc place entre aujourd'hui et 2040/2050 pour le développement de réacteurs de 3^e génération qui se situent en continuité par rapport aux réacteurs actuels mais incorporent de sensibles améliorations en matière de sûreté et d'économie.

Les recherches d'innovation sur les réacteurs à eau

L'utilisation de réacteurs à eau devrait rester majoritaire sur le XXI^e siècle, ce qui justifie la poursuite d'un effort

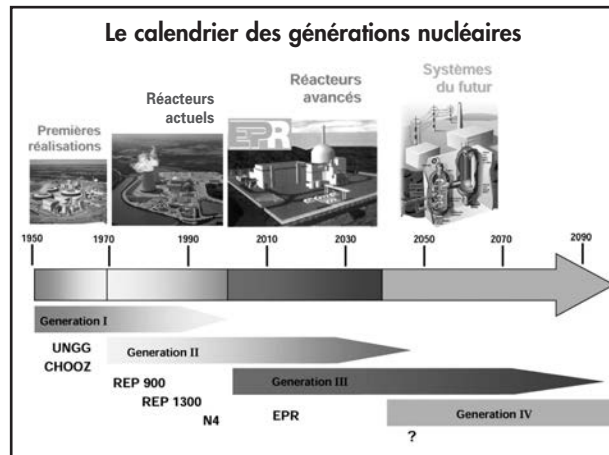


Figure 1 – Schéma des quatre générations de réacteurs.

de R&D pour en améliorer les performances dans un contexte de déploiement dynamique pouvant conduire à 1 500 GWe installés en 2050. En effet, les réacteurs de 3^e génération introduits dans les prochaines décennies et conçus pour une durée de vie de 60 ans devraient rester en exploitation jusqu'à la fin du siècle. Les études et recherches d'innovation sur ces réacteurs ont donc pour objet de continuer à en améliorer la compétitivité économique et l'utilisation du combustible, ainsi que d'étudier les modes de recyclage des matières nucléaires produites par ces réacteurs dans les réacteurs de 4^e génération à neutrons rapides lorsqu'ils seront déployés à échelle industrielle.

La compétitivité des réacteurs à eau légère repose à la fois sur la maîtrise de leurs coûts d'investissement et d'exploitation, ainsi que sur leur disponibilité. Les principaux objectifs d'innovation qui en résultent portent sur :

- l'amélioration des marges d'exploitation des combustibles actuels ;
- l'augmentation des taux de combustion à court terme (> 60 GWj/t) ;
- une meilleure utilisation de l'uranium et une disponibilité accrue du réacteur ;
- une amélioration de la robustesse du combustible en situation accidentelle.

Les recherches portent également sur des évolutions de l'architecture des chaudières de réacteurs à eau pressurisée ou bouillante (REP ou REB) susceptibles de réduire leurs coûts d'investissement et de maintenance, voire d'améliorer aussi leur rendement et leur disponibilité.

Cette R&D sur les réacteurs à eau est menée en partenariat étroit avec les industriels et l'exploitant électrique.

UN EFFORT INTERNATIONAL VERS UNE QUATRIÈME GÉNÉRATION DE RÉACTEURS NUCLÉAIRES

Compte tenu de la contribution décisive que peut apporter l'énergie nucléaire dans le contexte planétaire,

au titre duquel comptent tout particulièrement les choix faits en faveur de cette énergie par la Chine et l'Inde, qui représentent 30 % de la population mondiale, plusieurs cadres de réflexion ont entrepris de définir les systèmes nucléaires qui pourraient être déployés dans le monde vers 2040 et contribuer à une couverture significative des besoins en énergie. Parmi ceux-ci, le cadre le plus dynamique s'est révélé être le Forum international Génération IV qui a été lancé en 2000 par le ministère américain de l'Énergie (DOE). Ce forum comprend aujourd'hui douze pays membres plus Euratom, et la France y apporte depuis le début une contribution très active.

A l'issue de la première phase de ses travaux (2000-2002), le Forum Génération IV a publié un rapport d'orientation sur les technologies jugées les plus prometteuses pour les prochaines décennies. Ce rapport a souligné en premier lieu le caractère essentiel du recyclage du combustible dans une stratégie de déploiement de réacteurs à neutrons rapides de 4^e génération, dans la mesure où il permet de tirer pleinement parti de leurs potentialités d'utilisation optimale des matières fertiles (uranium) et fissiles (plutonium) pour la production d'énergie. Il ouvre également la voie à un recyclage associant également les actinides mineurs (neptunium, américium, curium) pour les brûler et les soustraire ainsi au conditionnement des déchets ultimes dont ils constituent actuellement l'essentiel de la radiotoxicité et de la chaleur à long terme. Il a, en cohérence avec cette orientation, retenu six systèmes nucléaires comme porteurs d'avancées notables en matière de compétitivité économique, de sûreté, de réduction des déchets radioactifs à vie longue, d'économie des ressources en uranium, ainsi que de résistance à la prolifération et à la malveillance :

- **SFR** (*Sodium-Cooled Fast Reactor System*) : réacteur rapide refroidi au sodium avec recyclage du combustible ;
- **GFR** (*Gas-Cooled Fast Reactor System*) : réacteur rapide refroidi au gaz avec recyclage du combustible ;
- **VHTR** (*Very High Temperature Reactor System*) : réacteur à neutrons thermiques et à très haute température (950 à 1 000°C) refroidi à l'hélium, dédié à la production d'hydrogène, et envisagé initialement sans recyclage du combustible ;
- **SCWR** (*Supercritical Water-Cooled Reactor System*) : réacteur refroidi à l'eau supercritique, à spectre neutronique thermique ou rapide, et recyclage du combustible ;
- **LFR** (*Lead-Cooled Fast Reactor System*) : réacteur rapide refroidi au plomb ou au plomb-bismuth avec recyclage du combustible ;
- **MSR** (*Molten Salt Reactor System*) : réacteur à neutrons thermiques à sels fondus avec recyclage du combustible.

La stratégie française de recherche et développement sur les systèmes nucléaires du futur s'inscrit à la fois dans une perspective de renouvellement du parc électronucléaire français et d'accompagnement de la straté-

gie d'Areva en matière de développement de filière spécifique pour le marché de la chaleur industrielle à haute température et la production d'hydrogène. Elle se structure selon deux axes :

- une recherche prioritaire sur les systèmes à neutrons rapides avec recyclage du combustible (réacteurs rapides à caloporteur sodium ou gaz) ;
- une recherche à un niveau inférieur, mais significatif, pour développer, en coopération étroite avec les partenaires industriels, les technologies clés pour la fourniture de chaleur à très haute température pour l'industrie et la production nucléaire d'hydrogène (réacteurs à gaz à très haute température à neutrons thermiques ou rapides, et procédés de décomposition de l'eau).

Les systèmes à neutrons rapides : Sodium Fast Reactor, Gas Fast Reactor

Le *système à neutrons rapides refroidi au sodium* (*Sodium Fast Reactor, SFR*) bénéficie pour le réacteur d'une expérience industrielle importante avec le retour d'expérience de Phenix et de Superphenix. Les partenaires français visent à utiliser au mieux cette expérience et l'effort de R&D qu'ils peuvent mobiliser sur cet objectif pour orienter les recherches d'innovations et définir les objectifs d'un démonstrateur international à l'horizon 2015/2020.

Dans ce cadre, la priorité est donnée :

- aux études de conception pour simplifier le système et réduire son coût d'investissement ;
- à une meilleure prévention des accidents graves et des risques de criticité associés ;
- au développement de procédés du cycle permettant la cogestion au moins de l'uranium et du plutonium pour une résistance accrue aux risques de prolifération, voire la cogestion de tous les actinides (U, Pu et actinides mineurs) pour un recyclage intégral de tous les actinides.

Les différents types de réacteur de troisième génération...

- **Réacteurs avancés à eau pressurisée**
AP 600, AP 1000, APR1400, APWR+, EPR
- **Réacteurs avancés à eau bouillante**
ABWR II, ESBWR, HC-BWR, SWR-1000
- **Réacteur avancé à eau lourde**
ACR-700 (Advanced CANDU Reactor 700)
- **Réacteurs intégrés de petites et moyennes puissances**
CAREM, IMR, IRSI, SMART
- **Réacteurs modulaires, haute température, à gaz**
GT-MHR, PBMR

Figure 2 – Les différents types de réacteurs de 3^e génération.

Une coopération bilatérale active avec la Russie vient renforcer les échanges sur ces thèmes dans le cadre du Forum Génération IV, principalement avec le Japon, les Etats-Unis et la Corée du Sud.

Les besoins en irradiation aux neutrons rapides pour les matériaux et combustibles, en particulier pour le développement des combustibles transuraniens, ne pourront être satisfaits, après l'arrêt du réacteur Phénix en 2009, que par l'utilisation des réacteurs Joyo et Monju au Japon, ou Bor-60 et BN-600 en Russie.

Le *système à neutrons rapides refroidi au gaz (Gas Fast Reactor, GFR)* est en revanche un système très innovant qui associe neutrons rapides et haute température, pour lequel aucun démonstrateur n'a encore été construit. Sa faisabilité repose essentiellement sur la levée de quelques verrous technologiques et démonstrations de sûreté spécifiques dont les principaux concernent :

- le combustible dont la technologie vise à transposer aux neutrons rapides les fonctionnalités du concept de combustible HTR à particule (confinement des produits de fission, résistance aux très hautes températures, conduction de la chaleur, matériaux de gainage...);
- le développement de matériaux de structure pour le cœur résistant à la fois à la haute température et aux dommages par les neutrons rapides;
- une gestion robuste des situations accidentelles, et en particulier de l'accident de dépressurisation, avec des systèmes actifs ou semi-passifs à court terme, et des systèmes passifs utilisant la convection naturelle à moyen terme;
- le cycle du combustible, un volet de R&D comportant un tronc commun important avec celle des cycles pour les autres systèmes à neutrons rapides du Forum Génération IV (SFR, LFR et SCWR);

Ils concernent également, en tronc commun avec la R&D pour le réacteur à très haute température (VHTR) :

- la technologie des circuits d'hélium à très haute température et des composants tels que les échangeurs (fabrication, performances et tenues en service...);
- la technologie du système de conversion par turbine à gaz pour la production d'électricité (en cas de conversion en cycle direct).

Une fois établie la faisabilité du combustible, le plan de développement du GFR prévoit de tester les principes et technologies spécifiques du système dans un réacteur d'étude et de développement technologique (REDT) de 30-50 MW, appelé à démarrer vers 2017.

Le combustible GFR, tant pour sa technologie que pour les procédés de fabrication, fait l'objet d'une coopération active dans le cadre du Laboratoire des composites thermostrostructuraux (Unité mixte CNRS, CEA, Snecma et Université Bordeaux 1). Une autre coopération se met en place entre le CEA et le CNRS sur le développement de matériaux résistants à haute température pour le combustible et les matériaux du cœur GFR, ainsi que sur des céramiques plastiques pour les structures (hors cœur) du GFR et du VHTR (*Very High Temperature Reactor*) – dans le cadre de

coopération bilatérale CEA/CNRS et dans celui du groupement de recherche Gedépéon. Les travaux sur le GFR bénéficient également d'une action spécifique (GCFR) dans le cadre des 5^e et 6^e programmes de R&D européens. Ces travaux viennent renforcer la coopération sur le GFR dans le cadre du Forum Génération IV, principalement avec les Etats-Unis, le Japon et Euratom.

Les systèmes à très haute température (*Very High Temperature Reactor*)

La production d'hydrogène par électrolyse à haute température ou cycle thermo-chimique (iode/soufre ou hybride soufre/électrolyse), de même que la fourniture de chaleur à très haute température pour l'industrie, constituent un second axe de R&D pour satisfaire les besoins en énergie autres que la production d'électricité. Cet objectif est celui des réacteurs à très haute température (VHTR) avec caloporteur hélium qui visent une température en sortie du cœur d'au moins 950°C. Au-delà du développement de technologies clés pour étendre les applications du nucléaire à la production d'hydrogène, le CEA entend également tirer le meilleur parti de la R&D sur les réacteurs à très haute température à neutrons thermiques comme ressource en tronc commun pour les systèmes rapides à caloporteur gaz (notamment pour ce qui est des matériaux et de la technologie des circuits hélium, des systèmes de conversion et de production d'hydrogène, et du système de calcul), ce qui permet, dans un premier temps, de limiter la R&D spécifique de ces systèmes au développement du combustible qui en constitue le principal verrou technologique, ainsi qu'aux démonstrations de sûreté. En retour, les réacteurs rapides à caloporteur gaz, qui allient haute température et neutrons rapides, donnent une perspective durable aux applications du VHTR (dont la production d'hydrogène) au-delà du XXI^e siècle.

LA R&D SUR LE CYCLE : VERS UN RECYCLAGE INTÉGRAL DES ACTINIDES

La R&D sur le traitement-recyclage menée en France et industrialisée avec le procédé mis en œuvre à La Hague permet d'ores et déjà de recycler 96 % du combustible usé, de réaliser une économie de 30 % sur les ressources naturelles, de diviser par cinq le volume des déchets et par dix leur radiotoxicité. Les Etats-Unis, qui avaient fait le choix du cycle ouvert, ont d'ailleurs reconnu, début 2006, l'intérêt du cycle fermé dans une perspective de développement important de l'énergie nucléaire. Certains pays développent aujourd'hui activement leur parc et pourraient souhaiter disposer à terme de la technologie de traitement-recyclage. Pour

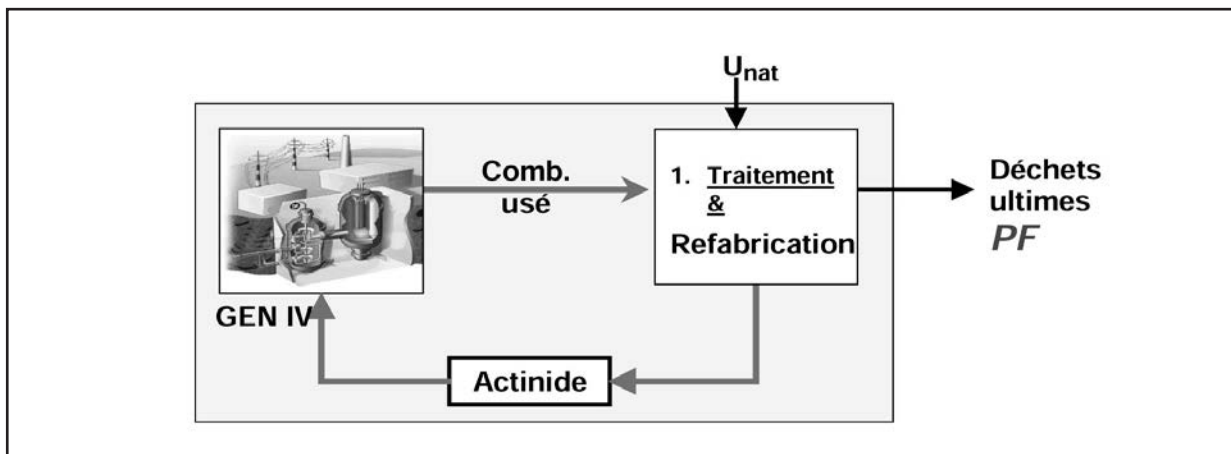


Figure 3 – Le cycle du combustible des systèmes à neutrons rapides de 4^e génération.

permettre à la France d'être présente sur de tels marchés le moment venu, des études sont menées, dans le cadre d'une coopération CEA-AREVA, pour adapter le procédé PUREX, aujourd'hui exploité à La Hague, et concevoir un nouveau procédé dit de troisième génération. Il permettrait en particulier de ne pas conduire à l'extraction de plutonium séparé, pour répondre à de nouveaux standards en matière de non-prolifération. Le procédé en question (COEX) vise ainsi à maintenir le plutonium en mélange avec l'uranium à toutes les étapes du procédé de traitement (séparation des produits de fission, conversion en oxyde, refabrication du combustible) et à améliorer la compétitivité économique du traitement recyclage.

Les recherches sur ce procédé ont démarré en 2006 par l'établissement d'un schéma de référence à l'aide des codes de simulation développés par le CEA et aux premières vérifications expérimentales en laboratoire. En 2007, un essai de démonstration sur combustible réel sera conduit dans l'installation Atalante du CEA à Marcoule. En parallèle, des développements spécifiques d'appareillages ont été lancés pour s'adapter aux capacités futures qui seront requises. Le programme comprend également l'évaluation de l'impact de ce nouveau procédé sur le combustible MOX pour vérifier qu'il ne modifie pas les conditions de fonctionnement en réacteur vis-à-vis des critères fixés par les Autorités de sûreté.

Si la faisabilité scientifique du procédé est acquise, il reste encore des développements technologiques à réaliser, l'objectif étant d'avoir, à l'horizon 2008-2010, un dossier démontrant sa faisabilité industrielle.

Au-delà des recherches sur ce retraitement de troisième génération, l'option future de recyclage intégral de tous les actinides – traitement de 4^e génération – dans les systèmes à neutrons rapides, décrit en figure 3 (uranium, plutonium et actinides mineurs), fait appel à de nouveaux procédés pour le traitement des combustibles usés et la re-fabrication des combustibles à recycler.

Des démonstrations à trois (France, Japon, Etats-Unis) constitueront une plate-forme internationale d'expéri-

mentation de tous les procédés impliqués dans le recyclage intégral du combustible dans les RNR sodium (avec un large tronc commun de ces démonstrations valable également pour d'autres systèmes à neutrons rapides). Cette plate-forme devrait également contribuer à harmoniser la vision, au plan international, d'une gestion globale et optimisée des actinides, ainsi que des procédés à mettre en œuvre. Elle servira également à sélectionner les procédés de séparation et de conversion qui seront mis en œuvre dans l'usine de traitement des combustibles usés qui succédera vers 2040 à l'usine actuelle de La Hague.

La disponibilité en France vers 2040 à la fois de réacteurs à neutrons rapides (conforme au choix de technologie fait vers 2015/2020) et d'un procédé de traitement des combustibles usés permettant de séparer les actinides mineurs permet d'envisager la mise en œuvre d'une stratégie de transmutation industrielle adossée au renouvellement des installations industrielles pour la production électronucléaire : réacteurs à neutrons rapides et renouvellement de l'usine de traitement de La Hague. Cette approche permet à la fois d'optimiser l'utilisation des installations actuelles et de tirer parti de leur remplacement pour changer de procédés et de technologies.

Un scénario de référence, présenté en figure 4, prévoit simultanément vers 2040 le déploiement de systèmes à neutrons rapides dans le parc français (à caloporteur sodium ou gaz) et la mise en service d'une nouvelle usine de traitement des combustibles usés remplaçant l'usine de La Hague. Ce scénario laisse ouvertes les options d'un recyclage de l'uranium et du plutonium seuls ou d'un recyclage intégral des actinides (U-Pu-AM), selon les objectifs de progrès visés sur la qualité des déchets ultimes et l'optimisation technico-économique globale de l'aval du cycle.

Les résultats scientifiques et techniques obtenus dans le cadre des recherches sur la séparation et la transmutation, et les opportunités offertes par le renouvellement des installations nucléaires permettent d'envisager une stratégie de transmutation progressive, adaptable aux conditions de déploiement de systèmes à neutrons

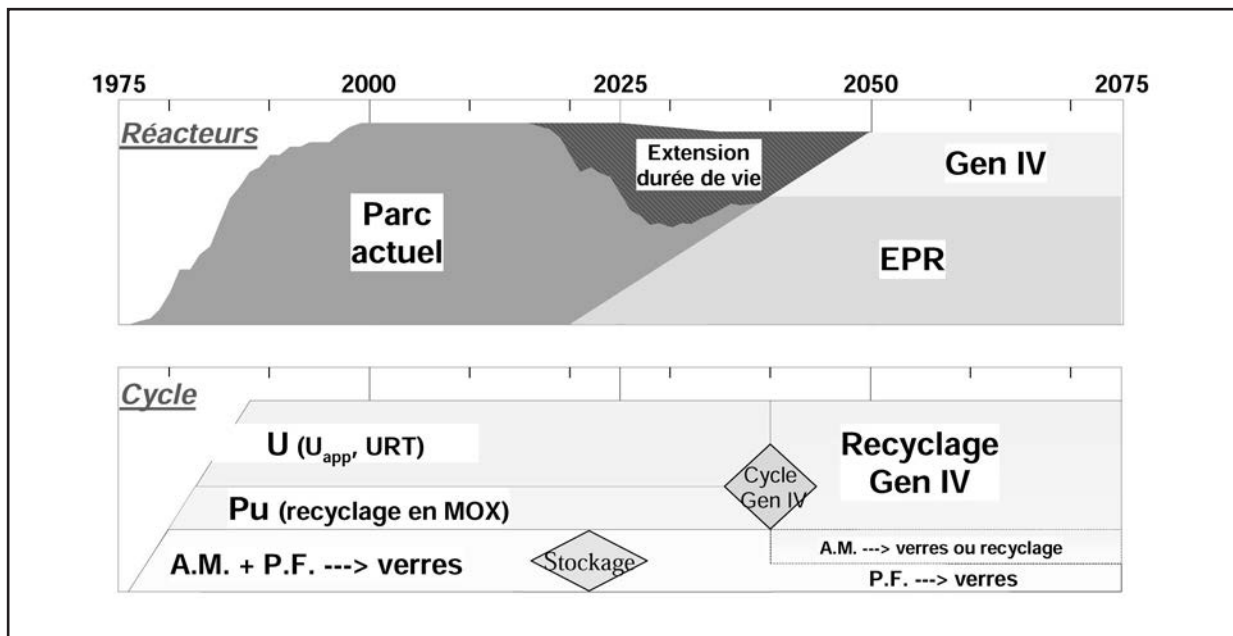


Figure 4 – Scénario de renouvellement du parc électronucléaire français et de l'usine de traitement de La Hague.

rapides dans le parc français, et préservant la possibilité, si elle est compatible avec l'optimisation technico-économique globale du cycle, d'un recyclage intégral des actinides capable de réduire radicalement la radio-toxicité potentielle et la thermique des déchets ultimes, ainsi que de rendre le cycle du combustible plus résistant aux risques de prolifération.

POUR LE TRÈS LONG TERME, LA RECHERCHE SUR LA FUSION NUCLÉAIRE CONTRÔLÉE : LE PROJET ITER

L'énergie de fusion est potentiellement une des sources d'énergie primaire les plus intéressantes : elle ne pose pas de problèmes de réserves, ne produit pas de déchets radioactifs de longue durée et hautement actifs ; comme la fission elle ne produit pas de CO₂, et, enfin, un réacteur de fusion est intrinsèquement sûr. Mais la réalisation de prototypes industriels de réacteurs de fusion est encore confrontée à des défis technologiques majeurs qui nécessiteront une R&D intensive avant d'arriver au stade de construction d'installations de production d'électricité.

Le projet international ITER de réacteur expérimental de fusion nucléaire a pour but de faire la démonstration scientifique et technique qu'il est possible d'utiliser la fusion pour produire de l'énergie. Les partenaires engagés dans ce projet sont l'Union européenne, les États-Unis, la Russie, le Japon, la Chine, l'Inde et la Corée du Sud.

L'installation qui sera construite sur le site CEA de Cadarache sera de type « tokamak ». Elle permettra d'effectuer en configuration réaliste la recherche encore nécessaire sur les matériaux et le fonctionnement d'un réacteur de fusion.

Le réacteur ITER, dont le coût d'investissement prévisionnel a été évalué à 4,6 milliards d'euros de l'année 2000, aura une durée de construction de douze ans et devrait être exploité une vingtaine d'années.

Si les résultats engrangés et les études de matériaux menées en parallèle confirment les possibilités scientifique et technologique d'utiliser la fusion nucléaire pour la production d'énergie, un prototype industriel de réacteur de production, étudié en parallèle à l'exploitation d'ITER, pourrait ensuite être construit.

Dans un contexte de forte croissance de la demande d'énergies non émettrices de CO₂, les réacteurs de fusion éventuels (à partir de la fin du XXI^e siècle) ne rendraient pas caducs ceux de fission mais en seraient un complément.

LA DIMENSION EUROPÉENNE

En matière de production électronucléaire, l'Europe (élargie à la Roumanie et la Bulgarie) exploite aujourd'hui 164 réacteurs représentant 137 GWe installés et contribuant pour 30 % à la production électrique. Le nucléaire industriel a progressivement pris une dimension européenne avec la fusion de Framatome et de Siemens qui a conduit à la création de *Nuclear Power International* (NPI devenu FANP) en 1991, puis avec la publication en 1995 des spécifications des électriciens européens pour les nouveaux réacteurs (*European Utilities Requirements*) et le rapprochement entre Autorités de sûreté française et allemande pour certifier l'EPR, voire entre Autorités de sûreté européennes pour harmoniser les pratiques sur les réacteurs en exploitation et les objectifs de sûreté pour les réacteurs en projet. Le réacteur d'irradiation « Jules Horowitz » et les laboratoires chauds consacrés à la R&D sur les combus-

tibles transuraniens (LEFCA à Cadarache, ITU à Karlsruhe) et les procédés du cycle (Atalante à Marcoule) figurent en bonne place parmi les infrastructures européennes de recherche sur la fission.

Les enjeux d'une coopération active en Europe sur les systèmes nucléaires du futur sont à la fois une meilleure maîtrise des technologies stratégiques pour les systèmes nucléaires susceptibles d'intéresser les pays européens (qui ont exploité plusieurs prototypes de réacteurs à haute température et à neutrons rapides), et un gage de coopération équilibrée avec de grands partenaires tels que les États-Unis et le Japon.

En Europe, l'entrée des pays signataires du traité Euratom comme 11^e membre du Forum Génération IV, en septembre 2003, a induit plusieurs initiatives pour inscrire dans le 7^e PCRD un programme à part entière sur les systèmes du futur, doté d'au moins 50 M€ (part de la Commission). Dès le 6^e PCRD le volet de programme européen sur les systèmes du futur a été organisé de façon à faciliter la correspondance avec les systèmes du Forum Génération IV, et donc les possibilités de coopération *via* le programme européen ou des contributions directes. La proposition d'une plateforme technologique « fission », structurée selon les trois axes de R&D du programme français, est en passe d'être adoptée pour le 7^e PCRD :

- systèmes à neutrons rapides et recyclage pour la relève des réacteurs à eau vers 2040 ;
- systèmes à haute température pour la production d'hydrogène, de carburants de synthèse et de chaleur pour les procédés industriels ;

• R&D stratégique pour étendre la durée de vie des réacteurs actuels et continuer à optimiser les performances des réacteurs de 3^e génération (combustibles, facteur de conversion, chaudière...).

Ces trois axes sous-tendent des besoins en compétences et en infrastructures de recherche dont le renouvellement s'envisage d'emblée à l'échelle européenne (réacteur Jules Horowitz pour les essais de matériaux, laboratoires chauds pour le développement de combustibles transuraniens ou de procédés de traitement des combustibles usés, bancs et boucles d'essais pour la technologie des circuits d'hélium à haute température, procédés et pilotes de production d'hydrogène...). Chacun des axes de R&D de cette plate-forme technologique qui associe des partenaires de la recherche et de l'industrie peut en principe conduire à la réalisation d'un démonstrateur européen (réacteur à neutrons rapides et/ou réacteur à très haute température pour la cogénération d'hydrogène ou de chaleur industrielle) en tirant le meilleur parti de l'expérience acquise sur les prototypes de filières comparables dans les années 1960 à 1980.

POUR UN DÉVELOPPEMENT DES COOPÉRATIONS

Les prévisions de croissance des besoins en énergie à l'échelle mondiale amènent à développer, en coopération internationale, un nucléaire de 4^e génération à même de satisfaire durablement ces besoins. Au-delà

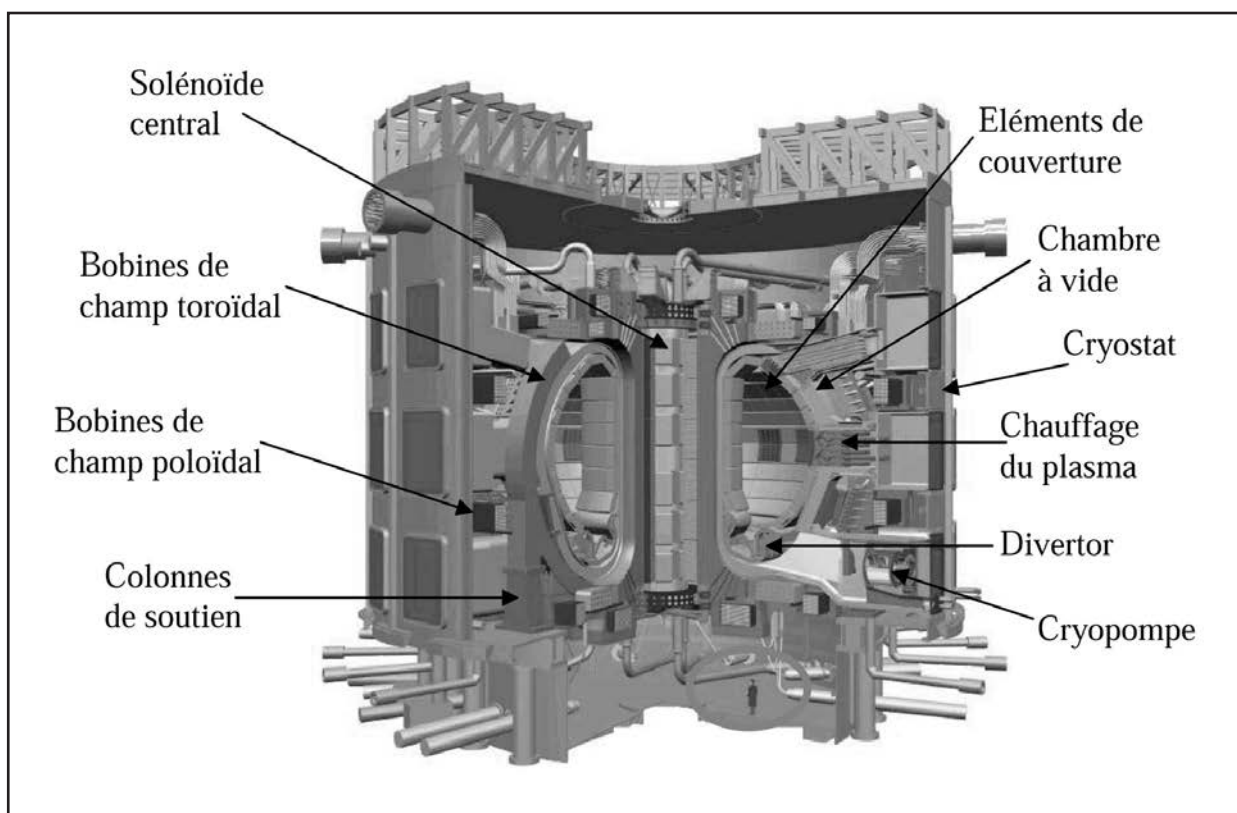


Figure 5 – Schéma de l'installation ITER.

des progrès en continuité avec les générations précédentes en matière de sûreté et de compétitivité économique, les systèmes nucléaires de 4^e génération visent à utiliser de manière optimale leur combustible et minimiser leur production de déchets radioactifs à vie longue. Ils devraient aussi contribuer à répondre à d'autres besoins que la production d'électricité, tels que la production de carburants pour le transport (hydrogène ou hydrocarbures de synthèse), ou la fourniture de chaleur à très haute température pour des procédés industriels (ce qui amène à s'intéresser à des réacteurs à caloporteur hélium avec des températures de 850 à 1 000°C).

L'un des principaux enjeux est de parvenir à investir dans la R&D sur les systèmes nucléaires du futur des

moyens suffisants pour garder à notre industrie nucléaire sa place de *leader* sur la scène internationale. A cette fin, il s'agit à la fois de valoriser l'expérience acquise dans de nouvelles technologies (RNR sodium, procédés pour le cycle du combustible...) et de contribuer largement à leur mise au point pour garder notre avance.

Cet enjeu appelle à optimiser la coopération entre partenaires français de la recherche (CNRS, universités...) et de l'industrie (Areva, EDF...) pour développer les technologies et procédés du futur. Il invite aussi à démultiplier l'effort national par la coopération internationale pour partager les coûts de l'innovation et pour cofinancer des prototypes en France ou en Europe.

L'industrie nucléaire : les grands enjeux pour la France en termes de politiques industrielle, énergétique et environnementale

ENJEUX D'AVENIR
DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

La France figure désormais au 2^e rang des producteurs mondiaux d'électricité nucléaire et au 1^{er} rang en Europe. Grâce à son parc nucléaire, elle dispose de l'un des taux les plus bas d'émission de CO₂ par habitant et par unité de PIB dans l'Union européenne. Enfin, le nucléaire représente un véritable succès industriel : il emploie plus de 110 000 personnes en France et AREVA est devenu l'un des *leaders* mondiaux dans le cycle du combustible nucléaire ainsi que pour la conception et la fabrication de centrales. Les récentes dispositions législatives amènent de nouveaux défis qui contribueront à asseoir durablement l'avance technologique de notre pays : engagement volontariste pour le développement des systèmes nucléaires du futur, rendez-vous parlementaire en 2015 avant l'ouverture d'un centre de stockage en couche géologique profonde, poursuite des travaux de recherche selon des modes de financement sécurisés...

Par **Florence FOUQUET**, Sous-directrice de l'industrie nucléaire au ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie de janvier 2004 à août 2006

Cyrille VINCENT, Sous-directeur de l'industrie nucléaire au ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie depuis septembre 2006

et **Francis IGLÉSIAS**, Chargé de mission à la sous-direction de l'industrie nucléaire au ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie

Le développement du secteur nucléaire en France s'est traduit, au cours des trente dernières années, par un succès reconnu sur le plan industriel et a contribué à la mise en œuvre d'une politique énergétique compétitive, respectueuse de l'environnement et garante de la sécurité de nos approvisionnements.

En raison des spécificités de cette source d'énergie, l'Etat s'est largement impliqué dans son développement et assure encore aujourd'hui la définition des grandes orientations de la politique nucléaire, que ce soit sur les plans économique et technique ou sur les plans de la sûreté et de la radioprotection.

Pour les deux premiers volets et en ce qui concerne plus particulièrement le ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie, la DGEMP assure le suivi d'ensemble des activités du secteur industriel nucléaire. Plusieurs autres services suivent les activités du secteur industriel nucléaire : l'Agence des participations de l'Etat (APE) et la Direction du budget. L'APE et la DGEMP sont représentées au conseil de surveillance d'AREVA, la DGEMP et la direction du budget étant par ailleurs membres du conseil d'administration du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) et de l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

Dans le cadre de ces différentes missions, trois sujets méritent d'être plus particulièrement évoqués : la réorganisation du secteur nucléaire français intervenue au début des années 2000, la détermination des grands projets dans ce secteur et, enfin, l'évolution de la législation, notamment en ce qui concerne la gestion des déchets radioactifs. Avant d'aborder successivement ces trois thématiques, quelques rappels apparaissent nécessaires sur le cadre plus général de la politique énergétique française.

LA POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE DE LA FRANCE

A la suite du premier choc pétrolier de 1973, la France a d'abord privilégié la sécurité de ses approvisionnements sur le long terme. C'est ainsi que fut engagé dès 1974 le programme nucléaire avec le lancement de 16 réacteurs de 900 MWe, ainsi que les premières mesures relatives à la maîtrise de l'énergie. Grâce à cette action vigoureuse, le taux d'indépendance énergétique de la France s'est accru de manière significative au cours de ces dernières années : il est ainsi passé de 22,7 % en 1973 à près de 50 % de nos jours.

La France figure désormais au 2^e rang des producteurs mondiaux d'électricité nucléaire et au 1^{er} rang en Europe. La filière nucléaire produit ainsi près de 80 % de l'électricité consommée annuellement en France. Par ailleurs, la rentabilité du nucléaire est aujourd'hui renforcée dans le contexte actuel marqué par le renchérissement du prix des énergies fossiles.

Au-delà, l'intérêt de cette source d'énergie doit être également évalué à la lumière de la problématique environnementale : par l'intermédiaire de son parc nucléaire, la France dispose aujourd'hui de l'un des taux les plus bas d'émission de CO₂ par habitant et par unité de PIB dans l'Union européenne (de même, parmi les membres de l'OCDE, la France est le 4^e plus faible producteur de CO₂ rapporté au PIB).

Enfin, le nucléaire représente un véritable succès industriel : il emploie aujourd'hui, directement ou indirectement, plus de 110 000 personnes en France. Le groupe AREVA est devenu l'un des *leaders* mondiaux dans le cycle du combustible nucléaire ainsi que pour la conception et la fabrication de centrales ; le groupe réalise plus de la moitié de ses ventes à l'exportation. EDF est également le premier électricien mondial.

Un nouveau contexte énergétique

Dans le contexte actuel de libéralisation des marchés européens de l'énergie, auquel sont venues se greffer les tensions sur le prix des énergies fossiles, les questions énergétiques se posent en termes renouvelés. La France a ainsi engagé, dès 2003, un vaste débat national sur sa politique énergétique qui s'est notamment traduit par la rédaction d'un livre blanc et l'adoption de la loi de programme du 13 juillet 2005. Quatre objectifs de long terme y sont identifiés :

- contribuer à l'indépendance énergétique française et garantir sa sécurité d'approvisionnement ;
- assurer un prix compétitif de l'énergie ;
- préserver la santé humaine et l'environnement, en particulier en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre ;
- garantir la cohésion sociale et territoriale, en assurant l'accès de tous à l'énergie.

Pour atteindre ces objectifs de long terme, des axes d'action ont été définis :

- le premier est la maîtrise de la demande énergétique, la loi créant notamment le mécanisme des certificats d'économie d'énergie. Celui-ci a fait l'objet de trois décrets d'application au 1^{er} semestre 2006 ;
- le second est la diversification du bouquet énergétique, notamment à travers la poursuite du développement des énergies renouvelables et le maintien de l'option nucléaire ouverte. Sur ce point précis, la loi prévoit la mise en service d'un réacteur de troisième génération à l'horizon 2012. A la suite du débat public qui s'est achevé en février 2006, EDF a décidé d'engager la réalisation d'un réacteur EPR sur le site de Flamanville dans le Cotentin, la construction devant débuter au 1^{er} semestre 2007 ;
- le troisième est le développement de la recherche et de l'innovation dans le secteur de l'énergie pour relever les défis du long terme. Sur ce point, on peut indiquer que la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion des matières et déchets radioactifs prévoit la mise

en service d'un prototype de réacteur de quatrième génération avant 2020 ;

- le quatrième consiste enfin à assurer des moyens de transport et de stockage adaptés aux besoins, notamment pour garantir la qualité de la fourniture d'électricité, conforter la sécurité des réseaux électriques et gaziers et, d'une façon générale, améliorer la sécurité d'approvisionnement de la France.

Ces différentes orientations ont conforté la place du nucléaire en France : le développement des réacteurs de troisième et de quatrième génération est aujourd'hui devenu le « fer de lance » de notre industrie et des établissements de recherche. Toutefois, la réalisation de ces grands projets nécessite en amont une organisation structurée, capable de répondre à la demande des pouvoirs publics, mais aussi des différents clients électriciens. Les pouvoirs publics ont ainsi participé activement à la réorganisation de ce secteur qui a été profondément modifié au cours de ces dernières années.

LA RÉORGANISATION DU SECTEUR INDUSTRIEL

Depuis sa création en 1945, le Commissariat à l'énergie atomique a développé des activités industrielles, directement issues de ses programmes de recherche. En 1983, une société de participations, dénommée CEA-Industrie, a été créée pour assurer le portage de l'ensemble de ces activités, essentiellement dans le domaine nucléaire et dans celui des nouvelles technologies. Ses participations les plus importantes étaient représentées par Cogema et Framatome dans le domaine nucléaire et par STMicroelectronics et FCI dans le domaine des nouvelles technologies et de la connectique.

Les évolutions enregistrées à la fin des années 90 sur ces différentes activités (ralentissement des constructions de centrales, ouverture des marchés de l'électricité, instabilité du marché des nouvelles technologies...) imposaient une mutation industrielle forte des entreprises intervenant dans ces différents secteurs. Par ailleurs, CEA-Industrie, petite structure cantonnée à une simple mission de gestion financière, ne jouait pas le rôle d'un véritable opérateur industriel et était confrontée à l'hétérogénéité de ses participations.

Dans un premier temps (en juillet 1999), les pouvoirs publics ont réorganisé l'actionnariat d'ensemble de Framatome, conduisant à faire de Cogema l'actionnaire industriel public de référence de ce groupe. Une alliance européenne forte est venue couvrir cet ensemble, grâce au rapprochement entre Framatome et Siemens. A cette fin, les activités nucléaires des deux groupes ont été filialisées et regroupées dans une société commune, baptisée Framatome ANP, détenue à 66 % par Framatome et 34 % par Siemens.

Dans un second temps (en novembre 2000), le Gouvernement a décidé de recomposer l'ensemble de la

filiale nucléaire française, autour des participations de CEA-Industrie. Une nouvelle société, baptisée AREVA, a été créée le 3 septembre 2001. Elle est détenue majoritairement par le CEA à hauteur de 79 %. AREVA couvrait alors plusieurs lignes de métiers rassemblées en deux pôles principaux :

- les métiers de l'énergie autour de Cogema et Framatome ANP ;
- les nouvelles technologies avec les activités connectiques de Framatome (FCI) et les parts de CEA-Industrie dans ST-Microelectronics.

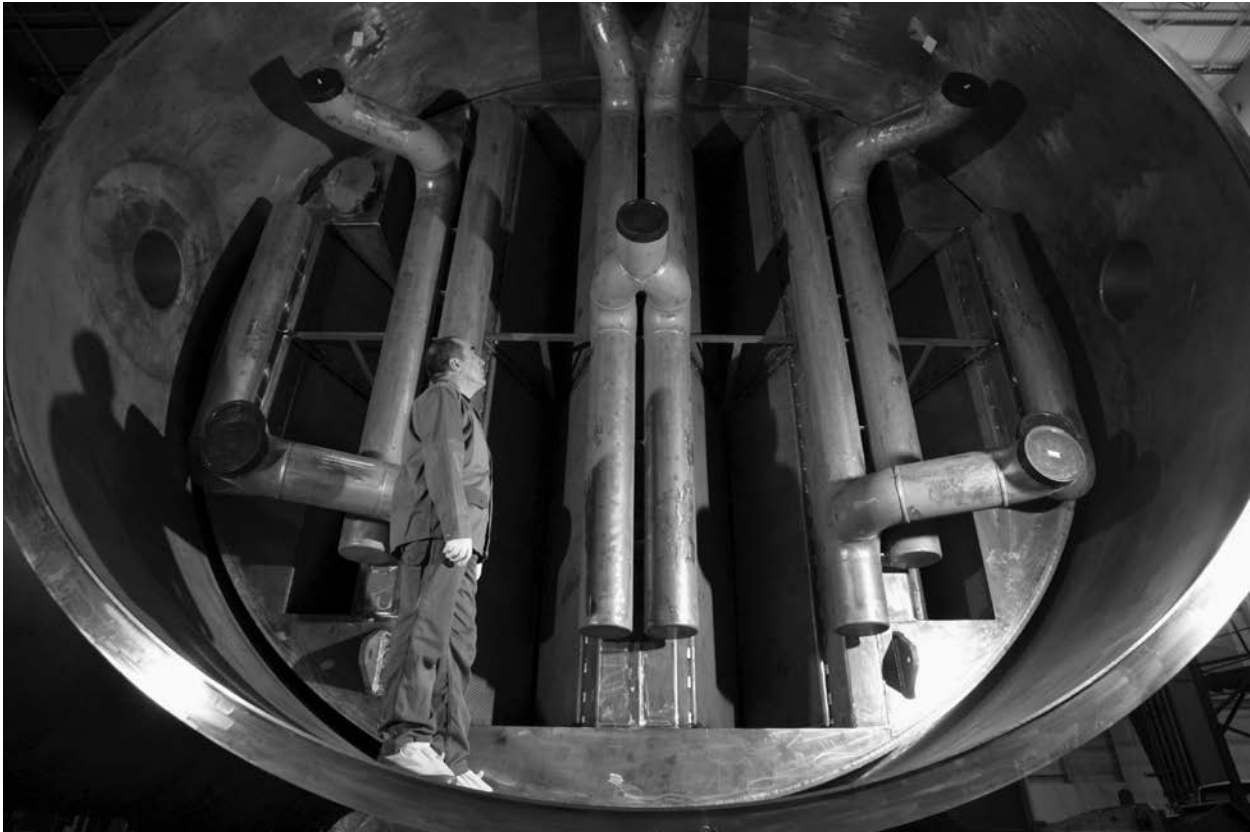
Depuis la création du groupe en septembre 2001, les principales variations de son périmètre ont concerné ses activités non nucléaires : Areva a ainsi cédé ses activités dans le domaine de la connectique en novembre 2005, mais a racheté, en janvier 2004, les activités de transmission et de distribution d'électricité détenues par le groupe Alstom.

LES GRANDS PROJETS DANS LE SECTEUR NUCLÉAIRE

Le groupe AREVA est le numéro un mondial dans le cycle du combustible nucléaire. Afin de consolider ses positions, des investissements importants sont prévus pour chaque étape du cycle (extraction, conversion et enrichissement de l'uranium, conception et fabrication du combustible).

Le projet le plus significatif pour les prochaines années concerne l'enrichissement de l'uranium. Cette activité permet d'accroître à hauteur de 3 à 5 % la proportion d'uranium fissile dans le combustible nucléaire. Elle est réalisée en France dans l'usine Georges Besse (GB I) qui fournit environ le tiers des besoins mondiaux, mais qui devra être remplacée au début de la prochaine décennie. Le groupe AREVA, en accord avec les pouvoirs publics, a opté pour une nouvelle technologie d'enrichissement (enrichissement par ultracentrifugation), beaucoup plus économe en énergie que la précédente. A ce titre, le groupe a signé, en novembre 2003, des accords industriels avec le consortium européen URENCO, ce qui lui permettra de réaliser une nouvelle usine d'enrichissement, dénommée Georges Besse II. L'investissement industriel, de l'ordre de 3 milliards d'euros, permettra d'assurer la pérennité de cette activité en France et de garantir à AREVA la maîtrise complète du cycle du combustible nucléaire.

Dans le domaine des réacteurs nucléaires, le groupe a dû conforter ses positions face à une concurrence en pleine restructuration sur le plan mondial (rapprochement entre Westinghouse et Toshiba, General Electric et Hitachi). AREVA a ainsi racheté récemment la société Sfarsteel et conclu un partenariat industriel avec Mitsubishi, ce qui lui permettra de mieux sécuriser ses approvisionnements en pièces forgées pour les centrales et de lui ouvrir de nouveaux marchés, notamment en Asie.



© Richard Damoret / REA

Dans le domaine des réacteurs nucléaires, le groupe AREVA a dû conforter ses positions face à une concurrence en pleine restructuration sur le plan mondial (rapprochement entre Westinghouse et Toshiba, General Electric et Hitachi). AREVA a ainsi racheté récemment la société Sfarsteel et conclu un partenariat industriel avec Mitsubishi, ce qui lui permettra de mieux sécuriser ses approvisionnements en pièces forgées pour les centrales et de lui ouvrir de nouveaux marchés, notamment en Asie.

Sur le plan des réalisations, le groupe s'est particulièrement investi dans les réacteurs nucléaires de troisième génération grâce à son rapprochement avec Siemens. Le consortium a ainsi remporté un appel d'offres pour la réalisation d'un EPR en Finlande et s'apprête à réaliser un démonstrateur en France sur le site de Flamanville. Enfin, des opportunités pourraient se présenter à l'international, notamment en Asie (Chine, Inde) ou aux Etats-Unis où le groupe a créé une société commune avec l'électricien *Constellation Energy* en vue du développement de l'EPR.

Pour l'avenir, deux sujets fondamentaux peuvent être distingués : la recherche sur les réacteurs du futur et la recherche sur la gestion des déchets radioactifs, les deux volets étant liés.

La France s'est ainsi engagée avec conviction dans le développement des « réacteurs du futur » :

- à travers le projet ITER, projet mondial visant à démontrer la faisabilité de la production d'électricité par fusion nucléaire ; la France a été choisie pour accueillir le projet, sur le site de Cadarache en région PACA ; les structures sont actuellement en cours de mise en place, aux niveaux international, européen et français ; le traité instituant l'organisation internationale a ainsi été signé à Paris, à l'Élysée, le 22 novembre dernier ;
- à travers les recherches sur la quatrième génération de réacteurs, l'objectif étant de développer des réacteurs

innovants permettant notamment de consommer beaucoup moins d'uranium et de réduire significativement les déchets produits ; le Président de la République a ainsi fixé pour objectif que la France dispose d'un prototype en 2020.

Sur ces questions, le CEA joue un rôle essentiel en tant qu'organisme de recherche et établit actuellement des coopérations diverses dans ce domaine, que ce soit avec d'autres établissements comme le CNRS, avec les industriels français (EDF, AREVA...) ou encore avec ses homologues étrangers.

Dans ce domaine, il paraît primordial de s'arrêter sur l'initiative la plus importante du moment, à savoir le forum international Génération IV (GIF). Ce forum regroupe Euratom et dix pays (Argentine, Brésil, Canada, France, Japon, Corée du Sud, Afrique du Sud, Suisse, Royaume-Uni, Etats-Unis) pour développer des systèmes nucléaires innovants (réacteurs et cycles du combustible). La Chine et la Russie pourraient rejoindre prochainement ce groupe. La première phase des travaux a consisté en l'élaboration d'un plan de développement des technologies jugées les plus prometteuses, d'après une sélection de six concepts de systèmes nucléaires.

Les réacteurs de 4^e génération à neutrons rapides, conçus pour valoriser de façon optimale la ressource en combustible nucléaire, seraient les mieux adaptés si l'on considère comme probable l'émergence à moyen terme

d'une tension sur les ressources en uranium. Sur le plan technique, un parc de tels réacteurs pourrait être déployé au plus tôt à partir de 2040 et permettrait en outre d'optimiser la gestion de l'aval du cycle par la mise en œuvre des acquis sur les recherches concernant la séparation poussée et la transmutation (loi du 30 décembre 1991).

On peut enfin noter que, depuis le début du forum, la position des Etats-Unis sur le traitement des combustibles usés a fortement évolué : autrefois exclu pour des raisons liées essentiellement à des considérations de non-prolifération, le traitement-recyclage est désormais perçu comme une technologie indispensable pour accompagner le développement de réacteurs de quatrième génération, utiliser au mieux l'uranium présent dans les combustibles et gérer par incinération les déchets radioactifs.

L'ÉVOLUTION DU CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Concernant cette thématique, des actions majeures ont été entreprises depuis de nombreuses années puisque 85 % des déchets produits en France sont aujourd'hui pris en charge dans des centres de stockage en surface gérés par un établissement public dédié, l'Andra (l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs).

Les 15 % restant, qui concentrent 99 % de la radioactivité, sont entreposés de façon sûre dans des installations de surface essentiellement à La Hague (Manche), au sein du vaste complexe industriel exploité par Areva NC. Mais celles-ci n'ont pas été conçues pour stocker définitivement ces déchets, dont la radioactivité peut durer des centaines de milliers d'années, compte tenu des périodes de décroissance naturelle.

Pour définir des solutions de gestion à long terme, la France s'est engagée dans des programmes d'étude ambitieux, à l'instar d'autres pays également concernés comme les Etats-Unis, la Finlande, la Suède ou encore l'Allemagne. Ceci s'est en particulier traduit, dans le cas français, par le vote d'une loi spécifique, le 30 décembre 1991, qui a fixé trois axes de recherche.

Le premier axe vise à réduire le volume et la toxicité des déchets en séparant les différents produits contenus dans les combustibles usés et en transformant les éléments radioactifs à durée de vie longue en éléments radioactifs à durée de vie plus courte dans de nouveaux réacteurs nucléaires. Il suppose de développer une nouvelle génération d'usines de traitement et une nouvelle génération de réacteurs nucléaires.

Le deuxième axe est le stockage, irréversible ou réversible, des déchets en couche géologique profonde. Il a été étudié notamment grâce au laboratoire de Bure, à la frontière des départements de la Meuse et de la Haute-Marne.

Le troisième axe concerne l'étude de procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée des

déchets. Il vise à développer des installations qui permettraient de conserver les déchets en surface de façon sûre pendant 100 à 300 ans, contre 50 à 100 ans pour les entreposages exploités actuellement. Mais, quelle que soit cette durée, un entreposage est, par définition, temporaire : il n'est pas conçu pour apporter une solution définitive. Au terme de sa durée de fonctionnement, les déchets doivent être retirés. Cet axe 3 a également été étudié à Marcoule.

Au cours des quinze dernières années, le CEA a été en charge du pilotage des travaux menés sur les axes 1 et 3, la responsabilité de l'axe 2 ayant été confiée à l'Andra.

LA LOI DU 28 JUIN 2006 : UNE ARCHITECTURE EN TROIS POINTS

La loi du 30 décembre 1991 avait prévu qu'avant le 30 décembre 2006, le Gouvernement présenterait un nouveau projet de loi pour tirer le bilan de ces recherches. Dans la perspective de ce rendez-vous parlementaire, des travaux ont été menés selon les trois axes précités et ont été évalués annuellement par la Commission nationale d'évaluation, organe d'évaluation scientifique créé par la loi de 1991 et composé de douze experts « indépendants » des organismes de recherche concernés.

A partir de ces travaux qui se sont achevés fin 2005, différentes initiatives ont été mises en œuvre : procédures d'évaluation conduites par des experts scientifiques indépendants et par l'Autorité de sûreté nucléaire ainsi qu'un débat organisé par la Commission nationale du débat public au dernier trimestre 2005. Il convient également de souligner le travail de longue haleine mené par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques tout au long des 15 années de recherche. Les rapports qui en ont résulté ont conduit à l'élaboration d'un projet de loi, présenté le 22 mars 2006 par François Loos et adopté par le Parlement. La loi fut promulguée le 28 juin 2006.

La mise en œuvre d'une politique nationale de gestion des matières et déchets radioactifs

Il s'agit tout d'abord de définir un programme de recherche sur l'ensemble des matières et des déchets radioactifs. Pour les déchets de haute et de moyenne activité à vie longue (qui avaient été spécifiquement couverts par la loi de 1991), les objectifs sont les suivants :

- pour le premier axe, relatif à la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue, un bilan sera dressé en 2012 entre les différentes filières de transmutation. En fonction des résultats qui seront

obtenus dans le cadre de ce bilan, des prototypes d'installation pourraient être construits pour 2020 et une mise en service industriel envisagée à l'horizon 2040 ;

- pour le second axe, relatif aux possibilités de stockage réversible des déchets en couche géologique profonde, la demande d'autorisation de stockage sera instruite en 2015 et la mise en exploitation du centre de stockage interviendra en 2025 (naturellement, dans le cas où l'instruction préalable serait favorable) ;
- pour le troisième axe, concernant l'entreposage, la loi prévoit, au plus tard en 2015, la création de nouvelles installations ou la modification des installations existantes.

La loi crée également un plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs établi tous les trois ans et définissant les solutions, les objectifs à atteindre ainsi que les travaux de recherche.

Transparence et contrôle démocratique

Ces objectifs passent tout d'abord par la modernisation des modalités de fonctionnement de la Commission nationale d'évaluation qui voit son indépendance renforcée. L'interdiction de stocker en France des déchets radioactifs étrangers est maintenue et même clarifiée.

Par ailleurs, concernant le processus d'autorisation d'une future installation de stockage en couche géologique profonde, la loi a prévu deux rendez-vous parlementaires, le premier en 2015 pour fixer les conditions de réversibilité avant qu'un décret ne puisse l'autoriser, le second, à plus long terme, pour autoriser la fermeture éventuelle de ce stockage. Le premier rendez-vous parlementaire sera, en outre, précédé d'un débat public.

L'organisation et le financement de la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs

La loi prévoit la modernisation du dispositif d'accompagnement local des départements accueillant le laboratoire souterrain de recherche de Bure (Meuse et Haute-Marne).

La loi engage également une modernisation des missions de l'Andra, notamment en lui confiant de nouvelles missions d'intérêt général (collecte d'objets radioactifs auprès de propriétaires non solvables, assainissement de sites orphelins pollués par des substances radioactives...).

Les modalités de financement des trois axes de recherche sont précisées : sont prévues des conventions avec les principaux producteurs de déchets (CEA, EDF, AREVA) et des subventions publiques pour l'axe 1 ainsi qu'une taxe additionnelle à la taxe sur les installations nucléaires de base pour les axes 2 et 3.

Afin de réaliser la sécurisation des charges nucléaires de long terme (coûts liés au démantèlement des installa-

tions et à la gestion des déchets radioactifs), un régime encadrant les pratiques des exploitants dans ce domaine est enfin créé avec, notamment, la mise en œuvre d'un contrôle direct de l'Etat sur les modalités d'évaluation et de couverture de ces charges de long terme. Une Commission nationale d'évaluation financière placée auprès du Parlement est par ailleurs créée pour s'assurer de la pertinence et du sérieux des contrôles mis en œuvre par l'Etat. Cette mesure contribue à faire de la France l'un des pays les plus avancés en la matière et à créer un système de contrôle inspiré initialement des dispositifs mis en œuvre dans le domaine des assurances.

Un important travail de nature réglementaire doit désormais se poursuivre

Suite au vote de cette loi, un corpus réglementaire viendra compléter le dispositif législatif. En particulier, neuf projets de décrets en Conseil d'Etat sont aujourd'hui en cours d'élaboration. Ils traiteront notamment de thématiques comme :

- le contrôle des contrats de traitement de combustibles usés ou de déchets radioactifs avec des clients étrangers ;
- l'organisation des groupements d'intérêt public responsables du développement local des départements de la Meuse et de la Haute-Marne ainsi que du Comité local d'information et de suivi placé auprès du laboratoire souterrain de recherche ;
- les modalités de calcul pour les taxes destinées à assurer le financement annuel des groupements d'intérêt public ainsi que des recherches menées par l'Andra sur l'entreposage de longue durée et le stockage en couche géologique profonde ;
- l'organisation rénovée de l'Andra ;
- la mise en œuvre du régime de contrôle portant sur les charges de long terme des opérateurs nucléaires (démantèlement des installations et gestion des déchets radioactifs).

LA LOI DE TRANSPARENCE ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE DU 13 JUIN 2006

Cette seconde loi majeure intervenue également en juin 2006 a permis de donner une base législative à la sécurité et à la transparence en matière nucléaire. Elle soumet toutes les activités nucléaires aux principes fondamentaux de précaution et d'information.

Les grands objectifs de cette loi sont les suivants :

- poser les grands principes applicables aux activités nucléaires (prévention, précaution, pollueur-payeur et information du public) développés par la Constitution ainsi que celui de la responsabilité de l'exploitant de l'installation nucléaire ;

- créer, à la demande du Président de la République, une Autorité de sûreté nucléaire (autorité administrative indépendante) qui participe au contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection. Ce contrôle était auparavant assuré par une direction de l'administration centrale ;
- garantir les conditions effectives de la transparence en matière de sûreté et de radioprotection en fournissant une information complète, en consacrant le rôle des commissions locales d'information et en créant un Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire ;
- rénover la législation relative à la sécurité des grandes installations nucléaires et du transport des matières radioactives.

ASSEOIR DURABLEMENT NOTRE AVANCE TECHNOLOGIQUE

Ces différentes lois préparent l'avenir du secteur nucléaire français. Au-delà des modifications importantes qu'elles génèrent tant sur les plans législatif que réglementaire, elles ouvrent de nouvelles perspectives pour l'industrie nucléaire et ses opérateurs : de grands projets sont désormais prévus, font l'objet d'objectifs

calendaires précisés et conduisent à la mise en œuvre de vastes programmes de recherche.

La France avait déjà acquis une renommée certaine dans le domaine nucléaire, que ce soit par l'ampleur de son parc, le sérieux de ses procédures de contrôle et d'encadrement, l'organisation de son industrie ou encore les résultats obtenus depuis plus de quinze ans dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs, élément crucial de l'acceptabilité de cette filière.

Un nouvel élan est perceptible sur le plan international depuis le début des années 2000. Suite à la création d'AREVA, au lancement par EDF du projet EPR, les récentes dispositions législatives amènent de nouveaux défis qui contribueront à asseoir durablement l'avance technologique de notre pays : engagement volontariste pour le développement des systèmes nucléaires du futur, rendez-vous parlementaire en 2015 avant l'ouverture d'un centre de stockage en couche géologique profonde, poursuite des travaux de recherche selon des modes de financement sécurisés...

Cet effort de programmation pluriannuelle est tout à fait conséquent et apparaît crucial pour le *leadership* de notre industrie dans un contexte caractérisé non seulement par un regain d'intérêt des grandes puissances pour l'énergie nucléaire (les Etats-Unis, la Russie...) mais aussi par le développement dans ce domaine des puissances émergentes comme l'Inde ou la Chine.

L'Autorité de sûreté nucléaire, autorité administrative indépendante

L'ASN assure, au nom de l'Etat, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés au nucléaire et elle contribue à l'information des citoyens dans ces domaines.

L'ASN, les femmes et les hommes qui la composent, assurent la mission qui leur est confiée dans le respect de quatre valeurs : la compétence, l'indépendance, la rigueur et la transparence. L'ambition de l'ASN est d'assurer un contrôle du nucléaire performant, légitime, impartial et crédible qui soit reconnu par les citoyens et constitue une référence internationale. L'ASN bénéficie des travaux d'expertise de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

Par **André-Claude LACOSTE**, président de l'ASN

LA LOI RELATIVE À LA TRANSPARENCE ET À LA SÉCURITÉ EN MATIÈRE NUCLÉAIRE

La loi n° 2006-686 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (dite « loi TSN »), promulguée par le Président de la République le 13 juin 2006 et publiée au *Journal officiel* le lendemain, constitue une avancée majeure dans le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.

Cette loi institue un cadre juridique de premier plan qui rénove en profondeur le contrôle des installations nucléaires. Elle spécifie les rôles et les missions du Parlement, du Gouvernement et de l'ASN. Elle rappelle ainsi que la responsabilité première de la sûreté d'une

installation nucléaire incombe à l'exploitant de cette installation. La loi révisé également le régime administratif des installations nucléaires de base (INB), clarifie et renforce le système de contrôle et les sanctions applicables. Elle se fonde sur une conception élargie de la sûreté, qui intègre la sûreté nucléaire au sens strict, la radioprotection, la protection de la santé des personnes et celle de l'environnement. Elle précise les conditions posées à la délivrance de l'autorisation de création ou de démantèlement d'une installation nucléaire de base.

La loi TSN organise la transparence en matière de nucléaire et permet en particulier de fonder le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection sur des bases plus fermes en prenant notamment en compte les aspirations de la société civile en matière de transparence. Elle institue un droit d'accès à l'information détenue

par les responsables d'activités nucléaires, y compris les personnes responsables de transports de matières radioactives, au-delà d'un seuil. Désormais, sur chaque site accueillant une installation nucléaire de base (INB) est instituée une commission locale d'information (Cli). Un Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, composé de membres nommés par décret, est créé en tant que garant de l'accès à l'information et des principes de transparence consacrés par la loi.

Enfin, la loi TSN transforme l'ASN en Autorité administrative indépendante (AAI). Ce changement de statut est devenu effectif le 13 novembre 2006, date de la première réunion du collège des commissaires, nommés par décret en date du 8 novembre 2006.

LA NOUVELLE ASN : DES COMPÉTENCES ÉTENDUES ET UN STATUT RENFORCÉ

L'ASN est chargée du contrôle des activités nucléaires, à la fois des grandes installations nucléaires et des activités nucléaires de proximité (laboratoires de recherche ou installations industrielles mettant en œuvre des sources radioactives, installations médicales).

Son champ d'activité est parmi les plus importants et les plus diversifiés au monde. Il regroupe notamment un ensemble standardisé de réacteurs qui participent à la production de la majorité de l'électricité consommée en France, l'ensemble des installations du cycle du combustible, des installations de recherche ou des usines quasi uniques au monde. L'ASN assure, de plus, le contrôle de plusieurs milliers d'installations ou d'activités dans lesquelles sont utilisées des sources de rayonnements ionisants à des fins médicales, industrielles ou de recherche. L'ASN assure enfin le contrôle du transport des matières radioactives, pour lequel plusieurs centaines de milliers d'expéditions sont réalisées annuellement sur le territoire national.

L'ASN veille par ailleurs à développer une vision élargie de son champ de contrôle en prenant en compte tant les aspects matériels que les facteurs organisationnels et humains.

Elle surveille l'impact des activités sur les personnes et l'environnement et veille à une gestion claire, exhaustive et sûre des déchets radioactifs.

La transformation de l'ASN en autorité administrative indépendante améliore et clarifie son statut en matière

de sûreté nucléaire et de radioprotection. L'ASN renforce son autonomie et sa légitimité vis-à-vis des acteurs chargés de la promotion, du développement ou de la mise en œuvre des activités nucléaires. Elle bénéficie d'une nouvelle assise juridique et d'un statut comparable à celui de ses homologues d'autres pays industrialisés.

Le champ des compétences de la nouvelle ASN se voit étendu et renforcé par rapport à la situation antérieure. L'ASN peut émettre des décisions de réglementation générale pour préciser les décrets et arrêtés pris par le Gouvernement. Elle délivre certaines autorisations (mise en service d'une installation nucléaire de base, utilisation d'emballages de transport, utilisation de sources radioactives...) et peut imposer aux exploitants des prescriptions individuelles tout au long de la vie de l'installation, y compris lors de son démantèlement. Par ailleurs, elle peut prendre des décisions réglementaires à caractère technique pour compléter les modalités d'applications de ces décrets et arrêtés, exception faite de ceux ayant trait à la médecine du travail. Ces décisions sont soumises à l'homologation des ministres en charge de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.

L'ASN peut également prendre ou proposer des sanctions administratives : mise en demeure, consignation, travaux d'office au frais de l'exploitant, suspension ou arrêt, selon la nature de l'écart constaté.

Enfin, l'ASN peut être saisie par le Gouvernement pour l'élaboration de tout projet de texte et pour l'élaboration des positions françaises au plan international dans les domaines de sa compétence. Elle peut également participer

à la représentation française dans les instances des organisations internationales et communautaires en ses domaines.

Les chiffres (2006)

1 collège de 5 Commissaires

420 collaborateurs

50 M€ de budget

11 délégations territoriales

UNE NOUVELLE ORGANISATION POUR L'ASN

La nouvelle ASN est dirigée par un collège de cinq commissaires (1) nommés par décret du 8 novembre 2006. Trois des commissaires, dont le président, ont été désignés par le Président de la République. Les deux autres membres ont été désignés respectivement par le

(1) Le collège des cinq commissaires est composé de :
André-Claude Lacoste, président ;
François Barthélemy, Michel Bourguignon, Marie-Pierre Comets, Marc Sanson, commissaires.

président de l'Assemblée nationale et par le président du Sénat.

Le collège des commissaires conduit la réflexion en matière de contrôle dans le domaine de la sûreté nucléaire et de la radioprotection. Il définit la politique générale de l'ASN et prend les décisions majeures.

Les membres du collège exercent leurs fonctions en toute impartialité sans recevoir d'instruction du Gouvernement ni d'aucune autre instance ou institution.

Le mandat des commissaires n'est pas renouvelable. Ils exercent leurs fonctions à plein temps.

Un règlement intérieur, établi par l'ASN, fixe les règles relatives à son organisation et à son fonctionnement. Ce règlement prévoit les conditions dans lesquelles le collège des commissaires peut donner délégation de pouvoirs à son président ou, en son absence, à un autre commissaire, ainsi que celles dans lesquelles le président peut déléguer sa signature à des agents des services de l'ASN. Le règlement intérieur est publié au *Journal officiel* après homologation par les ministres en charge de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.

La nouvelle ASN est composée des anciens services de la Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (DGSNR) et des onze Divisions de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (DSNR).

Tous les agents de l'ex-DGSNR et des ex-DSNR ont été transférés à la nouvelle ASN le 13 novembre 2006, date de la première réunion du collège des commissaires. La nouvelle ASN peut ainsi compter sur près de 420 collaborateurs (fonctionnaires, agents contractuels de l'Etat et agents mis à disposition par des établissements publics) et sur un budget annuel de 50 M€.

Le budget de l'ASN est regroupé au sein de l'action « Contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection » du programme 127 et de l'action « Contrôle et prévention des risques technologiques et développement industriel ».

Dans le cadre de conventions spécifiques, l'ASN bénéficie également de prestations de service de la part du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, ainsi que du réseau des DRIRE.

Les 11 délégations territoriales de l'ASN seront, en effet, hébergées au sein des DRIRE.

La loi TSN (article 15) prévoit que l'ASN peut employer des fonctionnaires en position d'activité et recruter des agents contractuels. L'ASN peut bénéficier également de la mise à disposition, avec leur accord, d'agents d'établissements publics.

Les fonctionnaires en activité des services de l'Etat peuvent, avec leur accord, être mis à disposition, le cas échéant à temps partiel, de l'ASN, selon les modalités précisées par décret en Conseil d'Etat. Cela pourrait être le cas des directeurs des Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (DRIRE) pour l'encadrement des divisions territoriales de l'ASN. Un projet de décret organisant cette mise à disposition est en cours d'élaboration.

L'IRSN fournit à l'ASN, à hauteur de 70 M€/an, des prestations d'expertise technique, ce qui représente l'équivalent de 400 experts à temps plein.

INFORMATION ET TRANSPARENCE

La loi TSN élargit le dispositif d'information du public en France afin d'assurer une meilleure transparence en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection. Elle organise notamment la transparence en instituant un droit d'accès du public à l'information détenue par les exploitants d'installations nucléaires et les responsables de transports de matières radioactives, notamment en ce qui concerne les risques liés aux activités nucléaires, à l'impact sur la santé et la sécurité des personnes, mais aussi aux risques sur l'environnement et ceux afférents aux rejets d'effluents des installations. Ces dispositions constituent une innovation majeure, qui distingue les activités nucléaires des autres activités industrielles qui ne sont pas soumises à une telle obligation de transparence.

Dans ce contexte, l'ASN est chargée de participer à l'information du public dans les domaines de sa compétence y compris en cas de situation d'urgence.

Son ambition d'assurer un contrôle du nucléaire performant, légitime, impartial, crédible, reconnu par les citoyens et qui constitue une référence internationale repose en grande partie sur sa capacité à faire savoir, à associer et à rendre compte. La nouvelle ASN rend compte de son activité, de ses missions et de l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France à travers son rapport annuel sur la sûreté nucléaire et la radioprotection. Ce rapport annuel sera transmis au Parlement, qui en saisira l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, au Gouvernement et au Président de la République.

Parmi les principaux outils à la disposition de l'ASN, le site Internet www.asn.fr, la revue *Contrôle*, ses dossiers, les fiches d'information du public et le centre d'information du public de l'ASN permettent d'informer de manière ciblée différents publics : le grand public, les médias, les associations de protection de l'environnement, les élus...

Dans le cadre de la loi TSN, les Cli voient leur statut renforcé. La loi leur confère une personnalité juridique avec un statut d'association. Elle consacre l'implication des collectivités territoriales et des Conseils généraux dans leur fonctionnement. Leurs missions de suivi, d'information et de concertation en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection, déjà mises en œuvre, sont confirmées.

Enfin, le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, qui prendra la relève du Conseil supérieur de la sûreté et de l'information nucléaire (CSSIN), sera une instance d'information et de débat. Il sera composé de parlementaires et de membres d'horizons divers : représentants de commis-

sions locales d'information (Cli), d'associations, etc. Ses avis et son rapport annuel seront rendus publics.

LA GENÈSE DE LA LOI TSN

L'adoption de la loi TSN est l'aboutissement d'un mouvement né dans les années 90. Le projet de loi relatif à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, devenu loi TSN, a fait suite au rapport du député de Meurthe-et-Moselle alors président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Jean-Yves Le Déaut, remis au Premier ministre le 7 juillet 1998, sur le système français de radioprotection, de contrôle et de sécurité nucléaire. Ce rapport était sous titré : «la longue marche vers l'indépendance et la transparence».

Un projet de loi a été déposé par le Gouvernement en 2001 sur le bureau de l'Assemblée nationale, puis repris en juin 2002 par le nouveau Gouvernement, issu de l'élection présidentielle, et transféré ensuite au Sénat.

Le 5 janvier 2006, le Président de la République Jacques Chirac a demandé, lors de ses vœux aux Forces vives, la création par la loi sur la transparence nucléaire, dès 2006, d'une autorité indépendante chargée du contrôle de la sécurité nucléaire, de la radioprotection et de l'information.

Le 22 février 2006, le Gouvernement a déposé au Sénat une lettre rectificative au projet de loi relatif à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire. Celle-ci insère d'une part des dispositions relatives à la création d'une autorité administrative indépendante chargée du contrôle de la sûreté nucléaire, de la radioprotection et de l'information dans ces domaines et, d'autre part, une modification du titre IV relatif aux installations nucléaires de base.

Ce projet de loi a été amendé puis adopté par le Sénat le 8 mars 2006 et par l'Assemblée nationale le 30 mars

2006. Le 1^{er} juin 2006, le Sénat a voté, en deuxième lecture et dans les mêmes termes que l'Assemblée nationale, le projet de loi relatif à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire.

Le texte a été promulgué par le Président de la République le 13 juin 2006.

L'ASN DEPUIS 1973

En 1973, le contrôle de la sûreté nucléaire en France relevait du Service central de sûreté des installations nucléaires (SCSIN), rattaché au ministre chargé de l'Industrie.

Ce service est devenu, en 1991, la Direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN), rattachée aux deux ministres chargés respectivement de l'industrie et de l'environnement. L'ASN était alors constituée, au niveau national, de la DSIN et, au niveau régional, des Divisions des installations nucléaires (DIN) placées au sein des Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (DRIRE).

Le 22 février 2002, l'ASN a vu son champ d'action étendu à la radioprotection. La Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (DGSNR) a alors remplacé la DSIN, et les Divisions de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (DSNR) ont remplacé les DIN. L'ASN relevait, depuis, des ministres chargés respectivement de l'Industrie, de l'Environnement et de la Santé.

Le 13 juin 2006, la loi n° 2006-686 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire a transformé le statut de l'ASN en lui conférant celui d'une Autorité administrative indépendante, désormais indépendante des ministres. L'ensemble des personnels et moyens de l'ex-DGSNR et des ex-DSNR est ainsi intégré au sein de la nouvelle ASN à partir du 13 novembre 2006, date de la première réunion du collège des commissaires.

L'industrie nucléaire et le débat public

Les grandes décisions concernant la filière nucléaire ont été prises, entend-on dire souvent, sans une information et une consultation suffisantes de la population.

Le débat public a été créé par les lois de 1995 et 2002 pour assurer l'information et permettre l'expression de la population sur les projets d'équipement d'intérêt national ; la responsabilité de décider et d'organiser un débat public est confiée à une autorité administrative indépendante, la Commission nationale du débat public.

En l'espace de deux ans, elle a été saisie de cinq dossiers relevant de la filière nucléaire ; par leur contenu, par leur existence même, les débats publics qui ont eu lieu constituent une novation fondamentale par rapport aux pratiques antérieures.

Par **Yves MANSILLON**, Président de la Commission nationale du débat public

« **L'**industrie nucléaire et le débat public » : ces termes peuvent être entendus de plusieurs façons. Précisons donc d'emblée que le débat public dont il est question dans cet article doit être compris au sens précis que lui ont donné les lois des 2 février 1995 et 27 février 2002.

C'est la formule créée par le législateur pour répondre à la volonté de nos concitoyens d'être informés et consultés sur les projets qui peuvent les concerner en modifiant leur environnement ou en ayant une incidence sur leurs conditions de vie.

C'est une forme particulière de concertation ouverte sans restriction à l'ensemble de la population, qui, pendant une période de quatre mois, met en place un certain nombre de moyens pour informer cette population, puis pour lui permettre de s'exprimer sur tous les aspects d'un projet : son opportunité, ses objectifs, ses caractéristiques, ses impacts. La responsabilité de décider puis d'organiser un débat public est confiée à une autorité administrative indépendante, la Commission nationale du débat public (CNDP). A la fin du débat,

celle-ci en rend publics le compte-rendu et le bilan, qui ne comportent pas d'avis sur le projet. Trois mois après, le maître d'ouvrage doit rendre publique sa décision quant aux principes et conditions de la poursuite de son projet.

Les débats publics portent le plus souvent sur des projets d'équipement (autoroutes, lignes TGV, ports, aéroports...) mais, depuis la loi de 2002, ils peuvent aussi porter sur des problèmes ou des politiques. La loi dit précisément : « des options générales en matière d'environnement ou d'aménagement ».

LA CNDP SAISIE À CINQ REPRISES, EN MOINS DE DEUX ANS, DE QUESTIONS TOUCHANT AU NUCLÉAIRE

La Commission nationale du débat public a été créée en 1995 et le premier débat public n'a eu lieu qu'à la fin 1997 ; on voit donc que toutes les grandes décisions

relatives au secteur nucléaire, notamment la création du parc électronucléaire installé dans les années 1970-80, lui sont antérieures.

On sait, d'autre part, que l'un des arguments qui revient le plus souvent dans les discours de ceux qui s'opposent au nucléaire est que toutes ces décisions ont été prises sans une information et moins encore une consultation suffisantes de la population.

On se rappelle enfin que le Gouvernement a organisé début 2003 le débat national sur les énergies ; mais celui-ci portait sur un sujet plus large ; d'autre part, un certain nombre d'associations nationales ont critiqué ses conditions d'organisation et appelé au boycott du débat, ce qui a sans aucun doute nui à son retentissement.

Il est donc d'une grande importance que la CNDP ait été en l'espace de moins de deux ans (1) saisie à cinq reprises de questions touchant au nucléaire :

- en avril 2003 : projet international ITER de réacteur expérimental sur la fusion nucléaire à Cadarache ;
- en avril 2004 : projet Georges Besse II (GBII) de remplacement de l'actuelle usine d'enrichissement d'uranium du Tricastin ;
- en juillet 2004 : projet de réacteur de recherche Jules Horowitz (RJH) à Cadarache ;
- en novembre 2004 : projet de centrale électronucléaire « tête de série EPR » à Flamanville ;
- enfin, en février 2005 : problème de la gestion des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue ; le Gouvernement utilisait pour la première fois la faculté offerte par la loi de 2002 de saisir la CNDP en vue d'un débat public sur des options générales en matière d'environnement ou d'aménagement.

On le voit, tous les maillons de la filière nucléaire, de la recherche à la production et au problème de la gestion finale des déchets, sont ainsi concernés.

La CNDP a répondu à ces saisines en utilisant la gamme des possibilités offertes par la loi. En effet, pour chaque dossier, la CNDP apprécie si un débat public doit être organisé ou non. Dans le premier cas, elle peut, soit l'organiser elle-même et en confier l'animation à une commission particulière, soit en confier l'organisation au maître d'ouvrage en définissant ses modalités d'organisation ; si, au contraire, elle estime qu'un débat n'est pas nécessaire, elle peut cependant recommander au maître d'ouvrage de mener une concertation selon des modalités qu'elle ne fait alors que proposer.

Les critères du débat public sont, pour l'essentiel, définis par la loi : il doit s'agir d'un projet d'intérêt national, présentant de forts enjeux socio-économiques ou ayant des impacts significatifs sur l'environnement. Les

projets peuvent ainsi se répartir selon un dégradé qui va du projet d'un intérêt national majeur comportant de forts enjeux et de gros impacts jusqu'au projet d'intérêt purement local sans enjeux ni impacts, dégradé auquel correspondra de façon souple l'éventail des réponses précédemment décrites.

En outre, au fil de ses décisions, la CNDP a ajouté un critère supplémentaire qui tient à l'état d'avancement du projet : si le projet, même d'un intérêt national incontestable, a déjà vu, au fil de concertations successives, son opportunité débattue et ses caractéristiques définies, le temps du débat public est passé ; inversement, un projet déjà très largement défini méritera néanmoins un débat public s'il n'a pas donné lieu à une consultation suffisante de la population elle-même.

Appliquant ces principes aux cas qui nous intéressent, la CNDP a décidé :

- d'organiser elle-même un débat public et d'en confier l'animation à une commission particulière pour ITER, pour EPR et pour la gestion des déchets radioactifs ;
- de confier l'organisation d'un débat public à AREVA, pour GBII ; cette décision était motivée par le fait que le projet présentait un intérêt national évident mais qu'il s'agissait du renouvellement d'une usine existante, avec une technologie différente mais déjà utilisée dans d'autres pays, que ce remplacement se faisait sur le site existant, enfin qu'il fallait considérer l'état d'avancement du projet et l'information dont il avait fait l'objet localement depuis un an ; cette décision a été critiquée par certains qui ont considéré qu'en ayant recours à cette formule, la CNDP, en somme, s'en désintéressait ; il n'en était rien et la CNDP a suivi activement et régulièrement ce qui a été un vrai débat public, respectant les principes de tous les débats publics, qui, en particulier, s'est déroulé (septembre – octobre 2004) sous l'égide d'une commission de pilotage composée de personnalités indépendantes du maître d'ouvrage ;
- de recommander au Commissariat à l'énergie atomique de mener une concertation sur le projet de réacteur Jules Horowitz selon certaines modalités ; cette concertation s'est déroulée d'avril à juin 2005 sous le regard d'une commission composée de personnalités indépendantes ; la CNDP, qui avait désigné l'un de ses membres pour en assurer le suivi, a pu constater que ses recommandations avaient été convenablement mises en œuvre.

QUEL MOMENT IDÉAL POUR UN DÉBAT PUBLIC DANS LA VIE D'UN PROJET ?

Je viens d'évoquer les critiques émises contre la forme du débat public choisie par la CNDP pour GBII. Pour ITER et pour EPR, la CNDP s'est vu reprocher par certains, d'une manière qui peut sembler paradoxale, d'avoir accepté d'organiser un débat public compte tenu de l'état d'avancement des projets. Pour éclairer cela, il faut revenir sur les objectifs du débat public et,

(1) Et il faut rappeler que la Commission nationale du débat public fonctionnant encore sous le régime de la loi de 1995 avait déjà recommandé au CEA de mener une concertation sur le projet de centre de conditionnement et d'entreposage de déchets radioactifs CEDRA (à Cadarache) ; ce débat local suivi par un membre de la CNDP, Patrick Legrand, avait eu lieu en octobre-novembre 2001.

par voie de conséquence, sur ce qu'est le moment idéal du débat public dans la vie du projet.

Le débat public a trois buts : informer la population, lui permettre de s'exprimer sur tous les aspects du projet, éclairer la décision à venir du maître d'ouvrage ; pour cela, il porte sur l'opportunité, les objectifs et les caractéristiques du projet ; le fait que l'opportunité soit citée comme premier objet du débat montre bien que la population doit pouvoir s'exprimer d'abord sur la nécessité ou non de réaliser le projet, avant de donner son avis sur ses modalités de réalisation ou ses impacts ; cela suppose que le débat public ait lieu suffisamment en amont dans la vie du projet, à un moment où aucune option essentielle n'a encore été prise. Cette situation idéale ne se rencontre pas toujours, notamment parce que certains dossiers ont déjà connu une longue histoire avant que la CNDP ne soit créée. Mais il y a aussi d'autres cas de figure dont ITER et EPR ont fourni des exemples.

Le cas d'ITER

Pour ITER, lorsqu'elle saisit la CNDP en avril 2003, la ministre déléguée à la Recherche indique « *l'objectif du débat public étant de permettre la consultation du public en amont des grands projets, il me semble souhaitable d'engager cette procédure avant la signature de l'accord international* ». On se trouvait alors en effet dans la situation

optimale où le débat public pourrait avoir lieu avant la décision des Etats partenaires de réaliser ensemble ce projet ; malheureusement il n'en fut pas ainsi car, pour diverses raisons, la CNDP ne reçut pas le dossier qui aurait constitué le support du débat et dut constater un an plus tard qu'elle n'était pas en mesure d'organiser le débat.

Ce n'est qu'au lendemain de l'accord international conclu à Moscou en juin 2005 que la CNDP sera de nouveau saisie et relancera la procédure. Elle considéra qu'il était inconcevable pour un projet de cette importance de renoncer au débat public et de priver la population de son droit à être informée et à s'exprimer. Mais elle eut le souci d'explicitier sa décision : elle releva que l'accord de Moscou comporte la décision à la fois de réaliser ITER et de l'implanter à Cadarache, qu'ainsi les choix essentiels étaient acquis mais, parce qu'elle savait que malgré cela des questions porteraient sur l'opportunité, elle souligna que le porteur du projet devrait répondre à ces questions (ce qui lui fournirait en même temps, l'occasion d'expliquer les justifications de son projet) ; la CNDP ajoutait que tous les autres aspects du projet, enjeux économiques et sociaux, insertion du projet dans son environnement, équipements d'accompagnement, offraient matière à débat.

Cette position sera encore rappelée lors du lancement des réunions publiques. Il n'empêche que la question pollua le début du débat : la réunion d'ouverture fut rendue impossible et la première partie de la suivante fut perturbée par quelques dizaines de personnes appar-



© Gilles Rolle / REA

Présentation à la presse des premières conclusions de la Commission particulière du débat public (CPDP) sur le projet de construction d'un réacteur nucléaire EPR à Flamanville.

tenant au réseau « Sortir du nucléaire » qui protestaient bruyamment contre le fait que, la décision étant prise, le débat public n'était qu'une « parodie de démocratie » qui ne servirait à rien ; diverses initiatives permirent d'apaiser progressivement les choses et si, lors des réunions ultérieures, une ou deux personnes critiquaient encore le fait que le débat ne s'ouvre qu'après la décision, les autres interventions portaient sur tous les aspects du projet : ses justifications précisément, ses conséquences et ses impacts, les mesures qui devraient l'accompagner.

Le cas d'EPR

Pour EPR, la situation était à la fois plus nuancée et plus délicate. Lorsque la CNDP décide d'organiser ce débat public, la loi d'orientation sur les énergies a déjà été votée en première lecture (en juin 2004) et l'on sait que la loi sera définitivement votée avant que le débat public ne soit terminé et peut-être même avant qu'il n'ait commencé (2).

Or, cette loi prévoit de « maintenir l'option nucléaire ouverte à l'horizon 2020 en disposant en 2015 d'un réacteur nucléaire de nouvelle génération opérationnel permettant d'opter pour le remplacement de l'actuelle génération » ; d'autre part, le rapport annexé à la loi indique : « la construction très prochaine d'un réacteur de troisième génération EPR est donc indispensable... ».

La CNDP, bien évidemment, n'ignore pas la loi ; au contraire, elle prend soin d'y faire référence dès sa décision initiale en relevant que la loi d'orientation arrête des principes fondamentaux en la matière, que cependant d'autres étapes restent à franchir avant que la décision au sens propre de construire EPR n'intervienne ; le débat est donc possible et peut porter sur tous les aspects du projet.

Cette position reçoit des critiques de deux camps opposés : les associations opposées au nucléaire critiquent un débat faussé et inutile puisque la décision de faire EPR est déjà prise, des parlementaires rappellent que le Parlement a délibéré et refusent que sa décision soit considérée en quelque sorte comme non définitive puisque soumise au débat.

Il a fallu, là aussi, expliquer aux uns et aux autres les raisons qui justifiaient la position de la CNDP ; j'ajoute deux arguments : imagine-t-on que la CNDP, alors que c'était la première fois que la procédure pouvait s'appliquer à une centrale nucléaire, décide qu'EPR ne mérite pas un débat public ? Et, dès lors que l'on organise un débat public, conçoit-on que l'on puisse en même temps interdire à la population d'aborder une question essentielle, celle de l'opportunité ?

(2) De fait, la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique sera promulguée le 13 juillet 2005, alors que le débat se déroulera de mi-octobre 2005 à mi-février 2006.

Pour la gestion des déchets radioactifs, le problème s'est présenté de façon plus favorable : en effet, la loi du 30 décembre 1991 prévoyait qu'à l'issue d'un délai maximum de 15 ans le Gouvernement adresserait au Parlement un rapport global d'évaluation accompagné d'un projet de loi sur la gestion des déchets radioactifs. La saisine de la CNDP en début d'année 2005 a permis que le débat public se tienne de septembre 2005 à janvier 2006 à un moment où les différents travaux d'évaluation scientifiques de recherche menés étaient disponibles, où l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) avait présenté ses propositions et où il était donc possible d'apporter au public une information complète, mais avant le printemps 2006, où le Gouvernement avait prévu d'adopter le projet de loi. Ainsi il était clair que le débat public pourrait contribuer à éclairer les décisions qu'allait adopter les pouvoirs publics. Ce facteur essentiel de crédibilité du débat a contribué à sa sérénité et à sa qualité.

LA CRÉDIBILITÉ ET LES DIFFÉRENTS APPORTS DES DÉBATS PUBLICS

Si l'on essaie maintenant d'apprécier ce qu'ont apporté ces débats publics, la première chose qu'il faut souligner, me semble-t-il, c'est qu'ils ont eu lieu. Cela peut paraître une lapalissade, mais cela a une signification lorsque l'on a entendu les craintes ou mises en garde qui s'exprimaient avant : combien de fois nous a-t-on dit que les réunions seraient empêchées, ou totalement perturbées, par des manifestations, qu'au mieux elles seraient le lieu d'affrontements verbaux violents ou stériles... ! Or il y a eu, certes, les incidents évoqués ci-dessus pour ITER, il y a eu lors des débats sur EPR ou sur les déchets radioactifs quelques manifestations peu nombreuses mais bruyantes devant les lieux où se tenaient les premières réunions ; mais, pour l'essentiel, les réunions ont pu se tenir normalement et, le plus souvent, dans une ambiance calme et sérieuse ; certes, il y a eu souvent succession de monologues exposant des positions inconciliables, mais il y a eu aussi confrontation des arguments, dialogue, et l'on a vu parfois des positions évoluer.

Si le débat public peut exister ainsi, c'est en grande partie parce que son organisation est confiée à un tiers, une autorité administrative indépendante qui est parfaitement neutre par rapport à toutes les parties – et neutre par rapport à la question soumise au débat – et qui garantit ainsi la crédibilité, l'équilibre et la qualité du débat ; ce qui est vrai de la Commission nationale l'est aussi de la commission particulière du débat public qui en est l'émanation et qui manifeste les mêmes qualités dans la préparation puis la conduite du débat.

Autre apport du débat public : il fournit à toute la population concernée une information complète, claire et accessible : le dossier du débat est diffusé de

quelques dizaines de milliers (EPR ou ITER) à plus de 600 000 exemplaires (déchets) ; en outre, ces documents, et beaucoup d'autres, sont mis à disposition sur un site Internet qui est ensuite régulièrement alimenté par tout ce qui fait la vie du débat.

Le dossier du débat est normalement celui du maître d'ouvrage ; mais, pendant le débat, la commission particulière peut donner à la contribution intéressante d'un intervenant (collectivité, organisme économique ou association) la forme d'un « cahier d'acteur » imprimé et diffusé comme le dossier du débat ; la population peut ainsi être mieux informée des points de vue les plus divers.

Pour EPR et pour les déchets radioactifs, la CNDP a considéré que l'importance et la complexité des dossiers, la controverse existant à leur sujet, justifiaient que, dès l'origine, le dossier du porteur du projet soit complété par des documents exposant de façon contradictoire les positions des grands acteurs ayant antérieurement travaillé sur ces questions.

C'est ainsi que le dossier d'initialisation du débat sur EPR comportait, d'une part, le dossier d'EDF et, d'autre part, un cahier collectif d'acteurs comportant les contributions de douze organismes favorables ou défavorables au projet ; pour les déchets radioactifs, le dossier comportait le rapport des deux ministères auteurs de la saisine (Industrie et Ecologie), le résumé du rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), le rapport de la Commission nationale d'évaluation, les présentations des opérateurs industriels et des organismes de recherche, enfin une étude faite par trois experts des questions énergétiques connus pour leurs analyses critiques sur la question du nucléaire.

Cette solution permettait à la fois d'informer de façon complète et contradictoire le public et d'assurer dès le début la crédibilité du débat.

Les différentes formes de la participation du public

La participation du public peut prendre différentes formes : envoi d'avis ou de contributions, recours au site Internet... mais c'est évidemment la présence et l'intervention lors des réunions publiques qui sont les plus notables ; le nombre de participants aux réunions a fluctué d'environ 1 000 personnes (GBII,) à 2 000-2 500 (ITER), à 3 000 (déchets) et 4 200 (EPR).

Qui sont les participants ? Le « grand public » est d'autant plus présent que la proximité géographique le fait se sentir plus directement concerné ; mais on a vu aussi, pour GBII et ITER, que l'ancienneté d'une « culture nucléaire » locale était un facteur favorable. Pour la même raison peut-être et pour d'autres (enjeux économiques locaux), les élus étaient bien présents à ces deux mêmes débats ; en revanche, pour EPR et pour les déchets, des personnes sont assez souvent intervenues pour regretter et critiquer l'absence des élus, notam-

ment des parlementaires. Les milieux économiques ont été assez présents pour évoquer les enjeux économiques nationaux ou plus souvent locaux de GBII, EPR et ITER.

Reste enfin le cas des associations, qui sont habituellement des intervenants très actifs dans les débats publics. Pour GBII, le réseau « Sortir du nucléaire » avait annoncé que, n'acceptant pas la formule du débat dont l'organisation était confiée au maître d'ouvrage, il le boycotterait. Un incident survenu à la mi-septembre à propos du débat sur l'EPR conduisit, en plusieurs temps et malgré les efforts de la CNDP, cinq associations de défense de l'environnement (dont France Nature Environnement et Greenpeace) à ne plus participer à ce débat ni à celui sur les déchets ; cependant certains de leurs membres y ont participé à titre personnel ; d'autre part, des experts proches de ces associations ont participé activement jusqu'à la fin.

De ce fait, et parce que ces associations avaient déjà pris position dans des cahiers d'acteurs, tous les avis auront pu s'exprimer dans les débats qui auront été véritablement contradictoires.

DES DÉBATS SUR DES QUESTIONS EN AMONT ET DES ENJEUX CONNEXES

Sur le fond, chaque débat aura été complet.

Il aura porté d'abord, on l'a vu, sur le débat lui-même, son organisation et sa place dans le processus.

Il a porté, d'autre part, sur tous les aspects du sujet débattu et d'abord, à chaque fois, sur la nécessité de faire ou de ne pas faire ; pour une part, il y a sur ce point des positions de principe inspirées par des analyses économiques, voire par des conceptions de la société, différentes, qui sont affirmées et non démontrées, mais il y a aussi, fort heureusement, de la part de certains, un effort d'argumentation ; les opposants ont pu ainsi exposer et motiver leurs positions ; les maîtres d'ouvrage ont pu ainsi expliquer et mieux faire connaître leurs raisons.

Très souvent cela a conduit à aborder des questions situées à l'amont ; l'objet n'était pas de refaire un débat général sur la politique énergétique, mais il était normal d'évoquer certaines options de cette politique ; c'est ainsi que deux thèmes sont revenus fréquemment et ont fait l'objet d'un assez large consensus : la nécessaire maîtrise de la demande d'énergie, l'indispensable développement des énergies renouvelables. De même, un débat peut conduire à évoquer des questions connexes : la concomitance des débats EPR et déchets radioactifs permettait au public d'avoir une vue complète de la problématique ; des questions soulevées dans le débat EPR et dans le débat qui avait lieu simultanément sur le projet de ligne THT « Cotentin – Maine » partant de Flamanville conduisirent à un groupe de travail commun sur l'évaluation prospective des besoins ; un autre groupe travailla sur les questions du secret industriel ou

commercial et du secret défense et a permis quelques avancées significatives.

Les caractéristiques des projets ou les modalités de réalisation ne sont, en général, pas les plus débattues car la technicité de certaines questions limite nécessairement leur appréhension par le grand public ; mais on voit pour GBII que la « culture nucléaire » de la région n'est pas un vain mot ; ailleurs, d'anciens salariés des grands opérateurs posent des questions pointues ; enfin, dans certains cas, ce sont des experts qui débattent entre eux et, à défaut de débat public, il y a débat en public. D'une autre façon, on pouvait penser que le public aurait peu à dire sur les aspects scientifiques et techniques du problème des déchets radioactifs ; mais on a vu apparaître dans le débat que ces aspects ne pouvaient être traités indépendamment des aspects éthiques, des problèmes de solidarité entre générations et entre territoires, sur lesquels tout citoyen a légitimement son mot à dire.

Les enjeux économiques et sociaux ont été débattus dans tous les cas, rapidement pour les enjeux nationaux, de façon plus approfondie pour les enjeux locaux : quelles retombées économiques, pour quel territoire, combien d'emplois en cause, de quels niveaux, quelles formations prévoir ? Mais aussi, pour ITER, comment accueillir les futurs chercheurs, quels besoins de logement, comment répondre aux besoins scolaires... ?

Enfin les différents risques et impacts sur l'environnement humain ou naturel n'ont pas manqué d'être abordés : risque nucléaire ou risque chimique, rejets gazeux ou liquides, risque sismique, sûreté et sécurité des installations ; c'est évidemment pour les déchets radioactifs à vie longue que les préoccupations les plus fortes s'exprimaient.

Des décisions de mieux en mieux motivées par rapport aux arguments développés pendant le débat

Il ne m'est pas possible, dans le cadre limité de cet article, de présenter de façon plus détaillée le contenu de chacun des débats qui ont tous été substantiels ; j'invite ceux qui souhaitent en savoir plus à visiter le site de la CNDP (3) qui leur permettra d'en consulter les comptes rendus et les bilans. De façon générale, je constate que les décisions prises par les maîtres d'ouvrage après la fin d'un débat public sont de mieux en mieux motivées et le sont par rapport aux arguments développés pendant le débat, ce qui est la meilleure façon de montrer au public qu'il a été écouté et que le débat public a servi à quelque chose. Un exemple particulièrement intéressant en est fourni par le débat sur les déchets radioactifs : la décision qui devait suivre était le projet de loi sur la gestion de ces déchets ; mais, on le sait, les exigences de forme des textes législatifs ne les rendent pas toujours très compréhensibles pour le grand public. Le compte rendu et le bilan du débat souhaitaient donc qu'un document présente la position du Gouvernement sur l'ensemble des questions traitées. Le ministère de l'Industrie a publié, en même temps que le projet de loi, un document très substantiel (30 pages) intitulé « Gestion des déchets radioactifs – les suites du débat public » qui répond point par point à toutes les questions du débat telles qu'elles étaient relatées dans le compte rendu : notre souhait avait été entendu.

(3) (www.debatpublic.fr).

Les Français et les déchets nucléaires

Les réactions des Français à l'égard des déchets nucléaires sont souvent qualifiées d'irrationnelles. Quand on les interroge longuement, il apparaît, certes, que, pour la plupart, ils n'ont qu'une connaissance fort sommaire des aspects techniques de la question et font largement appel à des représentations mythiques. Mais, pour se faire un point de vue, ils s'appuient également sur des éléments de sagesse des nations, sur une expérience des hommes et sur des réflexions éthiques dont les experts gagneraient à tenir compte.

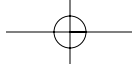
Par **Philippe D'IRIBARNE**, Directeur de Gestion et Société, Directeur de recherche, CNRS

Les réactions de l'opinion à la question des déchets nucléaires constituent un sujet sensible. En France, en particulier, il est bien apparu qu'il était impossible de construire une politique réaliste de gestion de ces déchets en faisant abstraction de ces réactions. Celles-ci ont joué un rôle essentiel dans la décision prise en 1991 de suspendre toute décision définitive en la matière et d'entreprendre de multiples recherches permettant d'avoir une connaissance beaucoup plus précise des voies possibles. La difficulté à faire passer des messages mettant en avant les aspects de la question relevant de la physique, de la géologie ou de la science des matériaux, a pu parfois donner l'impression qu'on avait affaire à des réactions éminemment affectives qu'il était vain de chercher à comprendre. La recherche que nous avons entreprise est partie au contraire du pari inverse : derrière une irrationalité apparente se cache une certaine logique à laquelle il n'est pas impossible d'accéder ; de plus, saisir cette logique permettra de mieux concevoir une politique qui n'hésite pas simplement entre un mépris de l'opinion et une dépendance excessive à son égard, mais qui sache tenir compte au mieux à la fois des propriétés de la matière et de la manière dont les hommes habitent le monde qui les entoure. L'objet n'était pas de réaliser un sondage d'opinion de plus, posant quelques questions à un échantillon représentatif de la population, mais de tenter de

comprendre ce qui fonde les opinions que l'on recueille : comment se construisent-elles à partir, certes, dans une certaine mesure, de fantasmes, mais aussi d'éléments de réalité plus importants qu'on ne le croit parfois ? (1).

À écouter des Français ordinaires parler de cette question, on est frappé par le contraste apparent que l'on observe entre, d'un côté, l'étendue de leurs incertitudes et de leurs doutes et d'un autre leur capacité à parler du sujet, souvent non sans pertinence, et à avoir sur certains points des avis très tranchés. La recherche a permis de comprendre ce qui rend ces deux traits cohérents.

(1) Cette recherche s'appuie sur une enquête réalisée d'avril 2004 à mars 2005, au cours de laquelle 110 personnes ont été interrogées en trois vagues successives (respectivement de 31, 49 et 30 personnes). Pour l'ensemble des trois vagues, 52 personnes ont été interrogées en Meuse et Haute-Marne et 58 dans le reste de la France. Le canevas d'entretien comportait à la fois des questions ouvertes et des questions fermées, les réponses à ces dernières étant traitées en s'intéressant aux commentaires suscités par la question, aux réinterprétations de celle-ci par les personnes interrogées, tous aspects révélateurs de l'univers de représentations de l'intéressé, au moins autant qu'à la position adoptée, celle-ci étant du reste souvent très incertaine. L'enquête a été interrompue quand il est apparu que les entretiens supplémentaires n'apportaient pas d'informations nouvelles. La recherche a bénéficié du soutien d'un ensemble d'acteurs du secteur nucléaire : Andra, Areva, CEA, EDF. Elle a été suivie par un comité de pilotage, présidé par Alain Bucaille, regroupant des représentants des quatre organismes qui l'ont soutenue. Elle a donné lieu à la rédaction d'un rapport, « Les Français et les déchets nucléaires », établi pour le ministre délégué à l'Industrie, consultable sur le site Internet : www.industrie.gouv.fr/energie/nucleair/debat-2006/synthese-iribarne.htm.



Au-delà des différences entre personnes interrogées, des disparités considérables de connaissances et de la diversité des opinions (et en particulier des sentiments globaux vis-à-vis du nucléaire en général), un fond commun de représentations, que l'on rencontre aussi bien chez ceux qui vivent près du site de Bure que loin de celui-ci, s'est nettement dégagé.

QUELS SAVOIRS ?

Quand on demande aux Français d'exprimer leur vision des déchets nucléaires, ils font appel à quatre formes de savoir : un savoir technique portant sur les déchets proprement dits ; un savoir, qui relève de la sagesse des nations, portant sur la capacité générale des humains à maîtriser le monde ; un savoir politique, portant sur les humains qui sont chargés de gérer les déchets ; et enfin un savoir mythique qui fournit des images, plus ou moins fantastiques qui servent, par analogie, à penser ce qu'on ne sait pas penser autrement. Ces divers savoirs se combinent, et réagissent les uns sur les autres, pour conduire, en fin de compte, à construire des opinions.

Pour la plupart, le savoir technique concernant les déchets est très réduit. Ils ne savent pas à quoi les déchets peuvent bien ressembler, s'ils sont solides, liquides ou gazeux, quel est leur volume, pendant combien de temps ils resteront radioactifs. Beaucoup ignorent même que leur radioactivité décroît avec le temps. De plus ils ont beaucoup de mal à se figurer des périodes qui se comptent en centaines de milliers d'années, ne voient guère de différence entre

cent mille ans et un milliard d'années. En outre, ils n'ont qu'une idée sommaire des propriétés physiques de ce qui peut servir à stocker les déchets, au-delà du fait que la terre comporte des failles génératrices de tremblements de terre destructeurs et des fissures par lesquelles bien des choses peuvent passer, que le verre se casse et que l'acier s'oxyde. Ils déclarent du reste volontiers qu'ils ne sont ni physiciens ni géologues.

Par contre, tous ont un certain nombre d'idées empruntées à la sagesse des nations, idées que l'on peut résumer par la formule «les hommes ne sont pas des dieux». Pour être capables de savoir comment un système technique, quel qu'il soit, va évoluer sur des temps qui défient l'imagination, il faudrait, affirmement-ils en chœur, que les hommes échappent aux limites de l'humanité. Il y a bien des choses dans le monde d'aujourd'hui, et *a fortiori* dans le monde de demain, qui échappent aux savants autant qu'aux ignorants. L'histoire ne le montre-t-elle pas, elle qui fourmille en situations où les plus savants ont méconnu, en toute bonne foi, une part de la réalité. Ainsi, Marie Curie ne connaissait pas les dangers du radium.

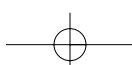
Un troisième registre de savoir concerne les hommes : jusqu'où, savants, politiques, industriels, écologistes, sont-ils dignes de confiance ? Peut-on compter sur eux pour agir de manière responsable ? Pour dire la vérité ? Des images toutes faites se combinent avec l'expérience du passé, et en particulier la manière dont a été géré en France le passage du nuage de Tchernobyl, pour apporter des réponses nuancées. Les savants sont vus comme plutôt



© Harry Gruyaert / MAGNUM PHOTOS

Dans l'ensemble, les Français réagissent plutôt favorablement à l'idée d'un stockage géologique, soigneusement surveillé et entretenu, et qui reste réversible, dans l'attente d'une «vraie solution» à la question des déchets. Mais ils ne se sentent guère compétents pour dire quelle solution technique précise il convient d'adopter. Ainsi, en attendant de pouvoir un jour recycler les déchets ou les débarrasser de leur radioactivité, vaut-il mieux les stocker en surface, à 50 m de profondeur, ou à 500 m, les laisser à la Hague ou les mettre ailleurs ? Ils ont bien quelques opinions sur le sujet, mais elles ne sont pas bien arrêtées et ils font largement confiance aux experts pour trancher (Photo : Centre de stockage de La Hague).

politiques, industriels, écologistes, sont-ils dignes de confiance ? Peut-on compter sur eux pour agir de manière responsable ? Pour dire la vérité ? Des images toutes faites se combinent avec l'expérience du passé, et en particulier la manière dont a été géré en France le passage du nuage de Tchernobyl, pour apporter des réponses nuancées. Les savants sont vus comme plutôt



responsables et honnêtes, mais pas toujours ; ils sont prêts à prendre leurs désirs pour des réalités quand ils affirment maîtriser les situations (cf. la vache folle, etc.). On peut craindre que l'appât du gain ne conduise les industriels, surtout s'il s'agit d'entreprises privées, à négliger les questions de sécurité. Il revient à l'État d'être le gardien de l'intérêt général, mais il faut se méfier des politiques.

Dernier registre, enfin, celui des images et des mythes. Comment se représenter des déchets dont on ne sait pas grand-chose, si ce n'est qu'on est incapable de les faire mourir et qu'ils peuvent faire du mal ? Comme un être à la fois malfaisant et immortel, capable de survivre à toutes les prisons où on prétend l'enfermer et prêt à profiter de la moindre occasion, du moindre défaut de la cuirasse, pour accomplir son œuvre de malheur ; un être qu'il ne faut surtout jamais laisser abandonné sans surveillance et à qui, si l'on veut enfin être en paix, il faut arriver un jour à ôter son pouvoir maléfique en le « dénucléarisant ». Le comportement des hommes prend sens, lui aussi, en référence à des images mythiques. Deux d'entre elles font particulièrement référence, pour le meilleur et pour le pire : d'un côté l'image du jardinier prudent et raisonnable, qui ne craint pas de modifier la nature pour lui faire rendre des fruits, mais sans oublier de l'entretenir, de veiller sur elle, d'assurer sa conservation ; de l'autre l'image de l'apprenti sorcier qui, troublant sans réflexion l'ordre naturel, déclenche des forces qu'il ne maîtrise pas.

UNE DIMENSION ÉTHIQUE

La forme de préoccupation qu'expriment les Français vis-à-vis des déchets radioactifs est très singulière. Peu sont vraiment inquiets pour eux-mêmes. Mais la plupart sont mus par un questionnement à caractère éthique : quel monde allons nous léguer à nos enfants et, plus largement, à l'humanité future ? Nous n'avons pas le droit, affirment-ils massivement, d'embarquer notre descendance, sans que celle-ci ait eu son mot à dire, dans une aventure sans limites, et qui l'est à un triple titre :

- on a affaire, avec les déchets radioactifs, à quelque chose qui restera vivant, et donc menaçant, pendant des temps à l'échelle desquels l'homme n'est rien, qui ne sont pas à sa mesure ;
- cette durée de vie quasi infinie promet un envahissement progressif de la planète lui aussi sans limites ;
- personne ne connaît réellement l'ampleur des dangers que l'on court, et surtout que courront nos descendants, et personne ne peut réellement garantir, vu, là encore, l'échelle de temps concernée qu'ils ne soient pas immenses, que le sort même de l'humanité ne sera pas un jour en jeu.

Les Français craignent que, refusant de voir la réalité en face, on abandonne pour toujours sans surveillance quelque chose (un être) dont on ne sait pas ce qu'il

réserve. Enterrer un tel être et le laisser vivre sa vie sans plus s'en occuper, en déclarant que la sorte de cercueil où on l'a enfermé résistera dans l'infini des temps à la corruption des matériaux qui le composent et à l'instabilité de la terre, est largement perçu comme totalement irresponsable.

C'est à l'aune de telles attentes, en se demandant si elles sont susceptibles de les satisfaire, que les solutions techniques susceptibles d'être adoptées pour gérer les déchets sont et seront jugées.

LES EXPERTS RESTENT-ILS DANS LEUR RÔLE ?

Compte tenu de ces éléments, on voit coexister, chez les mêmes personnes, des réactions vis-à-vis des politiques susceptibles d'être suivies et des experts à l'origine de ces politiques qui relèvent de deux registres radicalement différents.

D'un côté, on trouve la prétention attribuée à certains des responsables du nucléaire, experts en tête, à enfermer les déchets pour les siècles des siècles dans une sorte de boîte parfaitement cadencée, de façon telle qu'ils cessent totalement d'être une menace pour l'humanité future. L'évocation d'une telle prétention suscite massivement une réaction de rejet : les hommes, affirment en chœur les personnes interrogées, sont incapables de prévoir ce qui peut se passer sur des périodes de temps qui défient l'imagination ; considérée sur une telle durée, affirment-elles encore, la nature échappe à leur maîtrise ; elle réserve des surprises dont absolument personne, les savants pas plus que les ignorants, ne peut avoir idée aujourd'hui ; elle est susceptible de déjouer les plans les mieux conçus ; quelques assurances que l'on prenne, il finira bien un jour par se passer des choses que l'on n'aura pas prévues, et l'abîme dont on avait cru se protéger s'ouvrira alors malgré tout ; il est impossible de cerner aujourd'hui quelle serait l'ampleur de la catastrophe qui risque alors de se produire.

On a là une objection que l'on peut qualifier de métaphysique : le fini (l'homme) ne peut pas maîtriser l'infini (la nature dans l'infini des siècles). Une telle objection a sans doute à voir avec les mythes d'Adam, d'Icare ou de l'apprenti sorcier, qui, les uns et les autres, ont refusé d'assumer la finitude de l'homme et s'en sont trouvés cruellement punis (ainsi l'apprenti sorcier a cru pouvoir enfermer le mauvais génie dans une bouteille et a bien fermé le bouchon, mais il était fatal qu'un jour ou l'autre un événement imprévu permette à l'esprit maléfique d'en sortir). Cette vision des choses, qui s'ancre dans l'expérience millénaire de l'humanité, s'exprime par le truchement d'adages (« ça n'existe pas, la perfection », « le risque zéro n'existe pas », etc.). Elle est, de plus, périodiquement confortée par des épisodes tels que ceux de l'amiante, du sang contaminé, de Tchernobyl, etc. Cette vision entre en jeu à propos des déchets nucléaires comme elle le ferait dans n'importe quel

domaine de l'existence. Il suffit, pour qu'elle s'impose, de savoir que la durée de vie de ces déchets défie l'imagination. Peu importe dès lors que l'on ait ou non une idée plus précise des déchets eux-mêmes et des moyens sur lesquels on compte pour s'en mettre à l'abri. Il n'est pas besoin non plus de penser que tel ou tel événement précis risque de se produire. De toutes façons comment ne pas croire, vu l'échelle de temps en cause, que tôt ou tard il se passera quelque chose de dramatique même si l'on est aujourd'hui hors d'état d'imaginer ni ce que cela pourra être ni quand cela adviendra ?

Les connaissances plus précises que les personnes interrogées peuvent avoir sur tel ou tel aspect de ce qui touche aux déchets s'intègrent sans mal dans une telle vision. Le caractère peu prévisible des tremblements de terre, la dérive des continents, l'instabilité du climat, l'existence du terrorisme, le caractère mortel des civilisations sont autant d'éléments susceptibles d'alimenter la conviction que toute prétention à faire en sorte que l'on soit parfaitement protégé des déchets, alors même qu'ils demeurent pleinement actifs, est illusoire. Mais si ces éléments nourrissent cette conviction, ils ne la fondent pas.

Face à une conviction de cette nature, les propos d'experts visant à convaincre de ce que la situation est maîtrisée, qu'on a trouvé un moyen de protéger l'humanité du caractère néfaste des déchets dans l'infini des temps (ou ce qui paraît tel), pèsent peu. Peu importe la qualité, si éminente soit-elle, des travaux scientifiques qui sous-tendent l'argumentation déployée. On est dans un registre où les savants, qu'ils soient physiciens, géologues, chimistes ou autres, et les ignorants sont vus comme à égalité. Plus encore, peut-être, les savants sont soupçonnés de succomber à des illusions auxquelles le bon sens populaire permet, pense-t-on, de résister. Au mieux, de tels propos conduisent simplement à ranger les experts, regardés comme sincères, dans la catégorie de ceux qui sont victimes d'une illusion de maîtrise. Au pire, ces derniers seront accusés de mentir pour défendre de bas intérêts.

Une question radicalement différente concerne la façon la moins mauvaise de traiter, dans l'immédiat et dans les décennies à venir, les déchets existants et ceux que le parc nucléaire produira de toutes façon. Là, il ne s'agit plus de prétendre maîtriser l'infini des temps, mais d'apporter des solutions concrètes, avec leurs limites, à des problèmes circonscrits, au fur et à mesure qu'ils se présentent. On n'est plus dans un registre métaphysique, mais dans un registre technique. Dès lors, les experts sont bien dans leur rôle et retrouvent tout leur lustre. On ne peut plus leur opposer de savoir commun vis-à-vis duquel ils n'ont aucune supériorité par rapport au profane (voire même, ils sont en position défavorable, étant suspects d'être aveuglés par le fait d'être juge et partie). Certes, les profanes peuvent encore avoir des avis (par exemple sur des questions de profondeur d'enfouissement, ou de risques inhérents à un entreposage en surface), mais en étant en général très conscients des limites de ceux-ci, voire du fait qu'ils

sont susceptibles de reposer sur de purs fantasmes. Ces avis ne relèvent pas de convictions bien ancrées et sont susceptibles d'être modifiés par une information adéquate. Le savoir technique est alors en position dominante, à la seule condition que ceux qui le mettent en œuvre paraissent compétents et honnêtes. Souvent, du reste, le sentiment des citoyens ordinaires par rapport aux experts est du type : « *qu'ils fassent leur travail, qu'ils mettent en œuvre les manières de faire les plus adaptées ; nous sommes prêts à leur faire confiance* ».

Le lien entre les deux questions vient de ce que si les experts, en prétendant maîtriser les déchets par delà les siècles, semblent tenter d'usurper un rôle où ils ne sont pas légitimes, cela menace leur crédibilité dans le rôle qui leur est reconnu : le rôle de recherche, au sein du temps des hommes, des solutions qui, avec leurs limites, sont les moins mauvaises possibles à des questions trop complexes pour que le profane puisse les maîtriser.

LES ATTENTES À L'ÉGARD DES RESPONSABLES

Les Français attendent deux choses des responsables :

- qu'ils fassent en sorte que, grâce au progrès de la science, on devienne capable, le plus tôt possible, de recycler les déchets radioactifs de manière à les faire disparaître, ou de les transformer en déchets ordinaires, privés de leur radioactivité ;
- qu'en attendant que ce jour advienne, on s'organise pour les surveiller attentivement, de manière à pouvoir réagir sans délai si, pour une raison quelconque, ils devenaient immédiatement menaçants.

Cette attente est alimentée par une croyance au progrès qui relève largement d'une sorte de foi du charbonnier. Elle anticipe, en ce qui concerne la disparition à terme de tout caractère radioactif des déchets, sur ce que les scientifiques sont capables aujourd'hui de promettre avec certitude. Mais elle ne demande pas l'impossible. En particulier les Français savent bien que les progrès de la science prennent du temps et se doutent plus ou moins confusément que tout n'est pas forcément réalisable. Ils veulent en tout cas que la génération présente fasse de son mieux, se donne les moyens de réaliser quelque chose qui ne sera certes pas parfait (la perfection n'est pas de ce monde), mais qui permettra de faire rentrer du mieux qu'on peut la question des déchets dans les limites de la vie ordinaire de l'humanité. Et, mieux on arrivera à un tel résultat, plus on pourra accepter le nucléaire comme une source pérenne d'énergie.

Dans l'ensemble, ils réagissent plutôt favorablement à l'idée d'un stockage géologique, soigneusement surveillé et entretenu, et qui reste réversible, dans l'attente d'une « vraie solution » à la question des déchets. Mais ils ne se sentent guère compétents pour dire quelle solution technique précise il convient d'adopter. Ainsi, en attendant de pouvoir un jour recycler les déchets ou les débarrasser

de leur radioactivité, vaut-il mieux les stocker en surface, à 50 m de profondeur, ou à 500 m, les laisser à la Hague ou les mettre ailleurs ? Ils ont bien quelques opinions sur le sujet, mais elles ne sont pas bien arrêtées et ils font largement confiance aux experts pour trancher.

La question du temps qui va être nécessaire pour obtenir autant que possible le recyclage ou la neutralisation des déchets nucléaires demeure un point sensible. Deux références, inégalement contraignantes, interviennent simultanément :

- la première est le temps d'une génération, temps dont celle-ci dispose pour régler les problèmes qu'elle a créés, évitant ainsi de les « refiler » non résolus à l'humanité future ;
- la seconde correspond au temps de la transmission, temps pendant lequel les générations successives sont

capables de veiller sur un système technique et d'en confier le soin à la génération suivante, dans des conditions qui assurent que ce système reste bien maîtrisé.

Pour qu'une combinaison de stockage immédiat et de transformation à terme soit crédible, il est en tout cas nécessaire qu'une telle transformation se réalise dans des délais compatibles avec le temps de la transmission. Mais, idéalement, beaucoup souhaiteraient que l'on fasse mieux et que le temps d'une génération suffise. À défaut, c'est en tout cas un devoir pour la génération présente d'utiliser ce temps pour faire progresser la science. Et le legs fait aux générations futures sera moralement plus acceptable si ce qu'on leur transmet aujourd'hui comme déchet promet d'être un jour une source précieuse d'énergie ou de matières premières.

Du cachalot au tritium

ENJEUX D'AVENIR
DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

Des bougies à l'huile de baleine à la fission de l'uranium et à la fusion des atomes, il n'y a que 150 ans d'agitations et d'innovations humaines. Dans ce laps de temps, l'humanité en quête d'éclairage, de chauffage et de voiturage a très sérieusement entamé les autres stocks fossiles et végétaux que sont le charbon, le pétrole, la tourbe et le bois. L'énergie nécessaire à la protection de l'Homme contre le froid et le chaud, à ses transports, à son éclairage et à ses autres comforts est un problème majeur et constant qui, depuis l'avènement de l'ère industrielle et consumériste, met en péril l'environnement marin, terrestre et atmosphérique.

Par **Jacky BONNEMAINS**, président de Robin des Bois (*)

DE LA BOUGIE BALEINIÈRE...

Il y a 150 ans l'huile de baleine illuminait modestement le monde. Dès 1709, le Parlement britannique, flairant la bonne affaire en même temps que les effluves des bougies de graisse de bœuf et de cochon, décréta une taxe sur la vente de chaque chandelle et assujettit leur fabrication à l'obtention d'une licence. Les ateliers clandestins furent pourchassés. Pour les baleines, tout a commencé à Newport, en 1751, quand un marchand désireux de se lancer dans la fabrication et la distribution des bougies achète dans un entrepôt portuaire quelques kilos d'une cire blanche et stable extraite de la tête des cachalots et trompeusement appelée spermaceti. A la matière première initiale exhalant une odeur, ou plutôt un parfum, que Herman Melville, dans *Moby Dick*, assimile à celui de l'herbe et du beurre de printemps, s'ajouta l'huile extraite des graisses des cachalots et plus généralement des baleines qui produisaient, elles aussi, des bougies à la lumière brillante et claire exhalant une odeur désagréable. Le premier cartel de l'histoire de l'énergie a regroupé, en 1760, huit producteurs de la côte Est des États-Unis sous le nom de *United Company of Spermaceti Candles*. Ils se sont entendus comme bien de leurs successeurs sur les prix de la matière première

et des produits finis. Cette OPEP de la bougie baleinière ne réussit cependant pas à imposer sa loi sur le marché à cause de la diversité des armements baleiniers et des pôles de consommation. Un des négociants américains essaya cependant de construire un empire intégré en exploitant simultanément des navires de chasse aux baleines, des structures de raffinage et de négoce du spermaceti et des fabriques de chandelles, préfigurant certains conglomérats industriels qui dominent aujourd'hui le secteur énergétique. A cette époque, Londres était la ville la plus éclairée du monde avec ses réverbères et ses lustres alimentés par la fusion des baleines. Il a manqué au trust américain des bougies et des lampes à huile de mammifères marins la multinationalité qui lui aurait permis d'imposer ses prix au marché européen. En 1841, la seule flotte américaine comptait 678 navires chasseurs et, de la même manière que les compagnies pétrolières vont aujourd'hui chercher les hydrocarbures dans des conditions géographiques et climatiques extrêmes, les chasseurs baleiniers furent obligés de s'éloigner de plus en plus loin et de plus en plus longtemps des côtes, au point que les campagnes de chasse duraient quatre ans et que, du fait de leur rareté, le spermaceti et l'huile de baleine devenaient inabordable et soumis à une spéculation effrénée. 150 ans

(*) Association de protection de l'Homme et de l'environnement.

après, les cachalots, les baleines à bosse et les baleines franches portent encore les stigmates de cette frénésie et c'est pourquoi, moins que tout autre, l'écologie ne souhaite pas le retour à la bougie et à la lampe à huile.

...AU TEMPS DU CHARBON ET DES HYDRO- CARBURES...

Vint le temps du charbon, du pétrole et du gaz. Les sous-sols de la Terre contiennent plus ou moins uniformément de l'uranium 238 et du thorium 232. La production d'hydrocarbures déplace et déstocke la radioactivité scellée dans les réservoirs géologiques. La présence du radon a été détectée dans la production de gaz dès le début du XX^e siècle. En 1970, aux Etats-Unis, les autorités sanitaires ont dit que la teneur en radon du gaz domestique était assez élevée pour déclencher chaque année quinze cancers mortels.

Les boues et les tartres dans les sites de production d'hydrocarbures *off-shore* ou terrestres recèlent des activités considérables en polonium 210, radium 226, radium 228, les valeurs moyennes se situant entre 300 000 et 1 million de Bq/kg. Des informations très précises ont été diffusées en Allemagne, en Italie, en Norvège, aux Pays-Bas, en Grande-Bretagne, au Brésil, en Malaisie, en Russie, aux Etats-Unis. Pour ce qui est des gisements français de production, il n'existe pas de bibliographie signalant cette radioactivité renforcée. Dans le Béarn, le principal gisement français s'est appuyé sur une zone dont l'activité radioactive naturelle est confirmée; des eaux de source pyrénéennes ont



© Christian Hartmann / SIPA

L'opinion publique et ses élus disent s'effrayer de l'option géologique non réversible alors que, depuis un an, de plus en plus de villes ou de communautés urbaines françaises envoient, irréversiblement, en Thuringe, dans les mines souterraines de sel, leurs résidus d'épuration des fumées d'ordures ménagères qui sont, en toute objectivité, des réservoirs à dioxines et autres micropolluants toxiques ou écotoxiques. En fait, il ressort de cet exemple que ce que toute la communauté publique française, politique et atomique attend plus ou moins confusément, c'est une fenêtre de tir pour envoyer à l'étranger dans des conditions géophysiques, politiques et financières honorables les déchets nucléaires de haute activité. Dans cette perspective, la loi française est bien prévoyante quand elle n'interdit pas l'exportation de ce type de déchets alors que la Finlande l'a fait.

Les scientifiques américains du laboratoire d'Oak Ridge disent qu'une centrale thermique au charbon de 1 000 MW sous-produit chaque année 5,2 tonnes d'uranium qu'on retrouve dans les cendres ou dans l'atmosphère, dont 33 kg d'uranium 235. Il peut être extrait des lagunes de cendres de combustion du charbon plusieurs bombes atomiques du type Hiroshima. Le charbon est un moyen théorique d'accéder à la prolifération nucléaire. La mobilisation et le renforcement de la radioactivité naturelle et son retraitement par des industries conventionnelles commencent seulement à être pris en compte en France. Les énergies extractives et fossiles perturbent les radioactivités naturelles dont les positions, les équilibres et la biodisponibilité sont modifiés. L'environnement de surface, les populations humaines et animales, les ressources aquatiques, de même que le compartiment atmosphérique par la combustion du charbon, sont radiologiquement surexposés par rapport

été de ce fait retirées du marché. Au Royaume-Uni, en Norvège et aux Pays-Bas, les effluents sont considérés comme radioactifs à partir de 10 Bq/g pour chaque radio-élément rencontré. Depuis 1975, les pétroliers de la plate-forme de Lacq ont pris l'habitude d'injecter à 4 000 m de profondeur des déchets aqueux dont la teneur radioactive n'est pas déterminée. Il est donc probable, mais non confirmé par les exploitants et les autorités de contrôle que, depuis 40 ans, la France recourt à l'injection et au stockage géologique de déchets radioactifs.

Les scientifiques américains du laboratoire d'Oak Ridge disent qu'une centrale thermique au charbon de 1 000 MW sous-produit chaque année 5,2 tonnes d'uranium qu'on retrouve dans les cendres ou dans l'atmosphère, dont 33 kg d'uranium 235. Il peut être extrait des lagunes de

à la situation originelle. Un bilan des modes acceptables de gestion des déchets devrait être disponible en 2009, conformément à une petite et fragile ligne de la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, due en grande partie à un dossier de 265 pages sur la radioactivité naturelle technologiquement renforcée (RNTR) réalisé par Robin des Bois à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

...AU NUCLÉAIRE ET SES DECHETS DE HAUTE ACTIVITÉ...

Vient enfin l'énergie nucléaire en tant que source d'électricité.

Elle reste une énergie fossile basée sur l'extraction de l'uranium ; les mines d'uranium n'ont pas, jusqu'alors, dérogé à la gestion abandonnante ou passive des stériles et autres résidus pratiqués par l'ensemble des industries extractives. La répartition planétaire équitable de l'uranium est habilement exploitée. Quand Robin des Bois a protesté, en été 2006, contre le relargage à partir de l'épave immergée de l'*Ece* dans la mer de la Manche, de 10 000 t d'acide phosphorique contenant 800 kg d'uranium entre autres substances et autres risques, l'IRSN, gardien du temple du soleil a immédiatement répliqué que la Manche contient 18 000 t d'uranium. Il y a chez les pros du nucléaire une rhétorique de l'abondance et de la profusion héritée tout à la fois de la Bible et des religions profanes, comme le communisme russe des années 1950-1970, qui est incompatible avec les objectifs modernes de réduction des pollutions et de sobriété énergétique. En l'occurrence, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), en se focalisant sur le seul uranium avec une certaine désinvolture, oubliant par exemple la contamination des moules de l'estuaire de la Seine par les rejets uranifères de fabrication de l'acide phosphorique, a été l'allié du pavillon des Iles Marshall et d'un armateur turc souhaitant, pour des raisons financières évidentes, éviter les contraintes d'un pompage de la cargaison immergée et imposer la facilité de sa vidange dans la fosse septique marine.

Les dysfonctionnements, et surtout les accidents majeurs sur les réacteurs nucléaires, sont le handicap majeur de l'industrie nucléaire. Ils sont susceptibles de contaminer, selon des conditions météorologiques et saisonnières aléatoires, des millions de tonnes de matières agricoles, des milliers d'animaux de fermes, des réseaux et des bassins hydrauliques entiers, des mosaïques d'habitats et de voiries. Malheureusement cette « directive Tchernobyl » à l'échelle de l'Europe, que Robin des Bois préconise, portant sur la planification pré et post-accident des modalités d'inventaire, de mesures, de collecte, de gestion des déchets et des territoires contaminés est encore loin d'être imposée dans tous les pays du monde où des centrales nucléaires sont en activité ou en projet.

Quant aux déchets de haute activité sous-produits par les réacteurs, ils ne nous apparaissent pas, paradoxalement et depuis une vingtaine d'années, comme un problème majeur, sans doute à cause de l'intérêt accordé par Robin des Bois depuis sa fondation à la gestion des déchets industriels spéciaux, aux conditions toutefois qu'une option de gestion soit validée et appliquée et que le seul paramètre pris en compte soit la qualité du substrat géologique. L'opinion publique et ses élus disent s'effrayer de l'option géologique non réversible alors que, depuis un an, de plus en plus de villes ou de communautés urbaines françaises envoient, irréversiblement, en Thuringe, dans les mines souterraines de sel, leurs résidus d'épuration des fumées d'ordures ménagères qui sont, en toute objectivité, des réservoirs à dioxines et autres micropolluants toxiques ou écotoxiques. En fait, il ressort de cet exemple que ce que toute la communauté publique française, politique et atomique attend plus ou moins confusément, c'est une fenêtre de tir pour envoyer à l'étranger dans des conditions géophysiques, politiques et financières honorables les déchets nucléaires de haute activité. Dans cette perspective, la loi française est bien prévoyante quand elle n'interdit pas l'exportation de ce type de déchets alors que la Finlande l'a fait. Une sorte de collusion entre les producteurs et les contempteurs des déchets aboutit à un *statu quo* consensuel et durable et à ce que nous considérons comme le plus gros marché des dupes aient jamais conclu, à savoir la prise en considération par les écologistes de l'entreposage de surface multiséculaire et si nécessaire renouvelable des déchets nucléaires de haute activité. Cette éternelle solution d'attente, évidemment appréciée par les producteurs pour ses avantages financiers et juridiques, présume naïvement et confortablement qu'en 2306 la société française ou son équivalent bénéficiera toujours de cette homogénéité et de ces capacités financières et morales qu'on lui connaît aujourd'hui, malgré des signes avant-coureurs de pénurie et de délitement.

...VERS DE NOUVEAUX PARADIS ÉNERGÉTIQUES

Enfin, les enquêtes ou informations publiques relatives à l'EPR et à ITER ne témoignent pas, en 2006, d'une amélioration qualitative et chronologique des procédures d'information et de décision. L'industrie nucléaire ne parvient pas et ne souhaite pas se délivrer des parainages et parapluies politiques. Dans le cas d'EPR, elle délivre des dossiers d'enquête publique coupés/collés de niveau 1980. La plus symbolique des lacunes étant sans doute l'absence de reprise du réchauffement climatique – « la température de l'eau en face de Flamanville n'excède jamais 19° » et, par conséquent, « l'impact des rejets d'eau chaude du réacteur EPR ne pourra pas nuire aux ressources halieutiques » – alors que, hors dossier EPR, les scientifiques du CEA et les

communicants d'EDF rabâchent jusqu'à l'obsession les effets apocalyptiques sur terre et en mer du réchauffement climatique « en cours ».

Pour ITER, l'installation à Cadarache est officialisée, martelée et internationalisée à coups d'annonces triomphantes et présentant toutes les garanties d'irréversibilité alors que l'enquête publique permettant au peuple français de s'exprimer légalement sur un rapport préliminaire de sûreté en cours d'élaboration et lourdement différé n'est pas prévue avant 2008. Peu importe, les agents immobiliers sont super contents, l'immobilier dans le Lubéron va encore flamber, et le récent discours

élyséen introduisant le traité international ITER signé par le Japon, la Russie, la Corée du Sud, l'Inde, l'Europe et les Etats-Unis, ouvre sur de nouveaux paradis énergétiques : tirer de l'eau de mer autant d'énergie que d'un kilo de charbon ou d'un litre de pétrole. Un nouvel avenir radieux, sans limitation de consommation et sans risques, se dessine. Pour nous, minables pragmatiques et pour les pêcheurs et riverains du golfe de Gascogne et d'ailleurs, cette vision prophétique s'applique à peu près à un litre d'eau de mer, mais quand des *Erika* ou des *Prestige* s'ouvrent en deux et génèrent des marées noires...

L'énergie nucléaire au Royaume-Uni

ENJEUX D'AVENIR
DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

Dans le livre blanc de 2003 sur l'énergie, le Gouvernement britannique s'est engagé à réduire ses émissions de gaz carbonique de 60 %, c'est-à-dire de passer d'environ 150 millions de tonnes par an actuellement à 60 millions de tonnes pour 2050. Un objectif qui implique d'exercer de fortes pressions dans tous les secteurs, sans exception, mais surtout de développer l'option nucléaire, avec le renouvellement du parc actuel, mais aussi la construction d'ici trente cinq ans, grâce au projet ITER, de centrales à fusion.

Par le Professeur **Sir David KING**, Chief Scientific Adviser to the UK Government (*)

Le gaz carbonique atteint un niveau élevé, environ 40 % de plus aujourd'hui qu'à tout autre époque, depuis au moins 740 000 ans et, sans doute, depuis vingt millions d'années. Nous connaissons l'origine de ce phénomène : notre utilisation de combustibles fossiles et la déforestation. Les conséquences sont inquiétantes et, jusqu'à un certain point, inéluctables. Étant donné l'inertie du système climatique de notre planète, et quelles que soient les actions entreprises afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre, le réchauffement du climat poursuivra son cours pendant quelques décennies. Toutefois, les décisions que nous prenons maintenant, pour le meilleur ou pour le pire, auront un impact énorme sur ce que nous léguerons à nos enfants et aux générations à venir.

« DÉCARBONISER » D'URGENCE

Le réchauffement climatique fait déjà sentir ses effets. La banquise fond, les glaciers reculent, le niveau des mers monte, et l'eau des océans est plus acide. Même le nombre d'ouragans d'une force équivalente à celle de Katrina a doublé depuis trente ans. Il est à craindre cependant que ce que nous constatons aujourd'hui ne soit qu'un avant-goût des graves effets à venir – à moins

que des actions radicales d'urgence ne soient entreprises afin de « décarboniser » nos économies qui, au Royaume-Uni et dans le monde, dépendent de combustibles fossiles.

C'est le plus grand problème auquel notre civilisation est confrontée, un problème qui nécessite une réponse collective et globale. C'est un défi formidable pour nos peuples, nos entreprises et nos hommes politiques. Comme les émissions proviennent de plusieurs sources, la réponse empruntera diverses formes d'un pays à l'autre. Nous aurons besoin de nous servir de tous les outils disponibles, et nous devons aussi en créer et en utiliser de nouveaux.

Dans le livre blanc de 2003 sur l'énergie, le Gouvernement britannique s'est engagé à réduire les émissions de gaz carbonique de 60 %, tout en maintenant un coût d'énergie compétitif et en défendant la sécurité des approvisionnements. Comme le pays émet actuellement environ 150 millions de tonnes de gaz carbonique par an, nous aurons à réduire ce chiffre à 60 millions de tonnes pour 2050. Il faut exercer de fortes pressions dans tous les secteurs sans exception afin d'atteindre cet objectif. L'apport de chaque secteur en termes de réduction de gaz devra augmenter au

(*) Cet article a été traduit de l'anglais par Noal Mellott (CNRS, Paris).

cours des cinquante années à venir. Cela nécessite des mesures dans chacun des domaines suivants : des gains d'efficacité dans la consommation d'énergie ; un programme ambitieux en faveur des énergies renouvelables ; la « décarbonisation » des transports ; un programme qui inverse la tendance à restreindre le nucléaire ; des systèmes pour produire et distribuer à la fois de l'électricité et du chauffage près des points de consommation (*distributed energy generation*) ; la « microgénération » d'énergie, utilisant le plus possible l'environnement en dehors du réseau national (par exemple, de l'énergie produite lors de processus industriels) ; enfin, des méthodes pour piéger et stocker le carbone. Ces recommandations figurent dans *l'Energy review*, une évaluation publiée en juillet 2006 qui sera suivie d'un nouveau livre blanc.

A condition que chaque apport ait un rendement optimal, nous pourrions réaliser cette réduction de 60 % dans une économie saine en croissance. Si un apport dans un de ces domaines pouvait se réaliser plus vite, surtout à la faveur de nouvelles technologies, nous pourrions effectuer une réduction plus importante et nous acheminer plus rapidement vers notre objectif d'une économie sans émissions de carbone dans l'atmosphère.

Pour atteindre ce but, il faut conduire des analyses fines, entreprendre des recherches et développer des compétences dans chaque secteur. Il faut aussi aborder le problème des contraintes qui freinent ces apports. Par exemple, la capacité des éoliennes est d'environ 1,4 GW alors qu'un supplément de 9,5 GW se trouve toujours bloqué au stade du planning. Tout en respectant des procédures démocratiques au niveau local, il



© Jason Bye / CAMERA PRESS - GAMMA

Il est nécessaire d'assurer les conditions de remplacement de la capacité nucléaire existante du Royaume-Uni, sinon le pays dépendra de plus en plus de sources d'énergie qui émettent du gaz carbonique et dont l'approvisionnement provient de la Russie, de l'Afrique et du Moyen Orient. Chaque année de retard dans la construction d'une centrale nucléaire entraînerait, d'ici 2050, l'émission de 30 millions de tonnes de gaz carbonique supplémentaires dans l'atmosphère, à supposer que le gaz naturel prenne le relais d'une production nucléaire en baisse. D'après certains scénarios, la situation serait pire si le prix du gaz restait élevé et si le charbon devenait plus compétitif.

période de dix ans. Les nouvelles technologies qui en résulteront fourniront les moyens d'atteindre plusieurs de nos objectifs.

POUR UN RENOUVELLEMENT RAPIDE DU PARC NUCLÉAIRE

C'est dans ce contexte que nous devrions, me semble-t-il, lancer des actions afin d'assurer les conditions de remplacement de la capacité nucléaire existante du Royaume-Uni. En l'absence de telles actions, le pays dépendra de plus en plus de sources d'énergie qui émettent du gaz carbonique et dont l'approvisionnement provient de la Russie, de l'Afrique et du Moyen Orient. Le temps est un facteur clé. Il est beaucoup plus long de planifier une centrale nucléaire, d'obtenir les autorisations nécessaires et de la construire que de faire réali-

faut rationaliser le processus de décision afin de supprimer de tels goulets d'étranglement.

D'importantes ressources supplémentaires seront, au cours de la prochaine décennie, consacrées à la recherche sur d'autres énergies. Deux événements très importants nourrissent cette tendance. En premier lieu, nous travaillons à présent avec les directeurs généraux de BP, d'E.ON UK, d'EDF et de Shell sur un nouvel institut (Institute for Energy Technologies). Ce partenariat public-privé investira 500 millions de livres dans la R&D sur dix ans, et il attirera d'autres firmes privées. Deuxièmement, BP a annoncé la fondation du BP Bioenergy Institute, qui investira 300 millions de livres dans la recherche sur les biocarburants pendant une

ser d'autres choix relatifs à la production d'électricité. Chaque année de retard dans la construction d'une centrale nucléaire entraînerait, d'ici 2050, l'émission de 30 millions de tonnes de gaz carbonique supplémentaires dans l'atmosphère, à supposer que le gaz naturel prenne le relais d'une production nucléaire en baisse. D'après certains scénarios, la situation serait pire si le prix du gaz restait élevé et si le charbon devenait plus compétitif.

Toutes les options en politique énergétique ont des avantages et des inconvénients, comme en témoignent les campagnes bruyantes contre la construction de parcs d'éoliennes. Quant à l'option nucléaire, les déchets représentent, sans aucun doute, un problème à traiter.

Les centrales nucléaires construites de nos jours assurent un bien plus grand niveau d'efficacité et de sécurité. Elles sont conçues pour être plus facilement démantelées, et elles produiront bien moins de déchets que les modèles antérieurs. On estime que, sur une période de quarante ans, un ensemble de dix nouveaux réacteurs n'augmenterait que de 10 % le volume total des déchets au Royaume-Uni. Une solution à long terme pour les déchets est à trouver quelle que soit la décision au sujet de la construction de nouveaux réacteurs. La Commission indépendante de la gestion des déchets radioactifs a abordé ce problème, et le Gouvernement a accepté ses recommandations. Pour les centrales

nucléaires à construire, des investisseurs privés (au lieu de l'Etat ou des contribuables) auraient à supporter les coûts de gestion des déchets et de démantèlement, dont le montant ne s'élèverait pas à plus de 3 % de l'ensemble.

En clair : s'il y avait d'autres sources d'énergie d'une faible teneur en carbone qui pourraient remplacer la génération actuelle de réacteurs nucléaires tout en assurant la sécurité d'approvisionnement à des prix concurrentiels, nous y serions favorables. Mais il n'y en a pas. Le nucléaire représente pour le Royaume-Uni une source importante d'électricité avec un faible taux de carbone. C'est la raison pour laquelle le Gouvernement a affirmé que cette option restait importante pour la poursuite d'objectifs dans le domaine de l'énergie.

Il se peut que nous assistions au Royaume-Uni à la dernière génération de centrales nucléaires fondée sur la fission. D'ici trente cinq ans, le projet ITER pourrait bien nous permettre de construire des centrales à fusion, qui n'auraient pas de déchets irradiés. Pour le moment, nous devons cependant faire face à la réalité telle qu'elle se présente.

Grâce à ce vaste ensemble d'actions qui visent à « décarboniser » notre économie, ce qui renforcera notre rôle à la tête de négociations internationales au sujet de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, nous pourrions envisager que la situation léguée aux générations futures soit plus facile à gérer.

Les nouvelles perspectives de la politique énergétique au Royaume-Uni

Pendant une décennie, le Royaume-Uni avait vu ses émissions de gaz à effet de serre décroître, ce qui lui avait permis de prendre le rôle de *leader* dans les négociations internationales sur le changement climatique. Puis on fut bien embarrassé de constater que les émissions carbonées avaient repris et augmenté de presque 5 % de 1999 à 2004, à la suite de la fermeture des centrales nucléaires, mais aussi d'un plus grand recours au charbon, dû à la hausse du prix du gaz. Pourtant, lors de la publication du livre blanc de 2003, la construction de nouveaux réacteurs nucléaires paraissait tout au mieux une possibilité lointaine, et encore. A la suite de la dernière réévaluation de la politique énergétique, le Gouvernement britannique, dans un rapport publié en juillet 2006, fit montre d'un revirement spectaculaire en affirmant que de nouvelles centrales nucléaires auraient des effets économiques bénéfiques en termes de réduction des émissions de carbone et de sécurité d'approvisionnement.

Par **Malcolm GRIMSTON**, Honorary Senior Visiting Research Fellow at Imperial College London, Fellow of the Royal Institute of Foreign Affairs (Chatham House) (*)

« **L**e nucléaire, qui ne produit que très peu de gaz à effet de serre (GES) est une source d'électricité qui concourt à la diversité de notre approvisionnement en énergie. Il est probable, selon certains scénarios relatifs aux prix du gaz et du charbon, que de nouvelles centrales nucléaires auront des effets économiques bénéfiques en termes de réduction des émissions de gaz carbonique et de sécurité d'approvisionnement. Le Gouvernement pense que le nucléaire a un rôle à jouer, avec d'autres options de faible teneur en carbone, dans le futur « mix » de production électrique britannique. Les informations collectées pendant la consultation en vue d'une réévaluation de la politique énergétique confirment cette opinion. »

Ce positionnement du Gouvernement britannique dans un rapport publié en juillet 2006 à la suite de la dernière réévaluation de la politique énergétique (extraits de *The energy challenge*) signale un revirement spectaculaire par rapport aux conclusions tirées lors de la réévaluation précédente, qui figurent dans le livre blanc de 2003 : « *Our energy future – Creating a low carbon economy* ». Le ton y était très différent. Tout en admettant à contrecœur l'importance de l'énergie nucléaire pour une production d'électricité plus propre, le

(*) Cet article a été traduit de l'anglais par Noal Mellott (CNRS, Paris).

document de 2003 affirmait : « *Certains facteurs économiques actuels font [du nucléaire] une option sans attrait pour la nouvelle production d'électricité sans émission de carbone, et il y a aussi le problème que pose le stockage des déchets nucléaires, qui vient s'ajouter à celui que posaient déjà les déchets provenant d'autres sources. Pour conclure, nous avons, dans ce contexte, raison de concentrer nos efforts sur l'efficacité énergétique et sur les énergies renouvelables. C'est pourquoi, nous ne proposons pas de relance de la construction de centrales nucléaires maintenant.* »

Cette volte-face, même émanant des milieux politiques, est surprenante, surtout dans une période aussi courte. Comment expliquer cette réévaluation des besoins énergétiques du pays et du potentiel que représente le nucléaire ?

LES BASES DU SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE

On entend souvent dire qu'une société a trois exigences par rapport à son système énergétique : la sécurité de l'approvisionnement, une énergie économique et un impact acceptable sur l'environnement. A cela on pourrait en ajouter une quatrième, à savoir que la politique énergétique doit faire l'objet d'un large consensus politique et social. Pendant les années 1990, la politique du Royaume-Uni en ce domaine paraissait être d'une incroyable facilité. Durant une courte décennie, elle a permis des améliorations sur tous les fronts – à la différence des années 1970 et 1980, années au cours desquelles existèrent de fortes tensions. À la suite du choc pétrolier des années 1970, plusieurs pays ont cru qu'une politique fondée sur la planification centrale et sur des interventions étatiques suffirait pour assurer la sécurité de l'approvisionnement. L'industrie du charbon bénéficiait d'un grand renouveau mais à un coût considérable en termes environnementaux à cause des émissions acides (NO_x, SO₂) et des gaz à effet de serre. La puissance du principal syndicat minier au Royaume-Uni (*National Union of Miners*) s'était renforcée, d'où d'importants problèmes politiques pour les gouvernements dirigés par le Parti conservateur en 1972, 1974 et 1981.

L'énergie nucléaire avait également le vent en poupe même si l'importance des capitaux nécessaires pour les centrales en cours de construction posait de gros problèmes financiers dans ce secteur. En effet, le programme de réacteurs AGR (*Advanced Gas-Cooled Reactors*), à la fin des années 1960 et dans les années 1970, s'est révélée être une très mauvaise affaire financière.

Après l'effondrement de l'OPEP et la chute du prix du pétrole à la fin des années 1980, le défi de l'énergie a pris une autre tournure. On a découvert d'énormes réserves de pétrole et surtout de gaz naturel en mer du Nord, dans les eaux territoriales du Royaume-Uni. La puissance des syndicats de mineurs fut écrasée lors d'une grève qui dura un an (1984-85). Grâce à de nouveaux procédés de désulfuration (*Flue Gas Desulphu-*

risation) mis en place, vers 1990, dans les deux plus grandes centrales à charbon (Drax et Ratcliffe), les émissions acides (notamment SO₂) étaient en diminution,

Lors d'un discours prononcé en 1982, le secrétaire à l'Énergie, Nigel Lawson, envisagea alors un changement fondamental dans le fonctionnement de l'industrie électrique :

« *A nos yeux, ce n'est pas le rôle du Gouvernement de planifier les futures évolutions de production et de consommation d'énergie. Il n'a même pas, non plus, pour tâche essentielle de faire en sorte que soient équilibrées l'offre et la demande du Royaume-Uni en matière d'énergie. Notre tâche est d'établir un cadre qui puisse assurer le fonctionnement du marché avec un minimum de distorsions ainsi qu'une production et une consommation énergétiques efficaces.* »

Durant cette décennie, des mesures allaient être prises pour privatiser l'industrie électrique (ainsi que le gaz, le charbon et la prospection pétrolière) et pour ouvrir le marché à la concurrence. Le CEBG (*Central Electricity Generating Board*), un monopole présent en Angleterre et au Pays de Galles, fut privé de ses droits sur *National Grid*. Il fut remplacé par trois sociétés : *National Power* et *PowerGen* (par la suite privatisées) qui géraient des centrales à charbon et *Nuclear Electric* (restée publique jusqu'au milieu des années 1990), propriétaire de centrales nucléaires. Les douze sociétés (*Area Boards*) de transport et de distribution, qui jouissaient de monopoles régionaux, furent privatisées. Entre 1990 et 1999, le consommateur obtint progressivement le droit d'acheter de l'électricité à de nouvelles sociétés de distribution (les *Discos*, qui avaient pris la place des *Area Boards*) ou à d'autres intermédiaires, et même directement aux centrales.

Ruée sur le gaz

En outre, la levée de l'interdiction d'utiliser le gaz naturel pour l'électricité déclencha une « ruée sur le gaz ». Et les *Discos* se mirent à construire des centrales électriques à gaz afin de réduire leur dépendance vis-à-vis de *National Power* et de *PowerGen*.

Plusieurs facteurs sont venus pallier la hantise de la sécurité de l'approvisionnement : la disponibilité croissante de gaz naturel (qui n'était guère utilisé pour l'électricité en 1990, mais qui devait représenter plus d'un tiers du marché en 2000) ; la construction d'un grand nombre de nouvelles centrales électriques à gaz ; l'ouverture d'une centrale nucléaire (*Sizewell B*) en 1995 ; et la mise hors jeu politique des syndicats de mineurs. Le passage du charbon au gaz allait considérablement réduire les émissions de gaz à effet de serre (et notamment de gaz carbonique). Aussi le Royaume-Uni pouvait-il remplir aisément ses engagements pris lors de la convention de Rio en 1992, notamment de ne pas émettre davantage de gaz carbonique en 2000 qu'en

1990. En effet, ces émissions allaient baisser de plus de 7 % au cours de la décennie.

Le Gouvernement pouvait donc désormais concentrer ses efforts sur la réduction du coût de production d'électricité. Cet objectif fut atteint en ouvrant les marchés de production et de distribution à la concurrence, et en favorisant l'adoption d'une nouvelle technologie hautement efficace (CCGT, *Combined Cycle Gas Turbine*). Ces politiques n'engendrèrent pas de grand émoi politique ou social, à part quelques voix qui s'élevèrent en faveur de l'industrie du charbon, ce qui amena le Gouvernement à imposer, en 1992 et en 1998, des mesures de sauvegarde qui se sont avérées, à la longue, peu efficaces. Etant donné cette conjoncture favorable, le Gouvernement travailliste, installé en 1997, estima que sa tâche serait de mener à bien ces réformes du marché tout en procédant au redressement des déséquilibres les plus flagrants. Le CEGB, ainsi que ses homologues en Écosse et en Irlande du Nord, jouissaient d'un quasi-monopole dans la production d'électricité ; de même, les *Area Boards* avaient un monopole de distribution locale. En revanche, chacune de ses entreprises dut accepter une obligation de service public sur l'ensemble du territoire dans leur zone respective. Le CEGB pouvait, du moins en principe, investir dans toute la gamme des technologies (y compris dans le nucléaire), puisque tous les coûts supplémentaires seraient supportés par les consommateurs captifs.

Nucléaire et marché financier

À la suite de la libéralisation et de la mise en concurrence de tous les acteurs, l'ensemble des risques d'investissement dans le secteur nucléaire s'est révélé plus important. Du coup, le marché financier demandait une rentabilité accrue. Pour le nucléaire, cela était néfaste : d'une part, parce qu'un niveau de rentabilité élevé nuit plus à la compétitivité des projets à forte intensité capitalistique qu'à celle d'installations (notamment de gaz naturel) moins gourmandes en capital ; d'autre part, parce qu'un projet qui prend plus de temps pour recouvrir la mise initiale de capitaux comporte plus de risques que celui qui s'amortit rapidement. Les investisseurs sont donc enclins à demander un plus fort taux de retour des projets nucléaires que des projets de gaz, ce qui accroît l'avantage économique du gaz. Parmi les facteurs qui augmentent, dans le cadre d'un marché concurrentiel, les risques d'investissement dans une centrale nucléaire, nous pouvons signaler :

- la durée des délais nécessaires à sa construction, pendant lesquels des événements extérieurs (modification des règles, etc.) sont susceptibles d'imposer un nouveau planning, voire de modifier la conception du projet à mi-parcours ou même de provoquer son abandon ;
- le risque perçu de dépassements budgétaires ;

- le risque d'une ingérence des autorités publiques en raison d'événements fâcheux ou de nouvelles considérations politiques (par exemple, l'élection d'un gouvernement moins favorable au nucléaire, comme celui de l'Allemagne en 1998) ;
 - l'absence, dans certains pays, d'une politique publique cohérente à long terme et le manque de soutien de l'État ;
 - le risque perçu de problèmes techniques susceptibles de réduire la production, particulièrement pour des projets de réacteurs ;
 - l'existence d'autres choix possibles d'investissements dans des sources d'énergie moins gourmandes en capitaux initiaux et, du coup, comportant moins de risques en période de stabilité des prix des combustibles (et surtout du gaz naturel) ;
 - la nécessité de couvrir les coûts liés à l'ingénierie et aux obtentions de licences lors de la première application de toute innovation concernant les réacteurs.
- Face à toute cette liste de raisons défavorables à l'énergie nucléaire, il n'y eut aucune argumentation valable pouvant convaincre de la nécessité d'y recourir.

Une confiance ébranlée

La suggestion faite en 1979 de construire, au cours de la prochaine décennie, un parc de dix réacteurs à eau pressurisée (EPR) (*PWR, Pressurized Water Reactors*) n'a fini par aboutir qu'à la construction d'une seule centrale, *Sizewell B* (enfin intégrée au réseau en 1995). Lors de la publication du livre blanc de 2003, l'investissement dans la construction de nouveaux réacteurs nucléaires paraissait tout au mieux une possibilité lointaine, et encore...

La crise financière qui a frappé la société privatisée, *British Energy*, en 2002, n'a pas favorisé non plus la confiance dans le nucléaire même si elle était causée par l'échec d'une acquisition de société de matériel électrique. Et cette confiance fut d'autant plus ébranlée lorsqu'on vit qu'il manquait les fonds nécessaires à la finition des travaux de *Sizewell B* (ce qui laissait une facture d'environ 100 milliards de livres à payer par les contribuables). En outre, les accidents survenus à Three Mile Island, en 1979, et à Tchernobyl, en 1986, étaient encore bien présents à l'esprit.

Néanmoins, avant la réélection des Travaillistes en 2001, on commença à se poser des questions sur la sécurité d'approvisionnement en énergie.

Le fait qu'après avoir ouvert son marché d'électricité, la Californie ait subi d'importantes coupures de courant en 2000 et en 2001, a rappelé aux Britanniques que les économies les plus avancées n'étaient pas à l'abri d'une panne, même si la dernière coupure dans l'île remontait au début des années 1970. En outre, les manifestations qui eurent lieu en septembre 2000 – des agriculteurs contestaient le prix du carburant en bloquant des dépôts de pétrole et des raffineries – avait immobilisé le

pays durant une semaine. Tout cela a fini par soulever de sérieuses questions sur la capacité de stockage du pétrole, d'autant plus que les réserves de la mer du Nord s'épuisaient. Le prix du pétrole, au-dessous de 10 \$/baril en 1998, avait triplé en moins d'une année. Le jour suivant l'élection parlementaire de juin 2001, le Premier ministre annonça que le 10 Downing Street (au lieu des ministères du Commerce et de l'Industrie, ou de l'Environnement), réexaminerait l'avenir énergétique du Royaume-Uni.

En l'occurrence, ce réexamen, qui allait aboutir à la publication du livre blanc sur l'énergie au début de 2003, avait fait un faux départ. En effet, dès avant sa publication, les prix du pétrole étaient un peu moins tendus, les tentatives de relance des manifestations s'étaient soldées par un échec et les pays développés n'avaient plus connu de coupures de courant comme celles qui avaient eu lieu en Californie. Tout paraissait rentrer dans l'ordre, et le livre blanc – nous pouvons l'affirmer avec le recul, mais plusieurs commentateurs le disaient déjà à l'époque – ne fit preuve d'aucun état d'âme face à l'énormité de l'enjeu ; ceci, tout en laissant croire que l'énergie renouvelable relèverait seule le défi. Toutefois, une vague d'inquiétude allait bientôt renaître sur tous les fronts.

LA SÉCURITÉ DE L'APPROVISIONNEMENT

Le Royaume-Uni est, à l'exception du Canada, le seul pays industrialisé qui avait fini par pouvoir bénéficier de ressources énergétiques autosuffisantes et, de fait, il avait été exportateur net pour ainsi dire sans interruption depuis l'invention de la machine à vapeur.

Mais, en raison de l'épuisement des gisements de gaz en mer du Nord, il va devoir faire face à une nouvelle donne et devenir importateur net de gaz vers 2010, c'est-à-dire pendant la période où la part du gaz devrait croître dans la production d'électricité : en 2005, le gaz était générateur de 38 % de l'électricité du Royaume-Uni. La plupart des pays industrialisés sont, comme on le sait, importateurs nets d'énergie sans que cela soit fatal à leur économie ; mais l'histoire récente nous rappelle le sort de la France, pendant les années 1970, ou de l'Ukraine, au début 2006, lors de l'interruption de l'approvisionnement en gaz par le Président Poutine. Comme le Royaume-Uni se situe en fin de longs réseaux de livraison provenant du Moyen-Orient et de l'ex-URSS, on peut penser qu'il pourrait être très vulnérable lors de ruptures d'approvisionnement, qu'elles soient d'ordre climatique, politique, terroriste ou autre. Après la ruée sur le gaz au cours de la dernière décennie du XX^e siècle, la capacité du réseau électrique du Royaume-Uni avait augmenté (voir la figure 1). Toutefois, les investissements dans de nouvelles centrales se sont quasiment taris après 2000.

Il est question de fermer un certain nombre de centrales, notamment celles en rapport avec le programme

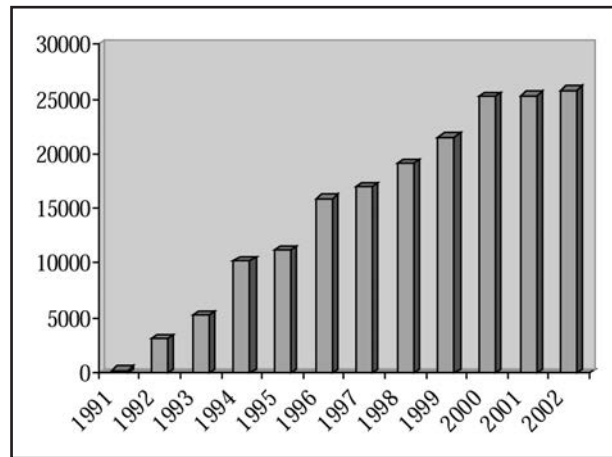


Figure 1 – Capacité nouvelle (cumulative) depuis 1991 au Royaume-Uni (MW).

nucléaire Magnox ou les centrales à charbon les plus anciennes (en conformité avec la directive européenne n° 84/360 de 1988 sur la réduction des émissions des grandes installations de combustion). En même temps, la demande d'électricité devrait croître. Du fait de ces facteurs, d'après certaines estimations, le pays aurait besoin de nouvelles installations capables de produire 35 000 MW d'ici 2030.

Quant à la part des énergies renouvelables dans l'approvisionnement énergétique, le Royaume-Uni s'est fixé un objectif de 10 % d'ici 2010 et espère atteindre les 20 % en 2020. Néanmoins, l'énergie éolienne ne représentera pas un apport suffisant en raison de la variabilité des vents. Comme on peut le voir en Allemagne (voir la figure 2), un parc d'éoliennes bien développé contribue peu au réseau quand le temps n'est pas favorable. De plus, le niveau de production varie rapidement, d'où la nécessité des centrales à gaz pour prendre la relève. Tout ceci joue un rôle important dans l'évaluation des conséquences économiques et environnementales qu'entraînerait le recours à d'autres sources d'énergie.

La qualité des réseaux de transmission et de distribution constitue une troisième menace pour la sécurité d'approvisionnement. Le *National Grid* ainsi que les réseaux de distribution locaux sont en bon état.

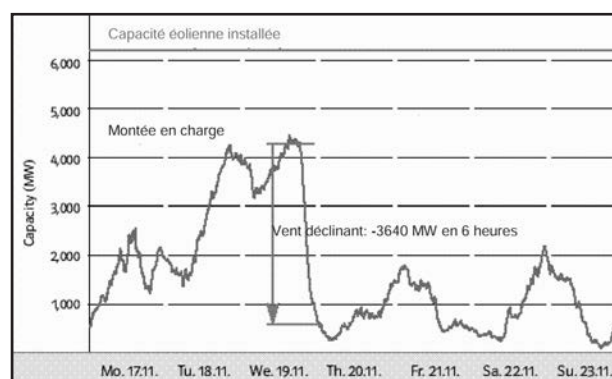


Figure 2 – Fluctuations de l'alimentation du réseau à partir de l'énergie éolienne (zone de contrôle. Réseau E.On, Allemagne, Novembre).

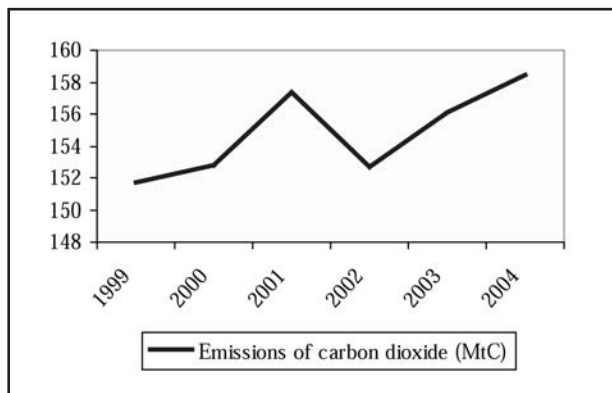


Figure 3 – Emissions de gaz carbonique au Royaume-Uni, 1999-2004 (par comparaison avec 165,4 MtC en 1999).

Cependant, les coupures de courant à Londres et à Birmingham en 2003, ainsi que les pannes qui eurent lieu en Italie (deux fois), à Copenhague et au sud de la Suède, de même, bien entendu, que celles survenues à New York et au sud-est du Canada pendant l'été 2003, ont réveillé les inquiétudes. Tous ces événements nous rappellent en effet que la question de la sécurité d'approvisionnement est primordiale, et qu'il ne faut pas négliger le coût de telles coupures tant sur le plan financier que sur le plan social.

Il faut bien reconnaître que c'est l'atout du nucléaire de ne dépendre ni de réserves limitées en combustibles fossiles ni de conditions climatiques locales.

L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Pendant une décennie, le Royaume-Uni avait vu ses émissions de gaz à effet de serre décroître, ce qui lui avait permis de prendre le rôle de *leader* dans les négociations internationales sur le changement climatique. A l'issue de cette période, on fut embarrassé de constater que les émissions de gaz carbonique reprenaient et avaient augmenté de presque 5 % de 1999 à 2004 (voir la figure 3). Si l'engagement pris à Kyoto n'est pas remis en cause, le Gouvernement est, par contre, forcé d'abandonner sa promesse électorale de 1997, c'est-à-dire de réduire les émissions de gaz carbonique de 20 % en 2010 par rapport à 1990.

Cette augmentation des émissions carbonées résulte, d'une part, de la fermeture de centrales nucléaires et, d'autre part, d'un plus grand recours au charbon en rapport à la hausse du prix du gaz.

On se rend donc compte que la fin de la production d'électricité d'origine nucléaire (voir la figure 4) correspondrait à une augmentation probable des émissions de CO₂ provenant d'autres sources et que cela risque de ne pas faciliter la conclusion d'un accord post-Kyoto. Mais qu'en est-il de l'impact du nucléaire sur l'environnement ?

Grâce aux progrès réalisés en Finlande concernant le processus du choix d'un site de stockage des déchets, nombreux sont les commentateurs et hommes politiques ayant fini par conclure qu'il n'y avait, en principe, plus de raison de douter de la sécurité en matière de gestion des déchets radioactifs et qu'on pouvait compter sur le soutien de l'opinion publique.

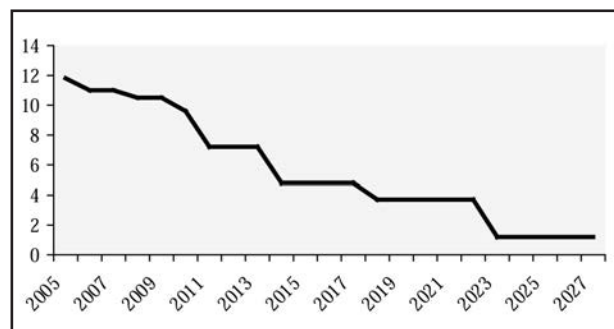


Figure 4 – Projection de la capacité de production de l'électricité à partir du nucléaire (GW) du Royaume-Uni.

Le rapport de juillet 2006 réalisé par la Commission sur la gestion des déchets radioactifs confirme le choix de stockage à grande profondeur. Fin octobre, le Secrétaire à l'Environnement, David Miliband, a annoncé des consultations avec les collectivités locales afin de pouvoir procéder à l'identification d'un site.

De l'évolution des prix

En août 2006, le prix du pétrole a atteint 77 \$/baril, c'est-à-dire presque dix fois plus qu'en 1998 (voir la

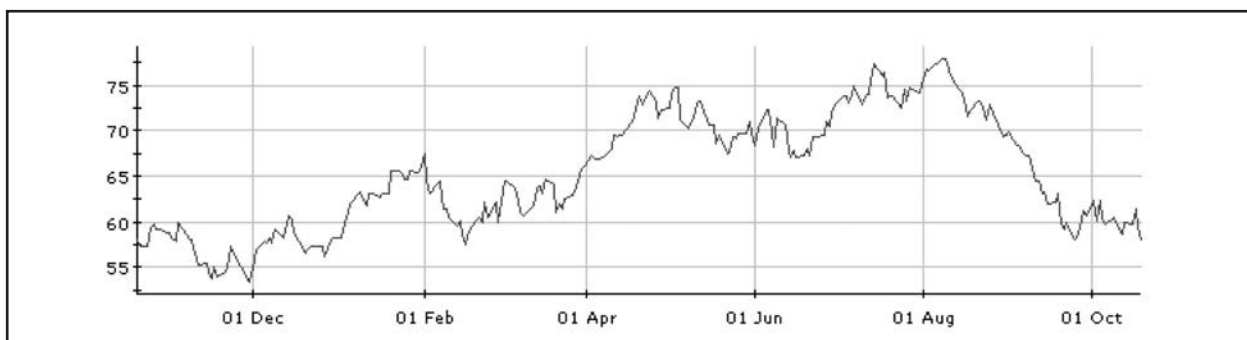


Figure 5 – Le prix de pétrole brut à Brent (\$/baril), 2005-2006. L'abscisse : 1^{er} décembre 2005 ; 1^{er} février 2006 ; 1^{er} avril ; 1^{er} juin ; 1^{er} août ; 1^{er} octobre.

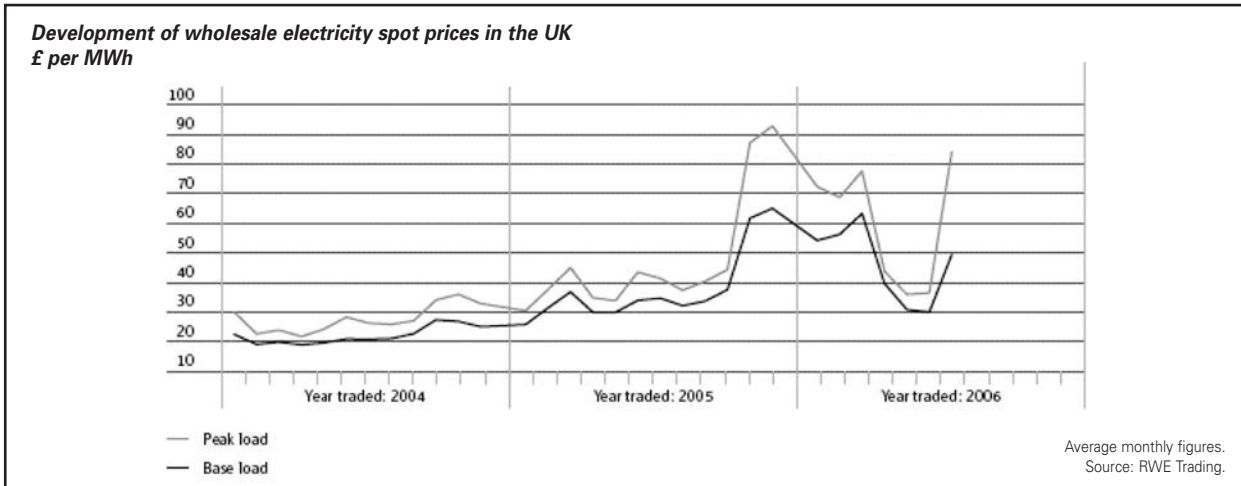
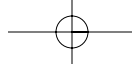


Figure 6 – L'évolution du prix de gros de l'électricité (cours du disponible) au Royaume-Uni (moyennes mensuelles).
L'abscisse : Année des transactions : 2004 ; 2005 ; 2006 de pointe ; de base.

figure 5). Les prix du gaz et, dans une moindre mesure, ceux du charbon ont également connu une hausse significative. Même si ces prix se sont assagis quelque peu en automne, l'incidence de cette hausse sur les ménages inquiète le gouvernement, et son impact sur l'industrie est considérable.

L'incidence sur l'évolution du prix de gros de l'électricité au Royaume-Uni (voir la figure 6) a été spectaculaire : descendu aux environs de 15 £/MWh en 2002, ce prix s'est envolé autour des 100 £/MWh.

En revanche, la hausse du prix du baril a eu peu d'incidence sur le prix de gros de l'électricité en France. En effet, malgré une forte augmentation du prix de l'uranium pendant cette même période, cette matière première (par comparaison avec le gaz ou le charbon) représente une part bien plus faible du coût total de production d'électricité.

LA RÉPONSE DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

Entre temps, l'activité dans le secteur nucléaire n'est pas restée au point mort. De nouvelles conceptions se sont montrées plus conformes aux conditions de fonctionnement d'un marché concurrentiel – une construction plus rapide et moins chère ainsi qu'un fonctionnement plus fiable (tout au moins sur le papier) – qui paraissent prometteuses, à en juger de récents projets dans la zone Asie – Pacifique. Le coût d'une centrale nucléaire devrait pouvoir être réduit de moitié grâce à une simplification de la conception ainsi qu'à l'utilisation de systèmes de sécurité dits passifs (au lieu de systèmes conçus par l'ingénierie). Les conséquences sur la sécurité ou la fiabilité ne devraient pas être négatives et pourraient même s'avérer positives.

La libéralisation a fini par rompre l'approche étroite nationale qui freinait le développement du nucléaire au Royaume-Uni. Après avoir acheté aux États-Unis les plans d'une conception parfaite pour *Sizewell B*, le pays a dépensé 700 millions de livres sup-

plémentaires pour les rendre « britanniques ». Grâce à une approche transnationale (et pas seulement dans le nucléaire) de la conception des centrales, de la production des composants et des compétences, on a pu constater une amélioration de la performance qui faisait défaut pendant l'ère de l'économie dirigée. Le développement d'un marché transnational d'électricité, où sont présents quelques très gros acteurs pan-européens (EdF, Enel, RWE, E.On), permet l'émergence d'un nouveau modèle de financement et de choix de construction de centrales nucléaires. Afin de réaliser des économies d'échelle, il est préférable d'avoir dix réacteurs AP1000 ou EPR-1600 disséminés à travers l'Europe qu'un grand nombre de centrales situées dans un petit marché sans pour autant que les marchés nationaux perdent en flexibilité. D'autre part, la performance des centrales nucléaires a progressé de manière continue (voir la figure 7). Selon toute vraisemblance, la discipline du marché y a contribué.

Le soutien de la population

Il est difficile de savoir quelle est la position de l'opinion publique sur les enjeux que représente le nucléaire.

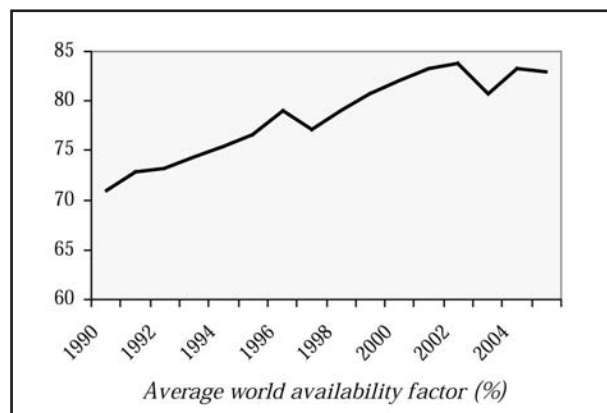
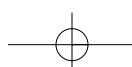


Figure 7 – Moyenne mondiale du taux de disponibilité des centrales nucléaires (%).



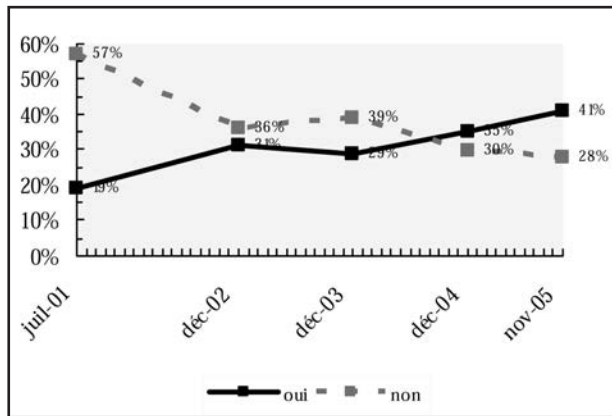


Figure 8 – Réponses à la question : Dans quelle mesure seriez-vous d'accord ou non avec la construction de nouvelles centrales nucléaires en Grande-Bretagne afin de REMPLACER des centrales qui seront mises hors service dans les quelques années à venir ? Cela assurerait que la part d'énergie nucléaire resterait constante.

L'abscisse : juillet 2001 ; décembre 2002 ; décembre 2004 ; novembre 2005 ; Pour ; Contre.

Selon les résultats d'enquêtes renouvelées et réalisées sur une longue période auprès de la population, on constate que cette dernière est de plus en plus favorable au nucléaire (voir la figure 8).

Ceci, d'autant plus si l'on ne considère pas le recours à cette source d'énergie comme étant le signal d'une expansion à grande échelle du parc nucléaire, mais plu-

tôt comme une solution de remplacement de centrales existantes ou comme une condition d'une politique énergétique équilibrée.

VERS UN RENOUVEAU DU NUCLÉAIRE ?

Le retour de la présence du nucléaire dans l'agenda politique du Royaume-Uni s'est fait très rapidement, car il devenait de plus en plus évident que les temps favorables à une politique énergétique facile comme celle des années 1990 étaient révolus et que le pays devait désormais faire face à des défis majeurs en matière énergétique. Aussi l'industrie nucléaire jouit-elle aujourd'hui d'une meilleure image auprès de la population et du monde politique.

En outre, les mesures préconisées par le *Energy Review* de 2006 sont acceptables puisqu'elles tendent à simplifier et à raccourcir les processus de planification et d'obtention d'autorisation.

Cependant, il n'est pas certain que les investisseurs privés se sentent rassurés car, pour eux, les risques liés à une révision des textes juridiques ou réglementaires, qui échapperait à leur contrôle, persistent. Néanmoins, la construction de nouvelles centrales nucléaires au Royaume-Uni n'a jamais été aussi probable depuis vingt ans.

L'énergie nucléaire aux États-Unis

ENJEUX D'AVENIR
DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

L'énergie nucléaire est en train de renaître aux États-Unis. En effet, alors qu'aucune nouvelle centrale n'avait été commandée ni achevée depuis 1973, la Commission régulatrice du nucléaire (*Nuclear Regulatory Commission*, NRC) vient d'annoncer que des sociétés productrices d'électricité avaient l'intention de déposer prochainement une demande de licences pour la construction et l'exploitation d'au moins 29 nouvelles centrales. Cet article a pour objet de décrire le contexte dans lequel ont été prises ces décisions ainsi que les obstacles et les préoccupations liées à cette nouvelle vague de construction, et d'évaluer les perspectives d'une électricité d'origine nucléaire aux États-Unis.

Par **Richard A. MESERVE** (1) (2)

A présent, le nucléaire répond à environ 20 % des besoins en courant électrique aux États-Unis. Cette production est assurée grâce au plus grand parc de centrales nucléaires au monde, qui comprend 103 réacteurs en exploitation. Le charbon, dont le pays est bien pourvu, compte pour environ 50 % de la production d'électricité, et le gaz naturel pour 18 %. Cependant, c'est le gaz qui alimente la plupart des centrales électriques construites depuis quinze ans.

LES FACTEURS D'UN RENOUVEAU D'INTÉRÊT POUR LE NUCLÉAIRE

Une conjonction de plusieurs facteurs est à l'origine de ce renouveau d'intérêt pour la construction de centrales nucléaires.

Tout d'abord selon des projections, la demande d'électricité du pays en 2030 sera de 45 % plus forte qu'aujourd'hui. Des études sur la capacité de produire de l'électricité, tout en prenant en compte les centrales en construction, montrent que plusieurs régions, n'ayant guère de capacité excédentaire, seront très déficitaires à

l'avenir. C'est pourquoi il est indispensable de lancer un vaste programme de construction de centrales électriques.

Deuxièmement, la plupart des sociétés productrices d'électricité dotées d'un parc nucléaire ont tiré un bilan positif de leurs expériences au cours des dix dernières années. Le coût de l'électricité est, en moyenne, de 1,75 ¢/KWh plus bas en provenance du nucléaire que d'autres centrales. Pourtant, ce coût est à peine inférieur à celui du courant sortant des centrales à charbon, et son calcul ne prend pas en compte l'énergie hydroélectrique. Le facteur de capacité sur l'ensemble du parc a atteint 90 % en moyenne. Étant donné ce niveau de performance, les centrales nucléaires, dont la plupart sont entièrement amorties, génèrent des bénéfices.

Troisièmement, l'exploitation des nouvelles centrales est prévue pour au moins quarante ans, durée pendant

(1) Richard A. Meserve est *Senior Of Counsel* chez Covington & Burling, un cabinet d'avocats à Washington, DC, et président de la Carnegie Institution of Washington. Il préside l'International Nuclear Safety Group (sous les auspices de l'AIEA) et a présidé la Nuclear Regulatory Commission.

(2) Cet article a été traduit de l'anglais par Noal Mellott (CNRS, Paris).

laquelle on s'attend à une régulation croissante du charbon. En outre, l'inévitable renforcement des contrôles sur les émissions de gaz à effet de serre aura une incidence certaine sur les centrales à charbon. Même si des techniques de combustion promettent de mieux restreindre ces émissions en piégeant le carbone, elles vont coûter cher. En outre, elles semblent, à présent, comporter de sérieux risques.

À la lumière de ces constatations, il serait, malgré l'investissement nécessaire au départ, sensé d'investir dans le nucléaire. Cette source d'énergie « propre » n'entraînera pas de grosses dépenses de mise en conformité de l'équipement par rapport aux normes limitant les émissions carbonées ou gazeuses. Même si l'on construit un nombre significatif de centrales à charbon dans les décennies à venir, il n'empêche que beaucoup de sociétés productrices d'électricité estiment que le nucléaire devrait faire partie d'un portefeuille diversifié d'énergies.

Enfin, la sécurité est une préoccupation qui pèse en faveur du nucléaire. Les Etats-Unis sont bien pourvus en charbon, mais l'utilisation de ce minerai supporte des contraintes liées au changement climatique et aux émissions de gaz à effet de serre. Le gaz naturel suscite moins d'inquiétudes quant à l'environnement, mais il comporte une dépendance à l'égard de sources peu sûres à l'étranger qui fournissent un marché mondial de plus en plus tendu. Le coût du gaz varie fortement, d'où les difficultés auxquelles sont confrontées les sociétés qui ne peuvent pas faire porter au consommateur une augmentation de prix. En outre, il existe un risque de rupture d'approvisionnement.

En raison de la disponibilité d'uranium en Amérique du Nord, l'enjeu de la sécurité pèse donc en faveur de la poursuite d'un recours au nucléaire et même d'un recours accru.

L'ensemble de ces facteurs témoigne du renouveau d'intérêt pour la construction de nouvelles centrales nucléaires aux Etats-Unis.

DES OBSTACLES AU DÉVELOPPEMENT D'UN RECOURS AU NUCLÉAIRE

Si l'avenir du nucléaire semble prometteur, le développement de cette énergie se heurte, cependant, à plusieurs obstacles.



© Dennis Brack-Pool / GAMMA

Même si l'on construit un nombre significatif de centrales à charbon dans les décennies à venir, il n'empêche que beaucoup de sociétés productrices d'électricité estiment que le nucléaire devrait faire partie d'un portefeuille diversifié d'énergies aux Etats-Unis (Photo : discours du Président George W. Bush à la centrale nucléaire de Calvert Cliffs).

Les problèmes financiers

Le coût élevé d'une nouvelle centrale nucléaire – plusieurs milliards de dollars – représente une part substantielle de la valeur boursière de l'industrie électrique (rappelons qu'il y a, aux Etats-Unis, 27 sociétés différentes d'exploitation de centrales nucléaires, ce qui n'est pas le cas en France). La décision de construire une centrale nucléaire est un pari qui hypothèque l'entreprise, ce

qui l'oblige donc à prendre certaines précautions ; et ce d'autant plus, si elle a comme handicap d'être la première à se lancer dans un nouveau chantier de construction. Etant donné que la dernière vague de construction s'est accompagnée de toute une série de retards dans les délais, de modifications en cours de route et de dépassements massifs du budget initial, Wall Street va exiger une prime de risque pour financer de tels projets, jusqu'à ce que preuve soit faite qu'une nouvelle centrale peut être construite dans les temps et avec les coûts prévus. D'autre part, il sera nécessaire de récupérer chez les premiers clients le coût des innovations en ingénierie (d'un montant estimé de 300 à 500 millions de dollars), à moins que

les carnets de commandes ne soient bien remplis. En outre, les premières entreprises qui ont déposé une demande de licence risquent d'être confrontées à des problèmes de dépassement des délais et des coûts, auxquels n'auront pas à faire face celles dont les demandes sont postérieures. En effet, la NRC et les firmes candidates doivent apprendre à naviguer dans le cadre du nouveau régime réglementaire, dont il sera question plus loin.

La loi sur la politique énergétique de 2005 résout, en partie, ces problèmes en prévoyant des garanties pour les emprunts, des crédits d'impôts et une assurance contre tout risque de prolongement des délais résultant de litiges ou de l'inaction des autorités. Ces incitations ont motivé certaines sociétés productrices d'électricité à préparer leurs dossiers de dépôt de demande de licence. Reste à voir si ces incitations suffiront à susciter des commandes fermes et l'ouverture de chantiers.

Les risques juridiques

Le système de licence permettant la création de nouveaux réacteurs aux États-Unis est désormais soumis à un régime assez différent de celui qui prévaut ailleurs. Le droit américain prévoit que les décisions afférentes à la conception d'un réacteur de même qu'au choix d'un site peuvent être prises en amont de tout le processus et qu'une licence d'exploitation peut être donnée avant le commencement de sa construction. Cela devrait réduire de façon notable les risques liés au contexte juridique. Reste encore, toutefois, à expérimenter un aspect majeur de ce nouveau système, à savoir le fait de n'attribuer qu'une seule licence pour la construction et pour l'exploitation d'une centrale nucléaire. Il n'est donc pas sûr que ce processus fonctionne sans accroc. Malgré l'engagement de la NRC en faveur de ce régime rapide et efficace, des difficultés apparaîtront au démarrage et dureront jusqu'à ce qu'il soit rodé. Cela peut être d'autant plus compliqué si un grand nombre de dossiers sont déposés en même temps à la NRC et qu'elle ne dispose pas assez de personnel pour les traiter. Même si le nouveau régime de licences promet de circonscrire les obstacles liés à la réglementation, des risques juridiques subsisteront jusqu'à l'évaluation finale de la NRC sur la conformité d'une centrale avec les obligations stipulées dans la licence. Le traitement des dossiers relatifs à la construction des premières centrales sera déterminant pour savoir si la mise en application de ce nouveau régime remplit bien ses promesses.

La sécurité

Le bilan en matière de sécurité des réacteurs aux États-Unis est très bon. Selon des données (fréquence des fer-

metures en urgence de réacteurs, disponibilité de l'équipement de sécurité, exposition des ouvriers, etc.), la sécurité, dans l'ensemble, a été en constante amélioration au cours de la dernière décennie, même si, plus récemment, on assiste à un certain tassement. La restructuration de l'industrie nucléaire aux États-Unis a conduit à une plus grande concentration et, sans aucun doute, à une amélioration de la capacité d'assurer la sécurité.

En dépit des inquiétudes, ni l'industrie, ni la NRC ne peuvent répondre en public et de manière détaillée aux questions sur la sécurité, car le secret est de rigueur. Le Gouvernement fédéral a, depuis longtemps, exercé des droits de contrôle et d'inspection dans le nucléaire, contrairement à ce qui se passe dans la plupart des infrastructures civiles aux États-Unis. Le niveau de sécurité, déjà élevé avant le 9 septembre 2001, s'est encore renforcé depuis : l'industrie affirme avoir dépensé plus d'un milliard de dollars pour des mises à jour des systèmes de sécurité. Il est certain que la sécurité est bien plus assurée dans les centrales nucléaires que dans d'autres secteurs civils qui présentent des risques équivalents ou même plus importants. Toutefois, personne n'est en mesure de prétendre qu'une installation sera invulnérable.

Selon des sondages, une majorité importante d'Américains soutient l'énergie nucléaire et, même, accepte qu'une centrale soit édiflée à proximité de leur maison. A la différence de certains pays européens, une prise de position sur le nucléaire n'est pas un grand enjeu électoral, car le nucléaire ne figure pas en bonne place sur l'agenda public. En définitive, le public est plutôt favorable à la construction de nouvelles centrales, mais serait choqué en cas d'accident grave ou de manquement sérieux à la sécurité. En un sens, tous les acteurs opérant dans le nucléaire, aujourd'hui comme demain, sont en quelque sorte des otages, car leur sort dépend de la performance en matière de sécurité des autres acteurs de par le monde. Pour cette raison, une vigilance accrue, tant au niveau national qu'au niveau international, est indispensable.

Les stockages des déchets

Les combustibles irradiés sont stockés sur le site du réacteur, dans des bassins ou dans des conteneurs à sec. Selon la loi, le Gouvernement fédéral devait prendre possession de ces déchets en 1998, mais les retards pris dans la création d'un centre de stockage l'ont empêché de remplir son engagement. Un important projet du ministère de l'Énergie est d'établir un centre de stockage à Yucca Mountain (au Nevada), mais son ouverture, toujours retardée, ne pourra pas se faire avant 2017 au plus tôt. En fait, on n'a pas encore adopté les normes qui doivent régir ce centre. Nombreux sont donc ceux qui se demandent comment on peut construire de nou-

velles centrales alors que l'industrie n'est pas sûre de pouvoir se débarrasser des combustibles irradiés.

Dans une perspective politique, le problème des déchets ne devrait pas empêcher une relance de la construction de centrales nucléaires. De l'avis de la communauté scientifique, les combustibles irradiés peuvent être isolés de l'environnement en étant enfouis dans des structures géologiques profondes. D'autre part, le retraitement fait l'objet d'un regain d'intérêt aux Etats-Unis. Or, la réouverture de ce dossier contribuerait fortement à atténuer les contraintes qui s'imposent à un centre de stockage. Des études sérieuses montrent que le stockage intermédiaire dans des conteneurs ne présentera pas de risques graves pendant plusieurs décennies. En admettant qu'il faille, de toute façon, résoudre ce problème et que le supplément de combustibles irradiés soit faible par rapport aux stocks existants, l'impossibilité de trouver une « solution » immédiate ne devrait pas constituer un obstacle au lancement d'une vague de construction. Toutefois, certains Etats (comme la Californie) ont interdit la construction de nouvelles centrales jusqu'à la levée de cet obstacle. Il semble essentiel d'avancer significativement sur cette question pour rassurer le public et les milieux politiques.

Les risques de prolifération

Le rapport entre la puissance nucléaire civile et la puissance nucléaire militaire est un point sensible du débat sur le recours accru à l'atome, que ce soit aux Etats-Unis ou à l'étranger. Ce ne sont pas les réacteurs qui sont mis en cause, mais le cycle du combustible, et notamment la capacité à enrichir l'uranium ou à retraiter les combustibles irradiés afin d'en extraire du plutonium. Les risques de prolifération ne devraient pas freiner le développement de l'électricité d'origine nucléaire pour une raison évidente : le pays possède déjà des armements atomiques ainsi que des stocks de matériaux pour leur fabrication. Cependant, la promotion de l'énergie nucléaire et, en particulier, l'abandon d'un cycle de combustibles sans retraitement soulève des inquiétudes. Ce changement aurait comme conséquence la dissémination en dehors du pays de la capacité à produire des matériaux pour la fabrication d'armes. Ces préoccupations auront probablement peu d'incidence sur la construction de nouvelles centrales nucléaires aux Etats-Unis pendant quelques décennies. Mais elles auront un grand impact sur la nature du pro-

gramme adopté ici et ailleurs. Le président Bush vient de lancer un appel pour le développement d'une technologie de retraitement, dite de « prolifération résistante », qui permettrait de répondre au problème des déchets et de limiter la prolifération nucléaire sur la planète.

L'infrastructure

En l'absence de commandes de nouvelles centrales, le réseau de fournisseurs reste restreint aux Etats-Unis et dans le monde. Il existe moins d'universités qui proposent des études en ingénierie nucléaire, d'où des problèmes de qualification de personnel. En attendant que le marché trouve éventuellement une solution, le défi reste posé aux constructeurs, à l'industrie électrique et à la NRC.

Des considérations en rapport avec des facteurs économiques, la sécurité et, éventuellement, l'approvisionnement pèseront sur l'évolution de la politique en ce domaine. Il existe des occasions à saisir et des défis à relever au niveau mondial au moment même où on cherche à « boucler » le cycle du combustible nucléaire.

UN AVENIR BIEN PLUS RADIEUX

L'intérêt porté à la construction de nouvelles centrales nucléaires est, comme nous l'avons signalé au début, assez fort pour que des sociétés productrices d'électricité aient exprimé l'intention de déposer jusqu'à 29 demandes de licences. Le fait de commencer les démarches relevant du processus d'obtention d'une licence dans le cadre du nouveau système n'a pas valeur d'engagement ferme à construire. En déposant un dossier d'autorisation, une société n'achète qu'une option sur une nouvelle centrale. Certaines de ces sociétés n'iront pas loin dans cette démarche, ou n'avanceront que doucement, alors que d'autres obtiendront l'autorisation nécessaire, mais ne prendront pas la décision d'ouvrir un chantier. Étant donné les incitations émanant du Gouvernement fédéral, il est très probable qu'un certain nombre de nouvelles centrales soit envisageable entre 2015 et 2017. Le nombre exact dépendra sans aucun doute des solutions apportées aux problèmes que nous avons évoqués. En tout cas, l'avenir de l'énergie nucléaire aux Etats-Unis paraît bien plus radieux aujourd'hui que par le passé.

Avons-nous un avenir commun en matière énergétique ?

ENJEUX D'AVENIR
DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

Le *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) est un groupement de 190 entreprises internationales qui préconisent un développement économique durable reposant, notamment, sur la mise en place d'une combinaison optimisée de solutions pour résoudre l'enjeu énergétique, tout en combattant le changement climatique. En plus d'efforts significatifs dans l'efficacité énergétique, les économies d'énergie, et le développement de technologies innovantes et à faible intensité en carbone, il est donc essentiel d'avoir un *mix* énergétique équilibré permettant de maximiser les atouts respectifs des différentes sources d'énergie. Les politiques publiques doivent organiser et soutenir la R&D de telle manière que toutes les options intéressantes puissent être explorées et que les solutions soient mises à temps sur le marché. Il y a là un domaine privilégié pour des partenariats public-privé, particulièrement pour ce qui concerne la construction de prototypes ou la réalisation de démonstrateurs dans le secteur de l'énergie nucléaire.

Par **Bjorn STIGSON**, Président, World Business Council for Sustainable Development (*)

L'année prochaine marquera le vingtième anniversaire de la publication du rapport de la Commission mondiale pour l'environnement et le développement, également connue sous le nom de Commission Brundtland, du nom de sa Présidente, le Premier ministre de Norvège, Gro Harlem Brundtland. Ce rapport, qui a largement contribué à l'invention du concept de développement durable et a conduit au Sommet de la Terre à Rio, avait pour titre «Notre avenir à tous». Toutefois, la question se pose de savoir si nous avons ou non un avenir commun dans notre manière d'aborder les enjeux de l'énergie et du changement climatique.

Le *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) est un groupement de 190 entreprises inter-

nationales qui croient qu'un développement économique non durable est néfaste non seulement pour la planète, mais aussi pour la communauté des affaires. Le développement durable consiste à harmoniser trois éléments – l'économie, l'environnement, et la sphère sociale – au sein d'un système de gouvernance fonctionnant de façon à ce que les besoins d'aujourd'hui soient satisfaits sans compromettre la capacité des futures générations de satisfaire aux leurs.

Le droit d'opérer, d'innover et de croître d'une entreprise est de plus en plus déterminé par des enjeux de long terme, et l'espace dans lequel se conduisent les affaires de plus en plus défini et modelé par ces enjeux.

(*) Cet article a été traduit de l'anglais par Laurent Corbier (AREVA).

Les plus importants d'entre eux sont, à mon avis, la mondialisation, l'émergence de la Chine et de l'Inde, et notre capacité à assurer notre approvisionnement énergétique sans effets trop nuisibles pour le climat.

Le développement durable impacte les entreprises sur trois aspects majeurs.

Le premier est relatif à la question de savoir si nos modèles économiques et commerciaux sont suffisamment robustes pour faire face aux contraintes et opportunités liées au développement durable. Qu'impliquent-elles pour les investissements à long terme de nos entreprises ?

Le deuxième aspect est de savoir comment la gestion des contraintes et opportunités liées au développement durable affecte la façon dont les entreprises sont perçues par les employés, les clients, les investisseurs et les diverses autorités. De nombreuses entreprises *leaders* utilisent les thèmes du développement durable pour améliorer leur publicité de marque, surtout des entreprises du secteur de l'énergie. Nous en avons vu des exemples récents avec BP, Shell, Sanyo, Toyota et, bien sûr, l'approche *Ecomagination* de *General Electric*.

Le troisième aspect est l'impact sur la valorisation boursière des entreprises. Si l'on regarde les entreprises les mieux valorisées aujourd'hui, on remarque que seule une part mineure de leur valeur de marché correspond à des actifs tangibles. La majeure partie de leur valeur est composée d'intangibles tels que le *good will* et la perception de leur capacité future à générer du *cash*, en fonction de leur marque et de leur réputation. Devant cette situation, la question qui se pose pour une entreprise devient : comment communique-t-on avec les investisseurs et les analystes sur les questions liées au développement durable et leur pertinence au regard de la performance de l'entreprise ?

Une conséquence fondamentale du développement durable pour la communauté des affaires dans son ensemble est que nous devons nous engager dans le débat sur les politiques et le rôle des entreprises dans la façon d'aborder ces sujets.

Que peut faire la communauté des affaires ? Que ne peut-elle pas faire ? Où sont les limites de sa responsabilité ? Ces questions sont « trop importantes pour s'en occuper tout seul » en tant qu'entreprise, et la communauté des affaires doit s'assurer d'avoir les voix adéquates pour se faire entendre dans le débat.

Qu'en est-il notamment pour ce qui concerne les domaines de l'énergie et du changement climatique ?

LES AFFAIRES, L'ÉNERGIE ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Nos membres se sentent très concernés par le sujet de l'énergie, son prix et sa disponibilité, et par les conséquences de son utilisation sur le changement climatique. La sécurité d'approvisionnement et la gestion des risques et opportunités liés au changement climatique,

sont des sujets qui occupent, et occuperont pour longtemps, une place prépondérante dans les préoccupations globales du monde des affaires.

On accorde de plus en plus d'attention au rôle des entreprises, car la technologie et les approches commerciales innovantes sont primordiales pour traiter des enjeux énergétiques et de changement climatique. Mais la communauté des affaires est divisée sur ces sujets ; on perçoit en son sein une tension croissante, en raison des impacts financiers considérables qu'ils peuvent avoir sur les entreprises. Les tensions augmentent entre les pays, les régions, les secteurs industriels et les entreprises, selon qui est *leader* et qui est à la traîne, quelles industries gagnent ou perdent en s'attaquant à ces questions.

Une des conséquences de cette situation est que les gouvernements reçoivent de la communauté des affaires des signaux « brouillés » sur les politiques à mettre en place. Ceci risque d'entamer la confiance accordée aux entreprises, et de conduire à une situation où les gouvernements prendraient des décisions sans vraiment consulter la communauté des affaires.

Il n'existe pas aujourd'hui de structure universelle pour traiter du changement climatique, d'où l'importance des critiques du protocole de Kyoto, qui tentent d'en créer une. Les discussions continuent sur le genre de structure qui pourrait succéder au protocole de Kyoto au-delà de 2012.

A mon avis, les chances d'aboutir à un accord sur ce sujet sont minces. Les gouvernements ou les régions seront alors amenés à mettre en place leurs propres structures pour résoudre ces questions, ce qui obligera les entreprises mondiales à faire face à des réglementations différentes selon les parties du monde dans lesquelles elles opèrent.

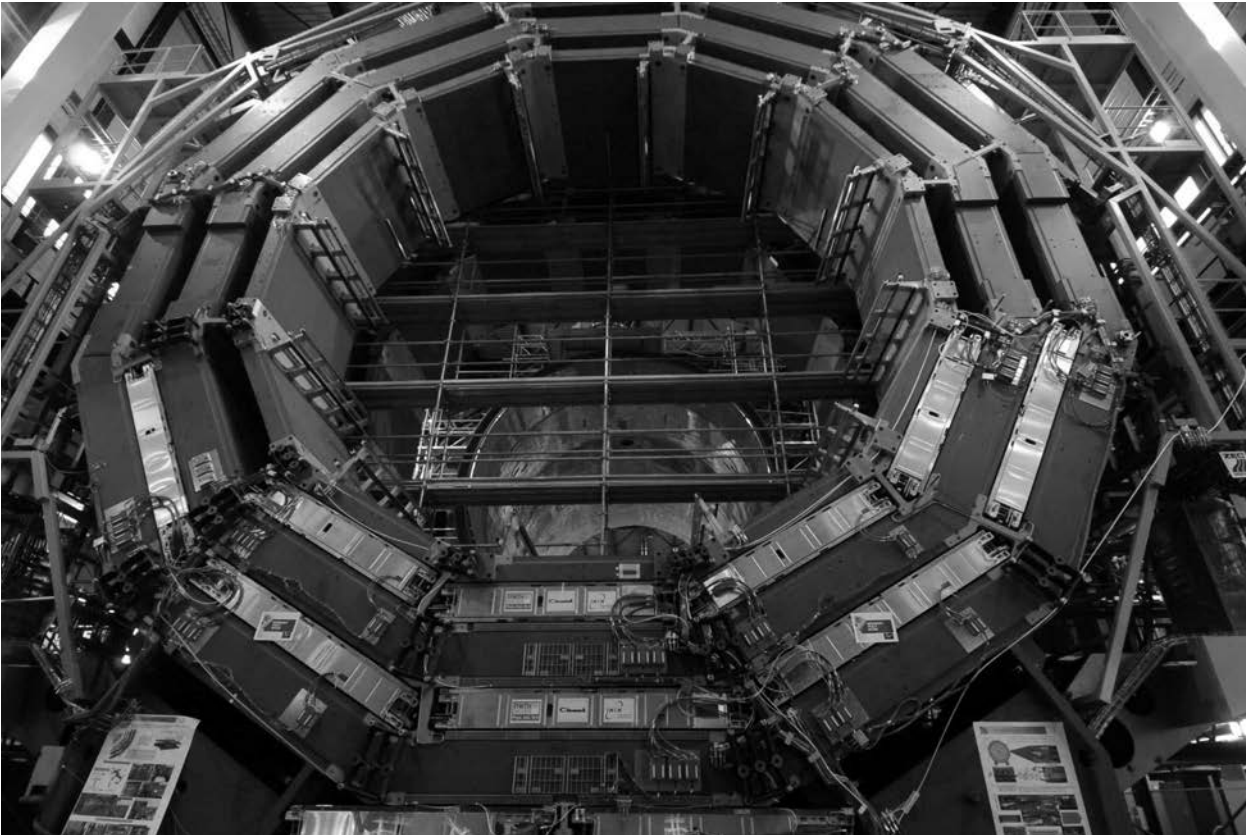
Les entreprises ne peuvent pas résoudre ces problèmes individuellement. La communauté des affaires doit coopérer, mais cela ne sera pas facile.

VERS DE NOUVELLES POLITIQUES

En 2004, les entreprises membres du WBCSD sont arrivées à la conclusion que le débat sur l'énergie et le changement climatique relevait trop du domaine émotionnel, et que nous avions besoin de discussions reposant davantage sur des faits. Pour y contribuer, nous avons publié le rapport *Facts and Trends to 2050 : Energy and Climate (Faits et Tendances jusqu'en 2050 : Énergie et Climat)*.

Ce rapport décrit les enjeux et les principaux dilemmes qu'il faut s'efforcer de résoudre si nous voulons un avenir durable en matière d'énergie et de changement climatique. La séquence des dilemmes coule de source :

- le combat contre la pauvreté passe par la croissance économique ;
- la croissance économique passe par une utilisation accrue de l'énergie ;



© Witt / SIPA

L'énergie nucléaire étant l'une des ressources énergétiques non émettrice de carbone et constituant une importante source d'approvisionnement électrique en base, on s'attend à ce qu'elle croisse dans une proportion semblable à celle d'avant 1990 (*Centre européen de recherches nucléaires*).

- une consommation accrue d'énergie aura des conséquences sur le changement climatique ;
- la technologie est l'une des clés de la solution.

La demande future en matière d'investissements est gigantesque : 20 000 milliards de dollars US d'ici à 2030 (source AIE). Le secteur de l'électricité en absorbera environ 56 % et l'investissement total sera partagé à peu près également entre la production et la transmission/distribution. Mais, même à ce niveau d'investissement, 1,4 milliard de personnes n'auront toujours pas accès à des services énergétiques modernes, principalement l'électricité, en 2030.

Il existe, dans de nombreuses régions, un grand écart entre les capacités de production d'électricité prévues et les besoins, y compris le remplacement nécessaire de certaines capacités existantes. L'Amérique du Nord, par exemple, prévoit, ou est en train de construire, environ 200 GW additionnels, mais en a besoin de 800. Les pays européens de l'OCDE prévoient ou construisent environ 150 GW additionnels, mais en ont besoin de 800 aussi. La Chine a en vue 350 GW, mais en a besoin de 900. De nombreuses régions doivent accélérer l'investissement juste pour pouvoir « garder la lumière allumée ».

Et la majeure partie des investissements se fait dans les énergies fossiles, principalement le charbon. En 2030, les centrales au charbon des pays en développement émettront plus de CO₂ que la totalité du secteur de l'électricité de l'OCDE.

L'enjeu du changement climatique est de stabiliser la concentration de carbone dans l'atmosphère. Le niveau requis pour limiter les impacts du climat à un niveau gérable ne fait pas l'objet d'un consensus. Nous avons utilisé le chiffre de 550 ppm à l'horizon 2050, comparé au niveau actuel de 385 ppm, comme base de discussion. Ce niveau impliquerait que nous maintenions nos émissions de gaz à effet de serre (GES) à un niveau inchangé, avec dans le même temps un accroissement rapide de la consommation énergétique.

Dans ce contexte, l'un des messages clés de notre publication est l'urgence de définir et de mettre en place une combinaison optimisée de solutions pour résoudre l'enjeu énergétique, tout en combattant le changement climatique. En plus d'efforts significatifs dans l'efficacité énergétique et dans les économies d'énergie, et du développement de technologies innovantes et à faible intensité en carbone, il est donc essentiel d'avoir un *mix* énergétique équilibré permettant de maximiser les atouts respectifs des différentes sources d'énergie.

En décembre 2005, nous avons réalisé une deuxième étape de notre trilogie en publiant *Pathways to 2050: Energy and Climate (Les chemins vers 2050 : Énergie et Climat)*. Pour aller de l'avant, notre société doit faire deux choses : réduire l'intensité énergétique, et « décarboniser » notre système énergétique.

Ceci nécessite d'agir sur cinq domaines « à gros potentiel » :

- la production d'électricité ;

- l'industrie et la fabrication ;
- les transports ;
- les bâtiments ;
- les choix des consommateurs.

Pour les quatre premiers, le WBCSD mène des projets dans lesquels l'aspect énergétique et de changement climatique est traité. Le dernier de ces domaines, les choix des consommateurs, fait référence à une discussion déjà « ancienne » sur la consommation durable et le rôle des marchés et des consommateurs. Nous avons organisé en octobre 2006, en partenariat avec le Gouvernement néerlandais et la Banque mondiale, une grande conférence internationale sur le rôle des marchés.

L'IMPORTANCE DES CHOIX TECHNOLOGIQUES POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

La production d'électricité se trouve être clairement au centre des débats actuels (internationaux, régionaux, nationaux) sur notre futur énergétique, car il est probable que la demande d'électricité – vecteur énergétique flexible et qui a la préférence des utilisateurs – augmente fortement au cours des prochaines décennies. Nous devons en même temps gérer les émissions de GES, en les maintenant à des niveaux qui impliquent une réduction drastique de la teneur en carbone des différentes sources.

L'énergie nucléaire étant l'une des ressources énergétiques non émettrice de carbone et constituant une importante source d'approvisionnement électrique en base, on s'attend à ce qu'elle croisse dans une proportion semblable à celle d'avant 1990. Mais on ne peut envisager un tel développement que si les appréhensions des populations au sujet de la prolifération et du stockage des déchets sont traitées de façon adéquate.

La production d'électricité est également un sujet étudié par les membres de notre projet *Electricity Utilities*, qui a publié récemment le rapport *Powering a Sustainable Future* (Octobre 2006). Celui-ci fait appel à de nouveaux partenariats entre les électriciens et les gouvernements pour définir les conditions de réalisation des investissements de ce secteur, tout en assurant une confiance dans des retours sur investissements raisonnables eu égard à la durée de vie des actifs, y compris par des structures tarifaires appropriées et fiables. Ce rapport souligne également que la quête de prix avantageux ne peut pas régir la conception ni la régulation de marchés de l'électricité compétitifs ; nous devons prendre en compte d'autres moteurs du développement durable, tels que des incitations pour la R&D et l'efficacité énergétique, et des mécanismes pour gérer les risques liés aux approvisionnements à long terme.

Des efforts de R&D soutenus sont également essentiels pour progresser dans la définition des options énergétiques de long terme. Dans l'industrie nucléaire par exemple, les programmes de R&D, développés princi-

palement dans un cadre de coopération internationale, s'intéressent à la future génération des technologies et des procédés, en même temps qu'ils s'appuient sur l'expérience opérationnelle de l'industrie et ses performances en matière de sûreté.

LES ORIENTATIONS DES POLITIQUES À L'HORIZON 2050

Nous travaillons maintenant sur un rapport traitant des politiques dont nous aurons besoin pour atteindre le type d'objectifs décrits plus haut. Cela n'est pas facile. Les entreprises et les gouvernements sont divisés, comme je l'ai mentionné. Le point clé dans la mise en place de politiques pour le futur est de savoir jusqu'où les entreprises peuvent agir dans la question de l'énergie et du changement climatique. Jusqu'où pouvons-nous aller dans le renouvellement de notre patrimoine capitaliste et dans ses ajouts ? Et quelles interventions gouvernementales seront nécessaires en termes de politiques publiques visant à faciliter et améliorer les actions des entreprises ? Permettez-moi d'approfondir cette question.

Ma réponse, courte et franche, à la question de savoir jusqu'où les entreprises peuvent aller toutes seules est : « pas suffisamment loin pour atténuer les risques du changement climatique ».

Les entreprises doivent se préoccuper, en matière de développement durable, de deux dimensions. La première est constituée du programme d'actions propres aux entreprises, celui qui donne du sens aux actions entrepreneuriales en matière de développement durable. Même les chefs d'entreprise qui ne croient pas au développement durable font beaucoup de choses par rapport à ce domaine, car cela relève tout à fait du bon sens des affaires, en plus de contribuer à la création d'un monde durable. Cela inclut la gestion des ressources telles que l'eau et l'énergie, et le fait d'en rendre compte, ainsi que la gestion des impacts sociaux.

La deuxième dimension est celle des politiques publiques, qui traitent des conditions d'encadrement des entreprises, fondées sur les règles ou règlements édictés par les gouvernements. Nous devons faire avec cette dimension des politiques publiques, que nous le voulions ou pas, et nous devons faire le lien et gérer les sujets qui découlent de ces deux programmes d'action. Notons que dans de nombreux domaines, la communauté des affaires peine à avancer sans un chemin tracé par des politiques publiques.

Par exemple, lorsque les électriciens vendent de l'efficacité énergétique à leurs clients, ils doivent pouvoir trouver le moyen de transformer leur manque à gagner en une autre forme de valeur. Pour cela il faudra sans doute un soutien gouvernemental. Et un recours accru aux réacteurs nucléaires de troisième et quatrième générations impliquera sans doute une participation gouvernementale tant sur la R&D que sur la garantie

des risques. Pouvoir s'assurer contre la montée du niveau de la mer et les événements climatiques demandera l'implication et la régulation d'un gouvernement. Et les énergies renouvelables ne sont pas, dans la plupart des cas, compétitives aujourd'hui sans une forme ou une autre de soutien ou de subvention des pouvoirs publics.

LE RÔLE DES GOUVERNEMENTS

Arrêtons-nous un moment pour nous demander si nous avons un système de gouvernance calibré pour les enjeux auxquels nous devons faire face ? Ou, dit de façon plus directe : « Qui est aux commandes pour créer un monde durable ? ». Les gouvernements d'un bon nombre de pays *leaders* de l'OCDE sont aujourd'hui assez faibles et n'ont qu'une capacité limitée à mobiliser les soutiens nécessaires à des compromis politiques difficiles. C'est le cas des Etats-Unis, du Japon, de la Grande-Bretagne, de la France, de l'Italie et du Canada, soit six pays membres du G8. La coopération mondiale, au travers des Nations Unies, du FMI, de la Banque mondiale et de l'OMC, se trouve également affaiblie et ne dispose que d'un pouvoir très restreint pour rassembler la communauté mondiale d'une manière cohérente.

Comme le notait le rapport Brundtland : « *Il n'y a qu'une terre, mais il n'y a pas qu'un monde* ».

L'Union européenne s'est fixé un objectif pour 2050, qui est que 50 % de l'approvisionnement énergétique doit venir de sources fiables et n'émettant que de faibles quantités de carbone. Cela n'est guère possible sans une reprise du nucléaire. Pourtant, des ONG protestent, en France, contre de nouvelles centrales, et, en Grande-Bretagne, contre la plus grosse centrale à charbon, Drax, à cause de ses émissions de CO₂. L'UE fait l'exercice difficile de tenter de résoudre la quadrature du cercle sur « Énergie, climat et concurrence », un thème à l'étude au sein du Groupe de haut niveau mis en place par Bruxelles.

La Chine est à la recherche de son propre avenir, préoccupée par la continuation de sa croissance économique, l'amélioration de son niveau de vie, et le maintien de la stabilité sociale. Cela a des conséquences sur le climat du globe, les marchés des matières premières, et l'emploi dans d'autres régions du monde. Il en est de même pour les Etats-Unis et l'Inde.

Il est particulièrement difficile de caractériser la situation des Etats-Unis, étant donné l'importance des différences qui existent entre l'approche nationale et les activités des villes et des Etats.

On constate une avancée en Californie avec l'adoption récente d'une loi qui impose une réduction des émissions de carbone de 25 % à l'horizon 2020. La façon d'y parvenir n'est pas encore claire, mais la Presse a mentionné une combinaison de règlements, d'incitations, et de mécanismes de marché, incluant un systè-

me *cap and trade* (limiter et commercialiser), apparemment semblable à celui de l'UE.

LA PROGRESSION DE LA SOCIÉTÉ MONDIALE

Il y a, à l'heure actuelle, de nombreuses initiatives ainsi qu'un certain nombre d'événements internationaux pilotés par les Nations Unies, le G8, et diverses nations ou régions, susceptibles d'influencer de manière significative le débat sur la façon dont la société doit traiter ces questions. Quelques thèmes communs me paraissent émerger de ces diverses activités :

- la priorité accordée à l'efficacité énergétique ; l'Agence internationale de l'énergie (AIE) travaille sur ce thème, dans le cadre de son rapport *World Energy Outlook* (Panorama énergétique mondial), afin d'évaluer plus en détail le potentiel de l'efficacité énergétique ;
- la nécessité de solutions pour un « charbon propre », notamment les recherches sur la capture et le stockage du carbone, car le charbon continuera à être l'une des principales sources d'énergie dans le futur ;
- la résurgence du rôle de l'énergie nucléaire ;
- un intérêt croissant pour les biocarburants ;
- la poursuite du débat sur le rôle que les énergies renouvelables, tels le solaire et l'éolien, peuvent jouer ;
- un intérêt pour les approches sectorielles pour traiter du changement climatique de façon transfrontalière.

Dans mon introduction, je me suis référé au rapport de la Commission Brundtland « *Notre Avenir à Tous* ». Il contient un chapitre sur l'énergie, explicitant des stratégies de réduction de consommation et d'amélioration de l'efficacité énergétique, dans lequel on peut lire : « *la Commission pense que le monde ne dispose d'aucune autre option réaliste pour le XXI^e siècle* ». Le rapport ajoute « *si elles étaient gérées correctement, les mesures d'efficacité énergétique pourraient permettre aux nations industrielles de stabiliser leur consommation d'énergie primaire à la fin du siècle* ». Cette phrase, écrite en 1987, se réfère à l'année 2100, pas 2100 ! En termes de changement climatique, nous partagerons donc un avenir, mais cet avenir paraît plutôt sombre.

Néanmoins, pour ce qui concerne la gestion des systèmes énergétiques, diverses nations et régions semblent se détacher et rechercher des futurs séparés.

DES POLITIQUES GOUVERNEMENTALES QUI SOUTIENNENT L'INNOVATION ET LA TECHNOLOGIE

Si nous voulons que l'innovation et les nouvelles technologies deviennent réalité, nous avons besoin de politiques adaptées à cet objectif, dans la mesure où des technologies différentes requièrent des structures différentes.

Premièrement, on utilise déjà certaines technologies qui produisent de l'électricité sans émissions carbonées comme l'hydraulique ou le nucléaire de troisième génération, qui sont compétitives et matures dans plusieurs pays. Les politiques publiques doivent créer les conditions de sécurité et de réussite de leur déploiement. Pour le nucléaire, nous avons besoin d'autorités de sûreté compétentes et de l'assurance que les procédures liées à l'implantation des centrales et celles d'approbation des modèles de réacteur sont claires et cohérentes. Nous avons également besoin d'une structure de marché qui facilite la standardisation et les économies d'échelle qui en découlent.

Deuxièmement, certaines technologies permettant de réduire les émissions de carbone, comme l'isolation des maisons, sont rentables en elles-mêmes. Certaines technologies de production d'électricité à faible intensité en carbone, telle le charbon ultra supercritique ou les turbines à gaz à cycle combiné, sont matures et pourraient être compétitives si le coût des émissions de carbone était inclus dans les tarifs de l'électricité. Pour y parvenir, les politiques devraient viser à éliminer les barrières à l'investissement comme les réglementations restreignant l'entrée dans les marchés de l'efficacité énergétique, ou le fait que les investisseurs ne perçoivent pas les bénéfices générés, ou encore, pour les consommateurs, le manque d'information, d'expertise, ou de financements. Les technologies émettant moins de carbone doivent bénéficier d'un ensemble de politiques incitatives qui intègrent une vision de la durée (de 30 à 60 ans) des investissements considérés. Dans un système *cap and trade* cela implique d'en assurer l'existence pendant 15 ou 20 ans, et de bien clarifier les règles d'allocation de quotas d'émissions sur cette période.

Troisièmement, des technologies comme les pompes à chaleur, le solaire thermique, ainsi que des technologies non émettrices de carbone comme l'éolien, sont proches du stade concurrentiel. Il paraît raisonnable d'avoir recours à des systèmes de subvention à grande échelle pour en stimuler le déploiement.

Quatrièmement, certaines technologies, comme la capture et le stockage du carbone, le solaire photovoltaïque décentralisé de troisième génération, ou le nucléaire de quatrième génération, paraissent prometteuses, mais sont loin d'être matures. Un effort massif de promotion de la technologie est nécessaire. Les politiques publiques doivent organiser et soutenir la R&D de telle manière que toutes les options intéressantes puissent être explorées et que les solutions soient mises à temps sur le marché. Il y a là un domaine privilégié pour des partenariats public-privé, particulièrement pour ce qui concerne la construction des prototypes ou des pilotes industriels de démonstration.

CHANGER DE CAP

Il y a un proverbe qui dit « *si vous ne changez pas de direction, vous arriverez à l'endroit où vous allez* ». A l'heure actuelle, nous avançons, en tant que société globale, sur un chemin qui n'est pas durable. L'importance et les conséquences des enjeux liés à l'énergie et au changement climatique sont telles qu'il nous faut les affronter tous ensemble, en tant que société mondiale. Permettez moi une autre citation provenant du rapport Brundtland en 1987: « *Peut-être que la tâche actuelle la plus urgente est de persuader les nations qu'il est nécessaire de revenir au multilatéralisme* ».

Il y a de gros intérêts en jeu pour la communauté mondiale des affaires, qui sont liés à la façon d'aborder ces problèmes. Au WBCSD il nous arrive souvent de constater que « les affaires ne peuvent réussir dans les sociétés qui échouent ». Mais la société ne peut pas résoudre ces problèmes sans les entreprises. Nous devons donc nous engager, et contribuer à créer un environnement dans lequel les entreprises puissent être en mesure de prospérer, innover et croître pour le bénéfice de toutes les parties prenantes, c'est-à-dire de la société dans son ensemble.

Les horizons temporels de l'entreprise

HORS DOSSIER

Le temps dans l'entreprise est à la fois un thème vaste qui mobilise les réflexions des théoriciens du management et un sujet de discussion qui suscite toutes sortes de commentaires échangés à l'occasion des pauses café comme des repas d'affaire. Petit tour d'horizon de quelques-unes de ces idées reçues rapportées par la nouvelle promotion 2004 au cours de son premier stage long...

Par les ingénieurs – élèves de l'Ecole nationale supérieure des Mines de Paris, promotion 2004

La difficulté du thème qui a alimenté notre réflexion durant notre première année du corps des Mines est liée à l'existence, à toutes les échelles de l'entreprise, d'horizons temporels propres à chaque acteur, qu'il s'agit de mettre en relation et dont il convient d'assurer la cohérence.

Homme, groupe, entreprise : tous trois ont leur propre horizon temporel, leur façon de le vivre, et de le gérer. Nous avons choisi de balayer ici différents clichés que nous avons pu entendre au cours de notre stage (long) en les illustrant et en tentant de les nuancer à la lumière de notre (maigre) expérience de la vie économique. En voici quelques exemples au sein de la célèbre entreprise automobile, Botal.

TEMPS VÉCU ET TEMPS RESENTI : L'INDIVIDU DANS L'ENTREPRISE

C'est connu, la première richesse du groupe Botal, c'est son capital humain. L'ouvrier comme le cadre supérieur passe dans l'entreprise une partie importante de son temps. Les échéances des projets, la vision de l'avenir, la gestion des imprévus, les plans de carrière, l'organisation du travail se heurtent ou se mêlent selon plusieurs schémas.

Idée reçue n° 1 : « On ne travaille bien que dans l'urgence »

Anne-Lise et Hugues font partie du service commercial. Dans deux jours, ils ont un comité de pilotage avec un client important. Et il reste beaucoup à faire pour être prêt ! Pendant ces deux jours, ils vont travailler d'arrache-pied, restant tard le soir, multipliant les coups de fil, pour finir leur présentation une heure à peine avant la réunion, dans le TGV les emmenant à Rennes. Deux heures plus tard, la réunion s'est très bien passée, et le client s'est montré très satisfait. Anne-Lise et Hugues peuvent se féliciter, d'autant que leur chef a été très impressionné par la somme de travail qu'ils ont abattue en 48 heures. L'urgence a donc parfois du bon, le stress du moment pouvant être un stimulant pour se surpasser.

Mais, bien souvent, l'urgence n'est que la conséquence logique d'un manque d'organisation et de dysfonctionnements internes. De plus, il est difficile de se sortir d'un tel cercle vicieux, chaque projet devenant urgent à tour de rôle, au risque de prendre du retard. Au final, quand l'urgence devient une habitude, il n'y a plus de place pour le surpassement, car chacun a une capacité de travail finie. De surcroît, le travail dans l'urgence ne permet pas la prise de recul nécessaire à l'expression de la créativité.

Idée reçue n° 2 : « C'était mieux avant ! »

Le jeune ingénieur Méthodes qui s'apprête à mettre en œuvre un changement dans l'atelier de production, imagine déjà contre lui les oppositions des vieux opérateurs. Il se les figure passésistes, refusant tout changement. Combien de fois devra-t-il entendre cette vieille rengaine : « C'était mieux avant ! » ? Il est vrai que les changements, en particulier lorsqu'ils impliquent l'apprentissage de nouvelles méthodes de travail, sont difficilement acceptés. Pour notre jeune ingénieur, cela est dû à la vision court-termiste des opérateurs qui ne voient que la surcharge ponctuelle de travail sans en comprendre les enjeux. Il pense que les séances de formation permettront de vaincre ces réticences et de faire comprendre à tous que les changements sont porteurs d'une amélioration à long terme.

Mais depuis 15 ans qu'il travaille sur la chaîne, Robert en a vu passer des jeunes ingénieurs Méthodes ! D'après son expérience, celui-là, comme les autres, sera parti dans un an, et son remplaçant arrivera, lui-aussi, avec son lot de nouveaux projets, parfois incompatibles avec ceux de son prédécesseur. Quel intérêt alors de se mobiliser sur ce projet ?

Ce n'est donc pas toujours une vision court-termiste qui guide les oppositions de l'opérateur. Et les jeunes ingénieurs Méthodes ont trop souvent un horizon limité aux échéances de leurs projets. C'est donc au management d'avoir une vision sur le long terme, de profiter du retour sur expérience de tous les intervenants pour assurer une bonne continuité des actions menées.

Idée reçue n° 3 : « Il y a encore un truc qui m'est tombé dessus vendredi à 17h30 »

Martin, responsable Maintenance, s'apprête à partir en week-end avec ses collègues après avoir passé une journée très calme. Soudain, une sirène retentit et Martin n'a pas besoin de se retourner pour savoir qu'il peut dire adieu à sa soirée : la machine 34 est encore tombée en panne. Victime d'un coup du sort, il envie son collègue Philippe, responsable Prototype, qui, lui, peut maîtriser son emploi du temps et se projeter dans l'avenir avec certitude sans être interrompu par les tracas du quotidien.

Et pourtant, ce soir, Philippe aussi va devoir rester plus longtemps que prévu. Il s'est en effet vu attribuer une demande d'homologation technique qu'il doit traiter dans l'instant. Dans son cas, cette urgence aurait pu être évitée si le coordinateur du programme avait demandé plus tôt dans la semaine le lancement en production de la présérie. Philippe aurait pu alors prendre de l'avance et effectuer l'homologation à temps. Mais le coordinateur n'a tenu compte que de son propre emploi du temps sans mesurer les conséquences de son action sur le travail de ses collaborateurs.

L'imprévu n'est donc pas toujours l'apanage des métiers opérationnels et touche également les équipes projet. Toutefois, la coordination des horizons temporels des différents acteurs permettrait, dans bien des cas, d'éviter ces situations d'urgence.

Idée reçue n° 4 : « Vivement la retraite ! »

Ce refrain est si souvent répété que même certains employés de trente ans à peine le prennent à leur compte. Leur quotidien se résume à la pause café à 10h, le déjeuner de 12h30 à 14h, puis le départ du bureau à 16h27 pour avoir le bus de 16h31. Jour après jour, ce scénario se répètera jusqu'à la retraite.

Leurs horizons temporels sont dissous, sans échéance professionnelle, comme la fin d'un projet ou la perspective d'une évolution de carrière. Leur travail n'est rythmé que par des échéances personnelles.

A l'inverse, Jürgen, gestionnaire de production, est toujours aussi motivé à 55 ans. Il vient d'avoir un entretien d'étape avec son chef de groupe. Ce dernier lui a assigné de nouveaux objectifs très motivants, en particulier la participation au projet de *lean manufacturing*. Si le projet réussit dans son usine, il aura la chance d'aller former dans deux ans ses collègues américains. Jürgen ne voit pas le temps passer au travail, et en saute même parfois sa pause déjeuner.

Ainsi, la démotivation des employés proches de la retraite n'est pas inévitable. Un bon management doit, dans la mesure du possible, donner à chacun des objectifs et des perspectives permettant aux employés de s'approprier les horizons temporels de l'entreprise et de les aligner avec les leurs.

Idée reçue n° 5 : « J'ai pas l'temps, j'suis débordé »

Chaque nouvelle tâche se heurte au temps disponible pour le faire. Et là, un cortège d'obstacles se dresse : réunions, déplacements, autres échéances plus importantes, incompatibilité des emplois du temps. Le temps apparaît donc comme une contrainte objective, non compressible et difficile à remettre en cause.

Pascal travaille au service logistique où il est chargé d'une mission sur la gestion des flux dans l'usine. Aujourd'hui, son chef lui a demandé de réfléchir à la manière de présenter la bibliothèque de procédures sur l'intranet. Mais il lui a répondu qu'entre deux réunions, le projet occupe tout son temps. Il ne peut donc pas s'y atteler. En revanche, quand une demi-heure plus tard, Marine vient lui demander d'enquêter sur la disparition d'un stock dans le système, il libère sans peine deux heures pour le faire.

Pascal n'a pas menti, son emploi du temps est très chargé. Toutefois, ce n'est pas par manque de temps qu'il a refusé la tâche demandée par son patron et accepté celle

de Marine. Il a hiérarchisé ses priorités en fonction de l'intérêt qu'il leur porte plutôt que de leur importance pour l'entreprise. Le fait d'être débordé lui donne la latitude de choisir ce qu'il fera en premier. Et comme dans bien des cas, Pascal privilégie la tâche immédiate : il est plus facile de se laisser entraîner dans le court terme plutôt que de réfléchir sur le long terme. En effet, la satisfaction d'un résultat rapide et tangible peut l'emporter face à la rigueur et la ténacité nécessaires pour s'atteler régulièrement à une tâche dont on ne sait pas le terme.

LE TEMPS ORGANISÉ PAR L'ENTREPRISE

Si chaque individu a ses propres horizons temporels, l'entreprise ne se limite toutefois pas à la somme des collaborateurs. Chaque service et chaque niveau de responsabilité ont leur propre appréhension du temps. Cette hétérogénéité peut créer des dysfonctionnements que l'entreprise doit prendre en compte et parvenir à gérer malgré les imprévus.

Idée reçue n° 6 : « La gestion des plannings, c'est une affaire de pro ! »

Car après tout, le temps, c'est de l'argent ! Et il n'est évidemment pas question pour les employés d'une entreprise de se tourner les pouces ou d'être sous-productifs. Ces merveilleux outils que sont les P.D.A., les rendez-vous fixés par messagerie, les feuilles de routes à profu-



© Richard Kalvar / MAGNUM PHOTOS

Il existe à toutes les échelles de l'entreprise, des horizons temporels propres à chaque acteur, qu'il s'agit de mettre en relation et dont il convient d'assurer la cohérence. Homme, groupe, entreprise : tous trois ont leur propre horizon temporel, leur façon de le vivre, et de le gérer.

belle mécanique des PIC et PDP de l'ordonnancement des tâches aurait été perturbée par une commande tardive. On chuchote dans les couloirs du siège que les commerciaux n'auraient jamais leurs outils marketing à temps malgré un rythme qui se répète à l'identique d'un semestre à l'autre. Enfin, une légende veut que les serveurs informatiques commandés depuis plus d'un an ne soient toujours pas arrivés.

Ainsi, il semble qu'il faille se résoudre à penser que l'entreprise est, par nature, confrontée à des aléas qui perturbent son fonctionnement optimal. Et si les Sokapi, Nagula, et autres modèles de la marque sont livrés de façon stupéfiante presque en temps et en heure, c'est qu'à une somme d'imprévus, les acteurs de l'entreprise sont capables de répondre par une somme d'improvisations transparentes pour le client.

sion, plannings opérationnels, ou autres PIC, PDP, Agenda Lotus®, Microsoft Project® et Schémas opérationnels de développement®™ sont là pour garantir à tout moment une gestion professionnelle du temps. Bref, vous le saviez, on n'est pas chez Botal pour mégoter, et tous les acteurs interagissent avec la précision d'une mécanique bien huilée que rien ne saurait perturber. La saisonnalité des ventes se répercute sans accroc sur une saisonnalité parfaitement contrôlée des stocks, les tendances sont toujours anticipées et, lorsque quelqu'un doit quitter son poste, ce n'est pas sans avoir formé de manière intensive son successeur : sans surprise, l'entreprise sait gérer le temps qui s'impose à elle.

Et pourtant... On aurait vu certains opérateurs créditer leurs heures à une tâche dite « en attente de travail ». La

Idée reçue n° 7 : « Le chef n'a pas à s'occuper des menus détails quotidiens... »

L'image du chef la plus répandue dans l'entreprise est celle d'un penseur froid, isolé dans son grand bureau de l'étage Direction, fixé sur des horizons lointains pour décider des grandes orientations stratégiques. Il est délivré des préoccupations quotidiennes qu'il délègue à ses adjoints, eux-mêmes répartissant les tâches entre leurs subordonnés. Libéré des problèmes immédiats et de l'urgence permanente, il peut consacrer son temps et ses efforts au long terme, pour fixer un cap à tenir, sans place pour le doute.

La réalité est en fait beaucoup plus contrastée : le PDG du groupe Botal se sent investi de la charge de valider le moindre slogan publicitaire, alors qu'il pourrait déléguer cette tâche au responsable marketing. On a aussi surpris le représentant qualité du projet R2D2 rressurant des boulons de voitures le samedi dans un parking désert, de peur que ces retouches soient mal faites par les opérateurs le lundi suivant.

Ainsi, même le chef n'est pas dégagé des soucis immédiats. Ce retour aux considérations de court terme est même bénéfique, obligeant les supérieurs à rester en contact avec leurs subordonnés en partageant leurs préoccupations. Cela lui permet aussi de réaliser la jonction entre court et long terme, et de motiver ces collaborateurs.

Cependant, il ne doit pas y consacrer trop de temps, d'une part pour ne pas interférer avec le travail de ses subordonnés, et surtout pour conserver une vision de long terme afin de donner une cohérence à l'ensemble des actions, en les faisant tendre vers une même direction. Mais pas facile d'être disponible quand on doit traiter plus de 100 mails par jour, grâce à la manie du « je mets le chef en copie de tout ! »...

Idée reçue n° 8 : La réunionite, fléau de l'entreprise...

On est tout le temps en réunion. Impossible de trouver le moindre créneau horaire commun: si ce n'est pas l'un, c'est l'autre qui est pris par une réunion de service, avec son chef, avec le nouveau stagiaire... Le travail est devenu une succession de réunions et plus aucune réflexion productive n'a lieu. On arrive le matin, on prépare la réunion de fin de matinée. Si on n'en a aucune à préparer, on en a une à débriefer. Certes, les réunions sont espacées et du temps est théoriquement laissé libre pour le travail personnel, mais elles s'éternisent pendant des heures ! Et parfois, elles ne servent qu'à programmer la réunion suivante. Bref, le monde du travail serait, selon les spécialistes, atteint de la réunionite aiguë, maladie grave qui empêche tout travail productif.

Cependant, les réunions sont aussi un outil indispensable pour coordonner et optimiser les efforts. Ainsi, le

groupe Botal comporte plusieurs bureaux d'étude sur les matériaux qui se plaignent de se retrouver constamment en réunion. Dans les faits, chacun développe de son côté des produits similaires sans jamais communiquer et aucune coordination n'a lieu. Une simple réunion suffirait à optimiser un travail qui est sans aucun doute redondant.

De la même façon, le pilote 'équipement intérieur' du nouveau projet R2D2 se plaint systématiquement de ne jamais être au courant des derniers choix de son chef de projet... Une solution simple et radicale serait sans doute d'assister aux réunions de pilotage auxquelles il omet sans faille de se rendre sous prétexte que la réunion ne sert à rien.

Ainsi, les réunions ont le mérite de coordonner les efforts, d'harmoniser et de clarifier les échéances. Si elles paraissent inefficaces, c'est qu'elles sont mal préparées et conduites, et engendrent redites, retards, tensions... Ce n'est donc pas la fréquence des réunions qui doit être remise en cause, mais bien plus leur organisation. Des marges de manœuvre importantes pourraient être dégagées en imposant notamment une contrainte de durée (1h maxi), un ordre du jour préalable et spécifique, une limitation du nombre de participants, etc.

Idée reçue n° 9 : « A la compta, ils travaillent une fois par an... »

C'est bien connu, le service comptabilité ne se réveille qu'une fois par an, lorsqu'il s'agit de harceler tous les services à la recherche de données à consolider en vue du rapport annuel. Quant à la production, elle se plaint d'une baisse de la charge des sites industriels, se révèle incapable de faire face à un pic soudain de production mais ne répond jamais au-delà de 16h, RTT oblige. Du côté du service Achats, activité frénétique en fin de mois pour les commandes mensuelles, calme plat le reste du temps.

Travailler dans une entreprise, c'est être sollicité à intervalles réguliers par des services qui, le reste du temps, dorment et se révèlent en général incapables de répondre à une demande pressante. Comme chaque fin de mois, le service informatique est mobilisé sur le serveur qui fonctionne de mieux en mieux. Mais au même moment, Julie a besoin d'assistance : sa messagerie ne fonctionne plus alors qu'elle a besoin d'envoyer son dixième fichier de 15 Mo de la matinée. « Evidemment, ça ne répond pas, ils sont tout le temps à la machine à café ! ».

Ainsi, chaque service a des horizons temporels et des rythmes qui lui sont propres. Dès que deux services entrent en interaction, ces horizons s'entrechoquent et créent des conflits. Le demandeur ne conçoit pas que ce qui pour lui est une urgence ne soit pas traité comme tel par son interlocuteur tandis que ce dernier n'accepte pas que son propre horizon temporel soit perturbé

par cette demande. Parce que nous ne comprenons pas les horizons temporels du service d'à côté, nous sommes incapables de les intégrer en amont dans notre propre échéancier et d'assurer ainsi la bonne articulation de l'ensemble.

L'ENTREPRISE ET SON ENVIRONNEMENT DANS LE TEMPS

L'entreprise peut aussi être vue de l'extérieur comme une entité indivisible avec ses temps propres. Ses horizons temporels sont souvent liés à ceux de son environnement, comme l'affirment ces idées reçues.

Idée reçue n° 10 : « Le client veut tout, tout de suite, et le fournisseur est toujours en retard »

Il y a quelques années encore, les trois quarts des commandes passées par Botal auprès de ses fournisseurs étaient en mode dit « normal », c'est-à-dire avec un délai de livraison d'un mois. Aujourd'hui, la majorité des commandes sont passées en mode « critical », pour lequel le délai de livraison est beaucoup plus court (une à deux semaines). En outre, comme les aviateurs, le groupe Botal assigne maintenant à tous ses sous-traitants un objectif de ponctualité des livraisons de 99,7 %.

Cette pression de plus en plus forte du constructeur sur ses fournisseurs s'explique bien sûr par la volonté des consommateurs qui exigent que leur véhicule leur soit livré dans les plus brefs délais. Mais c'est aussi la conséquence de la volonté actuellement manifestée par le groupe Botal de diviser par deux les stocks de sécurité dans ses usines.

Quant aux fournisseurs, ils ont bien du mal à suivre la cadence. L'équipementier automobile IKZ est l'un des principaux sous-traitants de Botal. Il vend ses produits sur un marché de niche qui tend à devenir de plus en plus concurrentiel. Pour ne pas perdre de part de marché, les commerciaux d'IKZ ont dû s'engager envers le constructeur automobile à livrer certains de leurs produits dans des délais plus courts que les temps de fabrication ! Ainsi, la peur de perdre des clients entraîne des dysfonctionnements qui se répercutent en amont, dans toute la chaîne de production.

Idée reçue n° 11 : « Tout va de plus en plus vite ! »

Confrontés à des clients qui veulent tout, tout de suite, constructeurs et fournisseurs se sont vite rendu compte que la maîtrise du temps constituait un facteur clef pour livrer toujours plus vite et obtenir ainsi des avantages concurrentiels.

Afin d'accélérer les échanges d'information entre le constructeur et ses fournisseurs, le groupe Botal a développé le *Vendor Management Inventory*. Ce système permet au fournisseur de connaître à tout moment, *via* Internet, le niveau des stocks chez le constructeur, niveau qu'il s'est engagé, de manière contractuelle, à maintenir entre une limite minimale et une limite maximale.

En interne, le groupe Botal a appliqué de nouvelles solutions, comme le *lean manufacturing*, une révolution qui permet de raccourcir drastiquement les horizons temporels de la production, et par là de répondre à des contraintes clients de plus en plus pressantes. Ces évolutions étaient de toute façon nécessaires, dans la mesure où il n'était pas envisageable de continuer à répondre à l'accélération de la demande par une accélération du rythme de travail des opérateurs, ou par une automatisation qui est déjà largement effective dans l'industrie.

Finalement, les entreprises ne font que suivre le mouvement d'accélération global des échanges induit par les nouvelles technologies de l'information, mais n'ont pas fondamentalement choisi de travailler en sur-régime.

Idée reçue n° 12 : « Lance la macro et tu connaîtras l'avenir...! »

Au lancement d'un nouveau véhicule, le responsable des coûts et le chef de projet déterminent, grâce à une macro Excel, la valeur actualisée nette du projet, et statuent ainsi sur sa rentabilité. L'un des paramètres à renseigner est le nombre de véhicules vendus chaque année, qui, par définition, ne peut pas être connu avec certitude à l'avance. Ainsi, l'exercice donne lieu à un jeu de tâtonnements successifs pour aboutir à un résultat acceptable. Outre le caractère scientifiquement contestable de la méthode, il faut noter que les personnes qui effectuent ces calculs se reposent entièrement sur un logiciel qui n'est pas toujours adapté à leur projet, et qui s'apparente bien souvent à une « boîte noire » dont plus personne ne maîtrise réellement le fonctionnement. Enfin, le logiciel économique ne permet pas de prendre en compte des gains potentiels en termes d'image de marque par exemple. Les outils financiers donnent donc une vision limitée de l'avenir, qui, mal interprétée, peut induire de mauvaises décisions.

Pour autant, les différents calculs effectués pour prévoir l'avenir (prévisions boursières, prévisions de vente, etc.) ont souvent un caractère auto-réalisateur : quand une action voit sa note baisser, et ensuite son cours baisser lui aussi, cela ne démontre pas que l'agence de notation est capable de prédire l'avenir, mais qu'elle est capable de l'influencer. De même, une entreprise, une fois fixé son objectif de vente, mettra tout en œuvre pour l'atteindre...

Idée reçue n° 13 : « C'est la faute des actionnaires ! »

A chaque fin de semestre, c'est pareil : une agitation anormale s'empare de toutes les usines avant la publication du chiffre d'affaires du groupe Botal. Aux alentours du 25 juin, plusieurs gestionnaires demandent avec insistance que des commandes qui traînent depuis parfois des semaines soient finies dans l'urgence, dans l'espoir de pouvoir encore facturer le client sur le semestre en cours, et ce, même s'il faut pour cela bouleverser une bonne partie de la planification.

Dans le même ordre d'idées, les *hedge funds* sont aujourd'hui les maîtres de la gestion spéculative. Leurs techniques sophistiquées tendent plutôt à privilégier l'arbitrage entre actifs financiers qu'ils estiment sous- ou sur-évalués. Ils sont souvent accusés de déstabiliser le marché, et par voie de conséquence les entreprises, en privilégiant la rentabilité de court terme de leurs investissements, par opposition aux logiques industrielles de long terme.

De manière générale, la logique financière des actionnaires a amené à créer toujours plus d'indicateurs pour juger de la performance (mensuelle, trimestrielle) des différents acteurs de l'entreprise : se sentant jugés sur ces indicateurs, ces derniers privilégient naturellement des démarches court-termistes.

Cependant, *a contrario*, les majors pétroliers investissent aujourd'hui de plus en plus dans les énergies renouvelables (biocarburants, énergie solaire, éoliennes...) et semblent plus se positionner sur le segment des entreprises « pourvoyeuses d'énergie » que sur celui des entreprises pétrolières. L'épuisement des réserves de pétrole est en effet estimé à 80 ans (pour les plus optimistes) et ces investissements sont donc le signe d'une vision à long terme de l'avenir. Parfois, comme dans le cas du groupe pétrochimique FZA, c'est le poids de l'opinion publique qui peut pousser une entreprise à engager des actions de changement sur le long terme. Ainsi, le consortium a-t-il mis en place une vraie directive Sécurité Groupe, depuis une fuite très médiatisée survenue récemment dans l'une de ses usines.

L'importance respective du court terme et du long terme dans la vie de l'entreprise dépend donc fortement de la taille et du secteur d'activité. Les entreprises impliquées dans l'énergie ou les ressources naturelles, par exemple, sont naturellement amenées à travailler sur le long terme. De la même façon, les contrats aéronautiques excluent généralement une rentabilité à court terme : les frais de développement d'un programme sont tellement élevés que les avionneurs et leurs sous-traitants ne peuvent espérer gagner de l'argent sur un nouveau projet qu'au bout de plusieurs années. Il nous

semble donc hasardeux de rapprocher les arbitrages court-terme / long-terme des seules logiques financières et industrielles.

Idée reçue n° 14 : « Du passé, faisons table rase ! »

Simon est resté quarante ans au même poste, bureau 4056. Chargé des plans au Bureau d'études, il avait la réputation de connaître tout l'historique des moteurs développés par Botal. Simon est parti à la retraite il y a cinq ans. Aujourd'hui encore, le Bureau d'études a du mal à se relever de cette perte de connaissances. Les plans ne sont pas à jour, et plus personne ne se rappelle de toutes les modifications qui ont eu lieu.

Ayant pris conscience de cette réalité, Botal a installé un système informatique, Qualiges, qui répertorie l'ensemble des procédures et des documents de travail pour toutes les activités du groupe. Chacun d'eux précise le temps durant lequel ils doivent être archivés pour pouvoir tracer toutes les opérations. De même, les problèmes clientèle étaient autrefois mal tracés tout au long de la vie du véhicule. Aujourd'hui, l'objectif est de faire fonctionner un logiciel de retour d'expérience précis pour quantifier les forces et les faiblesses de ces équipements. Néanmoins, c'est déjà le deuxième système du genre mis en place au cours des cinq dernières années. Ceci montre l'importance croissante de la pérennisation de l'information numérique.

Le problème du maintien du savoir dans le temps est crucial pour bon nombre d'entreprises. Cependant, elles cherchent de plus en plus des moyens pour faire des expériences du passé un atout pour l'avenir.

DES DYSFONCTIONNEMENTS INÉVITABLES MAIS À MINIMISER

Ainsi, la multitude d'horizons temporels de l'entreprise est la résultante d'interactions complexes d'objectifs non alignés. Compétence et lucidité des individus, coordination et organisation entre les services, pertinence de la stratégie de l'entreprise et efficacité des relations avec son environnement, tels sont les enjeux d'une bonne perception des horizons temporels qui s'imposent à tous ces niveaux.

Face à cette complexité, les dysfonctionnements et gaspillages sont inévitables : c'est face à leur minimisation que l'on pourra dire des différents acteurs qu'ils ont géré l'entreprise de façon cohérente et efficace.

La gestion du risque humain : de la difficulté de disposer de signaux et d'indicateurs

Des procédures à la réflexivité

HORS DOSSIER

La société contemporaine, qualifiée de plus en plus souvent de « société du risque », met en place un grand nombre de dispositifs de contrôle. Dans les organisations, ces dispositifs passent souvent par la création de réglementations, de règles et de procédures. Mais cette solution n'engendre-t-elle pas des risques supplémentaires si ces règles et procédures sont mal appliquées, voire pas du tout ou de façon inappropriée par les acteurs ? C'est ce que nous désignons dans cet article sous le terme de « risque humain » circonscrit aux problèmes que l'application des règles engendre dans une situation de travail et qui intime de renouveler la conception de la gestion des risques en organisation.

Par **C. BANON** (1), **O. GUILLAUME** (2), **G. DELEUZE** (3)

La compréhension et la gestion d'un « risque humain » généré par une application imparfaite ou inexistante des règles formelles de l'organisation sont pour l'instant limitée. Le manque d'indicateurs de gestion dédiés à ce sujet et son aspect paradoxal le rend particulièrement difficile à gérer. La gestion des risques en organisation pose alors le problème fondamental de comprendre pourquoi et dans quelles situations ce risque humain se développe, comment le détecter puis le gérer.

Après avoir proposé une taxonomie de ce risque humain, cet article pluridisciplinaire s'emploiera, d'une

part, à montrer comment la technique classique des règles s'avère de moins en moins efficace pour gérer les risques humains contemporains puis proposera, pour sa gestion, de dépasser la question des indicateurs pour s'atteler à une action appropriée auprès des décideurs.

(1) Sociologue, responsable d'études et de diagnostics sociologiques dans une grande organisation de type public.

(2) Sociologue, ingénieur chercheur au Département management des risques industriels de EDF-R&D.

(3) Ingénieur, ingénieur chercheur au Département management des risques industriels de EDF-R&D.

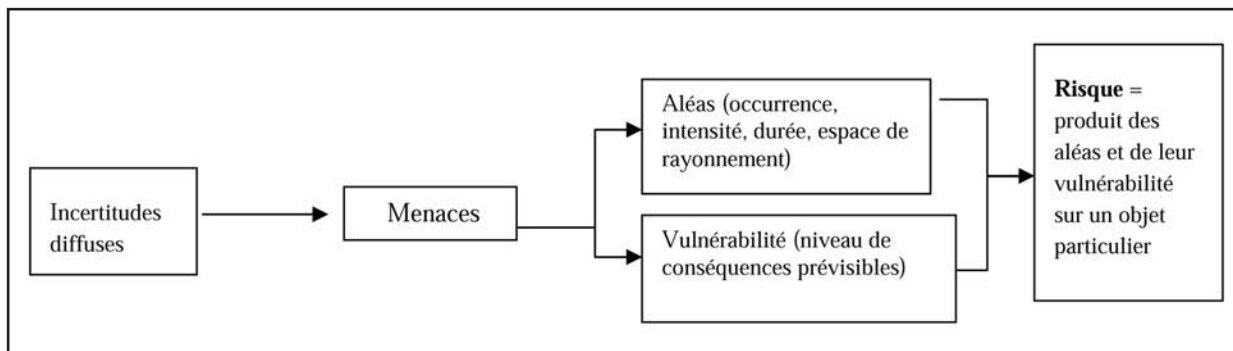


Figure 1 – Conception technique de l'incertitude et du risque.

RISQUES EN ORGANISATION ET INCERTITUDES : UNE GESTION TRADITIONNELLE PAR LES RÈGLES

Toute réflexion initiale sur les risques en organisation s'arc-boute sur les notions d'aléas, menaces, dangers, d'ambiguïtés et d'incertitudes. Pour A. Dauphiné (Dauphiné, 2001, page 17), le risque serait la conséquence d'une menace qui serait elle-même une figure parmi d'autres incertitudes. Et le risque, dans cette conception (voir la figure 1), se définirait par la combinaison entre un aléa et une vulnérabilité (Risque = Aléa × Vulnérabilité). L'aléa (Dauphiné, *opus cité*), premier volet du risque, représente la probabilité d'occurrence d'un phénomène ainsi que la mesure de son intensité, de sa durée et de son espace de rayonnement. La vulnérabilité, second volet du risque, exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène sur des enjeux. Pour protéger la vulnérabilité, un système dispose de sa résistance et de sa résilience qui sont ses capacités à absorber une perturbation. Selon cette conception, le risque se définit et se mesure comme le produit de l'aléa et de la vulnérabilité. La crise est la manifestation réelle du risque.

La mesure du risque s'appuie donc sur le calcul « *qu'un événement se produise et que des conséquences particulières découlent de cet événement* » (Ellison, 1994). Elle repose sur un investissement scientifique probabiliste qui permet d'apprécier si un danger produit un incident (Denis, 1998). La sûreté de fonctionnement définit le risque comme le calcul de survenue d'une incertitude menaçante en probabilisant l'occurrence d'un aléa et ses conséquences sur un système technique (Risque = $P(A) \times C$ (Leroy & Signoret, 1992) (4). L'analyste du risque calculant une probabilité, le risque n'existe donc pas en soi : ce n'est que la traduction sociale du hasard par un investissement rationnel et scientifique qui permet de repérer une menace diffuse, indéfinie et indiscernable (Ewald, 2002) pour le transformer en risque défini, mesuré et calibré.

Les définitions gestionnaires du risque complètent ces éléments en ne définissant non plus le risque comme une menace sur l'intégrité d'un système mais comme la menace de non-respect des objectifs. Le risque est alors un danger qui est un aléa non identifié (Moreau, 2002) ou un ensemble d'événements simultanés ou consécutifs, dont l'occurrence est incertaine mais dont la réalisation affecte les objectifs de l'entreprise qui le subit (Barthelemy, 2000) et est susceptible de modifier son patrimoine et ses résultats (Cohen, 1999). Cinq sources de menaces (Cohen, 1999) peuvent se transformer en risques : les faits incidentels qui peuvent survenir d'agents internes ou externes aux organisations ; les faits criminels imputables aux forces internes et externes ; les événements naturels comme les sécheresses ou tempêtes ; les décisions administratives ou juridiques qui affectent profondément les entreprises ; et les brusques changements économiques.

Malgré leur diversité, ces approches considèrent toutes le risque comme un élément délétère qui découle d'une entité difficilement contrôlable : l'incertitude, qu'il s'agit dès lors d'éliminer ou de réduire par une multiplication des règles et scénarios *a priori*, suivis de contrôles de la conformité par audits et *reporting*. L'analyse technique (Leroy & Signoret, 1992) décompose ainsi un système en sous parties fonctionnelles, puis définit le problème, les parties en jeu, leurs besoins et leurs objectifs ; évalue les fréquences d'événements et leurs conséquences ; promulgue des parades ; évalue les résultats pour mesurer leur conformité aux prévisions ; puis adopte enfin des mesures correctrices si nécessaire. Les mesures du risque, qui interviennent en règle générale lors des étapes d'analyse et d'évaluation, se font par probabilités afin de discerner objectivement (5) l'occurrence et la gravité d'événements avant d'effectuer un classement par ordre d'importance des risques et de constituer des scénarios d'acceptabilité. L'analyse gestionnaire (Barthélémy, 2000) met enfin sous assurance les risques « résiduels » qu'elle estime ne pas pouvoir contrôler. Or, la fiabilité des appréciations probabilistes des risques puis les parades et les règles mises en œuvre pour les gérer sont souvent remises en question. Mais force est de constater que les individus au sein des orga-

(4) Cette acception majoritaire s'incarne notamment dans le référentiel normé de l'ISO 73 (2002) où le risque est défini comme la combinaison de la probabilité de survenue d'un événement et de ses conséquences.

(5) Sauf dans le cas des mesures semi qualitatives du risque, formalisées après avis d'experts.

nisations ne suivent pas toujours ces conceptions du risque et de sa gestion. L'incertitude représente bien souvent une ressource dont cherchent à s'emparer les acteurs et les règles et parades du risque sont souvent peu appliquées, déviées ou transformées. Le risque de la gestion traditionnelle du risque est humain : s'enfermer dans une solution de gestion inefficace.

DES RÈGLES AU « RISQUE HUMAIN »

En nous situant dans le cadre d'une organisation à risques comme les activités industrielles ou de transport à enjeux de sécurité et sûreté, quatre catégories majeures de risques font intervenir l'élément humain : l'humain en tant qu'élément acteur de la sécurité d'un système à risque ; l'humain en tant que partie prenante d'une organisation ; l'humain en tant que « victime potentielle » d'un risque ; l'humain en tant que source de risque par malveillance. Mais contrairement à des risques techniques tels que les risques informatiques, les risques financiers, il n'existe pas de définition standard du risque humain et encore moins de taxonomie reconnue. Selon les pays et les métiers, ce terme désigne des risques très différents :

- les risques personnels des dirigeants de PME/PMI et la transmission ;
- l'acceptation d'une technologie nouvelle ;
- le risque social dans l'environnement de l'organisation ;
- le comportement des opérateurs dans les systèmes à risque ;
- le risque social dans une organisation.

Pour cet article, nous proposons de concevoir le risque humain : comme le résultat, dans le cadre d'une situation génératrice de risques pour une organisation, de la non-application, ou de l'application lacunaire de règles prescrites.

Les premières catégories de transgression relèvent d'une logique « positive » où l'acteur utilise la ressource d'autonomie dont il dispose. Les écarts aux règles pourraient en ce cas découler de dysfonctionnements de type organisationnel que l'acteur tente de « corriger ». Devant le constat apporté par les études empiriques d'une fréquence forte de ce type de « rectifications », certains auteurs [1] concluent à « une façon coutumière de fonctionner ». Au final, la transgression des règles prescrites reviendrait dans les faits à un phénomène habituel dans les organisations. Cette logique, en d'autres termes, relève de l'utilisation par l'acteur de la marge de manœuvre dont il dispose pour s'écarter des règles prescrites et, de la sorte, exercer une régulation d'autonomie [2]. Les secondes catégories relèvent plutôt d'une « non-observation » des règles relevant de logiques que nous nommerons « contestatrices » : soit que l'acteur transgresse les règles pour manifester une opposition, soit que l'acteur adopte un comportement de retrait. De telles attitudes sont le fait de déficits du management aboutissant à des situations d'opposition,

de stress, ou de façon perverse d'une culture d'entreprise sécurisante. Les troisièmes catégories relèvent de « l'application forcée des règles ». Dans les organisations où les modes de fonctionnement s'orientent vers plus de contrôles, plus de procédures, avec l'introduction d'une traçabilité des opérations, la régulation par l'autonomie des acteurs est en passe de se détériorer au profit de la « régulation de contrôle ». En ce cas, l'acteur se trouve conduit à appliquer les règles définies et l'effet de correction des règles lacunaires disparaît, constituant un risque d'inefficacité pour l'organisation.

Transgressions des règles et logique positive

La transgression améliore l'efficacité et la performance de l'organisation

Les transgressions (6) dont il est question ici sont des écarts aux règles que l'acteur exerce de façon volontaire et consciente, en employant son autonomie. Ce type de risque humain est analysé en faisant appel aux travaux de nature sociologique sur l'autonomie, et aux travaux réalisés sur les processus cognitifs. Il est notable que, quelle qu'en soit la nature, ces « transgressions » représentent potentiellement un levier d'efficacité pour l'organisation.

D'un point de vue sociologique, l'autonomie est une ressource que les acteurs mobilisent pour l'action. Une des particularités de l'humain dans une organisation, est sa marge de manœuvre, qui se manifeste par des objectifs et une stratégie. Le risque humain de transgression des règles, en tant que réponse inadaptée à une situation, provient donc en premier lieu de l'application de stratégies individuelles, plus ou moins conscientes. Michel Crozier parvient dans ses travaux à la conclusion que, loin d'exécuter passivement une règle transmise d'« en haut », l'acteur conserve toujours une marge de liberté : en effet, une règle n'est jamais complète, elle repose sur le discernement de celui qui l'applique. L'acteur s'insère en fait dans « un système d'actions concret », terme qui désigne la multitude des jeux complexes régissant les conduites humaines et orientant les stratégies. Cette tendance est renforcée par les injonctions du management contemporain qui préconisent la prise d'initiative et l'autonomie.

La psychologie cognitive du travail explique ce mécanisme en décrivant notamment [3] :

- la croyance que chacun a dans ses propres capacités de corriger des règles imparfaites ;
- la satisfaction de soi par la performance obtenue par la transgression des règles en réponse à un ou des dysfonctionnements organisationnels, d'autant plus élevée si les pairs la constatent ;
- la part que l'acteur met de lui-même dans le travail pour « contourner » des règles de sécurité jugées trop

(6) Signifiant « passer outre ».

contraignantes, ou « corriger » des règles de sécurité jugées inopérantes.

La psychodynamique du travail invoque quant à elle l'ingéniosité que chacun met dans l'exécution des tâches [4]: l'intelligence pratique, le tour de main, la maîtrise du métier, le savoir-faire, le coup d'œil.

Lorsque la transgression des règles intervient pour corriger le côté insuffisant des règles, la situation est naturellement positive pour l'entreprise dont la performance est préservée, et pour l'acteur qui, exerçant son autonomie, ressent de la satisfaction. L'on peut en ce cas dire que les parties prenantes jouent « gagnant-gagnant ». Si l'organisation prend conscience que la transgression des règles peut avoir un côté positif pour elle, et que cette situation est fréquente, elle peut mettre en place des modes de fonctionnement introduisant le débat et la concertation. Les règles pourraient alors servir d'instrument de coordination et donner lieu à une « négociation collective » entre les instances interdépendantes que sont les ingénieurs, techniciens, ouvriers, responsables des ressources humaines, mobilisées pour le fonctionnement d'un ensemble technique. En définitive, ces logiques potentiellement positives constituent un levier pour l'organisation.

Transgressions des règles et logique contestatrice

La non-observation des règles décrite ici relève soit d'une opposition délibérée que l'acteur adopte, soit d'un comportement de retrait avec en corollaire la passivité. La forme la plus visible des situations d'opposition est incontestablement le conflit social, mais d'autres manifestations moins visibles existent, présentant un degré de dangerosité élevé pour la performance des organisations et la sécurité.

L'opposition délibérée

L'accumulation de mécontentements, les insatisfactions au travail, la démotivation, la perte de confiance, semblent le plus communément constituer les fondements des crises sociales. Il se peut que celles-ci prennent place particulièrement dans un contexte de changements, de réorganisations structurelles, qui seraient incompris ou jugés inadéquats. Mais plus globalement, on peut poser comme hypothèse qu'une déficience de management est à l'origine des motivations qui conduisent l'acteur à adopter volontairement une stratégie d'opposition et donc de non-respect ou de transgression des règles formelles. Sans prétendre à l'exhaustivité, quatre familles de facteurs nous paraissent forger cette déficience du management.

Le défaut de reconnaissance peut provenir d'un déséquilibre « investissement personnel/récompense », c'est-à-dire une déconnexion des récompenses par rapport aux attentes ; si la nature des attentes n'est pas prise en compte par l'organisation, un malentendu se noue,

l'organisation pensant avoir donné de la reconnaissance par une récompense, l'acteur, lui, étant déçu par cette récompense. On peut se trouver dans un cas de carence de l'une des trois scènes où se joue la reconnaissance : l'individu à travers l'appréciation qu'il porte lui-même sur la qualité de son travail, le collectif de travail à travers l'appréciation donnée par les pairs, l'organisation à travers la reconnaissance de l'utilité du travail fourni. Autre cas : le déni par l'organisation de l'efficacité de ce qui est mobilisé au travail.

Les dysfonctionnements organisationnels sont nombreux. Plusieurs indicateurs peuvent les repérer. Par exemple, le déséquilibre du rapport « charge de travail/ressources disponibles », ou le déséquilibre « formations/profils des postes ».

Les changements sont insuffisamment accompagnés par le management : une communication non efficiente, par exemple, peut laisser la voie libre aux rumeurs.

Enfin, il peut exister un *effritement de la régulation sociale*. En effet, si l'organisation laisse se développer le sentiment que certains de ses membres sont victimes d'injustices, au sens large (inégalités d'accès aux promotions, inégalités d'accès à des ressources, répartition inégales des risques et des rétributions...), elle peut s'exposer à la mise en cause ou à la perte de ses règles générales de fonctionnement, y compris les règles formelles de sécurité.

Le retrait et la passivité

Tout aussi « dangereux » que les stratégies d'opposition, les comportements de retrait sont à craindre dès lors qu'ils produisent une non observation des règles, et de la passivité face à un événement inhabituel. Ils peuvent relever de la démotivation, générée par des déficits de management, déjà évoqués comme facteur d'opposition, mais aussi, et de façon plus pernicieuse, ils peuvent être l'effet d'une culture d'entreprise. Soit que celle-ci rende l'individu « passif », lui faisant perdre tout sens de la réactivité, soit qu'elle produise un sentiment de non responsabilisation tant la croyance en la protection ou en l'invulnérabilité est ancrée dans les esprits. Ce pourrait être le cas des organisations bureaucratiques où :

- le nombre de réglementations et de procédures donne le sentiment d'être complètement pris en charge par l'organisation ;
- l'habitude de l'obéissance [5] à la hiérarchie opère fortement provoquant une perte d'initiative de l'individu ;
- la répartition des responsabilités sur plusieurs personnes fait que chacun croit que l'autre traite le problème.

Dans de telles situations, l'acteur peut, d'une part, ne pas observer les règles, d'autre part, ne pas réagir quand un incident se produit. Le modèle de la perception sociale du risque [6], repris par Perreti-Watel [7] démontre qu'un modèle d'organisation bureaucratique conduit à un « effet pervers » sur ses membres. Peu habitués aux incertitudes, ils ne réussissent pas à traiter des

événements insolites, ou bien ils les traitent mal ou encore de manière trop tardive, ce qui conduit à l'incident.

Dans le cas des centrales nucléaires, M. Bourrier [8] donne des résultats assez proches de ceux-ci, même si elle ne parle pas explicitement de culture et de risque. Elle montre que la centrale américaine de Diablo Canyon, la plus « bureaucratifiée » des quatre centrales qu'elle étudie, est gouvernée par des règles formalisées à outrance suivant lesquelles tout ce qui n'est pas écrit n'existe pas. Ce type d'organisation bureaucratique conduit à plusieurs sources de problèmes : les opérateurs n'ayant pas les informations nécessaires ne s'adressent pas à leurs pairs sur une ligne horizontale, mais à leur hiérarchie qui fait remonter la demande. La réponse emprunte le même canal. La réactivité des réponses est donc largement entravée par ce comportement social induit par l'organisation. Les effets sont également sociaux. L'apathie et le retrait des opérateurs seraient très élevés selon l'auteur, car une telle attitude serait la seule qui puisse leur permettre de supporter le carcan d'une organisation aussi réglée. Les opérateurs refuseraient ainsi de mobiliser leur intelligence pratique pour trouver une solution ad hoc aux problèmes rencontrés. Les opérateurs d'exécution, confrontés à un manque ou à une incertitude dans la procédure de travail, ne la compléteraient jamais d'eux-mêmes. Ils stoppent l'activité pour le signaler à leur hiérarchie. Ils ne travaillent que sur ordres explicites et n'hésitent pas à arrêter une opération de travail qui ne leur paraît pas comme étant bien définie.

Obéissance et application forcée de règles inadaptées

De façon paradoxale l'observation des règles lorsqu'elle est « forcée » peut constituer un risque pour l'organisation. Reprenant le concept de cercle vicieux, [8] S. Beauquier parle de cercle vicieux du contrôle et du risque [9]. Dans les organisations à risque, l'individualisation engendrée par certaines pratiques du management moderne fragmente les collectifs. Citons, par exemple, la systématisation des relations type « client-fournisseurs » entre personnes d'une même organisation, l'organisation matricielle. Ces pratiques ont pour objectifs d'optimiser l'adaptation économique des ressources aux besoins. Ce faisant, elles peuvent perturber les relations de travail et la capacité des organisations à s'adapter rapidement à des situations de risque qui ne sont pas couvertes par des contrats. Les opérateurs isolés ne peuvent alors plus bénéficier des connaissances collectives et sont obligés d'appliquer des règles formelles. Si celles-ci sont lacunaires, ce qui est pratiquement inévitable pour des activités complexes ou portant sur des systèmes ouverts, leur application stricte peut provoquer des incidents. Or, face à ces incidents, la réponse typique de l'organisation est de promulguer

de nouvelles règles et de renforcer les contrôles. Et les règles restant lacunaires, elles conduisent à de nouveaux incidents puis à la promulgation de nouvelles règles sans corriger les précédentes. Dans certains cas extrêmes, la connaissance des lacunes des règles formelles peut entraîner leur application consciente par certains opérateurs. Leur espoir est de créer délibérément des événements pour se faire entendre et modifier *a posteriori* les règles.

Perte de sens mettant en péril la sécurité

Les « décisions absurdes » des dirigeants d'entreprise et les risques stratégiques font l'objet de nombreux recueils d'anecdotes et de travaux théoriques [10], [11], [12]. Les mêmes facteurs sont à l'œuvre au niveau des décisions prises par les acteurs des systèmes à risques. Dans ce cas, l'application des règles et parades ne correspond pas à la nature des enjeux et problèmes réels. Là encore, le phénomène de rationalité limitée par des filtres cognitifs fait que les opérateurs agissent avec des filtres cognitifs et reçoivent des informations lacunaires et biaisées. Aussi, recherchent-ils à leur niveau, une « sécurité ontologique », qui privilégie la cohérence de ce dont on a déjà une bonne connaissance, la recherche des solutions déjà utilisées. Et les collectifs de travail acceptent difficilement des connaissances ou des informations qui n'entrent pas dans une représentation collective. La représentation de la réalité qui n'entre pas dans une conception collective est distordue pour s'adapter à la vision dominante (un facteur de *group think*, [23]), la recherche de connaissances est plus soumise à une recherche de satisfaction intellectuelle minimale que d'efficacité. Au niveau de l'organisation, la demande porte sur la justification et la « rationalisation » des décisions, plutôt que sur la production de connaissance nouvelle. Ces facteurs interviennent au niveau individuel, aux niveaux du groupe professionnel ou de l'organisation et engendrent l'application de règles et routines connues, des heuristiques, qui peuvent mener à des pertes de sens et des décisions absurdes.

Décisions irrationnelles conventions et régimes d'organisation

Fondamentalement, les organisations se définissent comme rationnelles, parce qu'elles réduisent leurs risques par la mise en œuvre d'analyses logiques et formelles (analyses de risques, scénarios, quantifications de probabilités, analyses de causes et conséquences...) et de procédures, règles, barrières, issues des analyses, que les acteurs de l'organisation doivent appliquer [17].

Or, le risque humain est bien souvent une conséquence des actions de réduction des risques des organisations, un effet pervers qui limite l'efficacité des mesures mises en place. Inscrites dans cette rationalité, les organisations sont démunies face à ce risque qui est, d'une certaine façon, paradoxal. En conséquence, bien souvent, elle réagit face à ce risque par une augmentation

des règles et prescriptions. Croyant agir rationnellement, l'organisation amplifie le risque humain : elle agit en fait de façon strictement bureaucratique en investissant des ressources importantes dans le contrôle et la régulation (Crozier, 1963). Le management des risques par le recours prioritaire au contrôle devient d'ailleurs une caractéristique de la conception bureaucratique des risques (Douglas & Widalski, 1982) [22]. Ces décisions, qui mettent en œuvre des moyens et des ressources disproportionnés par rapport au résultat, sont dès lors irrationnelles. Le risque humain est associé à l'irrationalité, alors qu'il est la manifestation de contradictions comme des règles inadaptées aux problèmes et des raisonnements erronés qui ont pour origine des règles mentales biaisées par des cultures, croyances de comportement et normes sociales.

DE L'ENCHAÎNEMENT D'ÉVÉNEMENTS AUX INDICATEURS DU « RISQUE HUMAIN »

Le risque est un enchaînement d'événements improbables

P. Peretti-Watel (2001, page 14) complexifie les définitions du risque en le considérant comme un danger qui peut se matérialiser en incident, accident ou crise, mais sans cause unique, précise et déterminante. Le risque est donc l'éventualité d'un événement qui ne dépend pas exclusivement de la volonté des parties et qui peut causer la perte d'un objet ou tout autre dommage. Le risque n'est pourtant pas purement aléatoire dans la mesure où sa probabilité d'occurrence varie selon les individus et les situations. A chaque risque sont donc associés des « facteurs de risque » dont la présence accroît la probabilité d'occurrence de risque mais sans en constituer une cause nécessaire et suffisante. Un danger est donc considéré comme un risque quand il n'a pas une cause simple, nécessaire ou un niveau de conséquences prévisibles, mais une multitude de causes probables, nommées « facteurs de risques » dont l'occurrence est appréhendée quantitativement (Peretti-Watel, 2001). Les définitions normalisées les plus actuelles du risque (ISO CEI 73, AS/NZS 1999) corroborent ces définitions en le décrivant comme une séquence d'événements affectant les objectifs du système non pas forcément de façon négative, tout en introduisant la notion de risque-opportunité. Considérons de plus que le cas du « risque humain » concerne un système complexe qui intègre des éléments organisationnels, humains et techniques tout en y incluant des relations complexes et des rétroactions. Cette conception permet dès lors de représenter le « risque humain » par le diagramme ci-contre (voir la figure 2) qui complète la figure 1.

Dans une telle conception du risque, les lettres (A, B, X...) indiquent des éléments observables, des « facteurs

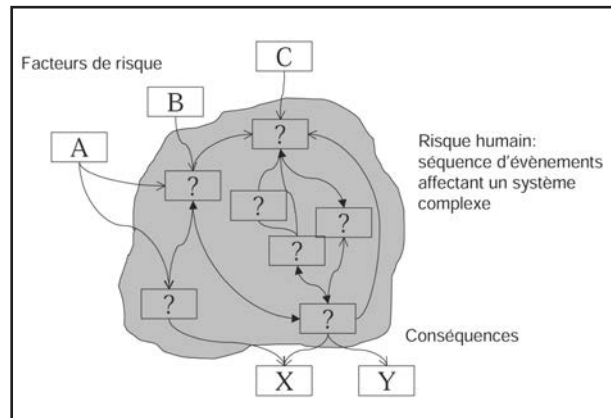


Figure 2 – Le risque humain en tant que « production » d'un système complexe.

de risques», et les points d'interrogation des événements virtuels intégrés dans un réseau de relations complexes qui rend *a priori* impossible une description et anticipation des séquences par une mise à plat exhaustive de règles et parades. Les lettres (X, Y...) sont les « conséquences » de ces combinatoires. Cette représentation actualisée du risque montre que la notion de règle devient encore moins appropriée pour la gestion du risque. Celui-ci se comprend comme une combinatoire dynamique d'événements, là où les règles tracent des chemins certains et accroissent les risques de leurs transgressions. Ces éléments nécessitent de penser non plus la gestion du risque par les règles mais par des indicateurs idoines.

Des facteurs du risque humain aux indicateurs idoines

«Après avoir mis en lumière les insuffisances d'une gestion des risques reposant sur une seule application des règles» (7), la question porte naturellement sur les signaux et les indicateurs qui permettent de l'anticiper et d'en améliorer la gestion. Nous proposons ci-après plusieurs repères, s'appliquant aux facteurs du risque humain (multiplicité des règles, déficits de management, stress, souffrance au travail, culture d'entreprise) qui n'ont pas, naturellement, la prétention d'être exhaustifs. A notre connaissance, si des recherches sont en cours sur ce thème, en particulier dans les entreprises dites « à risque », les organisations ne disposent pas pour l'instant de critères factuels dont, de surcroît, la fiabilité aurait été testée.

Parmi les facteurs de risque à prendre en compte on peut citer :

- le déficit de la présence des managers sur le terrain ;
- la multiplicité des échelons hiérarchiques ;

(7) Noter que les organismes financiers, en appliquant des systèmes de contrôle des risques à base de règles formelles type COSO et Bale II, avec quantification et classification des risques selon des « métiers » ou des processus, sont dans une logique parfaitement bureaucratique au sens de cet article, et peuvent négliger la complexité des organisations et des activités financières réelles. Ils s'exposent ainsi à des « risques systémiques » aggravés par les régulations mises en place.

- la multiplicité, le détail et l'exhaustivité des règles ;
- le processus en œuvre pour promulguer les règles (informant sur la capacité à débattre, sur la concertation) ;
- les situations où l'acteur est conduit à exercer un arbitrage (règles de sécurité et exigences de productivité, injonctions venant de différents services).

Pour anticiper les risques de transgression par les acteurs en situation de travail, de règles multiples et inefficaces, nous proposons ici des signaux [13] sur lesquels une réflexion serait à mener :

- une tendance à ce que des règles soient prises sans concertation au préalable par les techniciens, les ingénieurs du bureau des méthodes (ce qui peut susciter chez l'opérateur le sentiment de ne pas maîtriser un contexte d'action) ;
- la légitimité que les acteurs donnent aux objets de type « charte », « règlement intérieur »... ;
- les modalités organisationnelles utilisées pour apporter une correction des règles ;
- le nombre de demandes de modification des règles non traitées par l'entité chargée de l'édition de règles ;
- les modalités organisationnelles utilisées pour apporter une correction des règles.

Nous identifions trois indicateurs directs :

- le recensement des mises en cause de la hiérarchie lors de réunions avec des partenaires sociaux, sur sa capacité à gérer une crise ou un changement (indicateurs de l'effet « défaillance du management sur le terrain ») ;
 - la fréquence des règles prises sans concertation et le nombre de demandes de modification des règles non traitées (indicateurs du facteur « modalités organisationnelles utilisées pour apporter une correction aux règles ») ;
 - l'évolution de manque, ou de retard, de remontées d'informations, indicateur de lacunes du management.
- Les éléments suivants peuvent être indicateurs indirects, moins aisément quantifiables et, à ce titre, considérés comme des signes ou signaux.

Les signes et indicateurs révélateurs de dysfonctionnements organisationnels

La répétition des griefs et des mécontentements, le nombre et le contenu des revendications exprimées par les délégués du personnel, un recours accru aux instances représentatives du personnel, constituent des indices à prendre en compte. Du moins, leur analyse peut-elle donner des enseignements sur le climat ambiant.

Les signes et indicateurs révélateurs d'une insuffisance d'accompagnement du changement

Les éléments suivants constituent potentiellement des indicateurs d'anxiété ou d'une compréhension insuffisante des changements proposés par l'organisation. L'écoute des personnes au moyen d'enquêtes de type sociologique permet d'identifier :

- la résistance aux réorganisations des structures ;
- la mise en cause de la hiérarchie, en terme de capacité à gérer une crise ou un changement
- la détérioration de la confiance.

Appuyée, d'une part, sur plusieurs applicatifs informatiques, d'autre part, sur un système de brigades et d'horaires décalés, l'organisation du travail s'articule de telle façon que les opérateurs ne sont présents ensemble qu'un court temps de la journée. Dans cet univers, les relations de travail se nouent autour de micro-cultures aboutissant en fait à la formation de clans. Le taux de grévistes lors des mouvements sociaux est élevé par rapport à la moyenne de l'entreprise. Cette complexité organisationnelle est porteuse d'une part de difficultés pour le management, d'autre part de tensions dans les ajustements des personnes dans le travail. Depuis que la direction a fait état d'un changement organisationnel au bout de deux ans, avec à la clé une évolution des postes de travail, des attitudes d'opposition et de retrait au travail se développent : refus des opérateurs de participer aux groupes de travail organisés par le management, utilisation des réunions pour déverser des récriminations, dénégation d'être destinataire des informations écrites ou électroniques. Les tensions relationnelles notées au moment des évaluations de fin d'année, le creusement des cloisonnements entre structures en charge des différents applicatifs, révélateurs d'effritement des régulations sociales, sont autant de signes de malaise.

L'analyse montre que la revendication initiale sur la communication sert de bouc émissaire et cache en fait une crise fondée sur des facteurs organisationnels, alimentés de surcroît par une inquiétude des individus sur leur avenir.

De façon générale, la collecte des observations pour le repérage des ces indicateurs, pourrait être confiée aux gestionnaires de ressources humaines ou encore aux managers de terrain. L'évolution des signes est faite à partir d'une échelle qualitative d'évaluation, selon une périodicité prédéterminée, utilisant une représentation schématique, par exemple sur trois niveaux ou une représentation plus littéraire : détérioration, plutôt moins bien, identique, plutôt mieux, forte amélioration. L'évolution des indicateurs, quant à elle, est plutôt suivie par des échelles quantitatives.

Les signes de non-observation des règles

Il existe d'autres types de facteurs de transgression des règles, ne relevant pas d'une action volontaire, mais où la transgression serait simplement de la non-observation des règles : les cultures d'entreprise engendrant une croyance de protection dès lors qu'il existe une multiplication des dispositifs de contrôle avec, pour effet, un sentiment de sécurité (« cela n'est jamais arrivé... »).

Les signes à chercher dans la culture d'entreprise

Les enquêtes sociologiques ont ici un rôle important à jouer en faisant remonter de la connaissance sur les

valeurs et les pratiques communément partagées par les personnes vers les dirigeants des organisations. Ces travaux permettent de constituer un fond de connaissance sur lequel la réflexion peut prendre appui.

Plus que des indicateurs au sens strict du terme, de telles approches compréhensives auraient à faire émerger des spécificités, des points de fragilité, des points de vigilance à surveiller (fragilité particulière de certaines catégories de personnel, par exemple), susceptibles d'entraîner une crise sociale, elle-même porteuse potentiellement de logique contestatrice.

Des démarches d'enquête ciblées sur des problématiques particulières, telles que la communication, la formation professionnelle, les attentes des personnes... seraient naturellement des compléments riches d'enseignements. Au final, considérant que la culture d'entreprise structure les comportements des acteurs, il conviendrait de chercher les valeurs qui conduiraient à de la passivité individuelle et collective (situation monopolistique, centralisation des décisions, importance des dispositifs de contrôle, distance à la hiérarchie...) et à des clivages entre des groupes de personnes...

Les signes de stress et de souffrance au travail

L'idée de base est de repérer les situations particulières, soit qu'elles sont porteuses de risques physiques, soit qu'elles supportent un relationnel de violence, soit enfin qu'elles se caractérisent par l'urgence des travaux à accomplir ; plus généralement, toutes les situations se caractérisant par un déséquilibre organisationnel ou social constituent des lieux où le stress et la souffrance peuvent se développer [18]. De telles situations sont naturellement anxiogènes et la résistance des personnes à de tels stress étant naturellement différente, il est à craindre pour certains un impact plus lourd que pour d'autres, sous forme notamment de pathologies dans les domaines cardio-vasculaires, musculo-squelettiques, et de santé mentale.

D'autres signes sont à rechercher dans les attitudes de doute de soi, manifestées par les personnes qui éprouvent un sentiment d'abandon, et qui sont significatives d'une perte de confiance en soi. Il est notable que le recensement des signes est beaucoup plus riche que le recensement des indicateurs proprement dit. Il existe, en effet, une difficulté fondamentale à définir des indicateurs portant directement sur le risque. Son anticipation, l'appréciation de ses conséquences potentielles nécessitent de recourir à d'autres approches de gestion, relativement qualitatives et narratives, par rapport à une approche par indicateurs quantifiés.

VERS UNE GESTION NON FORMALISÉE DU RISQUE ?

Les règles que l'entreprise met en place pour appréhender et traiter le risque peuvent introduire des effets per-

vers assez forts en créant de nouveaux risques de transgression. En effet, la prolifération des règles et parades contraignent parfois les acteurs à les transgresser ou à s'y opposer frontalement ; elles génèrent aussi retrait et passivité et conduisent parfois les dirigeants à prendre des décisions irrationnelles en renforçant les règles et les contrôles, ce qui, bien sûr, accroît le cercle vicieux du risque.

Les dispositifs de contrôle interne des risques, comme les cartographies des risques, ont, en outre, une limite : celle de présenter l'organisation de la production en processus opérationnels qui ont du mal à traiter des risques transverses comme le risque humain qui n'est pas associable à un processus particulier. La tentation est alors de négliger le risque humain ; chaque acteur d'un processus le transférant aux autres, il est traité comme « un risque latent à une situation générale de l'entreprise ».

Par ailleurs, l'éloignement du champ des activités professionnelles fait que les dirigeants et les contrôleurs des risques méconnaissent les difficultés réelles et n'ont pas de visibilité sur les comportements qui échappent à la seule conformité aux règles.

Des compléments aux actions de type contrôle interne

Devant un tel constat, les gestionnaires des risques, ne sachant reconnaître les signes précurseurs des risques sociaux, peuvent mettre en place des dispositions particulières pour les prévenir, notamment dans le cadre du contrôle interne.

Voici quelques grands types d'interventions pratiquées, qui doivent être menées en alternance, ou de manière combinée :

- organiser la remontée d'informations venant du terrain ;
- s'assurer de l'efficacité de la communication ;
- sensibiliser les managers sur les concepts de la motivation et de la reconnaissance ;
- procéder à des analyses organisationnelles pour faire émerger d'éventuelles pertes de cohérence de l'organisation, à la délégation de pouvoirs et des responsabilités, à la gestion du retour d'expérience – les points forts et les points faibles relatifs, notamment, à l'organisation du système de sécurité et de contrôle, au niveau de la centralisation et de la gestion de la sous-traitance semblent peu novateurs et ne pas répondre au discours général du document ;
- surveiller des points spécifiques pour le développement des compétences (ancienneté moyenne des personnes potentiellement significatives d'une inappétence à la mobilité et d'une dégradation de l'intérêt au travail) ;
- encourager la constitution de réseaux informels de veilleurs et d'observateurs de signaux faibles, en garantissant anonymat et protection des « porteurs d'alerte » en cas d'opposition avec leur hiérarchie directe ;

- encourager le développement de « communautés de pratiques » en matière de gestion des risques qui peuvent se constituer spontanément dans des groupes confrontés à des situations inattendues. Ces communautés peuvent créer des micro-cultures particulièrement adaptées à la gestion de certains risques et produire des formes de reconnaissance complémentaires des formes traditionnelles.

La combinaison de ces moyens, qui passe par des échanges informels et le partage de connaissances tacites, peut permettre de transformer les représentations ou croyances individuelles et collectives mises en œuvre pour le traitement opérationnel du risque et, au final, améliorer la gestion des risques.

Les actions sur les acteurs de l'organisation

Cependant, force est de constater que si les indicateurs ont le pouvoir de réfléchir la réalité (ils montrent le réel) ils n'ont naturellement pas celui de la transformer (ils n'affectent pas le processus décisionnel des managers). Des actions sont alors à entreprendre pour passer d'une problématique « d'indicateurs réflexions » à une problématique « réflexivité-apprentissage » [14]. Alors que la réflexion théorique et empirique sur la gestion des risques externes a considérablement évolué (controverse, forums hybrides, constructivisme du risque... [20], [21]), en interne des organisations, la gestion du risque humain repose encore largement sur des réflexes techniques de mesure, de prescriptions de règles et de contrôles avec, au mieux, une hiérarchisation, une correction des paradigmes et une amélioration des règles. La gestion des risques dans la société civile fait l'objet de plus de travaux et de développements que dans les organisations [19].

Il apparaît, à la réflexion, que la gestion du risque humain est en fin de compte du ressort des équipes, des groupes professionnels au travail plutôt que dans la prise de décision individuelle sur laquelle se centrent les approches économiques. Pour les dirigeants, en complément des indicateurs et tableaux de bord, la réflexion sur leur fonction de contrôle du risque doit être accompagnée pour éviter qu'ils ne tombent dans le cercle vicieux du contrôle et de la multiplication des règles pour prévenir les risques. L'objectif pragmatique est alors de modifier le processus de décision. La problématique n'est pas la production de connaissance, mais la décision connectée aux connaissances objectives produites. Car, même si les dirigeants comprennent les données et analyses produites, les décisions restent bien souvent biaisées et parfois inadéquates, du fait de filtres cognitifs construits individuellement. Les décisions sont le plus souvent prises sans appui sur les groupes professionnels.

Pour les autres acteurs, l'enjeu est de mettre en place des approches de gestion des risques qui pallient les déficiences des procédures et des règles formelles. Il faut

pour cela comprendre, voire transformer, les représentations et croyances individuelles et collectives mises en œuvre pour le traitement opérationnel du risque. Cela passe par des échanges relativement informels, le partage de connaissances tacites... L'enjeu devient alors de mettre en place des approches de gestion des risques qui pallient ces déficiences :

- des espaces de négociation et de mise en discussion des règles de sécurité [15], non pas pour multiplier les règles mais pour les faire évoluer afin de les rendre plus efficaces ;
- des espaces de délibération pour améliorer les décisions, à l'instar des approches employées dans les débats publics. On en attend une appropriation des connaissances et des décisions relatives aux risques par les acteurs.

POUR UN SYSTÈME PLUS PARTICIPATIF

Il y a un prix à payer qui est une certaine confusion entre l'analyse du risque et sa gestion, ainsi que le renoncement à des décisions formalisées par des systèmes logiques. On constate ainsi que pour traiter le risque humain, à la différence du risque technique, nous sortons de la vision d'un système régi uniquement par des procédures, qui resteront cependant en tant que solutions pratiques dans de nombreuses situations, pour un système plus participatif. Une coopération s'établit alors entre analystes, décideurs, opérateurs et contrôleurs impliqués dans la gestion des risques.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] C. Thuderoz, « Transgression et objets ou quelques réflexions à propos de la règle, de l'objet et du sujet » in « La transgression des règles au travail » sous la direction de J. Girin et M. Grosjean, L'Harmattan, Paris, 2002.
- [2] J. D. Reynaud, « Les règles du jeu, l'action collective et la régulation sociale », Armand Colin, Paris, 1997.
- [3] C. Lévy-Leboyer, La motivation dans l'entreprise, Modèles et stratégie, Editions d'Organisation, Paris, 2003.
- [4] Référence aux travaux de Pascale Molinier : le cas des travaux disqualifiés ou encore des tâches non reconnues de certains cadres.
- [5] Max Weber, L'éthique protestante et l'esprit du capitalisme, Paris, Plon, 1964.
- [6] M. Douglas & A. Wildaski (1984).
- [7] Patrick Perreti-Watel, Sociologie du risque, Armand Colin, Paris, 2000.
- [8] Mathilde Bourrier, Le nucléaire à l'épreuve de l'organisation, Paris, PUF, Collection Le travail humain, 1999.
- [8] Michel Crozier, Erhard Friedberg, L'acteur et le système, les contraintes de l'action collective, Le Seuil, 1996.

- [9] Beauquier, 1999.
- [10] P. Baumard, Les paradoxes de la connaissance organisationnelle (Les paradoxes de la connaissance, Ellipses, Juin 2002).
- [11] P. Baumard, W.H., Est il réaliste d'étudier les mouvements stratégiques d'une firme ? Association Internationale de Management Stratégique, Juin 2002, Paris EAP-ESCP.
- [12] Christian Morel, Les décisions absurdes et persistantes, sociologie des erreurs radicales et persistantes, Gallimard, Avril 2002.
- [13] «La transgression des règles au travail» sous la direction de J. Girin et M. Grosjean, L'Harmattan, collection Langage et Travail, Paris, 2002.
- [14] Norbert Alter, L'innovation ordinaire, PUF, Septembre 2000.
- [15] Travaux de K. Lewin montrant l'efficacité des décisions prises après débat en groupe.
- [16] L'apport de la théorie des conventions à l'analyse de la gestion de la qualité dans les services, Henri ISAAC CREPA, Cahier de Recherche n° 35.
- [17] The limits of risk management. A social construction approach, Bernd Carsten Stahl, Yossi Lichtenstein, Anita Mangan.
- [18] Les restructurations d'entreprises de la rationalité économique à la souffrance des hommes, Maryse Dubouloy, Claude Fabre, Gérer & Comprendre, Mars 2002, n° 67.
- [19] Perception du risque et analyse des controverses : quels enjeux pour la gestion des risques ? E. Remy, A. Mallard. Gérer & Comprendre n° 66, 11/2001.
- [20] Paul Slovic, Risk Perception and Trust, Fundamentals of risk analysis and risk management, CRC Press 1997.
- [21] Social Theories of Risk, Krimsky S., Golding D., Praeger Greenwood Westport, CT, 1.
- [22] Douglas M. & Wildaski A., Risk and culture. An essay on the selection of the technological and environmental dangers, University of California Press, 1984.
- [23] Janis I. (1972). Victims of Groupthink : A Psychological Study of Foreign-Policy Decisions and Fiascoes. Boston: Houghton Mifflin.

Trop de pétrole !

Énergie fossile et réchauffement climatique

de **Henri PRÉVOT**, *Le Seuil*, janvier 2007

Recension

Par **Jean-Pierre DUPUY**, professeur à l'École Polytechnique

HORS DOSSIER

Comment peut-on affirmer dans un même souffle que nous devons affronter l'épuisement des ressources en énergie fossile – pétrole, gaz ou charbon – et que nous sommes menacés d'un grave réchauffement climatique causé par les émissions de gaz carbonique d'origine fossile ? C'est l'un ou l'autre, mais certainement pas les deux à la fois.

Il fallait trancher le nœud gordien. Henri Prévot l'a fait dès le premier chapitre du livre qu'il consacre à la lutte contre l'effet de serre – dès le titre même : « Trop de pétrole ! ». Il démontre de façon lumineuse que pour gagner la lutte contre l'effet de serre il nous faudra laisser sous le sol plus de la moitié des ressources en énergie fossile accessibles au prix où nous serions prêts à la payer, plus de 100 \$/bl probablement. Comment parler de pénurie de ressource fossile si l'on est déterminé à lutter contre l'effet de serre ? L'argument est irréfutable.

Henri Prévot tire toutes les conséquences de cette constatation fondamentale. Si l'énergie fossile est trop abondante, l'équilibre entre l'offre et la demande ne sera pas réglé par le marché qui, au contraire, ira chercher jusqu'au dernier grain de charbon exploitable. C'est dire qu'il faut un retour en force du politique pour contrer ou canaliser selon les cas la dynamique marchande. Or les seules autorités politiques sont les Etats et, pour ce qui nous concerne et dans la limite des pouvoirs qui lui sont donnés par les Etats, l'Union européenne.

On peut alors entrer dans le concret. Comment pratiquement diviser par deux, trois ou quatre les émissions

françaises ? Pour y parvenir, quel est le rôle de l'Etat et celui de l'Union européenne ?

POURQUOI RECHERCHER CE QUI COÛTE LE MOINS CHER ?

Henri Prévot s'est donné quelques lignes directrices : tout d'abord rechercher ce qui coûte le moins cher en tenant compte des effets externes non seulement sur l'environnement mais aussi sur l'emploi et l'aménagement du territoire. Pourquoi rechercher ce qui coûte le moins cher ? Il s'agit là de dépenses qui seront rendues obligatoires à la suite de décisions de l'Etat: chercher ce qui coûte le moins cher, c'est donc respecter autant qu'il est possible la liberté de choix individuel. *A contrario* ceux qui proposent des solutions inutilement coûteuses ne se rendent peut-être pas compte qu'ils nous conduiraient vers un monde inutilement autoritaire, au point parfois qu'il pourrait en devenir attentatoire aux libertés.

Il faut d'abord avoir une idée des quantités en jeu. Pour diviser par trois nos émissions en trente ans, il faudra émettre 100 millions de tonnes de carbone de moins que si nous ne nous préoccupions pas de l'effet de serre. La contribution de toutes sortes d'énergie dont on parle beaucoup (les déchets, les éoliennes, le chauffage solaire, la géothermie) ne sera sans doute pas supérieure à 10 % de ce chiffre. Il faut donc faire une économie de 90 millions de tonnes de carbone dans les économies d'énergie, la biomasse et la production d'électricité sans émissions de gaz carbonique, autre qu'éolienne.

Comment répartir cela entre les usages ? Henri Prévot adopte une démarche qui devrait s'imposer de soi, bien qu'elle soit fort peu pratiquée : on nous parle le plus souvent d'éoliennes, ou de biocarburant, ou de voitures hybrides (carburant liquide et électricité) ou de piles à combustible ou d'isolation des bâtiments, etc. mais sans nous montrer de tableau croisé qui permette de situer chacune de ces techniques dans un ensemble cohérent. Dans *Trop de pétrole*, on trouve des tableaux complets et cohérents de ressource et d'emploi d'énergie conduisant à une division par deux ou trois des émissions dues à la consommation d'énergie. Henri Prévot a poussé la sollicitude jusqu'à publier sur Internet une feuille de calcul qui permette à chacun de faire son propre tableau avec ses propres hypothèses sur la disponibilité en biomasse agricole ou forestière, la capacité des éoliennes, la consommation de carburant, l'efficacité de la technique de production de biocarburant, etc. Car il ne veut surtout pas asséner sa vérité. En première approche, ces tableaux de calculs très simples sont bien suffisants, sans avoir à passer par des modèles mathématiques compliqués dont on ne sait pas toujours ce qu'ils cachent dans leur « boîte noire ».

Mais il ne suffit pas d'avoir une idée des quantités. Autre originalité de cet ouvrage : l'auteur nous parle de coûts et de prix de revient afin de pouvoir classer les différentes actions qui réduisent les émissions. On s'aperçoit par exemple que l'utilisation de la biomasse comme source de chaleur libère du fioul, qui est la même chose que le gazole, pour beaucoup moins cher que la production de carburant à partir de biomasse ; on s'aperçoit que l'isolation des bâtiments peut coûter fort peu s'il s'agit par exemple d'installer des fenêtres à double vitrage lorsque l'on doit les remplacer, mais peut coûter fort cher s'il s'agit d'isoler des bâtiments existants ; et que l'utilisation de l'électricité pour chauffer l'eau d'un chauffage central déjà équipé d'une chaudière au gaz ou au fioul pourrait être intéressante si l'électricité est produite avec de l'électricité nucléaire et si l'on remplace l'électricité par du fioul ou du gaz pendant les heures où la consommation d'électricité est la plus forte, les heures « de pointe ». Néanmoins, pour diviser par deux ou trois nos émissions il nous faudra dépenser davantage que si nous ne nous préoccupions pas d'effet de serre, bien sûr. Combien ? La conclusion d'Henri Prévot vaut d'être connue : sous certaines conditions, ce surcroît de dépenses serait de 1 à 1,5 % du PIB ; ce n'est pas rien sans doute, mais c'est beaucoup moins que ce à quoi l'on pourrait s'attendre, c'est en tout cas beaucoup moins que ce que nous indiquent des modèles économiques. Ce chiffre dépend beaucoup du prix de l'électricité, une électricité produite abondamment sans émissions de gaz à effet de serre. Or l'électricité la moins chère est l'électricité nucléaire. Certes, il sera sans doute possible de produire abondamment et sûrement de l'électricité avec peu d'émission en brûlant du charbon et en stockant le gaz carbonique ; mais la technique n'est pas encore certaine. Il

faudra de toutes façons attendre dix ou vingt ans avant qu'elle prenne une dimension industrielle et l'électricité coûtera sans doute deux fois plus cher, ce qui, en multipliant par deux ou trois le coût du programme de diminution des émissions, rendra beaucoup plus difficile de le faire accepter. La question du nucléaire doit donc être abordée frontalement, ce que fait l'auteur sans en minimiser les inconvénients. Cette partie du livre sera l'objet de controverses sans doute, mais personne ne pourra échapper à la question qu'il pose : du moment que l'énergie nucléaire sera utilisée pour lutter contre l'effet de serre, l'Europe occidentale, alors qu'elle maîtrise très bien cette technique qui permet d'éviter d'énormes quantités d'émissions de gaz à effet de serre, pourrait-elle choisir de ne pas y recourir ?

En tout cas, si l'on produit de l'électricité nucléaire, qu'au moins le consommateur profite complètement du fait qu'elle peut coûter bon marché ! Le passage du livre qui expose les quatre raisons pour lesquelles l'ouverture à la concurrence du marché de l'électricité multiplier les prix par deux ou trois est saisissant. L'auteur est persuadé que le jeu d'un marché concurrentiel peut souvent donner d'excellents résultats, mais dans le cas de la production d'électricité, il démontre que la meilleure méthode est de donner le monopole de production à un établissement public de l'Etat qui obtiendra des financements bon marché, qui investira suffisamment, qui pourra ajuster à chaque instant son potentiel de production à la demande et qui sera tenu de vendre à un prix conforme au prix de revient là où il est démontré que la concurrence procure aux producteurs d'électricité nucléaire des superbénéfices considérables.

Connaissant les coûts, l'auteur affronte une autre question cruciale. Est-il bon pour la France de s'engager dans un programme de forte diminution de nos émissions sans attendre de coordination internationale ? Une chose est assez bien connue, selon lui : le coût. Mais quel est l'avantage ? Il ne cache pas la difficulté d'y répondre. Il ne veut pas mettre en avant le risque que présente pour la France le changement climatique : que la France agisse ou non, cela ne changera rien au climat, en effet. D'autre part, il serait assez dérisoire de mettre en avant le montant des dommages pour la France alors que d'autres pays souffriront infiniment plus ; d'ailleurs, certains rétorqueraient qu'après tout, ce ne serait pas si grave puisque, le Gulf Stream faiblissant, notre climat ne se réchaufferait pas tant que cela ! C'est à la fin du dernier chapitre, celui qui traite de la gouvernance mondiale, que l'on trouve l'argument décisif, un argument que je n'ai lu nulle part ailleurs. Il faut, nous l'avons dit, une régulation politique. Le processus de Kyoto implique que la régulation soit faite dans les pays consommateurs. Henri Prévot, après avoir montré les faiblesses intrinsèques de cette démarche, imagine ce que pourrait être une régulation par les producteurs. Là, il constate que dans vingt ou trente ans, la ressource

ce dominante ne sera plus le pétrole mais le charbon ; or, contrairement à ce qui se dit souvent, la ressource en charbon est extrêmement concentrée, beaucoup plus que la ressource en pétrole ou en gaz – je veux dire non pas géographiquement concentrée mais « politiquement » concentrée, entre les mains d'un très petit nombre de nations puissantes. Il est donc possible de prévoir une régulation par les pays détenteurs de charbon, une régulation d'autant plus sévère qu'elle interviendra tardivement, dans vingt ou trente ans. Mieux vaut avoir fait en sorte de ne pas avoir besoin de cette ressource qui, alors, deviendra fort rare (non pas physiquement mais du fait de décisions politiques) et fort chère. Si cela doit nous coûter seulement 1 à 1,5 % du PIB, il n'y a pas de doute : il faut agir. Comme les actions sérieuses ne feront sentir leurs effets qu'au bout de vingt ou trente ans, la conclusion s'impose : il faut agir de suite.

Comment ? Il ne suffit pas de dresser un tableau des ressources et des emplois dans trente ou quarante ans : encore faut-il voir comment passer de la situation actuelle à cette nouvelle situation, ce qui pose la question des relations entre l'Etat et l'initiative privée dans un monde marqué par une incertitude radicale.

RÔLE DE L'ETAT DANS L'INCERTITUDE ET PLACE DE LA CONFIANCE

Rôle de l'Etat dans l'incertitude et place de la confiance : tel était le thème qui a réuni pendant deux ans un groupe de travail animé par Henri Prévot et moi-même. Ce groupe, enrichi de quelques nouveaux membres, a prolongé ses travaux sur le thème de la lutte contre l'effet de serre et Henri Prévot, comme il l'écrit lui-même, a su en tirer profit. Comment l'Etat fera-t-il pour que la population ait assez confiance en lui pour suivre les orientations qu'il aura fixées ? La comparaison avec la situation que la France a connue avec le premier choc pétrolier de 1973 est frappante : il a suffi alors de quelques semaines pour lancer un gigantesque programme de construction de centrales nucléaires dans le secret, pourrait-on dire, de quelques bureaux rue de Grenelle, rue de Varennes et à l'Élysée. Aujourd'hui, c'est par la loi qu'est fixé le nombre de centrales nucléaires à construire et la loi ne cesse d'être contestée sur le terrain ou dans les prétoires ! Réunir les conditions de la confiance est donc une tâche impérieuse et extrêmement complexe. Henri Prévot apporte quelques idées fort intéressantes.

Il constate que le programme d'actions à mener pour atteindre un objectif quantitatif – diviser nos émissions par deux, par trois ou par quatre – ne dépend pas du prix du pétrole. Constatation évidente lorsqu'on l'a faite, mais fondamentale et peu connue : en fixant un objectif en quantité, l'Etat efface donc l'incertitude sur le prix du

pétrole et des autres énergies fossile ! L'auteur trouve une formule très simple pour l'exprimer : l'Etat doit rendre possibles toutes les actions qui coûtent moins que ce que coûterait l'utilisation d'énergie fossile si le pétrole était à 100 \$/bl, en commençant par les actions qui coûtent le moins cher. Voilà un critère simple ! Il propose aussi un autre critère pour les actions qui utilisent la biomasse : est une « bonne action climat » une action qui permet d'éviter plus de 2 tonnes de carbone fossile par hectare et par an. Le cadre est donc tracé, un cadre pluriannuel, un cadre, encore une fois, qui évacue l'incertitude sur les prix. Ici je ne peux m'empêcher de noter, comme le fait l'auteur, que l'incertitude radicale sur le prix du pétrole (1) est effacée par un acte de volonté. Pour atteindre l'avenir que nous nous serons fixés, nous devons agir dès aujourd'hui comme si le pétrole était à 100 \$/bl, une illustration de ce que j'ai appelé le « temps du projet » (2). Le cadre étant fixé, la question est de savoir comment procédera l'Etat pour amener l'initiative privée à « faire comme si ». Henri Prévot analyse de façon très pratique les moyens bien connus de la fiscalité, de la réglementation et de l'incitation fiscale ou financière ; un exemple concret montre notamment que la fiscalité sans incitation ni réglementation, qui a la faveur des économistes « libéraux », causerait des effets extrêmement brutaux tant que la consommation d'énergie fossile est élevée. C'est pourquoi, pendant une longue période transitoire, il vaudra sans doute mieux combiner les trois types de méthode : plusieurs scénarios sont présentés, avec l'indication, année par année, du prix du carburant, du fioul et du gaz.

En passant, H. Prévot se livre à une critique sévère de la façon dont sont créés et mis en œuvre les « marchés du carbone » : ces marchés reposent sur un excellent principe, sans doute, mais ils ne donneront de bons résultats que si trois conditions sont réunies : une prévisibilité de plusieurs décennies, une bonne police et une protection contre la concurrence d'entités non soumises aux mêmes contraintes. De ces trois conditions, le marché européen comme les marchés prévus par le protocole de Kyoto ne satisfont pas plus d'une. Ils ouvrent donc une belle carrière à la spéculation, avec pour effet que le « prix du carbone » se trouve déconnecté de la réalité, dépendant seulement de l'idée que chacun se fait de l'idée que se font les autres sur les futures décisions des Etats ! On est loin des conditions de la confiance et le risque est de voir cette technique vouée aux gémonies alors que, si les trois conditions sont réunies, elle peut être fort utile.

Pour établir la confiance, l'Etat fixera donc un cadre prévisible, il publiera des critères qui garantissent à tous

(1) Lequel prix dépend de l'évolution technique et de la demande des pays du monde, donc, entre autres, de l'efficacité de la lutte contre l'effet de serre.

(2) Dans mon « Pour un catastrophisme éclairé », Le Seuil, 2002 ; Points, 2004.

un traitement équitable, il apportera une aide à ceux qui souffriraient trop des effets de ses décisions. Mais cela ne suffira pas : comment être sûr qu'il respectera, dans la durée, les engagements qu'il aura pris ? Le marché du biocarburant de seconde génération (qui tirera parti de toute la plante, y compris la cellulose et la lignine), celui des voitures hybrides (ayant une autonomie de trente kilomètres ou plus sur électricité), la rentabilité des pompes à chaleur, etc., tout cela dépend des obligations réglementaires ou du prix à la consommation finale de l'énergie fossile dans les dix ou vingt ans à venir ; or ces obligations ou ce prix dépendent des décisions de l'Etat. C'est l'Etat qui fait les marchés. Le risque de marché venant des décisions de l'Etat, décisions qui, il faut bien le dire, sont aujourd'hui improbables et toujours susceptibles d'être remises en cause, les acteurs privés ne prendront de décisions conformes à ces décisions attendues que si l'Etat ne se contente pas de « s'engager » mais s'il donne des gages, effectivement. Henri Prévot fait des propositions très concrètes à ce propos.

UNE COOPÉRATION DANS L'UNION EUROPÉENNE

Financement des investissements, fiscalité, réglementation, incitations, « marché du carbone », régime de l'électricité : ce n'est pas tout. Henri Prévot fait aussi des propositions sur les relations entre l'Etat et les collectivités territoriales et, textes à l'appui, sur la coopération dans l'Union européenne, une coopération qui, portant sur un domaine qui touche à la sécurité publique, à la santé publique et à la diplomatie, peut selon lui trouver des formes juridiques différentes de la coopération communautaire, tout cela dans une perspective stratégique, la seule qui vaille en définitive puisqu'il s'agit de l'avenir de l'humanité.

En résumé, cet ouvrage absolument remarquable présente tout un ensemble de données, d'analyses et de propositions originales qui devraient servir à préparer les décisions politiques dont nous avons un urgent besoin.

FOR OUR ENGLISH-SPEAKING READERS

RÉSUMÉS ÉTRANGERS

THE NUCLEAR INDUSTRY : ISSUES AND PROSPECTS

Nuclear power, a decisive factor in the planet's new energy equation

Anne Lauvergeon

A deeply changing world must find an answer to the key energy question : how to guarantee lasting access to sources at a reasonable price while protecting the environment ? Specialists are no longer alone in debating this question; it has become a major issue in politics and the mass media. There is, of course, not one but several answers. The increasing scarcity and rising prices of fossil fuels, the need to secure supply lines and the necessity to reduce greenhouse gas emissions, all this should make us more realistic. For these reasons, nuclear power has a full place in the planet's new energy equation. The nuclear industry and, in particular, its leader, AREVA, are ready to contribute, in complete transparency, to working out a balanced, long-term energy policy.

EDF and nuclear power : The keys to success

Bernard Dupraz and Laurent Joudon

EDF's nuclear program is a success thanks to standardization and the company's competence as the program's chief architect. As part of a clear, constant French energy policy, the firm made the right choices. Beyond the problems of operating 58 plants with safety placed first, questions are arising about the life-span of reactors and preparations for replacing them. As a response, the EPR reactor has been designed over the past fifteen years; and the first one is being built in Flamanville, Normandy. Thanks to this future, EDF's know-how is an even more valuable asset since the economic and political credibility of nuclear power is growing worldwide.

Radioactive wastes

Marie-Claude Dupuis

Managing radioactive wastes used to be a peripheral activity for the French Atomic Energy Commission (CEA). Over the past forty years, it has become a full-fledged phase in the fuel cycle of producing electricity from the atom. In 2005, the National Radioactive Waste Management Agency (ANDRA) presented to the government a comprehensive overview of the results drawn from fifteen years of research. This landmark report has received recognition beyond France's borders. By broadening this agency's powers, an act of 28 June 2006 acknowledges the progress made and the quality of the results. It also sets an objective for the coming years : work out solutions for managing all forms of radioactive wastes.

R&D in the nuclear industry : Issues and prospects, present and future

Philippe Pradel

Independence in matters of energy and national defense, economic requirements, tighter safety measures, the adaptation to sustainable development... the political, economic and social context has dictated technological advances in nuclear power. R&D in this industry is pursuing two objectives : optimize the operation and life-span of second-generation reactors while undertaking the research necessary for designing the third generation for the next twenty or thirty years. The long-term aim is to design nuclear systems of the fourth generation better equipped to meet the requirements of sustainable development toward 2040. A major challenge is to maintain international leadership for France's nuclear industry. To this end, cooperation must be optimized between French partners in research

and industry; and the country's efforts must be reinforced thanks to international cooperation.

Nuclear power : Major issues for France's industrial, energy and environmental policies

Florence Fouquet, Cyrille Vincent and Francis Iglésias

France ranks second in the world as producer of electricity from atomic power, and first in Europe. Thanks to its nuclear plants, the country's rates of CO₂ emissions per inhabitant and in proportion to its GDP are among the lowest in the EU. French nuclear power is a success story : it employs more than 110.000 people, and AREVA has become a world leader in the fuel cycle and in the design and construction of power plants. Recently passed laws will help maintain a lasting technological advance for France : a deliberate commitment to develop nuclear power systems and an appointment with parliament in 2015 (before the underground depository for spent fuel is opened), guaranteed funding for further research, etc.

The French Nuclear Safety Authority, an independent administrative body

André-Claude Lacoste

The Nuclear Safety Authority (ASN) is officially responsible for controlling safety and radioactivity in France so as to protect wage-earners, patients, the public and the environment from nuclear-related risks. It draws on the work done by the Institute of Radioprotection and Nuclear Safety (IRSN), and provides information to the public on these questions. The men and women who work at ASN have the duty to uphold four values : competence, independence, exactitude and transparency. The Authority's goal is to ensure an effective, legitimate, impartial and creditable control recognized by the public and serving as an international reference mark.

The nuclear industry and public hearings

Yves Mansillon

Major decisions about the French nuclear industry have been made, it is often said, without sufficiently informing and consulting the population. Laws in 1995 and 2002 provide for public hearings in order to inform the public and obtain its reactions to big projects of national interest. The responsibility for organizing a hearing is vested in an independent administrative authority, the National Commission of Public Debate (CNDP). Within two years, five questions related to the nuclear industry have been referred to it. The hearings already held represent a fundamental innovation compared with earlier practices.

The French and nuclear wastes

Philippe d'Iribarne

The French are often said to have irrational reactions to nuclear wastes. When the time is taken to conduct a long survey, it turns out, as expected, that most respondents have a very cursory knowledge of this issue's technical aspects, and evoke "myths". But to form an opinion, they also refer to commonsense — the experiences acquired and ethical issues. Experts should take this into account.

From whales to tritium

Jacky Bonnemains

Only 150 years of human actions and innovations separate whale-oil lamps from atomic fission and fusion. During this period, the human

quest for lighting, heating and transportation has drained the stock of fuels, ranging from peat and wood to coal and petroleum. The energy necessary for protecting us from the cold and heat, for transportation, lighting and other comforts is a persistent problem. Since the start of the industrial era and the consumer age, the solutions adopted have jeopardized the oceans, atmosphere and earth

Nuclear power in the United Kingdom

Sir David King

In a 2003 white paper on energy, the British government made the commitment to reduce CO₂ emissions by 60 %, from the current 150 million tons per year to 60 million by 2050. This objective calls for tightening requirements in all sectors without any exception and, above all, for developing nuclear power by replacing current reactors and building power plants based on fusion (thanks to ITER) over the next trente-five years.

The new prospects of the UK's energy policy

Malcolm Grimston

Thanks to a decade-long reduction in greenhouse gas emissions, the United Kingdom took a leading role in international negotiations on climatic change. But the government has recently been embarrassed to learn that emissions are once again climbing — by nearly 5 % from 1999 to 2004 — as nuclear power plants have been shut down and the reliance on coal has increased owing to the rising price of natural gas. When the white book on energy came out in 2003, the possibility of building new reactors seemed very far-off, at best. Following a reassessment of the country's energy policy by a report released in July 2006, the government has switched positions. It is now arguing that new nuclear plants would be economically profitable, and would reduce greenhouse gas emissions while increasing the security of the nation's energy supply.

Nuclear power in the United States

Richard Meserve

Nuclear power is experiencing a revival in the United States. Although no new plant has been ordered or built since 1973, the Nuclear Regulatory Commission has just announced that generating companies intend to file license applications within the next few years for the construction and operation of up to 29 new plants. The context of these decisions is described along with the barriers and concerns related to building these new power stations. An assessment of the future of nuclear power in the United States...

Do we have a common future with regard to energy ?

Bjorn Stigson

The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) groups 190 international firms that are calling for a sustainable economic development based on an optimized combination of solutions for solving energy problems while fighting against climatic change. Besides efforts to save energy, improve efficiency and develop innovative low-carbon techniques, it is essential to work out a balanced mix of actions for maximizing the advantages to be drawn from various energy sources. Public policies must organize and support R&D so that all worthwhile options are explored and the results put on the market in time. Special opportunities for public-private partnerships exist in the construction of prototypes and demonstration of innovations in nuclear energy.

MISCELLANY

A company's time line

Engineering students from the Ecole nationale supérieure des Mines de Paris, class of 2004

Time in a firm is a subject to which management theorists have devoted much thought and, too, a topic that arouses all sorts of comments during coffee breaks and business luncheons. A brief review of a few commonplaces overheard by members of the class of 2004 during their first long stint of on-the-job training...

Managing the human risk : On the difficulty of indicators and signals

Cécile Banon, Olivier Guillaume and Gilles Deleuze

Contemporary society, often called a "risk society", has set up several arrangements for controlling risks. In organizations, these arrangements often involve regulations, rules and procedures. But might this solution not create additional risks — if the rules and procedures are not respected or are poorly or inappropriately applied ? This is the "human risk", the problem of applying rules in the workplace. It forces us to reconsider our ideas about risk-management in organizations.

Jean-Pierre Dupuy, a review of *Trop de pétrole ! Energie fossile et réchauffement climatique* by **Henri Prévot** (Paris, Le Seuil 2007).

AN UNSERE DEUTSCHSPRACHIGEN LESER

Die Atomenergie, einer der wichtigsten Trümpfe in der neuen weltweiten Energiewirtschaft

Anne Lauvergeon

Die Energiefrage steht im Zentrum der Herausforderungen einer Welt, in der sich ein tiefgreifender Wandel vollzieht : wie soll der dauerhafte Zugang zu einer Energie für alle zu einem vernünftigen Preis und unter umweltfreundlichen Bedingungen garantiert werden ? Diese Frage, die längst nicht mehr nur in Spezialistenkreisen diskutiert wird, beherrscht heute alle relevanten politischen und öffentlichen Debatten. Natürlich gibt es nicht DIE Antwort, sondern MEHRERE Antworten. Das Knappwerden und die steigenden Kosten der fossilen Brennstoffe, die Notwendigkeit, Versorgungssicherheit zu gewährleisten und den Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren, zwingen uns dazu, Realismus zu beweisen. Darum spielt die Atomenergie unweigerlich eine wichtige Rolle in der neuen weltweiten Energiewirtschaft. Die kerntechnische Industrie im Allgemeinen und AREVA als ihr Marktführer im Besonderen sind heute dazu fähig, in größtmöglicher Transparenz zu einer ausgewogenen, sicheren und nachhaltigen Energiepolitik beizutragen.

EDF und die Produktion von Atomstrom : die Schlüssel zum industriellen Erfolg

Bernard Dupraz und Laurent Joudon

Im Rahmen der klaren und konsequenten französischen Energiepolitik hat die Gesellschaft EDF ein erfolgreiches Nuklearprogramm entwickelt, das durch Standardisierung und gesamtstrategische Kompetenzen, aber auch dank der vorausgegangenen richtigen industriellen Entscheidungen verwirklicht werden konnte. Heute ist das Interesse nicht alleine auf die leistungsstarke Nutzung der 58 Kraftwerke – mit höchsten Sicherheitsstandards – gerichtet, sondern auf deren Lebensdauer und auf die Vorbereitung ihrer Ersetzung. So wird der Reaktor EPR seit fünfzehn Jahren zu diesem Zweck entwickelt ; der erste Reaktor der Reihe, Flamanville 3, ist geplant. Aufgrund der gesicherten Langlebigkeit wird das Know-how von EDF zu einem um so größeren Trumpf, als das wirtschaftliche und politische Vertrauen in die Kernenergie weltweit zunimmt.

Der Atommüll

Marie-Claude Dupuis

Der Umgang mit dem Atommüll, dem einst ein nur marginaler Tätigkeitsbereich des Kommissariats für Atomenergie gewidmet war, ist in fast vierzig Jahren zu einer eigenen Komponente des elektronuklearen Zyklus geworden. Die Ergebnisse aus fünfzehn Jahren Forschungsarbeit ließ die französische Agentur für Atommüllmanagement Andra im „Dossier 2005“ zusammenfassen und der Regierung übermitteln. Diese Dokumentation gilt nunmehr jenseits der französischen Grenzen als Referenz. Das Gesetz vom 28. Juni 2006 erweitert den Zuständigkeitsbereich von Andra, erkennt die Fortschritte und die Qualität der erreichten Resultate der Agentur an und definiert als Ziel für die kommenden Jahre, Lösungen für die Entsorgung jeder Art von Atommüll zu erarbeiten.

Forschung und Entwicklung in den heutigen und zukünftigen Nuklearsektoren : Herausforderungen und Aussichten

Philippe Pradel

Energetische Unabhängigkeit und Verteidigung, wirtschaftliche Erfordernisse und erhöhte Ansprüche an die Sicherheit, und schließlich die Anpassung an die Kriterien der Nachhaltigkeit : die technologische Entwicklung der Nuklearsektoren wurde durch den politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Kontext bestimmt. Im Bereich

Forschung und Entwicklung werden heute zwei verschiedene Zielkategorien verfolgt : die Optimierung des Betriebs und der Lebensdauer der Kraftwerke der 2. Generation und die Durchführung von Studien zur Entwicklung der Wasserreaktoren der 3. Generation für die nächsten zwanzig bis dreißig Jahre ; langfristig geht es um die Planung von Nuklearsystemen der 4. Generation, die im Jahre 2040 den Erfordernissen der Nachhaltigkeit genügen sollen. Eins der wichtigsten Anliegen : die französische internationale Leader-Position im Nuklearsektor soll gewahrt bleiben und darum muss die Zusammenarbeit zwischen den französischen Partnern aus Forschung und Industrie optimiert und das nationale Engagement für dieses Ziel durch internationale Kooperation verstärkt werden.

Die Nuklearindustrie : die wichtigsten Interessen Frankreichs in industrie-, energie- und umweltpolitischer Hinsicht

Florence Fouquet, Cyrille Vincent, Francis Iglésias

Im weltweiten Vergleich nimmt Frankreich nunmehr den 2. Platz in der Atomstromproduktion ein, und in Europa den 1. Platz. Seinem Bestand an Reaktoren ist es zu verdanken, dass es in der EU eine der niedrigsten Ausstoßquoten an Treibhausgasen pro Einwohner und pro Bruttoinlandsprodukteinheit verzeichnet. Und außerdem lässt sich der Nuklearsektor als wahrer industrieller Erfolg bezeichnen : er beschäftigt in Frankreich mehr als 110 000 Personen und AREVA ist zu einem der internationalen Marktführer für die Beherrschung des nuklearen Brennstoffkreislaufs sowie für die Konzeption und den Bau von Kraftwerken geworden. Die letzten Gesetzesbestimmungen haben neue Aufgabenfelder definiert, die dazu beitragen werden, den technologischen Vorsprung Frankreichs dauerhaft zu sichern : das entschlossene Engagement für die Entwicklung der Nuklearsysteme der Zukunft, eine parlamentarische Debatte im Jahr 2015 vor der Erschließung einer Endlagerstätte in einer tiefen geologischen Erdschicht, die Fortführung der Forschung nach gesicherten Finanzierungsmethoden...

Die Behörde für atomare Sicherheit (ASN), eine unabhängige Verwaltungsbehörde

André-Claude Lacoste

Die ASN ist staatlich damit beauftragt, die Kontrolle der atomaren Sicherheit und des Strahlenschutzes in Frankreich auszuüben, um die Beschäftigten, die Patienten, die Öffentlichkeit und die Umwelt vor Risiken zu schützen, die aus der Kernenergie entstehen können, und trägt zur öffentlichen Information über die betreffenden Gebiete bei. Die Frauen und Männer der ASN erfüllen ihren Auftrag im Bewusstsein der folgenden vier Werte : Kompetenz, Unabhängigkeit, Genauigkeit und Transparenz. Es ist der Ehrgeiz der ASN eine leistungsstarke, legitime, unparteiische und glaubwürdige Kontrolle des Nuklearsektors zu gewährleisten, die von der Gesellschaft anerkannt wird und eine internationale Referenz darstellt. Die ASN stützt sich auf die Sachverständigentätigkeit des Instituts für Strahlenschutz und atomare Sicherheit (IRSN).

Nuklearindustrie und öffentliche Debatte

Yves Mansillon

Die wichtigen Entscheidungen über den Nuklearsektor wurden, wie man oft hört, ohne hinreichende Information und Befragung der Bevölkerung getroffen. Eine öffentliche Debatte wurde durch die Gesetze von 1995 und 2002 angestoßen, um Information zu ermöglichen und um der Bevölkerung die Gelegenheit zu geben, sich zu Ausrüstungsprojekten von nationalem Interesse zu äußern ; die Verantwortung, eine öffentliche Debatte zu beschließen und zu organisieren, wurde einer unabhängigen Verwaltungsbehörde

übertragen, der „Commission nationale du débat public“. Innerhalb von zwei Jahren wurde sie mit fünf wichtigen Themen zum Nuklearsektor betraut ; nicht allein der Inhalt, sondern schon die Tatsache, dass öffentliche Debatten stattgefunden haben, stellt im Vergleich mit früheren Praktiken eine grundlegende Neuerung dar.

Die Franzosen und der Atommüll

Philippe d'Iribarne

Die Reaktionen der Franzosen gegenüber dem Atommüll werden oft als irrational bezeichnet. Befragt man sie jedoch genauer, so zeigt sich meistens, dass sie nur sehr summarische Kenntnisse über die technischen Aspekte der Problematik besitzen und eher zu mythischen Vorstellungen zu diesem Thema neigen. Doch um ihren Standpunkt abzustützen, verweisen sie auf nationale Weisheitstraditionen, auf menschliche Erfahrungen und auf ethische Überlegungen, aus denen auch die Experten Vorteil ziehen könnten.

Vom Pottwal zum Tritium

Jacky Bonnemains

Von der Öllampe zur Urankernspaltung und zur Kernfusion sind es nur 150 Jahre menschlichen Treibens und Erfindens. In diesem Zeitraum hat die Menschheit auf ihrer Suche nach Beleuchtungs-, Heiz- und Antriebstechniken alle anderen fossilen oder pflanzlichen Ressourcen wie Kohle, Erdöl, Torf und Holz um ein Erhebliches aufgebraucht. Die Energie zum Schutz des Menschen gegen Kälte und Hitze, für Transport, Beleuchtung und jede Art von Komfort ist ein vorrangiges und sich immer wieder stellendes Problem, das seit dem Anbruch des Industriezeitalters und aufgrund des steigenden Konsumgüterverbrauchs die marine, terrestrische und atmosphärische Umwelt in Gefahr bringt.

Die Atomenergie im Vereinigten Königreich

Professor Sir David King

Im Weißbuch 2003 zur Energie beschloss die britische Regierung, den Ausstoß von Kohlendioxid um 60 % zu reduzieren, d.h. von zur Zeit ungefähr 150 Millionen Tonnen pro Jahr auf 60 Millionen Tonnen für das Jahr 2050. Dieses Ziel impliziert das Ausüben von beträchtlichem Druck auf sämtliche Sektoren, aber vor allem die Entwicklung der nuklearen Option und die Erneuerung des Reaktorbestandes sowie in den nächsten dreißig Jahren den Bau von Fusionskraftwerken, die an das Projekt ITER anschließen.

Die neuen Perspektiven der Energiepolitik im Vereinigten Königreich

Malcolm Grimston

Da im Vereinigten Königreich der Ausstoß an Treibhausgasen ein Jahrzehnt lang zurückgegangen war, konnte es in den internationalen Verhandlungen zum Klimawandel die Leader-Rolle einnehmen. Dann musste man verlegen feststellen, dass die Kohlendioxidemissionen wieder zunahmten und von 1999 bis 2004 um fast 5 % gestiegen sind, nachdem die Atomkraftwerke geschlossen worden waren und weil zudem die erhöhten Gaspreise zu einem steigenden Kohleverbrauch geführt hatten. Doch auch nach der Veröffentlichung des Weißbuches von 2003 erschien der Bau neuer Atomkraftwerke, wenn überhaupt, allenfalls als entfernter Möglichkeit. Nach der letzten Debatte zur Energiepolitik jedoch vollzog die britische Regierung in ihrem Bericht vom Juli 2006 einen Aufsehen erregenden Umschwung, denn sie erklärte, dass neue Kraftwerke positive wirtschaftliche Auswirkungen hätten, weil sie zur Reduzierung der Kohlendioxidemissionen und zur Versorgungssicherheit beitragen.

Die Atomenergie in den USA

Richard Meserve

In den USA erlebt die Atomenergie zur Zeit eine Renaissance. Denn während seit 1973 kein neues Kraftwerk in Auftrag gegeben oder

fertiggestellt wurde, hat die Nuclear Regulatory Commission erst kürzlich bekannt gegeben, dass die Stromproduzenten die Absicht haben, demnächst eine Bau- und Betriebsbewilligung für mindestens 29 neue Kraftwerke zu beantragen. Dieser Artikel beschreibt den Kontext, in dem es zu diesen Entscheidungen kam, sowie die Hindernisse und Widerstände, die sich dieser neuen Kraftwerkgeneration entgegenstellten, um die Perspektiven der atomaren Stromproduktion in den USA zu bewerten.

Haben wir in energetischer Hinsicht eine gemeinsame Zukunft ?

Bjorn Stigson

Die Vereinigung *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) umfasst 190 internationale Betriebe, die sich für eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung auf der Basis einer optimalen Kombination von energetischen Problemlösungen einsetzen und die gleichzeitig den Klimawandel bekämpfen. Es geht ihnen nicht nur um höhere energetische Effizienz, Energieeinsparungen und die Entwicklung von innovativen Techniken mit geringer Kohlenstoffintensität, sondern um die richtige Mischung ausgewogener energetischer Möglichkeiten, die die jeweiligen Vorteile der verschiedenen Energiequellen maximal ausnutzen. Die öffentlichen Politiken müssen den Forschungs- und Entwicklungsbereich so organisieren und unterstützen, dass alle interessanten Optionen erforscht werden und die Ergebnisse Marktreife erlangen können. In dieser Hinsicht gibt es ein privilegiertes Feld für öffentlich-private Partnerschaften, insbesondere auf dem Gebiet der Konstruktion von Prototypen oder der Entwicklung von Demonstratoren im Sektor der Nuklearenergie.

VERMISCHTES

Die zeitlichen Horizonte eines Unternehmens

Die Ingenieurstudenten der Ecole nationale supérieure des Mines de Paris, Jahrgang 2004

Die im Unternehmen verbrachte Zeit ist ein unerschöpfliches Thema, das Managementtheoretiker zu Gedankenflügen anzuregen vermag, aber auch Diskussionsstoff für den Meinungsaustausch während der Kaffeepause oder des Geschäftsessens bietet. Ein kleiner Überblick über einige Gemeinplätze, gesammelt vom Jahrgang 2004 während des ersten Praktikums, das lange dauerte...

Zum Risikofaktor Mensch : von der Schwierigkeit, über Zeichen und Indikatoren zu verfügen

Vom vorschriftsgemäßen Verhalten zum Nachdenken

Cécile Banon, Olivier Guillaume, Gilles Deleuze

Die moderne Gesellschaft, die immer öfter als „Risikogesellschaft“ bezeichnet wird, verfügt über eine große Anzahl von Kontrollsystemen. In den Organisationen kommen diese Systeme oft durch die Einführung von Vorschriften, Regeln und Prozeduren zustande. Es fragt sich aber, ob auf diesem Wege nicht zusätzliche Risiken entstehen, wenn diese Regeln und Prozeduren von den Akteuren schlecht befolgt werden, oder sogar überhaupt nicht oder auf unangemessene Weise. Diesen Tatbestand beschreiben wir in diesem Artikel als „Risikofaktor Mensch“, um diejenigen Probleme zu definieren, die in Arbeitssituationen aus der Anwendung von Regeln hervorgehen. Sie zeigen, dass in organisatorischen Zusammenhängen die Konzeption des Risikomanagements überdacht werden sollte.

Zu viel Erdöl !

Fossile Energie und Klimaerwärmung

von Henri Prévot, Le Seuil, Januar 2007

Rezension von Jean-Pierre Dupuy, Professor an der Ecole Polytechnique

A NUESTROS LECTORES DE LENGUA ESPAÑOLA

CUESTIONES DEL FUTURO DE LA INDUSTRIA NUCLEAR

La energía nuclear, una de los puntos clave en el nuevo orden energético mundial

Anne Lauvergeon

La cuestión energética está en primera línea de los desafíos de un mundo expuesto a profundas mutaciones: ¿cómo garantizar el acceso duradero a la energía a todos por un precio razonable, al mismo tiempo que se respeta el medio ambiente? Tras escapar al círculo restringido de los especialistas, esta pregunta ocupa en adelante un lugar preponderante en el escenario político y en los medios. Por supuesto no hay UNA sino VARIAS respuestas. La rarefacción y el alza del coste de las energías fósiles, la necesidad de garantizar el abastecimiento y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero deberían ayudarnos a seguir caminos realistas. Es por esto que la energía nuclear tiene reservado un lugar en el nuevo orden energético mundial. La industria nuclear en general, y su líder AREVA en particular, está lista a contribuir, con una transparencia total, en la construcción de una política energética equilibrada, segura y duradera.

EDF y la producción nuclear: las claves de un éxito industrial

Bernard Dupraz y Laurent Joudon

Dentro de las políticas energéticas francesas claras y constantes, EDF ha logrado sacar adelante su programa nuclear gracias a la estandarización y a sus capacidades de "arquitecto de grupo", pero también gracias a las decisiones industriales acertadas que había tomado previamente. Más allá de la explotación eficaz (la seguridad ante todo) de un parque de 58 grupos bloque, en adelante la preocupación es la duración de vida de éstos y la preparación de su reemplazo. Desde hace quince años, el reactor EPR se desarrolla con este objetivo; su cabeza de serie, Flamanville 3, ya se ha armado. El *know-how* de EDF, perennizado de esta forma, se convierte en una ventaja mayor en un mundo en el que el crédito económico y político de la energía nuclear aumenta a un buen ritmo.

Los residuos radioactivos

Marie-Claude Dupuis

La gestión de los residuos radioactivos, que en el pasado era una actividad marginal en el Comisariato francés para la energía atómica (CEA), se ha convertido, en casi 40 años, en un componente esencial del ciclo electronuclear. Los resultados de 15 años de investigación sintetizados en el expediente 2005 encargado por el gobierno a la Agencia francesa de gestión de residuos radioactivos (Andra) sirven de referencia más allá de las fronteras francesas. La ley del 28 de junio de 2006, que aumenta el campo de estudio de la Andra, reconoce sus progresos, la calidad de sus resultados y especifica los desarrollos para los años venideros, con el objetivo de aportar soluciones a la gestión de todas las formas de residuos radioactivos.

La investigación y desarrollo en las ramas nucleares actuales y futuras: problemas y perspectivas

Philippe Pradel

Independencia energética y defensa, imperativos económicos y exigencias reforzadas en materias de seguridad y, por último, adaptación a los criterios de desarrollo duradero: la evolución tecnológica de las ramas nucleares ha sido dictada por el contexto político, económico y social. Hoy en día, la investigación y desarrollo nuclear responden a dos tipos de objetivos: optimizar el funcionamiento y la duración de vida de las centrales de 2ª generación y realizar los estudios necesarios para el desarrollo de los reactores hidráulicos de 3ª generación para las dos o tres próximas décadas; a

largo plazo, elaborar los sistemas nucleares de 4ª generación que responderán mejor a las exigencias de un desarrollo duradero hacia 2040. Uno de los principales problemas: mantener el liderazgo de la industria nuclear francesa sobre el escenario internacional, lo que requiere optimizar la cooperación entre asociados franceses de la investigación y de la industria, al mismo tiempo que se aumenta el esfuerzo nacional a través de la cooperación internacional.

La industria nuclear: los elementos claves para Francia en términos de política industrial, energética y ambiental

Florence Fouquet, Cyrille Vincent, Francis Iglesias

Francia ocupa actualmente el 2º lugar de los productores mundiales de electricidad nuclear y el 1º lugar en Europa. Gracias a su parque nuclear, dispone de una de las tasa más bajas de emisión de CO₂ por habitante y por unidad de PIB en la Unión europea. Por otra parte, la energía nuclear representa un verdadero éxito industrial; emplea a más de 110 000 personas en Francia y AREVA se ha convertido en uno de los líderes mundiales del ciclo del combustible nuclear, y del diseño y fabricación de centrales. Las disposiciones legislativas recientes crean nuevos desafíos que reforzarán los avances tecnológicos franceses; por ejemplo, el compromiso voluntario para el desarrollo de los sistemas nucleares del futuro, el encuentro parlamentario en 2015 antes de la inauguración de un centro de almacenamiento en capa geológica profunda, la continuación de los trabajos de investigación que siguen modos de financiamiento asegurados, etc.

La Autoridad de Seguridad Nuclear, autoridad administrativa independiente

André-Claude Lacoste

La ASN garantiza, en nombre del Estado, el control de la seguridad nuclear y de la radioprotección en Francia para proteger a los trabajadores, los pacientes, el público y el medio ambiente de los riesgos inherentes a la energía nuclear; al mismo tiempo que contribuye a la información de los ciudadanos en estos campos. La ASN y su personal cumplen la misión que les ha sido confiada mediante el respeto de cuatro valores: el conocimiento, la independencia, el rigor y la transparencia. La ambición de la ASN es realizar un control de la producción nuclear eficaz, legítimo, imparcial y fiable, reconocido por los ciudadanos y que constituya una referencia internacional. La ASN beneficia de los estudios del Instituto de radioprotección y de seguridad nuclear (IRSN).

La industria nuclear y el debate público

Yves Mansillon

Frecuentemente se escucha que las grandes decisiones sobre la industria nuclear se han tomado sin informar ni consultar suficientemente la población.

Las leyes de 1995 y 2002 han introducido el debate público para garantizar la información y permitir la expresión de la población sobre los proyectos de equipamiento de interés nacional. La responsabilidad de decidir y organizar un debate público se ha confiado a una autoridad administrativa independiente, la Comisión nacional del debate público.

En un periodo de dos años, esta comisión ha tratado cinco casos relativos a la rama nuclear; por su contenido y su propia existencia, los debates públicos que se han realizado constituyen una innovación fundamental con relación a las prácticas anteriores.

Los franceses y los residuos nucleares

Philippe d'Iribarne

Frecuentemente las reacciones de los franceses frente a los residuos nucleares son calificadas de irracionales. Cuando se les interroga

detenidamente, se aprecia que la mayoría sólo tienen un conocimiento superficial de los aspectos técnicos y se basan ampliamente en representaciones míticas. Pero, para forjarse un punto de vista, se basan igualmente en elementos científicos de las naciones, una experiencia humana y reflexiones éticas que los expertos deberían tomar en cuenta.

Del cachalote al tritio

Jacky Bonnemains

De las velas con aceite de ballena a la fisión nuclear del uranio y a la fusión de los átomos sólo hay 150 años de agitaciones e innovaciones humanas. En este lapso de tiempo, la humanidad en busca de luz, calefacción y locomoción ha utilizado ampliamente las otras reservas fósiles y vegetales; ya sea que se trate del carbón, el petróleo, la turba y la leña. La energía necesaria para la protección del hombre contra el frío y el calor, su transporte, su iluminación y su confort en general es un problema mayor y constante que, desde la aparición de la era industrial y del consumo, pone en peligro el medio ambiente marino, terrestre y atmosférico.

La energía nuclear en el Reino Unido

Profesor Sir David King

En el libro blanco de 2003 sobre la energía, el gobierno británico se comprometía a reducir sus emisiones de gas carbónico en un 60 %, es decir, pasar de cerca de 150 millones de toneladas anuales actualmente a 60 millones de toneladas en 2050. Un objetivo que implicaba ejercer fuertes presiones en todos los sectores, sin excepción, pero sobre todo, desarrollar la opción nuclear, con la renovación del parque actual, pero también la construcción en unos 35 años, gracias al proyecto ITER, de centrales de fusión.

Las nuevas perspectivas de la política energética del Reino Unido

Malcolm Grimston

Durante una década, las emisiones de gas de efecto invernadero habían disminuido en el Reino Unido, lo que le había permitido tomar el lugar de líder en las negociaciones internacionales sobre el cambio climático. Desafortunadamente, se constató que las emisiones de carbono habían aumentado casi un 5 % de 1999 al 2004, como consecuencia del cierre de las centrales nucleares, pero también debido a una utilización mayor del carbón, provocada por el alza del precio del gas. No obstante, durante la publicación del libro blanco de 2003, la construcción de nuevos reactores nucleares parecía una posibilidad muy lejana. Como consecuencia de la última reevaluación de la política energética, el gobierno británico, en un informe publicado en julio de 2006, hizo un giro espectacular afirmando que las nuevas centrales nucleares tendrían efectos económicos benéficos en términos de reducción de las emisiones de carbono y de garantía del abastecimiento.

La energía nuclear en los Estados Unidos

Richard Meserve

La energía nuclear está renaciendo en Estados Unidos. De hecho, mientras que ninguna central nueva se había planificado ni puesto en marcha desde 1973, la Comisión reguladora de lo nuclear (*Nuclear Regulatory Commission*, NRC) acaba de anunciar que varias empresas productoras de electricidad tienen la intención de presentar una demanda de licencias para la construcción y la explotación de al menos 29 nuevas centrales. Este artículo tiene por objeto describir el contexto

en el que se han tomado las decisiones al igual que los obstáculos y las preocupaciones relacionadas con esta nueva ola de construcciones, y evaluar las perspectivas de una electricidad de origen nuclear en los Estados Unidos.

¿Tenemos un futuro en común en materia energética?

Bjorn Stigson

El *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) es un grupo de 190 empresas internacionales que recomiendan un desarrollo económico duradero que se base, principalmente, en la puesta en marcha de una combinación optimizada de soluciones para resolver los problemas energéticos, al mismo tiempo que se lucha contra el cambio climático. Además de los esfuerzos considerables en la eficacia energética, los ahorros de energía y el desarrollo de tecnologías innovadoras y con baja producción de carbono, es primordial disponer de un *mix* energético equilibrado que permita aumentar las ventajas respectivas de las diferentes fuentes de energía. Las políticas públicas deben organizar y apoyar la investigación y el desarrollo de manera que todas las opciones interesantes puedan explorarse y que las soluciones se lancen al mercado a tiempo. Existe un campo privilegiado para las sinergias entre el sector público y el privado, en especial en lo relacionado con la construcción de prototipos o la realización de demostradores en el sector de la energía nuclear.

OTROS TEMAS

Los horizontes temporales de la empresa

Ingenieros de la Escuela superior de Minas de París, promoción 2004

El tiempo en la empresa es a la vez un amplio tema que provoca las reflexiones de los teóricos de la gestión y un objeto de discusión que suscita toda clase de comentarios durante los *coffee-breaks* de las comidas de negocios. El artículo presenta un breve panorama de estos clichés capturados por la nueva promoción 2004 durante su primer periodo prolongado de prácticas...

La gestión del riesgo humano: la dificultad de disponer de señales e indicadores

De los procedimientos a la reflexividad

Cécile Banon, Olivier Guillaume, Gilles Deleuze

La sociedad contemporánea, calificada con mayor frecuencia de "sociedad del riesgo", pone en marcha un gran número de dispositivos de control. En las organizaciones, estos dispositivos pasan a menudo por la creación de reglamentos, reglas y procedimientos. Ahora bien, ¿esta solución no engendra riesgos adicionales si dichas reglas y procedimientos se aplican mal, no se aplican del todo o de forma inadecuada por los actores? Es lo que se designa en este artículo bajo el término de "riesgo humano" circunscrito a los problemas que la aplicación ocasiona en una situación de trabajo y que implica la renovación del diseño de la gestión de los riesgos en la organización.

¡Demasiado petróleo!

Energía fósil y calentamiento climático

de Henri Prévot, Le Seuil, enero de 2007

Comentario crítico

Jean-Pierre Dupuy, profesor en la Ecole Polytechnique

Нашим читателям, говорящим по-русски

Будущие цели ядерной промышленности

Ядерная промышленность – один из главных козырей новой экономической ситуации
Ани Ловержон

Энергетический вопрос стоит в центре важнейших задач глубоко изменяющегося мира: как гарантировать для всех долгосрочный доступ к энергии по разумной цене и с соблюдением экологических требований? Выходя из тесных рамок специализированных дискуссий, сегодня этот вопрос стал важнейшим на политической сцене и в средствах массовой информации. Бесспорно, на него есть не ОДИН, а несколько ответов. Возрастающий недостаток ископаемых источников энергии и их растущие цены, необходимость улучшить безопасность снабжения и сократить выброс газов с эффектом теплицы должны подтолкнуть нас к большему реализму. Вот почему ядерная энергия занимает такое значительное место в новом мировом энергетическом раскладе. Сегодня ядерная энергия вообще и ее лидер AREVA в частности готовы содействовать, при соблюдении полной гласности, разработке уравновешенной, надежной и долгосрочной энергетической политики.

ЭДФ и производство ядерной энергии: ключ к промышленному успеху
Бернар Дюпраз и Лоран Жудон

В рамках ясной и последовательной французской энергетической политики ЭДФ успешно выполняет ядерную программу благодаря стандартизации и своей компетенции архитектора-генерального поставщика, а также потому, что компания сделала верный промышленный выбор. Кроме успешной эксплуатации – безопасность превыше всего – парка из 58 энергоблоков, сегодня задача заключается в продолжительности их жизни и в подготовке замены. С этой целью пятнадцать лет назад началась разработка реакторов EPR: во Фламанвиле начато строительство первого реактора этой серии. Таким образом ноу-хау ЭДФ становится мощным козырем, тем более что экономическая и политическая привлекательность ядерной энергии растет во всем мире.

Радиоактивные отходы
Мари-Клод Дююэн

Управление радиоактивными отходами, некогда считавшееся маргинальным в Комиссариате по атомной энергии (СЕА), вот уже 40 лет считается полноправной составляющей ядерного цикла. Результаты 15 лет исследований, сведенные воедино в досье 2005 переданном правительству Национальным агентством по управлению радиоактивными отходами (ANDRA), отныне являются ориентиром для других государств. Расширяя сферу своей компетенции, закон от 28 июня 2006 года признает достигнутый прогресс и качество результатов, полученных ANDRA, и уточняет направления развития на ближайшие годы, с целью найти решения по управлению всеми формами радиоактивных отходов.

Научный поиск и развитие в области нынешних и будущих применений ядерной энергии: задачи и перспективы
Филипп Прадель

Энергетическая независимость и оборона, экономические императивы и жесточенные требования в области безопасности, адаптация к критериям долгосрочного развития: технологическая эволюция применений ядерной энергии продиктована политическим, социальным и экономическим контекстом. Сегодня научный поиск в области ядерной энергии отвечает двум типам задач: оптимизировать функционирование и срок службы электростанций второго поколения и вести исследования, необходимые для развития водяных реакторов третьего поколения в ближайшие двадцать-тридцать лет. В долгосрочной перспективе необходимо разработать ядерные системы четвертого поколения, которые будут лучше

соответствовать требованиям долгосрочного развития в перспективе 2040 года. Одной из главных задач является сохранение лидирующего положения нашей ядерной промышленности на международной арене, что требует оптимизации сотрудничества между французскими партнерами в сфере научных исследований и промышленности и расширения усилий в области международного сотрудничества.

Ядерная промышленность: важные задачи для Франции в области промышленной, энергетической и экологической политики
Флоранс Фуке, Сирил Венсан, Франсис Иглесиас

Отныне Франция занимает второе место в мире и первое в Европе по производству ядерной электроэнергии. Благодаря реакторам в нашей стране выбросы углекислого газа на душу населения и на единицу ВВП – одни из самых низких в Европейском Союзе. И наконец, ядерная энергетика представляет собой подлинный промышленный прогресс: во Франции в отрасли занято более 110 000 человек, и AREVA стала одним из мировых лидеров переработки ядерного топлива и конструирования и строительства электростанций. Недавние законодательные положения повлекли за собой новые вызовы, которые будут содействовать упрочению технологического лидерства нашей страны: твердая решимость развивать ядерные системы будущего, парламентские дебаты 2015 года до открытия центра хранения в глубоких геологических пластах, продолжение научного поиска при защищенных способах финансирования...

Администрация по ядерной безопасности – независимый орган власти
Андре-Клод Лакост

Администрация по ядерной безопасности (ASN) обеспечивает, от имени государства, контроль за ядерной безопасностью и защитой от радиоактивности во Франции для охраны работников, пациентов, граждан и окружающей среды от рисков, связанных с ядерной промышленностью, и содействует информированию населения в этих областях. Служащие ASN выполняют порученную им миссию с соблюдением четырех правил: компетенция, независимость, неукоснительность и гласность. Задачей ASN является обеспечение эффективного, легитимного и беспристрастного контроля за ядерной промышленностью, который был бы признан гражданами и являлся бы примером на международной арене. В своей работе ASN опирается на экспертизу Института защиты от радиации и ядерной безопасности (IRSN).

Ядерная промышленность и публичные дебаты
Ив Мансийон

Иногда можно услышать, что важные решения в области ядерной промышленности принимаются без достаточных консультаций и информирования населения. Публичные дебаты были созданы законами от 1995 и 2002 гг. для обеспечения информации и предоставления населению возможности высказываться по поводу проектов национального значения. Ответственность за принятие решения и организацию публичных дебатов лежит на независимой администрации – Национальной комиссии по публичным дебатам. За два года ей было подано пять досье, относящихся к ядерной промышленности. По своему содержанию и благодаря самому факту своего существования прошедшие публичные дебаты являются принципиальным новаторством по сравнению с предыдущей практикой.

Французы и ядерные отходы
Филипп д'Ирибарн

Реакцию французов на проблему ядерных отходов часто называют иррациональной. Если их долго расспрашивать, выясняется, что в большинстве они имеют весьма

приблизительное понятие о технических аспектах вопроса и часто ссылаются на фантазийные представления. Однако чтобы составить себе мнение они опираются также на элементы накопленной мудрости других наций, на опыт людей и этические размышления. Эксперты выиграли бы, если бы принимали в расчет все эти факторы.

От кашалота к тритию

Жаки Бонмен

От свечей с китовым жиром до расщепления урана и ядерного синтеза прошло всего 150 лет брожения умов и новаторства. В этот промежуток времени в поисках освещения, отопления и горячего для транспорта человечество без счета расходовало запасы полезных ископаемых и растительных источников энергии, таких как уголь, нефть, торф и древесина. Источники энергии, необходимой для защиты человека от холода и жары, для транспорта, освещения и прочего комфорта – серьезная и постоянная проблема, которая с наступлением эры промышленности и потребительства ставит под угрозу экологию морей, суши и атмосферы.

Ядерная энергия в Соединенном Королевстве

Профессор сэра Дэвид Кинг

В белой книге 2003 года по энергии британское правительство взяло обязательство сократить выбросы углекислого газа на 60%, т.е. снизить их с примерно 150 млн. тонн в настоящее время до 60 млн. тонн к 2050 году. Эта цель требует сильного давления во всех секторах без исключения, и в особенности развития ядерной отрасли, с обновлением существующего парка, а также строительства, в течение ближайших тридцати пяти лет, благодаря проекту ITER, станций с ядерным синтезом.

Новые перспективы энергетической политики в Соединенном Королевстве

Малколм Гримстон

В течение десятилетия выбросы газов с эффектом теплицы в Великобритании сократились, что позволило ей играть роль лидера в международных переговорах, посвященных климатическим изменениям. Затем ситуация изменилась, и с 1999 по 2004 г. вследствие закрытия атомных станций и роста потребления угля из-за роста цен на газ был констатирован рост выбросов углекислого газа почти на 5%. Однако после выхода белой книги в 2003 году строительство новых ядерных реакторов казалось в лучшем случае далекой перспективой. В результате последней переоценки энергетической политики, в отчете, опубликованном в июле 2006 года, британское правительство совершило крутой поворот, утверждая, что новые атомные станции будут иметь положительный экономический эффект в смысле сокращения выбросов углекислого газа и безопасности снабжения.

Ядерная энергия в Соединенных Штатах

Ришар Мезерв

В настоящее время ядерная энергетика Соединенных Штатов возрождается. Действительно, в то время как с 1973 года не было заказано или завершено ни одной новой электростанции, Комиссия по регулированию ядерной энергии (Nuclear Regulatory Commission, NRC) объявила, что компании по производству электричества намереваются в ближайшее время подать заявки на лицензии для строительства и эксплуатации по меньшей мере 29 новых электростанций. В статье описывается контекст, в котором были приняты эти решения, а также препятствия и

озабоченность, связанные с этой новой волной строительства, и дается оценка перспективам развития электроэнергетики ядерного происхождения в Соединенных Штатах.

Есть ли у нас общее будущее в энергетической области?

Бьорн Стигсон

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) является объединением 190 международных предприятий, которые ратуют за долгосрочное экономическое развитие, опирающееся, в частности, на внедрение оптимизированной комбинации решений энергетической проблемы, продолжая при этом борьбу с климатическими изменениями. Кроме значительных усилий, направленных на энергетическую эффективность, экономию энергии и развитие новаторских технологий с малыми выбросами углекислого газа, крайне важно обладать уравновешенным энергетическим комплексом, позволяющим максимально использовать соответствующие преимущества различных источников энергии. Государственная политика должна организовывать и поддерживать научно-технический поиск таким образом, чтобы все интересные опции могли быть изучены и все решения были бы вовремя представлены на рынке. Это – привилегированное поле деятельности для партнерства государственных и частных предприятий, в особенности в том, что касается строительства прототипов или выполнения демонстраторов в секторе ядерной энергии.

Временные горизонты предприятия

Инженеры, учившиеся в Высшей национальной горной школе Парижа, выпуск 2004 года

На предприятии время является одновременно обширной темой, которая мобилизует размышления теоретиков менеджмента, и сюжетом дискуссий, вызывающим всевозможные комментарии, которыми обмениваются в перерывах на кофе и на деловых обедах. Небольшой обзор нескольких избитых общих мест, которые были вынесены выпускниками 2004 года из их первой длительной стажировки.

Управление человеческим риском: о трудности размещения сигнализации и указателей От процедур к рефлексивности

Сесиль Банон, Оливье Гийом, Жиль Делез

Современное общество, которое все чаще называют «обществом риска», внедряет значительное число мер контроля. В организациях эти меры зачастую принимают форму регламентов, правил и процедур. Но не порождает ли это решение дополнительные риски, если упомянутые правила и процедуры плохо или недостаточно или вообще не применяются работниками? Это именно то, что мы называем в данной статье «человеческим риском», связанным с проблемами, порождаемыми применением правил в рабочей ситуации, что призывает к обновлению концепции управления рисками в организации.

Слишком много нефти!

Ископаемые источники энергии и климатическое потепление

Анри Прево, изд-во Le Seuil, январь 2007 г.

Рецензия

Жан-Пьер Дюпюи, профессор Политехнической школы