

Après Fukushima

**Est-il encore possible de parler
sereinement du nucléaire ?**

Énergie, progrès et innovation

Tchernobyl :

la véritable histoire du nuage
et de la frontière

**La prévision
des risques sismiques**

Peut-on se passer du nucléaire ?

Radiations

Leur impact sur la santé



SCIENCE...

& pseudo-sciences

Comité de rédaction

Jean-Paul Krivine (rédacteur en chef),
Brigitte Axelrad, **Pierre Blavin**,
Martin Brunschwig, **Nadine de Vos**,
Esteve Freixa I Baqué, **Nicolas Gauvrit**,
Philippe Le Vigouroux,
Bruno Przetakiewicz,
Jérôme Quirant, **José Tricot**.

Secrétariat de rédaction :

Pierre Blavin, Nadine de Vos.

Relectures : *Brigitte Axelrad, Martin Brunschwig.*

Mise en page : *Jean-Paul Krivine*

Imprimeur : Bialec S.A. Nancy.

N° commission paritaire : 0416 G 87957
ISSN 0982-4022. Dépôt légal : à parution.

Directeur de la publication :
Louis-Marie Houdebine.

Les articles signés n'engagent pas nécessairement le point de vue de la rédaction.

afis

Association Française pour l'Information Scientifique

Fondateur

Michel Rouzé (1910-2004)

Conseil d'administration

Présidents d'honneur :

Jean Bricmont, Jean-Claude Pecker

Président : *Louis-Marie Houdebine*

Sébastien Colmerauer (secrétaire général), *Igor Ziegler* (trésorier),
Stéphane Adrover, *Yvette Dattée*,
Marc Fellous, *Michel Grosmann*,
Vincent Laget, *Guillaume de Lamérie*,
Élie Nicolas, *Philippe Le Vigouroux*,
Jacques Poustis.

afis - Science et pseudo-sciences

14, rue de l'École Polytechnique, 75005 Paris

Parrainage scientifique

Jean-Pierre Adam (archéologue, CNRS, Paris). **André Aurengo** (professeur des universités, praticien hospitalier de Biophysique et médecine nucléaire, membre de l'Académie de Médecine, Paris). **Jacques Bouveresse** (philosophe, professeur émérite au Collège de France). **Jean Bricmont** (professeur de physique théorique, Université de Louvain-la-Neuve, Belgique). **Henri Broch** (professeur de physique et de zététique, Nice). **Gérald Bronner** (sociologue, professeur à l'Université de Strasbourg). **Henri Brugère** (docteur vétérinaire, professeur émérite de Physiologie-thérapeutique à l'école nationale vétérinaire d'Alfort). **Yvette Dattée** (directeur de recherche honoraire de l'INRA, membre de l'Académie d'agriculture de France). **Jean-Paul Delahaye** (professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille, chercheur au Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille). **Marc Fellous** (professeur de médecine, Institut Cochin de Génétique Moléculaire). **Léon Guéguen** (nutritionniste, directeur de recherches honoraire de l'INRA, membre de l'Académie d'agriculture de France). **Louis-Marie Houdebine** (biologiste et directeur de recherche au centre de l'INRA de Jouy-en-Josas). **Bertrand Jordan** (biologiste moléculaire, directeur de recherche émérite au CNRS, Marseille). **Philippe Joudrier** (biologiste, directeur de recherche à l'INRA). **Jean-Pierre Kahane** (professeur de mathématiques, membre de l'Académie des Sciences). **Jean de Kervasdoué** (professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers, membre de l'Académie des Technologies). **Marcel Kuntz** (biologiste, directeur de recherche au CNRS). **Gilbert Lagrue** (professeur honoraire à l'Hôpital Albert Chenevier de Créteil). **Hélène Langevin-Joliot** (physicienne nucléaire, directrice de recherche émérite au CNRS). **Guillaume Lecointre** (professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle, directeur du département Systématique et évolution). **Jean-Marie Lehn** (professeur au Collège de France, membre de l'Académie des Sciences, Prix Nobel de chimie). **Gérard Pascal** (nutritionniste et toxicologue, directeur de recherches honoraire de l'INRA, membre des Académies d'agriculture et des technologies). **Jean-Claude Pecker** (professeur honoraire d'astrophysique théorique au Collège de France, membre de l'Académie des Sciences). **Arkan Simaan** (professeur agrégé de physique, historien des sciences). **Alan Sokal** (professeur de physique à l'Université de New York et professeur de mathématiques à l'University College de Londres). **Jacques Van Rillaer** (professeur de psychologie, Belgique).

Est-il encore possible de parler sereinement du nucléaire ?

À ce jour, l'accident à la centrale nucléaire de Fukushima n'a fait aucun mort, et on peut raisonnablement espérer qu'il n'y aura finalement que très peu de victimes, voire aucune, du fait de la radioactivité¹. Et pourtant, cet accident a généré un très fort sentiment de peur. Dans certains pays, il a conduit à des décisions importantes en termes de politique énergétique. Le contexte d'abondance *ad nauseam* d'informations anxiogènes est peu propice à des prises de décisions rationnelles, et encore moins à des débats sereins. Les médias, valorisant plus l'émotion et le sensationnel que l'information objective, ont joué un rôle évident. Michel Onfray évoque à ce propos un traitement médiatique « *hystérique, incantatoire, acéphale* » (*Le Point* 22 mars 2011). Mais ce serait réducteur de tout ramener aux seules conséquences du traitement médiatique. Les questions énergétiques ont aussi une dimension politique et idéologique, et l'accident de Fukushima est devenu un enjeu pour des questions plus générales.

Par ailleurs, la perception du public est, aujourd'hui, un élément majeur des controverses technologiques. Au-delà de ce qu'il faut bien appeler désinformation, ou *a minima*, absence d'information sérieuse, l'accident dans la centrale nucléaire japonaise a rappelé l'aversion, dans le grand public, du sentiment de perte de contrôle. Les dizaines de milliers de victimes directes du tsunami et la dévastation qui en a

Éditorial

résulté marquent moins les esprits que les reportages montrant la lutte des pompiers pour essayer de faire baisser la température des réacteurs ou les longs mois qui seront encore nécessaires pour leur maîtrise. Les milliers de morts dues à l'industrie du charbon (en 2010, et uniquement en Chine, les chiffres officiels font état de 2433 victimes) sont également oubliés quand il s'agit d'évaluer les conséquences de nos choix énergétiques.

Restent les questions de fond auxquelles *Science et pseudo-sciences* consacre l'essentiel de ce numéro : quelle politique énergétique ? Quels sont les risques réels du nucléaire civil ? Quel est l'état de la connaissance en termes de conséquences des irradiations ? Peut-on prévoir les risques sismiques ? Quelle place pour l'innovation dans le futur énergétique ? Comment analyser la perception du public ? *Science et pseudo-sciences* n'entend pas apporter une réponse à chacune de ces questions, mais propose à ses lecteurs une réflexion argumentée et dépassionnée. En particulier, les décisions concernant la politique énergétique, ou encore les actions pertinentes à mettre en œuvre pour prendre en compte les impacts des différents scénarios d'évolution climatique, sont des choix de société qui intègrent des dimensions économiques, sociales, voire idéologiques, sur lesquels la science et la connaissance ne peuvent apporter qu'un éclairage partiel.

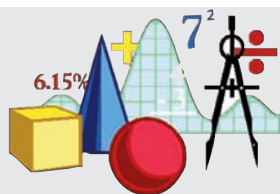
Nous souhaitons simplement que ces décisions soient raisonnées et s'appuient sur l'état réel de la connaissance. La peur est probablement au dessus des moyens que nos sociétés pourront consentir de façon durable².

Science et pseudo-sciences

¹ Pour autant, l'accident de Fukushima a bien des conséquences, venant s'ajouter à celles du tsunami, avec le déplacement de populations, l'angoisse générée et des zones qui prendront du temps à être décontaminées avant un éventuel relogement.

² Jean de Kervasdoué, *La peur est au-dessus de nos moyens. Pour en finir avec le principe de précaution*, Plon, 2010 (voir la note de lecture dans SPS n° 295, p.89)

Du côté de la science



L'effet placebo bouge encore

Deux études sorties très récemment viennent affiner les connaissances sur la vraie nature de ce qu'on appelle encore « effet placebo ».

La première de ces études [1], réalisée par des chercheurs de la Harvard Medical School et du Beth Israel Deaconess Medical Center (B I D M C), publiée le 14 juillet dans le *New England journal of Medicine* a évalué, sur des patients asthmatiques, l'effet d'un médicament bronchodilatateur et de deux méthodes placebos, comparées à un groupe témoin sans intervention.

Les patients ont été séparés en quatre groupes recevant respectivement : un inhalateur d'albutérol, un inhalateur placebo ne contenant aucune substance active, des séances d'acupuncture simulée et rien. Tous les patients ont été suivis régulièrement par interrogation et par des mesures spirométriques (mesure de la capacité pulmonaire).

Si l'on regarde les mesures objectives obtenues par ces dernières, on constate que les patients qui ont reçu de l'albutérol ont vu leur capa-

cité respiratoire augmentée de 20 % alors que les trois autres groupes n'obtiennent qu'une augmentation de 7 %. On doit donc en conclure que chez ces patients les traitements placebo n'ont pas entraîné d'augmentation des fonctions pulmonaires supérieure à celle des patients non traités.

Par contre, si l'on demande aux patients si le traitement a eu un effet sur leur qualité de vie, on obtient des résultats radicalement différents. Les résultats ressentis dans le cadre de l'inhalateur d'albutérol (50 % d'amélioration) ne diffèrent pas de manière significative de l'inhalateur placebo (45 %) ou de l'acupuncture simulée (46 %). En revanche, le groupe témoin enregistre une amélioration autodéclarée très inférieure (21 %).

En résumé, les interventions placebo n'apportent aucune amélioration objective, alors que le ressenti des patients leur attribue un effet équivalent à celui du médicament actif.

Cette étude confirme un précédent travail effectué dans le cadre de la maladie de Parkinson [2].

Ceci explique le fait que l'effet pla-



– Des gélules fabuleuses. Quand je regarde la boîte, j'arrête de tousser !

cebo n'est réputé agir que sur les dysfonctionnements dans lesquels le ressenti est fondamental (douleur, maladies fonctionnelles, etc.), alors qu'il n'a jamais été mis en évidence dans des maladies infectieuses ou oncologiques.

Une seconde étude publiée quelques jours plus tard [3] s'intéresse à l'impact des attentes des patients sur les tests auditifs. Des chercheurs anglais ont analysé les résultats de patients testés deux fois avec le même appareillage. La première fois, on leur a dit qu'ils disposaient d'un nouveau type d'appareil et la seconde fois on leur a déclaré qu'il s'agissait d'une aide auditive conventionnelle. Les patients étaient les mêmes, les tests étaient les mêmes et l'appareillage était le même, mais les résultats sont, eux, clairement différents. Les patients qui pensaient disposer d'un appareillage « dernier cri » obtenaient des résultats nettement plus élevés que les autres et 75 % d'entre eux déclaraient préférer cette nouvelle version de l'appareil. Ce qui confirme que l'attente du patient a une influence significative sur son ressenti. Encore une fois, les auteurs, dans le titre de leur publication, nomment ce phénomène « effet placebo » alors que seuls le contexte, l'attente des patients, l'attitude et la relation avec les praticiens sont intervenus. Ce qui justifie une nouvelle fois l'abandon du terme « effet placebo » au profit d'une appellation beaucoup plus large et plus compréhensible pour le public : « effet contextuel ».

Jean Brissonnet

Physicien appliqué – Créateur du site
www.pseudo-medecines.org

[1] Active albuterol or placebo, sham acupuncture, or no intervention in asthma. Wechsler ME, Kelley JM, Boyd IO, Dutile S, Marigowda G, Kirsch I, Israel E, Kaptchuk TJ. N Engl J Med. 2011 Jul 14 ;365(2) :119-26.

[2] FREGNI (F),(2006).Immediate Placebo Effect in Parkinson's Disease – Is the Subjective Relief Accompanied by Objective Improvement ? European Neurology 56, No. 4, 2006

[3] The Placebo Effect and the Influence of Participant Expectation on Hearing Aid Trials, Dawes P, Powell S, Munro KJ., Ear Hear. 2011 Jul

Résidus chimiques dans notre assiette : l'Anses confirme et rassure !

Depuis la parution de l'article « L'agriculture rend-elle vraiment notre assiette toxique ? » (SPS, n° 297), l'Anses a publié le 30 juin 2011 les résultats de l'étude nationale de surveillance des expositions alimentaires aux substances chimiques, deuxième étude de l'alimentation totale (EAT 2) des Français concernant la période 2005-2010 [1].



© Giuseppe Arcimboldo (vers 1527-1593), Les quatre éléments - Leau: Wikipedia

Portant sur 212 types d'aliments et 445 substances chimiques recherchées, l'évaluation de l'exposition de la population générale a été faite à partir des données de consommation alimentaire de l'étude Inca-2 menée par l'Afssa entre 2005 et 2007.

Contrairement à presque toutes les autres données disponibles, les analyses (230 000 résultats obtenus par une douzaine de laboratoires de référence) ont porté sur la partie comestible des aliments préparés « tels que consommés », par exemple lavés ou épluchés dans le cas de la plupart des fruits et légumes.

Les conclusions de l'étude sont particulièrement rassurantes puisque tout risque de dépassement de la valeur toxicologique de référence (VTR) est écarté pour 85 % des substances étudiées et que, pour plus de 95 % des résidus des 283 substances actives phytopharmaceutiques considérées, les taux sont conformes à la réglementation. Le rapport conclut que, « *de manière générale, ces résultats témoignent d'un bon niveau de maîtrise sanitaire au regard des seuils réglementaires et des valeurs toxicologiques disponibles* ».

Malgré des VTR récemment réévalués à la baisse, seules quelques substances présentent un risque de dépassement : le plomb, le cadmium, l'arsenic inorganique et l'acrylamide. Pour quelques autres substances, le risque existe seulement en cas de consommation excessive de certains aliments :

méthylmercure (thon), dioxines et PCB (poissons gras), une mycotoxine (céréales mal conservées), un pesticide (le diméthoate), les sulfites (vin) et parfois le cuivre (végétaux traités au sulfate de cuivre).

Cette étude, la plus importante jamais réalisée en France, conforte donc les conclusions de l'article de SPS cité puisque, à l'exception d'un seul insecticide (diméthoate dans les cerises), aucun autre cas de contamination à risque sanitaire possible n'est imputable à l'agriculture conventionnelle.

L. Guéguen

Nutritionniste – Directeur de recherche honoraire INRA

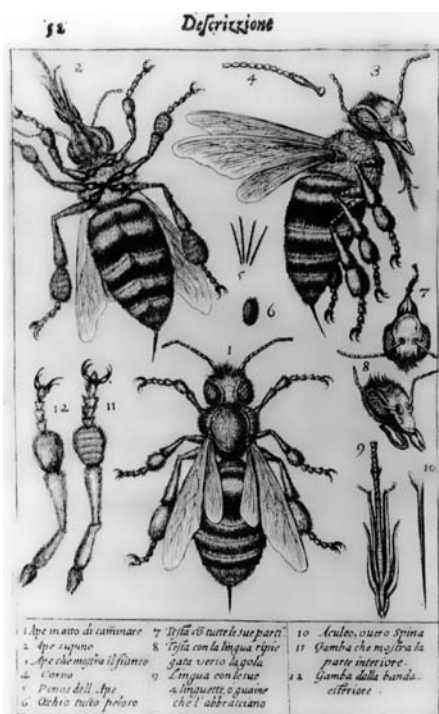
[1] <http://www.anses.fr/index.htm>

Mortalité des abeilles : données scientifiques sur des causes multiples

Les scientifiques s'accordent sur des causes multifactorielles¹ du déclin des populations d'abeilles car aucun facteur individuel n'a pu être caractérisé comme unique responsable. Des équipes italiennes et américaines ont ainsi documenté la propagation par l'acarien parasite *Varroa* d'un virus impliqué dans l'effondrement des colonies [1]. D'autres équipes nord-américaines ont impliqué la co-infection par un autre virus et des champignons du genre *Nosema* [2], mais ces dernières conclusions restaient controversées, illustrant la difficulté à cerner ce phénomène.

Des équipes de recherche du CNRS, de l'INRA et de l'Université Blaise

¹ Voir l'article d'Alain Rérat sur le site de SPS : <http://www.pseudo-sciences.org/spip.php?article1229> ainsi que la note de lecture sur *L'Étrange silence des abeilles – Enquête sur un déclin inquiétant* de Vincent Tardieu, Belin, *Pour la Science*, 2009. <http://www.pseudo-sciences.org/spip.php?article1376>



Francesco Stelluti (1577 – 1652), Le plus ancien dessin connu réalisé avec un microscope. Source Wikipedia

Pascal de Clermont-Ferrand, viennent de montrer (en laboratoire uniquement) que la mortalité des abeilles engendrée par *Nosema ceranae* augmente fortement en présence de faibles doses d'insecticide – qui n'entraînent pas de mortalité chez les abeilles indemnes de nosémose. Le phénomène a été observé pour deux insecticides appartenant à des familles distinctes, le fipronil et le thiaclopride [3].

Il faut noter aussi qu'un groupe de l'INRA d'Avignon a déjà publié une étude indiquant un effet synergique similaire entre *Nosema* et l'insecticide imidaclopride [4].

Ces travaux contribueront-ils à réconcilier les points de vue sur la mortalité des abeilles et convaincre de la nécessité d'améliorer de

manière globale la gestion et la protection du cheptel apicole ? C'est peu probable, car certains apiculteurs y puiseront un argument pour relancer leur demande récurrente d'une interdiction radicale de certains insecticides, tandis que le point de vue opposé arguera de l'origine parasite du problème.

Marcel Kuntz

Biologiste,

Directeur de recherche au CNRS

[1] <http://vir.sgmjournals.org/content/92/1/151.abstract>

[2] <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0013181>

[3] <http://www2.cnrs.fr/presse/communiqu/2222.htm>

[4] <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1462-2920.2009.02123.x/abstract>

Impact sanitaire positif des cotonniers Bt en Inde

Deux chercheurs de l'Université de Göttingen ont recueilli des données auprès des petits producteurs de coton en Inde, afin d'analyser les impacts sanitaires des cotonniers OGM de type Bt (résistants à certains insectes ravageurs).

Ils montrent que ces cotonniers Bt permettent de réduire considérablement l'utilisation de pesticides toxiques et évitent ainsi plusieurs millions de cas d'intoxication aux pesticides des agriculteurs chaque année. Ces avantages entraîneraient des économies annuelles de santé cumulées de 14 à 51 millions de \$ US.

Marcel Kuntz



Maïs génétiquement modifié contre la pénurie alimentaire au Kenya

Afin de pallier le manque chronique de nourriture pour sa population, le Kenya a recours à l'achat de maïs contenant une variété transgénique résistant à des insectes. Il s'agit simplement d'acheter du maïs et non de le cultiver, comme cela est déjà le cas dans plusieurs autres pays africains. Le prix de ce maïs est 30 % inférieur à celui du maïs conventionnel, ce qui est d'autant moins négligeable que le prix de cette denrée a augmenté de 25 % depuis qu'il est utilisé massivement pour la préparation de biocarburant. Des opposants ont jugé bon de dénoncer cette initiative en prétendant qu'elle menaçait la biodiversité du Kenya, qu'elle allait augmenter la dépendance des petits agriculteurs vis-à-vis des multinationales et que le Kenya ne disposait pas de structures permettant d'évaluer les risques que soulève l'utilisation des OGM. Ces trois arguments sont inexacts. Le maïs ne se ressème pas, qu'il soit transgénique ou non. Son utilisation ne menace donc en rien la biodiversité et ce serait également le cas s'il était cultivé. Les agriculteurs ont largement répondu, par leur acceptation de certains OGM, qu'ils préféreraient dépendre des entreprises que du manque de nourriture. Le gouvernement du Kenya, comme ceux de trois autres pays africains, a par ailleurs pris des mesures appropriées pour maîtriser l'utilisation des OGM. Cette contestation est donc non seulement, encore une fois, non pertinente, mais elle risque

de retarder voire d'empêcher la mise à disposition du maïs pour ceux qui en ont un urgent et pressant besoin.

L.M. Houdebine

Biologiste – Directeur de recherche honoraire INRA

« Feu vert à l'importation de maïs transgénique », *Le Monde*, 12 juillet 2011

« Kenya set to give green light to GM crops », *Nature News*, July 11, 2011 : <http://www.nature.com/news/2011/110711/full/news.2011.410.html>

Des frites moins cancérigènes

Les pommes de terre ont une bonne réputation nutritionnelle. Sans verser dans la psychose alimentaire ambiante, il faut bien admettre que la réalité est plus complexe. Dans certaines variétés, des quantités élevées de toxines, dues aux hasards de la sélection classique, ont été découvertes à la suite de l'empoisonnement de consommateurs.

Ces toxines ne sont plus une menace car leur présence est évaluée et elles sont presque totalement inactivées par la cuisson. Il



est bien connu que les frites apportent leur part de produits nocifs pour la santé que sont les huiles pauvres en acides gras insaturés. En vieillissant pendant leur inévitable stockage, l'amidon des pommes de terre se dégrade progressivement pour donner, entre autres, du saccharose (d'où le goût sucré qui apparaît avec le temps) qui se décompose en glucose et fructose. Lors de la cuisson (avec ou sans huile) les produits riches en amidon sont soumis à une réaction qui associe le glucose et le fructose à certains acides aminés pour donner de l'acrylamide, un composé bien connu pour être cancérigène. Ce phénomène est particulièrement intense dans les frites et les chips. La transformation du saccharose en glucose et fructose est effectuée par une enzyme appelée invertase. Un chercheur de l'USDA (Wisconsin,

USA) a transféré le gène de l'invertase de pomme de terre en position inverse dans des pommes de terre. Cette opération, qui met en œuvre des ARN interférents^(*), inhibe l'invertase et permet de réduire ainsi très notablement la quantité d'acrylamide dans les frites.

L.M. Houdebine

UW-Madison scientists create low-acrylamide potato lines. N. Miller. University of Wisconsin-Madison News June 9, 2011.

(*) Les ARN interférents sont de petits ARN double brin de 20 à 25 bases provenant du découpage de longs ARN en double brin exogènes ou de micro ARN codés par les génomes. Les ARN interférents s'associent à des protéines cellulaires et forment des hybrides avec des séquences complémentaires des ARN (en particulier des ARN messagers). Ces complexes induisent une dégradation des ARN messagers ciblés ou l'inhibition de leur traduction. Les ARN interférents sont donc des régulateurs naturels de l'expression génétique. Ce sont des outils très précieux pour inhiber par transgénèse des ARN messagers spécifiques ou des ARN viraux.

Regards sur la science



À qui ne rapportent pas les OGM ?

La rumeur publique veut que les OGM aient été inventés uniquement pour que des compagnies géantes du secteur gagnent encore plus d'argent. L'équité n'est certes pas toujours au rendez-vous et cette situation ne va pas en s'améliorant. Quoiqu'il en soit, le constat peut être fait que les agriculteurs et notamment les plus pauvres d'entre eux (qui représentent 90 % des utilisateurs d'OGM) utilisent ces

semences, et affirment y trouver leur compte.

Une étude réalisée par des universitaires britanniques a permis d'évaluer le manque à gagner des agriculteurs européens qui ne peuvent avoir accès aux OGM commercialisés [1]. Cette évaluation s'appuie sur les nombreuses données économiques obtenues dans le reste du monde. Les non-gains pour l'ensemble des pays de l'UE qui pourraient cultiver des OGM disponibles sont les suivants : pour le maïs, de 157 à 334 millions d'euros (M €) par an

(34,2 à 85,5 M € pour la France) ; pour le coton, 13 à 39 M € ; pour le soja, 13 à 39 M € ; pour le colza, 195 à 318 M € ; pour la betterave sucrière, 73 à 219 M € ; soit, au total, 443 à 929 M € par an.

Il n'est plus raisonnable de refuser les OGM sous le prétexte que les consommateurs n'en tirent pas un profit immédiat. À titre de comparaison, il est admis que la culture sans labour qui se répand dans le monde est un progrès réel, bien que la plupart des consommateurs l'ignorent ou n'en profitent pas de manière palpable.

L.M. Houdebine

[1] Park J., McFarlane I., Phipps R. and Ceddia G. The impact of the EU regulatory constraint of transgenic crops on farm income. 2011, *New Biotechnology* doi :10.1016/j.nbt.2011.01.005

Mediator et thalidomide : un virage s'est-il produit dans l'éthique de la recherche médicale ?

L'affaire du Mediator a suscité, outre la réprobation de l'opinion publique, une grande implication des milieux professionnels et politiques aboutissant à une demi-douzaine de rapports et à des décisions du ministère de la Santé, prises pour prévenir un autre désastre sanitaire consécutif à l'utilisation d'un médicament.

Cette affaire évoque inévitablement celle du thalidomide, bien qu'elle remonte maintenant à 50 ans. À l'époque, la survenue d'effets tératogènes, non révélés par la toxicologie, avait montré l'insuffisance du dispositif réglementaire. Si la France avait été épargnée par ce désastre en raison de la lenteur du processus

d'agrément du dossier, elle adopta une modification des obligations d'études toxicologiques, visant à renforcer le pouvoir de détection des produits embryotoxiques, en spécifiant que les études devaient être faites sur au moins deux espèces « dont l'une n'appartient pas à l'ordre des Rongeurs ». L'éthique avait ainsi mis en priorité la protection de l'Homme avant celle de l'animal.

Les travaux relatifs à l'affaire du Mediator, de manière étonnante, ne se sont pas lancés dans une exégèse des dossiers toxicologiques. Pourtant, il y avait peut-être là des informations utiles ? En réalité, lorsqu'il est fait allusion aux propriétés pharmaco-toxicologiques, il n'est discuté que de l'effet anorexigène et, rarement, quelques autres effets sont-ils cités. Sans doute les dysfonctionnements qui ont affecté l'ensemble de la chaîne du développement, de la réglementation et du suivi des effets indésirables, ont-ils orienté d'emblée les professionnels de santé et les responsables politiques vers un objectif de remise en ordre du dispositif existant, ce qui vient d'être fait.

On ne peut s'empêcher de penser, cependant, que l'analyse pharmaco-toxicologique aurait mérité plus d'attention, partant du principe que plus la détection d'une anomalie est précoce, moins les risques encourus par l'Homme sont élevés. Alors que la mise sur le marché remonte à 1976, c'est en 2005 qu'une suggestion d'étude spécifique sur l'animal a été faite, dans le contexte de cas humains déjà suspectés, afin d'évaluer le pouvoir producteur d'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP). Cette proposition restera d'ailleurs sans suites.

Si, avant que son autorisation de mise sur le marché ne soit donnée, une étude toxicologique avait été planifiée pour évaluer son pouvoir générateur d'HTAP, suspect en raison de son appartenance à une famille de molécules présentant cet effet, sa dangerosité aurait probablement pu être identifiée plus tôt. Mais c'est finalement, la pire situation qui s'est produite : c'est la révélation de troubles sévères chez les patients qui aura conduit à cette mise en évidence.

La Déclaration d'Helsinki, dans sa version initiale (1964), précisait dès son article 1 que « *la recherche biomédicale portant sur les êtres humains ... doit être basée sur une expérimentation... sur l'animal* ». Curieusement les « amendements » apportés à ce texte depuis une dizaine d'années ont fait disparaître cette clause, qui était l'un des garants éthiques de la recherche pharmaceutique. Cette disparition résulte peut-être de la pression des protecteurs des animaux ou d'industriels du médicament voulant alléger le dispositif pré-clinique. Peu importe, les deux auront satisfaction, car c'est maintenant la pharmacovigilance qui précise les effets adverses de haute gravité. L'éthique est-elle réellement gagnante ?

Henri Brugère

Vétérinaire – Président de l'Académie
vétérinaire de France, 2010

Australie : la « chasse aux dromadaires »

L'Australie est le pays dont la population de dromadaires est la plus importante au monde avec près d'un million de têtes. L'animal a été intro-



Jérôme Bosch (vers 1450-1516)

Le jardin des délices (détail)

Source Wikipédia

duit sur le continent vers 1850. À l'instar des vaches et d'autres herbivores, les dromadaires émettent des gaz à effet de serre, notamment du méthane. Sur une suggestion de la société Northwest Carbon, un parlementaire australien a proposé une idée pour le moins cruelle : exterminer les dromadaires du continent ! Le département d'État australien au réchauffement climatique et aux énergies renouvelables envisageant de mettre en application cette mesure, une opposition s'est organisée avec notamment un site de pétition. La ISOCARD (International Society of Camelid Research Development) s'est également manifestée à travers 300 de ses membres partout dans le monde en qualifiant l'idée de *stupide* et en la dénonçant comme une *aberration scientifique*. Selon l'ISOCARD, la contribution des dromadaires aux gaz à effet de serre est négligeable face aux 560 millions de tonnes de CO₂ que l'industrie australienne rejette tous les ans dans l'atmosphère.

Kamil Fadel

Directeur du département Physique,
Palais de la découverte

La cosmologie, victime collatérale de la guerre

Le *Eisenhower Research project* [1] à l'université Brown, à Providence aux États-Unis, vient de publier un rapport sur le coût américain des guerres d'Afghanistan et d'Irak : 4 000 milliards de dollars ! Sachant que l'économie américaine est en difficulté, il n'est pas surprenant que le gouvernement songe à effectuer des restrictions budgétaires. Certaines restrictions concernent des projets destinés à améliorer la qualité de vie des citoyens américains (la sécurité sociale par exemple), ou sont relatives à l'écologie, au développement durable et aux ressources énergétiques renouvelables. Ce dernier secteur pourrait voir son budget réduit de 25 %.

D'autres restrictions concernent la recherche scientifique fondamentale. Le gouvernement songe ainsi à annuler le projet *James Webb Space Telescope* dont le coût s'élève à 1,6 milliards de dollars. À partir de 2014, ce télescope est censé prendre la relève du télescope spatial Hubble, qui a rendu d'immenses services à l'astrophysique et à la cosmologie. L'abandon de ce projet serait ressenti par les astrophysiciens et les cosmologistes comme une catastrophe. En effet, ces derniers espèrent observer avec cet instrument la naissance des premières étoiles et galaxies de notre univers, il y a 13 milliards d'années environ.

Compte tenu des conséquences indirectes du coût de la guerre sur la science et la société américaine, Lawrence Kraus, physicien théoricien américain, se demande si finalement les États-Unis ne seraient

pas les véritables perdants du conflit.

Kamil Fadel

[1] <http://news.brown.edu/pressreleases/2011/06/warcosts>

Même les plus grands...

On peut s'étonner que les chercheurs les plus connus ne soient pas toujours les meilleurs de leur discipline, et que, de surcroît, leur liste se réduise souvent à deux ou trois noms. La transmission de l'information par des médias avides de scoops et de communiqués rapides, cherchant la facilité en s'adressant à ceux qui ont déjà fait leurs preuves en termes d'audience, en est certainement la cause essentielle. On privilégie le « mieux dire » devant le « mieux faire ». On peut se demander s'il en allait de même dans le passé, et si l'histoire n'a pas oublié une majorité de « tâcherons » de la science ayant pourtant donné des contributions importantes, mais n'ayant pas eu la notoriété de certains de leurs pairs. Pour les femmes, cela ne fait aucun doute, et nous reviendrons sur cette question une prochaine fois.

Un exemple pourrait bien être donné par le grand Edwin Hubble, cet astronome qui a donné son nom au télescope spatial, après avoir découvert en 1929 la corrélation entre la distance et la vitesse de fuite des galaxies, qu'on a appelée « la loi de Hubble » ; en d'autres termes, l'expansion de l'Univers. Il semble que cette découverte était déjà « dans l'air » lors d'un congrès se tenant en 1927 à Leiden auquel Hubble avait assisté ; et que l'abbé Georges Lemaître avait publié la même année un article dans lequel,

utilisant les distances des galaxies déterminées par Hubble et les décalages spectraux déterminés par Vesto Slipher (que Hubble lui-même utilisa), il annonçait l'expansion de l'Univers, qu'il prédisait par ailleurs théoriquement.

Cette partie de son article, publié en français, a disparu de la traduction en anglais faite plus tard. Beaucoup de discussions ont actuellement lieu pour déterminer si c'était Lemaître lui-même le traducteur et qu'il l'aurait supprimé (par modestie, car Hubble en était déjà crédité, et Lemaître ne voulait peut-être pas lancer une controverse), ou quelqu'un de moins bien intentionné. Quoi qu'il en soit, des voix s'élèvent dès maintenant pour demander que le futur télescope spatial devant remplacer le Hubble soit nommé « télescope Lemaître ». Nous suivrons cette histoire de près...

Suzy Collin-Zahn

Astronome – Directeur de recherche
émérite CNRS

http://physicstoday.org/resource/1/phtoad/v64/i8/p8_s1?bypassSSO=1

Le meilleur coup ?

La psychologie est une science qui a ses dispositifs expérimentaux et ses statistiques et pourtant on l'oppose quelquefois à la « rationalité ». Voilà qui n'est pas raisonnable ! Je voudrais illustrer mon propos par le duel de deux ordinateurs aux échecs.

Dans les années 1980, un programme soviétique était opposé à un programme américain aux échecs et lors de la partie un des deux programmes joue un coup en mettant sa tour en prise. Les spécialistes de crier au *bug*. Jusqu'à ce

qu'un grand-maître, quelques dizaines d'heures après, annonce que si le programme ne se laisse pas prendre sa tour, il est échec et mat en 9 coups.

Question : l'ordinateur a-t-il joué le meilleur coup ? Oui, répondent certains experts, car même avec une tour en moins, il serait battu en *plus* de 9 coups. Non, répondent, à raison me semble-t-il, les joueurs sensés car :

1) avec une tour en moins on est certain de perdre, et

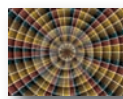
2) s'il a fallu si longtemps à un grand-maître pour voir l'échec et mat en 9 coups, il est probable que l'adversaire humain, et peut-être informatique, ne le trouverait pas.

Donc, si la probabilité que votre adversaire ne voit pas ce coup est strictement inférieure à 1, ne laissez pas votre tour en prise. Le meilleur coup aux échecs et les meilleures décisions dans la vie sont celles qui tiennent compte des goûts, de la force et de la puissance de votre adversaire. C'est évident, et cela se nomme la psychologie. Qui est tout à fait rationnelle.

Conclusion morale : messieurs les technocrates, tenez compte de vos partenaires, ce que ne savent pas faire les programmes et les spécialistes obtus.

Philippe Boulanger

Physicien – Fondateur de la revue *Pour la Science*.



Rubrique coordonnée par Nadine de Vos

Retour sur la fin des dinosaures, la limite Crétacé-Tertiaire et les datations « absolues »

Science et pseudo-sciences (SPS) s'est fait l'écho, dans son n° 295 d'avril 2011, d'un résultat récent sur la datation radio-isotopique d'os de dinosaures de séries sédimentaires continentales des États-Unis. Fassett *et al.* (2011) rapportent la datation directe, faite sur les os d'hadrosaures provenant de deux gisements du bassin de San Juan, datés de part et d'autre (l'un avant, l'autre après) de la limite Crétacé-Tertiaire (ou limite K-T, limite entre l'ère Mésozoïque et l'ère Cénozoïque, anciennement dénommées Secondaire et Tertiaire). Comme le soulignent les auteurs eux-mêmes et comme le met en avant P. Le Vigouroux dans *SPS*, ce qui est remarquable, c'est l'utilisation d'une technique nouvelle (datation U-Pb par ablation laser *in situ*) pour établir des datations absolues d'os de vertébrés continentaux. Quelques points méritent néanmoins d'être commentés.

Datation relative des séries sédimentaires continentales

En stratigraphie moderne, les unités (comme le Paléocène, série à la base du Cénozoïque) sont définies à partir de leur base, dans une coupe de terrain homologuée, datée relativement (et non de façon « absolue » avec des éléments radioactifs comme l'uranium ou le plomb) avec une ou plusieurs espèces fossiles précises qui sont des espèces-index. Ces « étalons » stratigraphiques sont toujours choisis dans des strates sédimentaires (nommées « séries ») marines et non dans des séries continentales. Or, la série étudiée par Fassett *et al.* est continentale et ces auteurs rappellent fort à propos qu'il est très difficile de dater précisément des séries continentales en référence aux séries étalons marines renfermant les « bons » fossiles-index. La question est donc : est-ce que la base du « Ojo Alamo Sandstone » (OAS), la formation géologique étudiée par Fassett *et al.*, renfermant le gisement supérieur à hadrosaures, est bien d'âge paléocène ? Après une brève recherche sur Internet, il apparaît que cet OAS a été initialement attribué au Crétacé sur la base de la présence de dinosaures. Pourquoi ? Parce qu'il « est bien connu » que les dinosaures ont tous disparu à la crise K-T ! Cependant, des arguments palynologiques (pollens) et paléomagnétiques, donc autres que l'existence de dinosaures, sont venus jeter un doute sur l'âge de cet OAS qui serait paléocène¹.

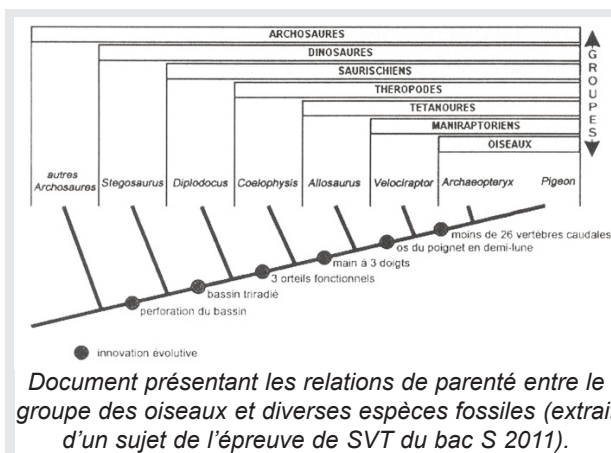


Disparition des dinosaures

Cela fait déjà plusieurs années qu'on entendait dire qu'il y aurait des sites à dinosaures postérieurs (plus récents) à la crise d'extinction en masse dite K-T, donc d'âge tertiaire basal (Paléocène) ; ces sites sont désormais connus et ont été publiés par Fassett et ses collaborateurs. Le fait que de rares dinosaures aient pu survivre à la crise K-T n'est pas étonnant en soi. Ceci ne concerne probablement qu'un petit nombre d'espèces résiduelles. Mais strictement, les dinosaures n'ont pas disparu puisque les oiseaux appartiennent à ce groupe ! Les dinosaures, au sens des grands reptiles de *Jurassic Park*, constituent pour les paléontologues évolutionnistes ce qu'on appelle un « groupe paraphylétique » (un groupe qui ne regroupe pas une entité de descendance) par opposition aux groupes monophylétiques qui, eux, sont constitués d'un ancêtre et de tous ses descendants (par exemple les oiseaux). La disparition d'un groupe d'organismes n'est valide que s'il s'agit d'un groupe monophylétique, sinon il s'agit d'une pseudo-extinction. La disparition des dinosaures est donc une pseudo-extinction.

Datation « absolue » vs datation relative

Nombre de géologues radio-chronologistes considèrent que les datations fondées sur des radio-isotopes sont « absolues », ce qui est un abus de langage. En effet, chacune de ces datations est faite par compa-



raison à un ou plusieurs étalons : une demi-vie plus ou moins connue des éléments radiogéniques concernés, un dosage-type qui a été fait par plusieurs laboratoires. Il s'agit aussi de datations relatives comme celles qui sont fondées sur des fossiles. Le fait qu'avec des radio-éléments on aboutisse à un nombre d'années semble faire plus sérieux mais n'est absolument pas garant d'une plus grande précision. Exemples : certains microfossiles carbonatés ou siliceux du Cénozoïque datent, par compa-

raison à des datations radio-isotopiques, les roches sédimentaires qui les renferment avec une précision allant du quart de million d'années (250 000 ans) à la dizaine de milliers d'années. Par contre, certaines roches magmatiques du Précambrien sont datées radio-chronologiquement de quelques milliards d'années plus ou moins quelques dizaines de millions d'années ! Avec une marge d'erreur de quelques pourcents sur une mesure, plus la date est récente, plus la marge est réduite, comme chacun le sait.

Âges de la limite K-T et du site supérieur à hadrosaure du San Juan Basin

Dans le cas qui nous intéresse ici, la limite K-T est habituellement datée à 65,5 +/- 0,3 Ma (million d'années) BP (« before present ») soit entre 65,2 et 65,8 Ma BP [il y a toujours une marge d'erreur sur toute mesure physique] ; la datation de l'os d'hadrosaure du gisement supérieur de la série du San Juan Basin est de 64,8 +/- 0,9 Ma BP soit entre 63,9 et 65,7 Ma BP. Autrement dit, l'âge possible de l'hadrosaure recouvre l'âge possible de la limite K-T à 0,1 Ma près. L'hadrosaure peut tout aussi bien être antérieur que postérieur à celle-ci. On ne peut donc pas en tirer la conclusion que la datation de l'hadrosaure met en question la survie des dinosaures après la crise K-T. Mais las, c'eût été trop simple. Un autre résultat est tombé récemment sur le site Web du CNRS² : « En analysant par la méthode de la cyclostratigraphie des séries sédimentaires marines prélevées dans les océans Indien et Atlantique lors d'anciennes campagnes océanographiques des programmes internationaux ODP et DSDP, une équipe de chercheurs français et américains a pu démontrer la corrélation des cycles sédimentaires avec les variations des paramètres orbitaux de la Terre et dater la limite Crétacé-Paléogène [K-T], soit à 65,59 +/- 0,07 Ma, soit à 66 +/- 0,07 Ma. Cette deuxième proposition est plus en accord avec les dernières données radiométriques, ce qui recule dans le temps cette limite de 405 000 ans par rapport à ce qui est actuellement admis. » Par conséquent, le site à hadrosaure (64,8 +/- 0,9 Ma) serait finalement plus récent que la limite K-T (66 +/- 0,07 Ma).

Conclusion

La science est affaire de remises en question permanentes, comme l'illustre ce sujet. On retiendra comme points importants que la datation précise des sites à dinosaures est difficile à réaliser et que toutes les datations « absolues » de la géologie comportent des barres d'erreur à ne pas sous-estimer.

Alain Blicck

Directeur de recherches au CNRS, Université Lille 1 – Sciences et Technologies, unité de recherche Géosystèmes

Référence : James E. Fassett, Larry M. Heaman & Antonio Simonetti (2011) : Direct U-Pb dating of Cretaceous and Paleocene dinosaur bones, San Juan Basin, New Mexico. *Geology*, 39 (2), p. 159-162.

¹ http://palaeo-electronica.org/2009_1/149/index.html

² <http://www.cnrs.fr/endirectdeslabos/actus.php?numero=579>

Après Fukushima

Les conséquences sanitaires des accidents nucléaires (Roland Masse)	15
De Tchernobyl à Fukushima, les risques de la radioactivité (André Aurengo)	22
Quelles doses ?	25
Faut-il revoir les normes d'évacuation à la suite d'un accident nucléaire (Hervé Nifenecker).....	27
Perception du risque et nucléaire (Nicolas Gauvrit)	35
Le nuage de Tchernobyl « qui s'arrête à la frontière » : la légende urbaine décryptée à travers <i>Le Figaro</i> de 1986 (Yann Kindo)	39
Les conséquences environnementales (Henri Métivier).....	42
Nouveau record du monde de probabilités (Nicolas Gauvrit)	46
La nécessité d'une perception équilibrée des risques technologiques	50
Jeûner pour combattre la radioactivité ? (Brigitte Axelrad)	51
Peut-on se passer du nucléaire ? (Claude Acket et Pierre Bacher).....	52
Le futur de l'énergie passe par davantage d'innovation (Jean-Luc Dormoy)	64
Où en est la prédiction sismique ? (Georges Jobert).....	74
Notes de lecture	82

Les auteurs s'exprimant dans ce dossier le font à titre personnel, et leurs propos n'engagent pas l'institution ou l'entreprise qui les emploie.



Les conséquences sanitaires des accidents nucléaires

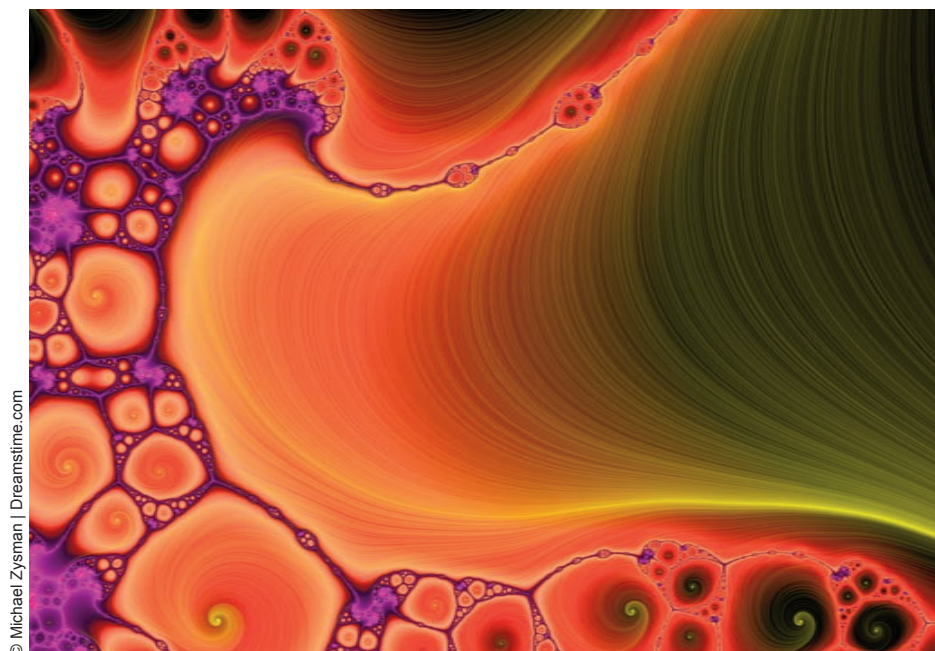
Roland Masse

Roland Masse est membre de l'Académie des technologies et correspondant de l'Académie de médecine. Ancien directeur de l'Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants (OPRI), ancien directeur du Département de Pathologie et toxicologie expérimentale du CEA, il est l'auteur ou le co-auteur de plusieurs centaines d'articles scientifiques sur les effets sanitaires des rayonnements ionisants, des radionucléides et des toxiques environnementaux. Il préside actuellement la Commission des maladies professionnelles du ministère du travail.



Il n'existe aucune exposition de l'homme aux dangers environnementaux qui ait justifié un effort de recherche aussi prolongé et aussi exhaustif que celle résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants. Les diverses origines de cette exposition, naturelles, médicales, professionnelles, militaires et accidentelles, sont revues en permanence et leurs conséquences sont identifiées par une communauté scientifique présente dans tous les pays développés. L'ONU se charge annuellement de faire la synthèse des données depuis 1956 par son comité UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). Les résultats des recherches et des observations publiés et évalués par les pairs sont convergents. Il existe des divergences d'appréciation sur la légitimité d'extrapolation en dehors du champ couvert par les données acquises, notamment pour l'évaluation de risques résiduels imputables à de très faibles expositions, mais l'ensemble de la communauté scientifique compétente convient que, s'ils existent, ces risques ne peuvent être que très faibles, inaccessibles en fait à l'observation épidémiologique.

Il n'y a rien de mystérieux aux effets des rayonnements : en fonction de la dose (voir l'article d'André Aurengo dans ce dossier), soit ils tuent suffisamment de cellules dans un tissu et les cellules souches ne peuvent compenser les pertes subies, dans ce cas il y a perte de l'intégrité tissulaire avec des conséquences qui sont variables selon les tissus, soit ils n'en tuent pas assez et le tissu est réparé *ad integrum*, accompagné ou non de réactions inflammatoires. On ne connaît pas d'effets des rayonnements qui modifieraient de manière durable la fonction des tissus sans perturbation de leur intégrité, avec l'exception possible du système nerveux central pour les doses élevées, supérieures au Gy, comme le sont les doses utilisées pour le traitement des cancers en radiothérapie.



© Michael Zysman | Dreamstime.com

Parallèlement aux effets létaux, des lésions cellulaires non létales sont induites dans les tissus. Elles résultent de mutations et de modifications de l'expression de multiples gènes, soit directement sous l'effet du rayonnement, soit par radiolyse de l'eau et formation de radicaux toxiques H , OH et de leurs produits de réaction dans le milieu, soit indirectement au travers d'une réponse biochimique à ces événements initiaux influençant les cellules voisines par divers messages d'alerte. Ces altérations, qui ne perturbent pas immédiatement l'intégrité tissulaire, sont non spécifiques car elles sont également présentes sans exposition aux rayonnements, du fait du métabolisme cellulaire qui génère les mêmes radicaux toxiques. Ce sont des facteurs importants du vieillissement et de la cancérisation. Les relations entre, d'une part, l'énergie totale des rayonnements absorbée dans les tissus et la vitesse à laquelle se fait son dépôt et, d'autre part, les effets biologiques qui s'ensuivent, sont très complexes et essentiellement non linéaires. Ces effets peuvent affecter tous les tissus en provoquant des altérations de l'ADN dont résultent des mutations stables ou instables impliquant diverses pathologies potentielles. Mais, chez l'homme, on ne connaît pas de mutations affectant ovocytes ou spermatozoïdes qui transmettent des maladies génétiques. Ces effets n'ont été observés que chez l'animal.

Après ce rapide rappel, il est difficile de comprendre pourquoi on voit réapparaître après chaque drame affectant l'industrie nucléaire cette accusation que l'on ignorerait la nature et l'amplitude des risques sanitaires, que seul l'examen empirique de la situation créée permettrait d'appréhender. Avec le risque d'attribuer à la situation observée l'ensemble des maux dont souffrent les populations depuis l'accident. Cette atti-

tude n'est pas fondée sur la connaissance des mécanismes lésionnels ni sur les leçons de l'épidémiologie causale. En fait, elle postule que la communauté scientifique impliquée dans leur étude en cacherait ou dénaturerait les résultats.

La controverse de Tchernobyl

Depuis l'accident, le suivi des conséquences de Tchernobyl fait l'objet de rapports détaillés de l'UNSCEAR. Le rapport de 2000 avait suscité des initiatives diverses de la communauté scientifique après que Kofi Annan eut déclaré en avril : « *Tchernobyl est un mot que l'on voudrait pouvoir effacer de notre mémoire, mais 7 millions de nos amis humains ne peuvent s'offrir le luxe d'un tel oubli. Ils souffrent quotidiennement, conséquence de ce qui est arrivé* ». Le Secrétaire général de l'ONU incitait alors l'OCHA (Office for the Coordination of Human Affairs) à organiser à Kiev en 2001, un colloque sur ce sujet avec les organismes scientifiques, les autorités de la région et les parties prenantes. L'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique, organisme sous l'égide de l'ONU basé à Vienne), poursuivit cette action en réunissant à partir de 2002 le Forum Tchernobyl, dont les conclusions en matière sanitaire furent publiées par l'OMS en 2006.

Malgré les affirmations de groupes militants, nombreux à Kiev, sur un lien direct entre l'exposition aux retombées de Tchernobyl et de graves conséquences sur la morbidité et la mortalité humaines, rien de cela ne devait convaincre les experts scientifiques. Malgré la constatation évidente d'une détérioration sanitaire des populations affectées, les exigences de la médecine factuelle (EBM – *Evidence based-medicine*) pour établir une relation de cause à effet n'étaient pas satisfaites, en particulier en raison d'absence totale de relation entre la dose et l'effet.

L'AIEA et l'OMS mentent-elles ?

Les conclusions du forum Tchernobyl en 2006 reconnaissaient la responsabilité des retombées sur 5000 cancers de la thyroïde de l'enfant mais excluaient tout lien entre l'accident et les autres pathologies, à l'exception des victimes d'irradiation aiguë chez les pompiers lors des premières interventions sur site. L'OMS fut alors accusée par les parties prenantes d'être inféodée à l'Agence de Vienne, elle-même obligée de soutenir le développement du nucléaire. Et l'OMS mentait pour cacher le désastre, déclaraient-elles.

La polémique ne cessa pas : Yablokov et al., obtinrent en 2009 des Annales de l'Académie des Sciences de New York l'édition de publications « censées rétablir la vérité » [1]. Ces documents rassemblent de manière hétéroclite des données factuelles sur des mesures environnementales et des liens non contrôlables, invraisemblables pour tout radiobiologiste, avec les pathologies les plus diverses, sur des effectifs le plus souvent restreints qui, par la magie de l'extrapolation à de grands effectifs, aboutissent au désastre annoncé (voir [2] pour une analyse critique).

Alison Katz, antinucléaire convaincue, résume ainsi l'ouvrage de Yablokov et al. dans *Le Monde Diplomatique* de décembre 2010 : « le nombre de décès à travers le monde attribuables aux retombées de l'accident, entre 1986 et 2004, est de 985 000 [...]. Des milliers d'études ont mis en évidence dans les pays touchés une augmentation sensible de tous les types de cancer, ainsi que des maladies des voies respiratoires, des affections cardiovasculaires, gastro-intestinales, génito-urinaires, endocriniennes, immunitaires, des atteintes des systèmes lymphatiques et nerveux, de la mortalité prénatale, périnatale et infantile, des avortements spontanés, des malformations et anomalies génétiques, des perturbations ou des retards du développement mental, des maladies neuropsychologiques et des cas de cécité. »

L'objectif était de créer le doute dans l'opinion en ramenant la controverse à un désaccord d'experts. Le choix d'une publication couverte par une académie est habile ; il est difficile d'imaginer pour l'opinion qu'une académie ne soit pas une garantie de sérieux scientifique, puisque les experts officiels eux-mêmes se réclament de l'autorité académique. Néanmoins, pour les scientifiques, l'Académie des sciences de New York a un statut particulier, elle n'élit pas ses membres et ses publications ne sont pas revues par les pairs, ce qui revient à en réduire notablement l'importance.

Tchernobyl : une actualisation des connaissances en 2011

Il n'est pas possible de mettre sur le même plan la publication de Yablokov et al. avec ce rapport des Nations Unies. Les rapports de l'UNSCEAR sont la référence pour les radiobiologistes. Cela n'exclut pas des nuances d'interprétation sur certains points, mais tout scientifique peut en signer les paragraphes sans renier son exigence d'honnêteté et de rationalité scientifique. C'est une publication revue par les pairs, élaborée par un radiobiologiste reconnu, mûrie et discutée, phrase après phrase, pendant au moins quatre ans lors des réunions annuelles de l'organisme à Vienne, bénéficiant de la compétence d'experts physiciens et biologistes nommés par les gouvernements des vingt et un États désignés par l'Assemblée générale de l'ONU. Chaque version préliminaire du rapport est évaluée dans chaque pays par un groupe de travail national avant la séance de discussion à Vienne.

Il était néanmoins important de suivre l'évolution des connaissances. Celle-ci est présentée dans un nouveau rapport de l'UNSCEAR rendu public en 2011 [3].

La première conclusion est que, mis à part certains points de détail, les conclusions du rapport de 2000 sont confirmées, comme elles l'avaient été par l'OMS en 2006.

En matière d'exposition des populations, des précisions importantes ont été fournies. Pour les liquidateurs, au nombre définitif de 530.000, 50 % des doses individuelles ont pu être validées. La dose moyenne affectée aux liquidateurs est de 117 mSv. C'est une dose plus élevée qu'attendue. De ce fait, le groupe des liquidateurs de Tchernobyl devient le groupe humain le



plus important pour l'évaluation des effets de l'irradiation chez l'homme, à un niveau d'exposition où l'on perd la trace de l'effet cancérogène des radiations, puisqu'actuellement aucun effet n'est établi par l'épidémiologie au dessous de 100 mSv.

Peu de modifications affectent les réévaluations des doses reçues par les populations évacuées, par les habitants des zones contaminées (plus de 37.000 Bq/m²) et au reste des populations de l'ex-URSS.

Les doses affectées aux populations distantes sont revues significativement à la baisse.

Le syndrome aigu d'irradiation

La réévaluation en 2011 des conséquences de l'accident confirme les tendances observées précédemment. Dans le groupe des pompiers intervenant sur le site en avril et mai 1986, 237 ont présenté des signes de syndrome aigu d'irradiation (ARS) et 134 ont vu le diagnostic confirmé (recherche des signes biologiques d'irradiation tels que la baisse des plaquettes, la diminution des lymphocytes, la fièvre, etc.).

Dans ce groupe ARS confirmé (134 personnes), 28 parmi les plus exposées sont mortes dans les premières semaines, les plus nombreux avaient des brûlures radiologiques particulièrement graves. 19 patients supplémentaires étaient décédés en 2006, et 6 ont développé un cancer. D'autres ont subi des conséquences liées à l'atteinte de la moelle osseuse, d'autres, enfin, des évolutions sans lien direct établi avec leur exposition.

Dans le groupe des ARS non confirmés (103 personnes), 14 décès de causes diverses ont été observés. Les suites des brûlures cutanées sont sévères, mais il n'a pas été observé de cancers sur brûlures. L'excès de cataractes est confirmé, il est aussi observé dans le groupe des liquidateurs en général et suspecté dans la population générale jeune, bien que d'autres causes puissent être évoquées.

Les effets cancérogènes

Pour l'ensemble des liquidateurs, les effets cancérogènes ne sont pas actuellement confirmés, bien qu'un excès de leucémies apparaisse dans certains sous-groupes.



© Skypixel | Dreamstime.com

L'effet indiscutable des retombées d'iode sur les cancers de la thyroïde de l'enfant persiste, et ce sont près de 7 000 cas de ces cancers qui sont actuellement enregistrés pour des doses moyennes à la thyroïde évaluées à 500 mSv. Pour les autres cancers, y compris les leucémies, il n'y a toujours pas la preuve d'un lien entre les retombées et les cancers des populations affectées. Il est significatif de constater que pour la première fois un document de l'UNSCEAR se refuse à quantifier des risques éventuels à partir de données observées à de forts niveaux de dose pour prévoir les effets au niveau des faibles doses rencontrées dans l'environnement. En ce domaine, il se dissocie de l'attitude de l'OMS et de l'IARC (International Agency for the Research on Cancer) qui évaluaient le nombre de morts par cancer théoriquement attribuables (entre 4.000 et 50.000 selon que l'on considère les zones de retombées ou l'ensemble du monde...) en multipliant les doses collectives par un coefficient de risque unique par unité de dose, si faible que soit la dose concernée. Il y a là un changement de point de vue qui témoigne du scepticisme croissant de la communauté scientifique sur l'hypothèse dite de linéarité sans seuil, à mesure que la biologie du cancer s'éclaire et que l'importance des interactions cellulaires et tissulaires doses dépendantes, rendent très peu vraisemblable la notion de linéarité.

Les autres pathologies

La possibilité d'un lien entre exposition aux rayonnements et maladies cardio-vasculaires et cérébro-vasculaires a été longuement évoquée, pour les liquidateurs en priorité, mais aussi pour les populations. Bien que cette hypothèse ne puisse être définitivement éliminée dans le groupe de liquidateurs fortement exposés, l'absence de prise en compte du tabagisme, de l'obésité, de l'alcoolisme et du stress rendent la corrélation très fragile. Aucun lien ne peut être établi entre les doses délivrées aux résidants et les pathologies vasculaires.

Il est néanmoins incontestable que les populations affectées souffrent de l'accident encore 25 ans après. Le taux de morbidité (personnes atteintes) est élevé, la mortalité est de 1,5 %, le taux de natalité de 0,9 %, l'espérance

de vie ne dépasse pas 67 ans ; il s'agit d'une société en désarroi dont les causes identifiées en 2001 par le colloque de Kiev et le Forum de Tchernobyl insistaient sur la pauvreté, les carences, les pollutions diverses et l'angoisse d'un futur incertain.

La gestion de la crise

Cette situation, qui est celle d'un stress post-traumatique quotidien, entretenue par la pollution radioactive du milieu, est très préoccupante. Dans le coût de l'accident nucléaire, il se peut que ce stress ait une part déterminante, mais les remèdes que l'on peut y apporter paraissent dérisoires, tant il faudrait, pour en surmonter les effets, que la population retrouve la confiance dans ses institutions, dans ses experts. Or, c'est exactement ce qui est remis en cause par le développement de la crise, jusqu'à la caricature la plus achevée représentée par les thèses dites « conspirationnistes » (alléguant un complot du silence et du mensonge). Pour pouvoir l'éviter, il faudrait, comme le préconise Patrick Lagadec [4], anticiper l'imprévisible et adapter la communication en ayant toujours en tête la nécessité de conserver la confiance du public envers les autorités qui la protègent. Un exercice que nous ne maîtrisons manifestement pas encore.

Références

[1] « Chernobyl Consequences of the Catastrophe for People and the Environment » 2009. Annales de l'académie des sciences de New-York (référence)

[2] Charles M, Radiat Prot Dosimetry, 2010, 141, 101-104 ; Jargin SV Radiat Env Biophys 2010, 49, 743-745 ; Monbiot, G The guardian 2011, 5 avril : Evidence Meltdown.

[3]. « Health effects due to radiation from the Chernobyl accident » United Nations New York 2011 UNSCEAR Annexe D au rapport de 2008.

[4] Patrick Lagadec, *La gestion des crises*. www.patricklagadec.net/fr/pdf/integral_livre1.pdf

Et Fukushima ?

Avec le tsunami du 11 mars 2011, suivi de l'accident de Fukushima et la ruine de 6 centrales nucléaires, mais une fuite de radioactivité maintenue au 1/10^e de Tchernobyl, nous voici à nouveau confrontés à un déluge d'informations alarmistes propulsant dans l'horreur la radioactivité qui n'a tué personne, dépassant les conséquences directes du tsunami qui a volé la vie de dizaines de milliers de victimes. À nouveau, on assiste aux réactions étonnantes d'achats de compteurs Geiger ou de prise d'iode à des milliers de kilomètres du pays sinistré. Aucune action pédagogique au bénéfice de l'opinion n'a été, hélas, concluante depuis Tchernobyl. Tout reste à faire dans ce domaine. ■

Les retombées de Tchernobyl en France

L'Institut de veille sanitaire (InVS) vient de publier un rapport détaillé analysant l'évolution de l'incidence du cancer de la thyroïde en France métropolitaine depuis 1982 (www.invs.sante.fr). On peut en particulier relever que « l'augmentation de l'incidence est observée depuis le début de la période d'étude (1982) », soit 4 ans avant l'accident de Tchernobyl. La principale explication mise en avant dans le rapport est l'évolution des pratiques médicales diagnostiques : « grâce à des examens de plus en plus complets et précoces [...] permettant de mieux détecter les cancers [...] qui n'évoluent pas toujours vers une expression clinique ». À propos de l'accident de Tchernobyl, le rapport indique que « les études d'évaluation quantitatives de risque sanitaire, associées à la surveillance des évolutions temporelles et des répartitions spatiales du cancer de la thyroïde, ont permis d'exclure un impact important des retombées [...] en France ».

De Tchernobyl à Fukushima, les risques de la radioactivité

André Aurengo

André Aurengo, spécialiste des pathologies thyroïdiennes, est professeur de biophysique à la Faculté de médecine Pierre et Marie Curie (Paris 6) et dirige le Service de Médecine nucléaire du Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière depuis 1989. Il est également membre de l'Académie nationale de médecine depuis février 2005 et du Haut Conseil de la Santé Publique depuis février 2007, a été président du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France et président de la Société Française de Radioprotection. Il a été administrateur d'EDF, représentant l'État. André Aurengo est membre du comité de parrainage de l'AFIS.



Rien de plus naturel que la radioactivité. C'est d'un bain de radioactivité que sont nées les premières cellules vivantes. Notre planète lui doit sa chaleur, source de vie, et chaque seconde, huit mille atomes de potassium-40 et de carbone-14 se désintègrent dans notre corps. Ses applications médicales et industrielles ont largement amélioré nos conditions de vie, mais nous avons appris que la radioactivité, mal maîtrisée ou utilisée à des fins non pacifiques, peut nuire gravement à la santé de l'homme. Depuis Hiroshima, radioactivité rime avec danger. Après Tchernobyl, et aujourd'hui Fukushima, le nucléaire fait peur. Pourtant, les effets du nucléaire sur la santé sont bien connus et contrôlés dès la moindre alerte, sachant que le poison, encore une fois, c'est la dose. Celle-ci est calculée en milli-sievert (mSv), unité qui combine la quantité d'énergie déposée et la sensibilité des tissus. Par exemple, à Paris, l'irradiation naturelle entraîne une dose d'environ 2,5 mSv par an.

Les effets de la radioactivité sont d'autant plus graves et précoces que la dose est plus grande. En cas d'exposition rapide de tout l'organisme, les signes avant-coureurs – nausées, vomissements – se manifestent vers 700 mSv. Une dose de 4 500 mSv est mortelle dans 50 % des cas par destruction de la moelle osseuse. Au-delà de 6 000 mSv, la dose est presque toujours mortelle, en quelques heures par œdème cérébral ou en quelques jours par destruction de la paroi du tube digestif.

À Tchernobyl, 237 liquidateurs ont eu une irradiation massive entraînant des signes cliniques regroupés sous le nom de Syndrome Aigu des Rayonnements ; 28 sont morts en quelques semaines et depuis 1986, 33 décès supplémentaires sont survenus. À Fukushima, le débit de dose a

atteint 400 mSv par heure en certains endroits des centrales accidentées ; il est périlleux de travailler dans de telles conditions, même pour un bref laps de temps. Les autorités ont fixé la dose maximale pour les intervenants à 250 mSv. On a enregistré 29 cas de dose dépassant 100 mSv, dont trois au delà de 170 mSv. Aucune dose n'a atteint 250 mSv et il n'y a pas eu de cas de Syndrome Aigu des Rayonnements.



© Tepco. Intervention sur le site de la centrale de Daiichi.

À plus long terme, on observe essentiellement des cancers, apparemment aléatoires, dont la probabilité augmente avec la dose et dont la gravité dépend du cancer en cause. Après Hiroshima et Nagasaki, la surveillance régulière d'environ 90 000 survivants a montré, pour les personnes exposées à au moins 100 mSv, un pic du nombre de leucémies 6 à 7 ans après le bombardement et, des années plus tard, une augmentation du nombre de cancers de nombreux organes. En 2000, les décès en excès parmi ces survivants étaient de 570 par cancer et 250 par maladies non cancéreuses (cardio-vasculaires, respiratoires, digestives) dont l'origine est incertaine.

Après Tchernobyl, la contamination par les atomes d'iodes radioactifs (iode 131 et 132) a entraîné en ex-URSS une véritable épidémie de cancers thyroïdiens chez des enfants qui, pour la plupart, avaient moins de dix ans lors de l'accident. Ces cancers thyroïdiens ne surviennent pratiquement que chez les jeunes enfants, pour des doses à la thyroïde d'au moins 100 mSv. En dehors de ces cas, on n'a observé aucune augmentation significative de l'incidence des cancers, ni chez les liquidateurs, ni dans les populations exposées, comme vient de le rappeler le rapport 2011 de l'UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation¹) sur les conséquences de cet accident. À Fukushima, en dehors des abords de la centrale, on estime qu'en restant exposé dehors sans précaution du 18 au 22 mars, un enfant de un an aurait reçu au plus 10 mSv à la thyroïde. Mis à part peut-être certains intervenants sur la centrale, si les zones où le débit de dose reste élevé sont rapidement évacuées et la consommation d'eau et d'aliments significativement contaminés est évitée, on peut raisonnablement espérer que l'accident de Fukushima ne fera que très peu de victimes, voire aucune, du fait de la radioactivité. En France, distante de 15 000 km sous le vent (2200 km pour Tchernobyl), le risque est négligeable.

¹ <http://www.unscear.org/unscear/fr/chernobyl.html>

En effet, à moins de 100 mSv, les mécanismes de défense de l'organisme contre ces rayonnements sont différents et proportionnellement beaucoup plus efficaces que contre de fortes doses, et les études épidémiologiques ne montrent pas d'augmentation significative du risque de cancer. On ne peut donc pas estimer le nombre des victimes d'un accident nucléaire en multipliant des populations considérables par des doses infimes et en supposant que le risque est strictement proportionnel à la dose, si faible soit-elle.

Contrairement à une rumeur bien établie, des malformations congénitales non héréditaires ne surviennent qu'au-delà d'une dose au fœtus comprise entre 100 et 200 mSv, avec une sensibilité maximale du neuvième jour au début de la neuvième semaine, au moment où se forment les organes. Quant aux malformations héréditaires, transmises à la descendance, elles n'ont été mises en évidence que chez l'animal, jamais dans l'espèce humaine.

Enfin, il ne faut pas sous-estimer les risques psychosociaux indirects. Après Tchernobyl, environ 115 000 personnes ont été évacuées et ont perdu leur travail, leur habitation, leurs repères. Beaucoup ont souffert de dépression, sinistrose, addictions à l'alcool et au tabac, et la natalité a décliné notablement, faute de désir d'enfant. Or, en réalité, plusieurs dizaines de milliers de ces personnes déplacées n'auraient pas été exposées à des doses dangereuses en restant chez elles. C'est leur évacuation qui a nui à leur santé. Pour éviter que cela se reproduise à Fukushima, la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Ionisants (CIPR) a fixé à 20 mSv par an le seuil d'exposition auquel une évacuation était justifiée. Dans le cas contraire, l'évacuation n'est pas nécessaire et la CIPR recommande de diminuer l'exposition dans les années qui viennent, avec un objectif de 1 mSv par an ajouté à l'exposition naturelle. Le MEXT (Ministère japonais de l'éducation, de la culture, du sport, des sciences et des technologies) a établi des cartes qui montrent que sur la base de ce seuil, une zone supplémentaire située au nord-ouest des centrales devrait être évacuée, mais que des zones déjà évacuées pourraient être à nouveau habitées. La gestion de l'après-crise sera longue, centrée sur la surveillance des personnes exposées, de l'environnement, des aliments et boissons, la réhabilitation des territoires contaminés et la prise en charge des personnes déplacées. Contrairement à l'Ukraine en 1986, le Japon peut compter sur sa technologie, sa puissance économique et la pugnacité de sa population. C'est toute la différence. ■

Rédigé le 29 mai 2011

Commandez les anciens numéros de *Sciences et pseudo-sciences* sur notre site Internet www.pseudo-sciences.org

Quelles doses ?

Le journal *Scientific American*¹ a récemment publié un tableau présentant les ordres de grandeurs des doses que peut recevoir un corps humain dans différentes situations.

Dose moyenne absorbée par le corps entier (en millisieverts)

Scanner sécurité d'un aéroport :.....	0,0001 mSv
Cuisine par utilisation du gaz naturel :.....	0,0004 mSv
Radiographie d'un bras :.....	0,001 mSv
Densité osseuse par rayon X :.....	0.001 mSv
Trajet sur autoroute (par an) :	0,004 mSv
Radiographie dentaire :.....	0,005 mSv
Vol New-York-San Francisco (5 heures) :.....	0.017 mSv
Mammographie :.....	0.4 mSv
Intervention sur le site de Fukushima (par heure)	1.0 mSv
Tomodensitométrie :.....	2.0 mSv
Radioactivité naturelle (aux USA) par an :	3,1 mSv
Scanner de la thyroïde :.....	4.8 mSv
Scanner du cerveau :.....	6.9 mSv
Scanner du pelvis :	10 mSv
Angiographie coronaire :.....	16 mSv
Astronaute dans une station spatiale (un an) :.....	72 mSv

L'irradiation naturelle est très fortement variable selon les régions du globe. En France, elle est en moyenne de 2,4 mSv par an, mais elle atteint 132 mSv à Ramsar en Iran (avec des pics à 250 mSv) et entre 15 et 75 mSv dans la région du Kérala en Inde (source *Sauvons-le-climat*²).



© Bowie15 | Dreamstime.com

Concernant les examens médicaux, l'Autorité de Sécurité Nucléaire (ASN) s'est récemment inquiétée de l'augmentation préoccupante, en France, des doses de rayonnements ionisants délivrées par l'imagerie médicale³. La dose moyenne par habitant du fait d'expositions médicales s'établit à 1,3 mSv par an, en augmentation de près de 50 % depuis 2002. ■

¹ <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=graphic-science-radiation-exposure>

² http://ex.sauvonsleclimat.org/new/spip/IMG/pdf/faibles_doses_texte.pdf

³ <http://www.asn.fr/index.php/S-informer/Actualites/2011/Doses-de-rayonnements-ionisants-delivrees-par-l-imagerie-medicale>

Le becquerel : la mesure de la radioactivité

La radioactivité, qu'elle soit naturelle ou artificielle, se mesure en nombre de désintégrations par seconde. Un becquerel (Bq) correspond à une désintégration par seconde. Ce phénomène, découvert par le physicien français Henri Becquerel en 1896 sur l'uranium et confirmé par Marie Curie sur le radium, voit un noyau atomique se désintégrer et se transformer en plusieurs autres noyaux. La masse perdue est émise sous forme de rayonnements (appelés selon les cas, rayons alpha, bêta ou gamma).

Le becquerel ne fait que mesurer la radioactivité. Ses effets sur la santé dépendent des quantités reçues (voir la définition du gray, ci-dessous) et du type de rayons émis et des tissus touchés (voir la définition du sievert ci-dessous). La radioactivité naturelle de l'eau douce est de l'ordre de 0,1 Bq par litre, celle du corps humain de l'ordre de 130 Bq par kilogramme, celles de roches granitiques de l'ordre de 1000 Bq par kilogramme.

Le gray : la mesure de la dose absorbée

Lorsqu'ils rencontrent de la matière, les rayonnements ionisants entrent en collision avec les atomes qui la constituent. Au cours de ces interactions, ils déposent une partie ou la totalité de leur énergie. **La dose absorbée** (exprimée en gray – Gy) est définie par le rapport de cette énergie déposée sur la masse de matière. Un gray correspond à une énergie déposée de 1 Joule dans 1 kilogramme de matière.

Le sievert : l'évaluation du risque biologique

Afin d'exprimer dans une même unité le risque de survenue des effets stochastiques (effets qui apparaissent de façon aléatoire, la cause n'entraînant pas toujours l'effet, auxquels on attache une probabilité de survenue) associés à l'ensemble des situations d'exposition possibles, les physiciens ont développé un indicateur appelé « **dose efficace** », dont l'unité de mesure est le sievert (Sv), du nom du physicien suédois qui fut l'un des pionniers de la protection contre les rayonnements ionisants. La dose efficace est calculée à partir de la dose (exprimée en Gy) absorbée par les différents tissus et organes exposés, en appliquant des facteurs de pondération qui tiennent compte du type de rayonnement (alpha, bêta, gamma, X, neutrons) et de la sensibilité spécifique des organes ou tissus. Par définition, la dose efficace, exprimée en Sv, ne peut être utilisée que pour évaluer le risque d'apparition d'effets stochastiques chez l'homme, et ne peut être employée ni pour les effets aigus ni pour les effets sur la faune et la flore.

Les facteurs de pondération des rayonnements

Photons (gamma, X) : 1 ; Electrons (beta) : 1 ; Neutrons : 5 à 20 ; Protons : 5 ; Particules alpha, ions lourds : 20.

Les facteurs de pondération des organes et des tissus

Moelle osseuse (rouge), côlon, poumons, estomac, sein, tissus restants :	0,12
Gonades :	0,08
Vessie, œsophage, foie, thyroïde :	0,04
Surface osseuse, cerveau, glandes salivaires, peau :	0,01

Des modèles de corps humains permettent de passer à la dose absorbée par organe.

Sources :

<http://www.sievert-system.org>

http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/collection-ouvrages-IRSN/Documents/CIPR_103.pdf

Faut-il revoir les normes d'évacuation à la suite d'un accident nucléaire ?

Hervé Nifenecker

Hervé Nifenecker est physicien nucléaire et président d'honneur de *Sauvons le Climat*. Il est auteur de plusieurs livres sur l'énergie, dont *Le nucléaire : un choix raisonnable ?*, aux éditions EDP Sciences, 2011.

<http://www.sauvonsleclimat.org/>



Un vieux Japonais s'est suicidé à la suite de l'obligation qui lui avait été faite de quitter son logement situé dans la zone d'exclusion autour de Fukushima. Des personnes âgées sont revenues habiter la zone d'exclusion autour de Tchernobyl et s'entêtent à vouloir vivre là où ils ont toujours vécu, même dans des conditions très difficiles, dans des logements extrêmement dégradés, qu'ils n'ont pas le droit de réparer. Ces exemples invitent à examiner les pratiques actuelles de gestion post-accidentelles des catastrophes nucléaires.

Une application trop rigide de normes excessivement strictes ne rend-elle pas les situations post-accidentelles encore plus dures pour la population, sans bénéfice sanitaire perceptible ?

Par ailleurs, s'il est assez facile d'évaluer les avantages sanitaires de mesures d'évacuation ou de relocalisation, il est beaucoup plus difficile d'en évaluer les inconvénients, qui relèvent souvent du stress consécutif à la perte des repères de vie, à l'anxiété et à la peur de l'avenir. Toute évaluation de ces inconvénients devrait donner la parole aux victimes potentielles.

Remarquons tout d'abord que les évacuations « nucléaires » ont des caractéristiques particulières. En effet, les autres types d'évacuation ont des durées habituellement limitées dans le temps, ou peuvent, dans certains cas, être définitives pour des raisons compréhensibles pour tous. Par exemple, lors de la tempête Xynthia de fin février 2010, un quartier entier de la ville de La Faute-sur-Mer, comprenant 577 maisons, a été submergé et 29 personnes furent noyées. Un nouvel épisode ne pouvant être exclu, toutes les maisons ont été rachetées par l'État pour être rasées.

Les évacuations « nucléaires » sont faites, quant à elles, en fonction de normes à caractère administratif, dont la plupart



**Le nucléaire :
un choix raisonnable ?**
Éditions EDP Sciences, 2011.
Hervé Nifenecker

Voir la note de lecture page 82.



des intéressés ne comprennent pas les motivations. Les évacués sont généralement considérés comme n'ayant ni le choix, ni voix au chapitre. Le sentiment d'impuissance qui peut découler de cette situation est une épreuve supplémentaire, qui s'ajoute aux difficultés objectives de la situation des évacués.

Une mesure intuitive de l'effet des radiations

Pour des doses inférieures au Sievert mais largement supérieures à la radioactivité naturelle, l'effet principal des radiations est cancérogène. La dangerosité des substances ou radiations cancérogènes est habituellement mesurée par la perte d'espérance de vie qu'entraîne le fait d'y être exposé.

Ainsi l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET) a-t-elle estimé que la pollution atmosphérique urbaine conduisait à une réduction de plus de 9 mois de l'espérance de vie d'un adulte de 30 ans [1,2]¹.

Pour les fumeurs réguliers qui ont commencé à fumer à l'adolescence, on constate [3] que la perte d'espérance de vie est de 2 à 3 ans pour 10 cigarettes par jour et de 8 à 10 ans pour 40 cigarettes par jour. La perte d'espérance de vie due au tabagisme passif est de l'ordre de 1 mois.

L'influence sur l'espérance de vie est devenue un moyen standard pour évaluer la dangerosité d'une pratique ou de l'ingestion d'un toxique. Or, ce moyen n'est qu'exceptionnellement utilisé quand il s'agit du risque lié à l'irradiation. On parle plutôt de Sieverts et de Becquerels, et de la probabilité qu'à un Sievert de provoquer un cancer mortel. C'est un langage incompréhensible par la majorité de nos concitoyens, et donc favorable à toutes sortes de manipulations. Ainsi en est-il de celle qui consiste à appliquer une relation dose-effet linéaire à de très grands nombres, de façon à obtenir par le calcul un grand nombre de victimes.

C'est donc pour rendre plus intuitive la compréhension du risque radioactif et rendre plus difficiles les manipulations que nous proposons d'utiliser, comme cela est fait pour de très nombreux autres cas, la réduction de l'espérance de vie comme mesure de l'effet sanitaire des irradiations.

¹ Pour les personnes âgées de plus de 30 ans, dans le cadre du projet Aphekom, une estimation de gain d'espérance de vie de 5,8 mois pourrait être obtenue à Paris en ramenant la densité de particules fines PM_{2,5} d'une densité atmosphérique de 16,4 à 10 µg/m³. Voir le « Summary report of the Aphekom project 2008-2011 » et le Communiqué de presse INVS du 2 mars 2011. Aphekom apporte un nouvel éclairage sur les effets sanitaires et économiques de la pollution urbaine en Europe.

La RLSS (relation linéaire sans seuil)

Par l'analyse des nombres de cancers observés sur les survivants d'Hiroshima-Nagasaki, en excès sur le nombre attendu de cancers en absence d'irradiation, la CIPR (Commission Internationale de Protection contre les Radiations) a proposé [4] une relation linéaire (c'est-à-dire proportionnelle) entre la dose de radiation reçue et la probabilité de développer un cancer mortel. Toutefois, cette relation n'a été statistiquement établie que pour des doses reçues supérieures à 100 milliSievert (mSv) pour les adultes et 50 mSv pour les enfants.

La CIPR a insisté sur le fait que, pour de faibles doses d'irradiation, la relation linéaire pouvait être utilisée comme moyen d'établir des normes à ne pas dépasser, mais en aucun cas comme moyen de calculer des nombres de cancers et de morts éventuelles en résultant.

De nombreux arguments épidémiologiques et biologiques incitent à penser que les irradiations inférieures à 100 mSv en plus de l'irradiation naturelle, n'ont pas d'effet néfaste perceptible sur la santé. L'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique) et la CIPR introduisent, en pratique, un tel seuil, puisque c'est pour des doses délivrées supérieures à 100 mSv/an qu'elles estiment nécessaire de prendre des mesures.

Pour estimer la réduction de l'espérance de vie consécutive à une irradiation, comparons les résultats correspondant à l'application de la relation linéaire sans seuil de la CIPR à une relation incluant un seuil d'innocuité que nous avons pris égal à 100 mSv. Quelques exemples de résultats de ce calcul² sont donnés sur le Tableau 1.

Dose reçue (en mSv)	Perte moyenne pour un nouveau né (en mois)		Perte moyenne à 65 ans (en mois)	
	avec seuil	sans seuil	avec seuil	sans seuil
1	0	0,034	0	0,002
10	0	0,34	0	0,02
100	0	3,4	0	0,24
1000	34	67	1,9	2,4

Tableau 1 : Quelques résultats du calcul de perte moyenne d'espérance de vie effectué en utilisant la relation linéaire sans seuil ou une relation avec un seuil de 100 mSv.

Pour simplifier, on a supposé ici une espérance de vie constante et égale à 80 ans. En réalité, l'espérance de vie dépend de l'âge. Ainsi, une espérance de vie à la naissance de 80 ans peut devenir une espérance de vie de 87 ans pour un individu de 80 ans.

² Le programme mettant en œuvre cette approche est disponible à l'adresse Internet http://vizille-sciences.org/esperance_vie.php

Les faibles doses appliquées à de très grandes populations

L'utilisation de la loi RLSS pour calculer le nombre de victimes de faibles irradiations mène à des conclusions aberrantes. Ainsi, une probabilité, aussi faible soit-elle, multipliée par un très grand nombre, donne un très grand nombre. Prenons l'exemple de la radioactivité naturelle moyenne de 3 mSv/an. Pour 60 millions d'habitants, on arriverait à 9 000 décès annuels ; et pour 6 milliards, à 900 000. Si on étend le calcul sur une période de 100 ans, on arrive à 900 000 décès pour la France et à 90 millions pour le monde.

De tels chiffres cités sans précaution paraissent énormes et justifieraient des mesures énergiques, comme de déménager les habitants des zones les plus irradiées (Bretagne, Corse, Massif central, régions de montagne) vers celles qui le sont moins. Ainsi pourrait-on éviter le tiers des décès « théoriques » soit, pour 100 ans pour le monde, environ 30 millions de décès (autant qu'une guerre mondiale !). Mais à quel prix social et économique ?

D'un autre côté, en 100 ans, le nombre de décès total dans le monde atteindra environ 12 milliards ! La possibilité d'éviter éventuellement (ce n'est même pas sûr) deux à trois décès prématurés pour mille justifierait-elle un bouleversement aussi important que l'évacuation de la moitié de la planète ?

Hervé Nifenecker, *Le nucléaire : un choix raisonnable ?*, EDP Sciences, 2011.

Dans le cas d'une irradiation localisée dans le temps, la perte d'espérance de vie est évidemment décroissante avec l'âge. Elle s'annule lorsque la durée de survie, après qu'un début de cancérisation a commencé, est supérieure au temps restant à vivre en absence d'irradiation. Le calcul indiqué plus haut suppose un temps de latence de 5 ans, et une durée de survie après manifestation du cancer également de 5 ans. On voit sur le tableau que la perte d'espérance de vie est beaucoup plus importante pour un bébé que pour un retraité... Le Japonais de 102 ans avait donc raison de vouloir rester chez lui, car il n'avait rien à craindre de l'irradiation ; il en est de même des personnes âgées qui sont revenues dans la zone interdite de Tchernobyl. Les retraités de TEPCO qui proposent d'intervenir à la place de leurs collègues salariés sont parfaitement conscients de l'atténuation du risque pour les personnes âgées.

La situation à Fukushima

Le refroidissement des cœurs dégradés étant assuré, les rejets de radioactivité sont considérablement réduits. La contamination des sols, en dehors de l'enceinte de la centrale, a atteint un palier. Une cartographie détaillée des niveaux de radioactivité a été déterminée par les Américains grâce à un survol par hélicoptère des zones contaminées. En dehors du site de la centrale proprement dit, les activités relevées variaient entre 12 $\mu\text{Sv/h}$ et 0,30 $\mu\text{Sv/h}$ [5].

À partir de ces cartes, l'IRSN (*Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire*) a calculé les doses que recevraient en un an les populations qui viendraient se réinstaller [6]. Ces doses varieraient entre 5 et 30 mSv pendant la première année. L'essentiel des retombées s'est concentré dans un parallélogramme d'environ 450 km² où l'irradiation annuelle dépasserait 18 mSv.

Dose reçue mSv	Perte pour un nouveau né (en mois)	Perte à 65 ans (en mois)
0,5	0-0,017	0-0,0012
5	0-0,17	0-0,012
18	0-0,6	0-0,04
30	0-1	0-0,07
250		(40 ans) 1,8-3,6

Tableau 2 : Résultats du calcul de perte d'espérance, pour des valeurs représentatives à la suite de la catastrophe de Fukushima, en particulier celles qui correspondent aux zones d'irradiation définies par l'IRSN. Le calcul fait pour une dose de 250 mSv est représentatif des risques maximum autorisés pour les travailleurs engagés sur le site de Fukushima. Dans ce cas, le calcul a été fait pour un âge de 40 ans au moment de l'irradiation.

Sur le Tableau 2, comme sur le Tableau 1, on a indiqué deux valeurs de la perte moyenne d'espérance de vie. La plus élevée correspondant à la relation linéaire sans seuil³, la moins élevée à un calcul avec un seuil de 100 mSv s'ajoutant à la radioactivité naturelle.

Les limites de la RLSS

Il est important de noter qu'il n'a jamais été possible de mettre en évidence un effet cancérigène de la radioactivité naturelle, même dans les cas où son niveau est anormalement élevé. Une telle absence d'effet observable de la radioactivité naturelle est un des arguments militant pour l'existence d'un seuil d'irradiation en deçà duquel il n'y aurait que très peu ou pas d'effets sanitaires significatifs.

Les normes pour le public ont pour objectif de limiter l'augmentation de l'irradiation due aux activités humaines à environ la moitié de la radioactivité naturelle moyenne, soit 1mSv/an (dans le cadre de la relation linéaire sans seuil, ceci correspond à 0,6 mois de réduction de l'espérance de vie). Elles font l'hypothèse que l'irradiation est continue dans le temps pendant la vie entière. Dans la pratique, leur application fait souvent appel à des débits de dose horaire (par exemple, des $\mu\text{Sv/h}$) qu'il est recommandé de ne pas dépasser et qui sont donnés par les appareils de radioprotection, mais ne font pas explicitement intervenir de durée d'irradiation.

Sous cette forme, elles ne peuvent donc être appliquées valablement à un événement limité dans le temps. Appliquer de telles normes horaires ou journalières aux irradiations liées à Fukushima ou Tchernobyl n'a donc pas de sens⁴ si on ne les accompagne pas d'une prévision d'évolution réaliste des doses reçues sur un an, car les doses horaires diminuent rapidement au début, du fait de la disparition des radionucléides à vie courte : seules les

³ pour une irradiation naturelle de 2 mSv/an, la perte d'espérance de vie atteint 1,2 mois en appliquant la relation linéaire sans seuil.



irradiations reçues sur une durée d'un an peuvent être comparées aux normes officielles (par exemple 1 mSv pour un an pour le public et 50 mSv sur un an ou 20 mSv par an sur 5 ans pour les travailleurs du nucléaire).

Sur le tableau 2, nous avons reporté la perte d'espérance de vie entraînée par une irradiation de 250 mSv correspondant à la norme exceptionnelle autorisée pour les intervenants sur le site de Fukushima, cette norme permettant des interventions concertées destinées à limiter les conséquences de l'accident. Dans ce cas, nous avons supposé un âge de 40 ans (et non 65) au moment de l'irradiation. La perte d'espérance de vie moyenne calculée n'est pas négligeable en absolu, mais il faut la comparer aux autres risques.

Récemment, il a été fait état d'une employée ayant reçu une dose de 17 mSv. On voit sur le tableau qu'une telle dose ne se traduirait guère, dans le pire des cas, que par une perte d'espérance de vie d'environ une semaine. Malgré la faiblesse de ce nombre, l'hystérie qui se développe dès qu'il est question d'irradiation fait que cet incident, qui serait passé inaperçu dans tout autre domaine, s'est retrouvé à la une des gazettes.

Comme reporté sur le Tableau 2, les pertes d'espérance de vie correspondant à un séjour d'une année entraînant une exposition à des doses de 0,5, 5, 18 et 30 mSv seraient imperceptibles en tenant compte de l'effet de seuil, ce qui est l'hypothèse la plus raisonnable, et au maximum d'environ 1 mois avec le calcul le plus pessimiste.

⁴ Par exemple, du point de vue de la relation linéaire sans seuil, il est équivalent de recevoir 1 mSv en une heure (soit un débit de dose de 1000 μ Sv/h) ou de recevoir 1 mSv en un an (soit un débit de dose de 0,11 μ Sv/h). Il faut noter que les détecteurs de radiation fournissent des valeurs de débit de dose, et non de dose. Par contre, les travailleurs du nucléaire sont équipés de mesureurs de dose.

Est-il justifié, dans ces conditions, d'empêcher les gens de rentrer chez eux ? Alors que, par ailleurs, on accepte des conduites bien plus risquées dans de nombreux domaines (pollution automobile, fumeurs passifs, épandage de pesticides, etc.). Le nucléaire doit-il être le seul domaine pour lequel on ne consulte pas les intéressés sur leur sort ?

De plus, a-t-on mis en balance les faibles conséquences sanitaires dues à une irradiation de moins de 50 mSv et celles dues au stress consécutif à une évacuation dont on ne sait combien de temps elle durera, et même si elle ne sera pas définitive ? Bien entendu, une politique énergétique de décontamination doit conduire à une décroissance des doses reçues annuellement. Il a été démontré⁵ qu'une telle politique reposant sur la décontamination des logements et autres bâtiments, sur du sarclage et des labours profonds ainsi que sur la culture de plantes fixant de manière spécifique certains radionucléides peut être tout à fait efficace.

Des améliorations possibles de la gestion des évacuations

Les pratiques d'évacuation à la suite d'un accident nucléaire devraient être profondément modifiées.



© Viktoriya Kirillova | Dreamstime.com

Une évacuation ne devrait être maintenue qu'aussi longtemps que la situation consécutive à l'accident n'est pas stabilisée. Dès que cette stabilisation est atteinte, même de façon approchée, les habitants devraient pouvoir revenir chez eux, s'il le désirent, après avoir été dûment informés, par exemple par leur médecin, des risques encourus en fonction de la dosimétrie et de leur âge. Ceux qui n'accepteraient pas de rentrer chez eux devraient se voir offrir une solution par les autorités, allant jusqu'au rachat de leur logement au prix du marché d'avant l'accident. Les habitants rentrés chez eux devraient, ultérieurement, pouvoir revenir sur leur décision et demander, à leur tour, aux autorités de trouver une solution pour leur relogement. Les frais engagés par les autorités

⁵ Voir par exemple : http://tc.iaea.org/tcweb/news_archive/Chernobyl/ecoreserve/default.asp

Références

[1] Publication Afsset, juin 2006, rédacteur : Mounia El Yamani, www.afsset.fr/

[2] European Commission Directorate C Environment and Health. Baseline Scenarios for the Clean Air For Europe (CAFE) Programme. Final Report. International Institute for Applied Systems Analysis, Février 2005

[3] http://www.notre-planete.info/environnement/tabac_0.php

[4] rapport CIPR103. (Commission Internationale de Protection contre les Radiations).

[5] DOE-NISA Radiological Assessment of effects from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant April 7, 2011. www.slideshare.net/energy/radiation-monitoring-data-from-fukushima-area-04072011

[6] Évaluation au 66^e jour des doses externes projetées pour les populations vivant dans la zone de retombée nord-ouest de l'accident nucléaire de Fukushima – impact des mesures d'évacuation des populations –, Rapport IRSN DRPH/2011-1

devraient être remboursés par le propriétaire de l'installation initiatrice de l'accident.

Une fois réinstallés, les habitants pourraient et devraient pouvoir s'assurer que les travaux de réhabilitation des lieux sont effectivement engagés et réalisés, travaux visant à diminuer les doses auxquelles ils sont exposés. Des compteurs de radiation et la formation afférente devraient être mis à leur disposition pour qu'ils signalent les niveaux de radiation anormaux et l'évolution des taux d'irradiation moyens, vérifiant ainsi que les doses annuelles auxquelles ils seraient exposés seraient effectivement en décroissance. Comme proposé plus haut, s'ils constataient une amélioration insuffisante du niveau de la radioactivité, ils pourraient quitter la zone avec mesures compensatrices.

Une telle démarche rendrait leur dignité aux victimes de l'accident, en en faisant des acteurs de leur destin, tout en les rendant aptes à comprendre les enjeux des actions de réhabilitation.

Elle devrait, bien sûr, être accompagnée d'une surveillance attentive des productions agricoles permettant de maîtriser les dosimétries des individus de manière équilibrée entre l'irradiation due à la contamination des sols et celle due à l'ingestion d'aliments contaminés. ■

Le groupe ardéchois de l'AFIS

Le groupe ardéchois de l'AFIS accueillait en juin, au lycée de Privas, le journaliste scientifique de *Libération* **Sylvestre Huet**. A partir des articles publiés dans le quotidien et sur son blog (<http://sciences.blogs.liberation.fr/>), l'intervenant a introduit le thème de la soirée : « **Informé sur le nucléaire, l'exemple de Fukushima** ». Les participants, quel que soit leur avis sur l'utilisation de l'énergie nucléaire, ont été manifestement très intéressés par les propos du journaliste, qui a expliqué quelle a été sa démarche pour proposer à ses lecteurs une information sérieuse qui prenne en considération la gravité des risques encourus à un moment de la crise, mais sans verser dans le catastrophisme intéressé qui a été la boussole de bien des médias ou d'acteurs opposés au nucléaire civil. La discussion a notamment porté sur la circulation de l'information entre les scientifiques, le pouvoir politique et le public, ou bien encore sur la qualité et la crédibilité des informations diffusées par tel ou tel (Tepco, gouvernement japonais, agences officielles, Criirad, internautes...)

Pour sa prochaine initiative, dans le cadre de la fête de la Science, l'AFIS-07 accueillera le **13 octobre** le physicien **Hubert Krivine**, autour de son ouvrage *La Terre, des mythes au savoir*.

<http://afis-ardecche.blogspot.com/>

Prise de décision sous incertitude

Perception du risque et nucléaire

Nicolas Gauvrit

Nicolas Gauvrit est agrégé et maître de conférences en mathématiques à l'Université d'Artois. Il poursuit des recherches à l'interface entre mathématiques et psychologie. Il a publié plusieurs manuels universitaires de statistiques, ainsi qu'un essai sur l'utilisation frauduleuse des statistiques (*Statistiques. Méfiez-vous !* Ellipses, 2007).



La question de l'énergie nucléaire enflamme tellement les esprits qu'il est parfois difficile d'avoir une discussion posée sur la question. La bourde statistique du physicien nucléaire Bernard Laponche et de son coauteur Benjamin Dessus (voir dans ce dossier) – qui sont par ailleurs habituellement rationnels dans leur dénonciation du nucléaire¹ – peut probablement être interprétée comme un aveuglement causé par la passion.

Si la question du nucléaire est *particulièrement* difficile à juger sereinement, c'est qu'elle cumule des caractéristiques que les psychologues, sociologues et économistes travaillant sur la prise de décision sous incertitudes ont depuis longtemps identifiées comme détériorant la qualité des choix (Piattelli Palmarini, 1995).

Un risque maximum anxiogène

Lorsqu'il faut trancher entre plusieurs actions possibles, la méthode rationnelle est de faire la balance entre les coûts d'un côté et les bénéfices de l'autre. La science peut parfois nous permettre de quantifier précisément les coûts (risque d'accident nucléaire, problème des déchets radioactifs et réchauffement des rivières) et les bénéfices (pollution limitée en fonctionnement normal, avantage financier et production stable dans le temps), mais nous avons tous une *idée* de ces coûts et bénéfices.

Ce que des recherches en sciences humaines, à l'interface de la psychologie, de la sociologie et de l'économie, ont montré, c'est d'abord que le coût est plus important psychologiquement que le bénéfice (Tversky et Kahneman, 1991). La plupart des gens veulent minimiser le coût maximal avant de maximiser le bénéfice maximal : on veut être sûr que le pire est acceptable avant de savoir ce qu'on pourrait obtenir dans le meilleur des cas.

Un raisonnement fondé sur le seul pire scénario est largement défavorable au nucléaire. Opposons par exemple un réacteur nucléaire et son remplacement par des centrales solaires. Pour la plupart des gens, la centrale

¹ Lire par exemple ses articles dans *Libération* (24 mars 2011) ou *Télérama* (19 juin 2011).



© Images dreamstime.com

solaire ne comporte *a priori* aucun inconvénient : le coût maximal est donc nul. En réalité, il faudrait environ 2 500 hectares – soit 25 km² – de panneaux solaires du type de la centrale Bavaria Solarpark² allemande pour remplacer un réacteur nucléaire. Mais ce coût, même lorsqu'il est connu, n'est pas anxiogène et n'est associé à aucune image horrible (sauf si c'est dans mon jardin). Nous avons donc, en ce qui concerne le pire scénario

imaginable, d'un côté, la perte de surface habitable ou cultivable et, de l'autre, un accident nucléaire entraînant une multiplication des cancers, des malformations d'enfants, et cela sur des surfaces pouvant représenter une partie significative de la planète.

Le risque maximum associé au nucléaire est plus angoissant que celui de toutes les solutions alternatives (même l'explosion d'une centrale à gaz fait infiniment moins peur).

Un risque maximum « disponible »

Autre constante repérée par les chercheurs : le coût est d'autant plus important subjectivement qu'il est « disponible » (Slovic, Flynn, et Layman, 1991). Cela signifie qu'on aura d'autant plus tendance à rejeter une possibilité que le coût associé est facile à imaginer, associé à des images nombreuses et précises, etc. On prend souvent, pour illustrer ce propos, le cas des transports : alors que les avions sont bien moins dangereux que les voitures, ils font plus peur à la plupart des gens. On peut expliquer cela par le fait que les accidents d'avions sont décrits en détail dans la presse ou au cinéma bien plus que les accidents de la route. Plus facilement présents à l'esprit, amenant plus d'images tragiques, ils augmentent le poids subjectif du risque associé à l'avion.

Lorsqu'on oppose nucléaire et charbon, il y a là encore du point de vue subjectif – mais pas objectif ! – un désavantage psychologique pour le nucléaire. Les tragédies dues aux accidents nucléaires sont présentes à l'esprit : on se souvient des images ignobles de personnes défigurées, d'enfants difformes ou rendus chauves par les radiations. On imagine le dramatique champignon. Dans tous les cas, on confond souvent les images liées aux bombes atomiques avec celles issues des accidents du nucléaire

² <http://www.power-technology.com/projects/bavaria/>

civil. Mais les morts du charbon sont anonymes : décédés lentement, sans traces particulières, à la suite de maladies pulmonaires. Peu d'images y sont reliées. Ce sont des statistiques.

La science est capable, dans ce cas, d'opposer froidement nucléaire et charbon et de dire, le cas échéant : il est peu probable que le nucléaire fasse autant de dégâts humains et écologiques que le charbon. Même si ce résultat est bien admis en théorie dans la population, c'est bien sur le charbon que l'Allemagne semble décidée à s'appuyer, au moins dans un premier temps, pour réduire la part de nucléaire.

Une probabilité d'accident faible

Nos intuitions concernant les probabilités sont souvent trompeuses, mais c'est surtout vrai lorsque les probabilités sont très faibles. Et, dans ce cas, nous avons ordinairement tendance à surestimer subjectivement les probabilités – surtout s'il s'agit d'une probabilité d'un événement négatif – mais il nous arrive aussi de les sous-estimer (Hertwig, Barron, Weber, et Erev, 2004)... Or, même si l'on accepte le calcul qui mène à un risque d'accident en Europe, dans les 30 prochaines années, de 35 % au moins, il s'agit là d'une (estimation de la) probabilité d'accident grave en Europe, et non pas d'accident majeur dans tel ou tel pays particulier. Autrement dit, même si la probabilité d'accident *quelque part* n'est pas faible, la probabilité d'accident dans une région donnée l'est. Et la probabilité d'un accident *majeur* l'est encore plus.

Citons encore en passant une caractéristique qui, selon les spécialistes, rendent nos jugements peu fiables : l'absence de contrôle perçu (Forlani, 2002). Plus nous avons l'impression de ne pas contrôler la situation dont nous avons peur, moins nos intuitions sont liées à la rationalité... C'est ainsi que, lors de l'accident de Fukushima, la « perte de contrôle », les longs mois qui seront nécessaires pour la « reprise de contrôle des réacteurs », la lutte des pompiers pour essayer de faire baisser la température de réacteurs « hors de contrôle » ont été largement soulignés par la presse.

Accidents de la route

Pour bien se convaincre que nos intuitions concernant le risque nucléaire ne sont pas fiables, comparons la terreur qui peut s'emparer de nous à l'idée de l'accident nucléaire ou d'une fuite radioactive avec notre calme effarant face à l'automobile. À part, je suppose, quelques groupes totalement décalés et très minoritaires au sein des mouvements écologiques, personne à ma connaissance ne propose une sortie de l'automobile.

Or, que nous disent les faits ? Il existe des preuves chaque année renforcées que la voiture est responsable de nombreux décès *via* la pollution atmosphérique, notamment chez les enfants habitants en ville (Pope III et Dockery, 2004). Une étude de 2000 (Künzli, *et al.*, 2000) aboutissait à la conclusion que la part de pollution due au trafic est responsable chaque année en Europe de 40 000 décès, 25 000 apparitions de bronchites chro-

niques, 290 000 bronchites infantiles, et plus d'un demi-million de crises d'asthme. Mais il y a aussi les morts *directs*. Environ 40 000 personnes, en Europe, meurent des suites d'un accident de voiture chaque année, et 1,7 millions sont blessés. En 30 ans, il y a donc eu de l'ordre de 1,2 millions de morts³ et 51 millions de blessés dans les accidents de la route.

Si l'on additionne les accidents et les décès attribuables à la pollution du trafic routier, on obtient environ 80 000 décès chaque année, soit à peu près un mort toutes les 6 minutes⁴... Inutile de dire qu'on n'attendrait pas un tel score pour interdire le nucléaire !

Conclusion

Bien entendu, la route n'est pas une alternative au nucléaire, et il serait absurde d'opposer les deux en disant : puisqu'on accepte la route, il faut aussi accepter le nucléaire qui fait tellement moins de victimes. Cet exemple n'est pas un argument *pour* le nucléaire, mais seulement une mise en garde contre l'intuition, tellement trompeuse, et nos jugements spontanés si peu fiables.

La question du nucléaire, parce qu'elle implique une probabilité minime associée à une catastrophe horrifiante, fait partie de ces décisions pour lesquelles le subjectif est une voie particulièrement peu sûre. La science ne nous dira pas s'il « faut » ou ne « faut pas » continuer dans la voie du nucléaire, mais elle seule peut quantifier les bénéfices, décrire le pire scénario, mais aussi nous en donner la plausibilité approximative pour permettre une décision rationnelle. ■

³ En réalité plus parce que le nombre de morts par année a diminué avant d'arriver à 40 000.

⁴ Pour avoir une idée de l'ordre de grandeur : les estimations les plus pessimistes concernant le nombre de morts dus à la bombe atomique lancée sur Hiroshima sont de l'ordre de 250 000. La route équivaldrait donc à un « Hiroshima » tous les 3 ans... accepterait-on une explosion de centrale nucléaire comparable à Hiroshima en Europe, même tous les 10 ans ?

Références

Forlani, D. (2002). Risk and rationality : the influence of decision domain and perceived outcome control on managers' high-risk decisions. *Journal of Behavioral Decision Making*, 15(2), 125-140.

Hertwig, R., Barron, G., Weber, E., & Erev, I. (2004). Decisions from experience and the effect of rare events in risky choice. *Psychological Science*, 15(8), 534-539.

Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., et al. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution : a European assessment. *The Lancet*, 356, 795-801.

Piattelli Palmarini, M. (1995). *La réforme du jugement ou comment ne plus se tromper*. Paris : Odile Jacob.

Pope III, C., & Dockery, D. (2004). Health effects of fine particulate air pollution : Lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56, 709-742.

Slovic, P., Flynn, J., & Layman, M. (1991). Perceived risk, trust, and the politics of nuclear waste. *Science*, 254, 1603-1607.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1991). Loss aversion in riskless choice : A reference-dependent model. *The Quarterly Journal of Economics*, 106(4), 1039-1061.

« Les individus sont naturellement portés à surévaluer les faibles probabilités. Cette disposition est encore amplifiée lorsque ces faibles probabilités sont associées à un risque. En outre, comme pour faire écho au mot de Julie Lespinasse : « Je crois tout ce que je crains », de nombreuses études expérimentales ont montré que le désir qu'un événement survienne ou qu'il ne survienne pas était susceptible d'influencer à la hausse ou à la baisse l'évaluation subjective des probabilités. »

Gérald Bronner et Etienne Géhin, *L'inquiétant principe de précaution*, PUF 2010.

Le nuage de Tchernobyl « qui s'arrête à la frontière » **La légende urbaine confrontée à la réalité**

Yann Kindo

Yann Kindo est enseignant en histoire-géographie.

Ce texte reprend les éléments d'un article plus développé, paru sur le blog de l'auteur :

<http://blogs.mediapart.fr/blog/yann-kindo/040511/tchernobyl-ce-que-le-figaro-disait-en-1986>.

L'article original détaille d'autres thématiques, comme par exemple la question du nombre de victimes en URSS ou la critique des écologistes et de l'URSS véhiculée par *Le Figaro*.



En ce 25^e anniversaire de la catastrophe de Tchernobyl, force est de constater que l'idée selon laquelle les autorités françaises ont sciemment menti à propos du passage du nuage est solidement ancrée dans les consciences, et sert même pour beaucoup de mètre-étalon de l'analyse des annonces officielles dans le domaine sanitaire. D'autres se sont déjà efforcés d'examiner les fondements de cette légende urbaine d'un supposé « mensonge officiel¹. Il s'agit ici de retrouver dans les archives du *Figaro* ce qui a été dit dans les colonnes de ce quotidien entre le 29 avril et le 20 mai 1986.

Mardi 29 avril 1986, date à laquelle l'accident est évoqué pour la première fois, il est indiqué que « *pour l'instant, aucune "radioactivité particulière" n'a été décelée en France par les Services centraux de la protection contre les rayons ionisants (S.C.P.R.I.), indiquait-on de bonne source cette nuit* ». Le lendemain, le quotidien continue de rassurer ses lecteurs : « *un nuage radioactif a envahi une grande partie*

de l'Europe du nord [...], mais hier, les vents ayant tourné, c'est le reste du continent qui pourrait être touché : les dispositifs de mesure et d'alerte mis en place n'ont toutefois pas permis de déceler un taux de radioactivité constituant un danger réel pour les populations ».

Jeudi 1er mai, fête des travailleurs oblige, le journal ne paraît pas. On peut se demander avec le recul quel a été l'impact de cette absence de presse écrite précisément le jour où le panache radioactif est passé sur le territoire français.

Vendredi 2 mai, cet événement est bien rapporté par le quotidien : « *La France a été touchée à son tour hier par ce nuage : des analyses effectuées*

¹ Voir le compte rendu du livre de Bertrand Lerouge paru dans *SPS* n° 289, ou encore ce site centré notamment sur l'analyse de la couverture des événements par *Libération* : www.dossiersdunet.com/spip.php?article750 ; les communiqués du SCPRI y sont notamment recopiés.

dans le Sud-Est et à Monaco ont permis de déceler une augmentation sensible de particules radioactives dans l'air [...] mais les vents ayant tourné, le nuage retourne maintenant vers son point de départ et se dirige vers la Sibérie, traînant derrière lui son cortège d'angoisse ». On peut remarquer que cette présentation laisse penser que le panache radioactif n'a survolé que le sud-est du pays, alors que les cartes publiées par le quotidien la semaine suivante montrent plus correctement que c'est la quasi totalité du pays qui a été concernée. D'où vient le hiatus ? *Le Figaro* a-t-il été mal informé, voire trompé ? Ce serait étonnant, étant donné que le communiqué du SCPRI du 1er mai parlait bien d'un passage sur l'ensemble du territoire : « Ce jour 1^{er} mai 1986, 24 h, tendance pour l'ensemble des stations du territoire à un alignement de la radioactivité atmosphérique sur le niveau relevé le 30 avril dans le sud-est. » Ce qu'avait d'ailleurs parfaitement compris, *Libération* (qui a pourtant ensuite été un des principaux artisans de la campagne à propos des « mensonges » sur le passage du nuage !), qui écrivait dans son édition de ce vendredi 2 mai 1986 : « Pierre Pellerin le Directeur du SCPRI a annoncé hier que l'augmentation de la radioactivité était enregistrée sur l'ensemble du territoire sans aucun danger pour la santé. » Dans la même édition du 2 mai du *Figaro*, un article intitulé « La France touchée à son tour » fait apparaître pour la première fois le professeur Pierre Pellerin, directeur général du S.C.P.R.I., devenu depuis la bête noire des antinucléaires. Il explique que les relevés de radioactivité témoignent du passage du nuage sur la France, mais qu'ils « sont très en-dessous des seuils réglementaires qui sont eux-mêmes bien inférieurs aux seuils dangereux. ».

Samedi 3 mai. Cette idée d'une radioactivité inférieure aux seuils de danger, toujours appuyée sur les communiqués du professeur Pellerin, est reprise le samedi 3, sous le titre « *En France, une marge de sécurité considérable* » alors qu'un autre papier évoque la « *psychose contagieuse* » en Europe en opposant globalement les inquiétudes des populations aux déclarations rassurantes des responsables politiques.

Samedi 10 mai. Après plusieurs jours consacrés à opposer le calme français à la panique constatée ailleurs, le quotidien s'étonne samedi 10 mai : « *Curieuse radioactivité que celle échappée du réacteur de Tchernobyl : elle est suffisamment intense pour créer un climat de panique à Kiehl, en R.F.A., où les salades sont retirées des étalages, mais ne parvient pas à franchir le pont qui, au-dessus du Rhin, mène à Strasbourg, pourtant distant de moins d'un kilomètre.* » Contrairement à ce que suggère cette phrase, ce n'est pas la radioactivité qui n'a pas franchi la frontière... c'est la panique !

Le début de la polémique

Lundi 12 mai. Le tournant est pris le lundi 12 mai, avec un article consacré à la polémique entre le professeur Pellerin et ses critiques, suite à une prestation particulièrement ratée du directeur du SCPRI sur TF1 le samedi 10 mai. « *En direct, le professeur Pellerin a bel et bien été amené à admettre que la pollution provoquée par la centrale de Tchernobyl avait été beaucoup plus importante que "l'augmentation passagère de 5 à 10% par rapport à la*

normale”, annoncée de manière très floue auparavant. Il a officiellement précisé que les relevés de radioactivité avaient montré, dès le 30 avril, une hausse d’un facteur 100 sur les régions du Sud-Est. » On peut ici s’étonner du caractère supposé « officiel » d’une intervention au JT, par rapport aux communiqués du SCPRI, dont, on l’a vu, *Le Figaro* n’avait lui-même pas très bien rendu compte, et qu’il n’avait pas pensé à trouver jusque-là insuffisamment chiffrés. Le quotidien opère donc lui aussi le virage critique à l’égard des autorités en expliquant : « on a beau assurer qu’il faudrait ingérer pendant plus de cinq cent jours le lait le plus radioactif recueilli en France depuis l’accident de Tchernobyl pour atteindre la limite de radiation considérée comme admissible, le Français éprouve désormais le sentiment qu’on lui a caché des informations majeures ». Le lendemain, sous le titre « *Mea Culpa* », un éditorial évoque les « dissonances qui sont apparues dans l’information officielle » et rappelle que « la hausse de la radioactivité [...] n’a jamais constitué le moindre danger. Personne de sérieux ne le contestera et tous les scientifiques sont d’accord sur ce point. »

Mais alors, où réside la polémique ? Ce serait « la façon maladroite qui a conduit à rendre publique cette information. Il a fallu attendre dix jours après que plusieurs déclarations ministérielles eurent précisé qu’il n’y avait pas de retombée radioactive sur notre sol. » Pourtant, à partir du *Figaro* comme seule source, il est difficile de dire si le gouvernement a été maladroit dans sa communication, puisque celle-ci n’avait en gros jamais été évoquée jusque-là². Le quotidien conservateur, comme ses concurrents, a fondé son information sur les communiqués du SCPRI, qui évoquaient le passage du nuage et les retombées radioactives, et pas sur des déclarations ministérielles.

Enfin, résultat de cette confusion, le jeudi 15 mai un sondage indique que, sur un échantillon de 800 personnes, 63% des sondés pensent qu’« on a voulu cacher la vérité aux français » pendant les deux semaines suivant la catastrophe. Plus frappant : seulement 44% des Français (contre 40%) pensent que leur région a été survolée par le nuage radioactif ! Comment comprendre cela, alors que l’information avait pourtant été donnée à propos du passage de ce nuage ? Il semble donc y avoir eu dès avril/mai 1986 confusion entre « passage du nuage » et « dangerosité de la radioactivité », comme si on ne pouvait pas imaginer ce qui s’est passé : un passage effectif mais sans conséquences sanitaires notables. Comme l’avait annoncé le professeur Pellerin³. ■

² Sauf erreur, *Le Figaro* n’a même jamais évoqué le communiqué sibyllin du ministère de l’Agriculture, daté du 6 mai, qui pouvait prêter le flanc à ce type d’accusations, notamment dans son premier paragraphe, qui apparaît contradictoire en lui-même : « Le territoire français, en raison de son éloignement, a été totalement épargné par les retombées [...]. À aucun moment les hausses observées de radioactivité n’ont posé le moindre problème d’hygiène publique. »

³ Rendant compte du non-lieu prononcé par la cours d’appel de Paris dans le procès intenté contre le Professeur Pellerin, *Le Figaro* (7/09/2011) reproduit à nouveau la légende : « À l’époque de la catastrophe nucléaire, au printemps 1986, l’ancien patron du Service central de protection contre les rayons ionisants (SCPRI) avait assuré dans divers communiqués que le nuage s’était arrêté à la frontière française. ». Les journalistes du *Figaro* de 2011 devraient sans doute relire *Le Figaro* de 1986.

Les conséquences environnementales

Henri Métivier

Henri Métivier est professeur émérite à l'Institut national des sciences et techniques nucléaires et président du comité de rédaction de *Radioprotection*, la revue de la Société française de radioprotection. Il a également été membre de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR).

Si l'aspect sanitaire pour Fukushima peut être considéré comme probablement assez faible, il n'en est rien pour l'agriculture et l'environnement. Grâce aux nombreuses études faites, tant en laboratoire que sur le terrain, l'accident de Tchernobyl a permis d'améliorer nos connaissances sur les conséquences environnementales d'un accident nucléaire grave et sur l'efficacité des contre-mesures. Les leçons tirées ont permis de mettre en place des protocoles d'actions dans de nombreux pays « nucléarisés ».

Aujourd'hui, les radionucléides les plus importants en termes d'impact environnemental restent à Tchernobyl le Césium-137 et le Strontium-90. À Fukushima, il semble aujourd'hui que le problème majeur sera lié au seul Césium-137.

Les particules déposées sur les sols migrent lentement en profondeur et seront plus tard au contact des racines. Le transfert aux plantes est donc, lors de la première période, essentiellement foliaire, ensuite il sera racinaire. Le premier transfert est plus élevé que le second, c'est pourquoi la contamination des plantes est maximale l'année de l'accident. Le transfert foliaire dépend essentiellement du stade de développement de la plante. La première récolte suivant le dépôt peut avoir été contaminée par les deux modes de transfert ; la seconde ne le sera que par le transfert racinaire. Pour les fruits, la contamination dépend également du type de production fruitière et de la période de croissance des fruits.

En France par exemple, la contamination fin avril début mai, n'a pas conduit après l'accident de Tchernobyl à une contamination des céréales, la floraison et la germination n'ayant pas commencé.

Pour les vins français, qui préoccupent beaucoup de nos concitoyens, les vignes, comme les arbres fruitiers n'avaient encore que quelques feuilles lors des dépôts (transfert foliaire faible). La période de l'accident est donc très importante. En général, les grains sont toujours moins contaminés que la rafle. Mais c'est pendant la vinification du vin rouge, lorsque le jus et les rafles macèrent ensemble que le césium est transféré au vin, ceci explique que la contamination des vins blancs est toujours inférieure à celle des vins rouges.

Pour le Japon, il existe peu de données concernant le transfert de contamination dans les rizières.

Les mesures à prendre en zone habitée

La contamination en milieu urbain dépend essentiellement des conditions météorologiques. Le dépôt par voie sèche (par sédimentation des particules) pollue plus les arbres, les arbustes, les pelouses et les toits. La pluie et les activités humaines conditionneront la décontamination.

L'accident de Tchernobyl a montré que la contamination des sols et des surfaces dans les villes et villages, comme les toits, les murs et les revêtements routiers, n'est pas négligeable. Elle entraîne une irradiation gamma. Une contre-mesure efficace consiste à retirer la couche supérieure du sol et à nettoyer toutes les surfaces construites. L'asphalte et le bitume se sont décontaminés rapidement. Un lavage régulier enlève les poussières encore contaminées. Le nettoyage des rues a été largement utilisé dans la ville de Kiev. Dans les villes, l'arrachage des arbres et des arbustes des jardins publics est une mesure efficace.

Pour les maisons, la dose d'irradiation est essentiellement due au dépôt sur les toits, mais également sur les murs. Les techniques de décontamination sont différemment efficaces selon la nature des matériaux, mais elle engendre un autre problème, celui du traitement des effluents des produits contaminés. Le remplacement des toits peut être une solution extrême. Selon les techniques utilisées, la réduction des doses a été évaluée à un facteur 1,5 à 15. En plus de la relative efficacité de ces techniques, le principal facteur limitant est leur coût.

Après l'accident de Tchernobyl, on estime que ces techniques ont réduit la dose d'irradiation de 10 à 20% pour les adultes et d'environ 30% pour les enfants fréquentant les jardins d'enfants et les écoles maternelles. Depuis 1990, la décontamination de larges surfaces a été abandonnée dans les territoires contaminés.

Dans les zones agricoles

L'objectif est de ramener la contamination des denrées produites à des niveaux inférieurs aux niveaux d'action (niveau de contamination entraînant une action de protection). Après l'accident de Tchernobyl, et durant les tout premiers jours, 50 000 vaches, 13 000, porcs 3 300 chèvres et 700 chevaux ont été évacués, avec les habitants, de la zone d'exclusion de 30 km. Dans cette même zone, plus de 20 000 animaux domestiques ont été tués et enterrés, car ne pouvant être évacués. Devant l'impossibilité d'estimer rapidement et correctement la contamination, il a été procédé à l'abat-



© Natalya Korolevskaya | Dreamstime.com

tage de 95 500 vaches et 23 000 porcs de mai à juillet 2006 dans les territoires contaminés, produisant d'énormes quantités de déchets.

Pour les animaux contaminés par du Césium-137, la meilleure technique consiste à les nourrir avec une alimentation non contaminée, pendant deux mois avant l'abattage. Malheureusement l'absence d'une telle alimentation pendant la période de croissance de la végétation (période de l'accident) a rendu cette technique quasi inefficace.

Sur la base de mesures effectuées entre mai et juillet 1986, environ 130 000 ha ont été initialement exclus de la production agricole en Biélorussie, 17 300 en Russie et 57 000 en Ukraine.

Quelques pays d'Europe ont pris des mesures sur le plan agricole, en plus des limites imposées à l'importation. La Suède a interdit le libre pâturage des vaches dans les zones où la contamination était supérieure à 10 kBq/m² pour l'Iode-131 et 3 kBq/m² pour le Césium-137. Elle a procédé à des labourages profonds et a limité le fauchage de prairies contaminées. La Norvège a détruit toutes les denrées contaminées à plus de 600 Bq/kg. En Allemagne, on a d'abord pensé à différer la consommation de lait contaminé en le destinant à l'alimentation porcine, mais finalement ceci n'a pas été fait.

Fin 1986, 80% des productions agricoles provenant des régions les plus contaminées étaient au dessus des niveaux d'intervention. En 1987, l'objectif principal a été la diminution de la contamination en Césium-137 du lait et de la viande. La culture de la pomme de terre et de légumes racinaires a été intensifiée car contenant moins de Césium-137. En 1988, la contamination des céréales repassait en dessous des niveaux d'intervention. En 1991, moins de 0,1% des céréales dans les trois républiques restaient en dessus de 370 Bq/kg. (niveau d'action).

Avec le temps, les trois Républiques ont abaissé leur niveau d'intervention, ce qui a conduit à augmenter artificiellement la quantité de denrées dépassant ces niveaux¹. Cette augmentation n'a pas été seulement liée à l'abaissement de ces niveaux d'intervention mais aussi au fait que les contre-mesures ont été abandonnées en Russie après 1997. En Biélorussie et en Ukraine, la baisse de quantités de viande contaminée est liée à une surveillance avant abattage.

L'efficacité des contre-mesures a été importante entre 1986 et 1992 mais des contraintes financières ont conduit en 1990 à l'abandon de leur application.

Les sols

Lors des premières années, c'est l'utilisation d'engrais qui a été favorisée dans des zones où l'on a pratiqué la culture de légumes et céréales. Dans les zones à fourrage et dans les pâturages, l'efficacité dépend fortement des propriétés des sols et de la nature des prairies. Les sols acides furent chau-

¹ Aujourd'hui, le niveau de référence du *Codex Alimentarius* est de 1000 Bq/kg pour le commerce international de la nourriture.



© Kitano | Dreamstime.com

lés. Aujourd'hui, l'emploi d'engrais est limité par leur coût.

Les bénéfices liés à l'utilisation des engrais ont été estimés à un facteur allant de 2 à 4 pour les sols pauvres et sableux, et de 3 à 6 pour les sols plus riches en matière organique, auquel il faut ajouter un facteur allant de 2 à 3 lié à la dilution par labourage. Malgré ces contre-mesures, 20 % des pâturages et du foin restaient au dessus du niveau d'action en 2000, dans les zones les plus affectées. La concentration en Césium-137 dans le foin variait entre 650 à 66 000 Bq/kg de poids sec.

Changement de cultures

Toutes les plantes ne captent pas le césium au même taux. Les lupins, les pois, le sarrasin et le trèfle capturent de grandes quantités de césium, c'est pourquoi ils furent exclus des espèces cultivées.

En Biélorussie, on a favorisé la culture de colza pour la production d'huile et du tourteau pour l'alimentation du bétail. Certaines espèces de colza, captent 2 à 3 fois moins de Césium-137 et Strontium-90 que la plupart des végétaux. De plus, en fin de culture, l'ajout d'engrais potassés diminue encore d'un facteur 2 le transfert de Césium. Ainsi, la culture du colza a été multipliée par 4 dans ces zones.

Pour les forêts, la principale contre-mesure a été la restriction des activités forestières : accès à la nourriture et utilisation du bois de chauffage.

L'eau

Enfin, malgré les craintes des populations et des scientifiques, la contamination des eaux du Dniepr est restée faible. C'est pourquoi les quelques contre-mesures prises (restrictions de consommation) ont été vite abandonnées. Des restrictions de consommation du poisson d'eau douce ont été prises en Scandinavie et en Allemagne. Pour ce que l'on appelle des lacs fermés, ces restrictions perdurent encore. Pour le milieu marin, aucune contre-mesure n'est justifiée et n'a été prise. ■



© Richard Sunion | Dreamstime.com

Un accident nucléaire sûr à 129 % **Nouveau record du monde de probabilités**

Nicolas Gauvrit



Le 3 juin dernier paraissait sur le site de *Libération* un article de Bernard Laponche et Benjamin Dessus au titre surprenant de « Accident nucléaire : une certitude statistique »¹. Les auteurs prétendent y démontrer que la probabilité d'un accident nucléaire grave ou majeur dans les années à venir pulvérise tout ce qu'un probabiliste pourra accepter... puisqu'elle dépasserait 100 %.

Bernard Laponche est polytechnicien, physicien nucléaire, spécialiste en politique de l'énergie. Sur le site d'Éric Soufleux² (qui milite pour une réduction de notre consommation, notamment énergétique), il est décrit comme un opposant *prag-*

matique et honnête au nucléaire. Quant à Benjamin Dessus, il est président de l'association écologiste *Global Chance*³, économiste et ingénieur, ayant notamment travaillé pour EDF.

On a donc affaire à des gens sérieux et compétents. Pourtant, on se dit, à la lecture de l'article, que la passion est mauvaise conseillère, quand elle conduit à de grossières erreurs méthodologiques et calculatoires.

Deux petites erreurs pour commencer

L'idée de départ des auteurs est la suivante : pour estimer la probabilité qu'un accident nucléaire se produise en Europe ou en France au cours de la durée de vie des réacteurs en activité, n'utilisons pas des théories spé-

¹ <http://www.liberation.fr/...>

² <http://generationsfutures.chez-alice.fr/energie/opposants.htm>

³ <http://www.global-chance.org/>

culatives fumeuses toujours sujettes à caution mais, au contraire, observons la réalité des faits. L'idée est d'estimer la probabilité, pour une centrale fonctionnant pendant un an, d'avoir un accident.

Ce point de départ est tout à fait raisonnable, disons-le tout de suite. Mais très vite, la machine s'emballe et les auteurs cumulent quelques bourdes...

Pour estimer le risque, les auteurs considèrent le nombre d'accidents graves ou majeurs qui ont eu lieu au cours des trente dernières années. Ils estiment que le nombre d'années-réacteurs correspondant à cette période est de 14 000 dans le monde. Or, il y eut au cours de cette période 5 accidents graves dont 4 majeurs – Three Mile Island (pas majeur), Tchernobyl, et 3 fois Fukushima –, ce qui conduit les auteurs à estimer la probabilité d'un accident majeur dans un réacteur donné sur une période d'un an à $4/14\ 000$.

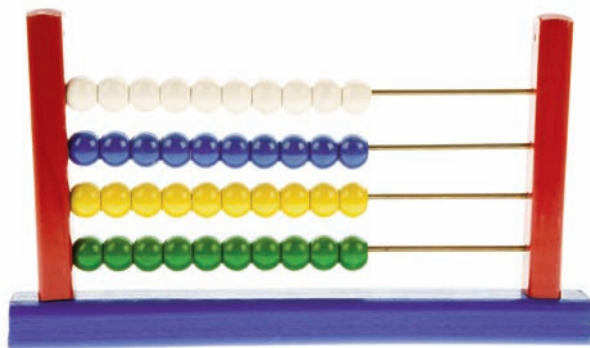
Pour que cette estimation ait un sens, il faut, en probabilité, vérifier au moins deux choses :

D'abord, les événements (accidents) doivent être indépendants. Cela n'est pas le cas ici pour les 3 accidents comptés à Fukushima. Passons sur ce problème (pas si important qu'il y paraît).

Ensuite, il faut que la période utilisée pour estimer la probabilité soit choisie « aléatoirement ». L'article paraît juste après les accidents de Fukushima, ce qui jette un doute sur le caractère aléatoire de la date. La même étude faite 2 mois plus tôt aurait donné une probabilité de $1/14\ 000$ au lieu de $4/14\ 000$, donc 75 % de moins. Une paille (mais on peut refaire le calcul avec $1/14\ 000$ sans problème).

Une hypothèse osée et une grossière erreur de calcul

Implicitement, tous les résultats des auteurs se fondent sur des hypothèses non exprimées, dont une est plus que discutable : le caractère constant dans le temps de la probabilité d'accident. Les résultats prospectifs de l'article consistent en effet, après avoir trouvé la probabilité d'accident en étudiant le passé, à en déduire une mesure du risque d'accident pour l'avenir fondée sur cette valeur. Or, on imagine facilement que cette



probabilité pourrait baisser, ne serait-ce que parce que chaque accident grave ou majeur est suivi d'un renforcement de la sécurité.

D'un autre côté, il est également tout à fait possible que cette probabilité *augmente*.

Cela pour plusieurs raisons. D'abord parce qu'avec le temps la société humaine s'habitue à une technique apparemment fiable et que cela peut déboucher sur un relâchement des personnels travaillant dans les centrales. Ensuite parce que la volonté des actionnaires (y compris l'État) d'augmenter les dividendes peut les conduire à forcer l'entreprise à économiser sur la sécurité, ce qui se traduit déjà par le recours à un personnel très peu qualifié pour l'entretien des centrales. Enfin, bien sûr, par l'effet du vieillissement du parc nucléaire.

Difficile de dire donc si la probabilité augmente ou baisse, ce qui fait que les estimations des auteurs seront de toute manière discutables – ce qui est d'ailleurs le lot commun de toutes les estimations à long terme impliquant des facteurs humains.

Au centre même de l'article, alors que Laponche et Dessus « calculent » la probabilité d'un accident en France (50 %) et en Europe (plus de 100 %, *sic*), on tombe sur une *énorme erreur* qu'on pardonnerait difficilement à un élève de terminale. Cette erreur a été dénoncée et expliquée en détail par le mathématicien Étienne Ghys⁴ de l'École Normale Supérieure de Lyon, qui montre que les auteurs ont certainement trouvé 129 % (ce qu'ils ne précisent pas dans leur papier...). Le plus incroyable n'est pas seulement l'erreur de calcul, certes désolante, mais le fait que, tels des étudiants souffrant d'un blocage en mathématiques, les auteurs ne s'étonnent pas qu'on puisse trouver une probabilité dépassant 100 % ! Eussent-ils même trouvé 100 % tout rond, cela aurait été une évidente erreur : on ne peut pas déboucher sur une certitude en supposant qu'un événement est probable mais non certain. Quand bien même la probabilité d'accident de chaque centrale serait de 99 %, il resterait possible qu'il n'y en ait pas dans les trente ans à venir.

Étienne Ghys, reprenant correctement le calcul, aboutit à une probabilité d'accident nucléaire majeur dans les 30 ans à venir en Europe de 72 %, ce qui n'est pas rien. Mais cela a-t-il un sens ?

Estimation

Soyons généreux le temps de quelques paragraphes, et admettons que (1) les deux petites erreurs évoquées plus haut ne sont pas importantes et (2) que l'hypothèse d'une probabilité d'accident constante est correcte. Que dirait un statisticien alors ? Que la probabilité est de 72 % ? Un peu trop brutal.

Le problème présent est une question d'estimation. « 72 % » est une *estimation ponctuelle* du risque, où une seule valeur est donnée. Mais nous savons tous que ces estimations ne sont pas très fiables. C'est la raison pour laquelle les statisticiens utilisent dans un cas comme celui-ci des *intervalles de confiance*. Il s'agit de donner non une valeur dont on n'a pas la moindre idée de la fiabilité, mais une fourchette de valeurs, associée à un certain risque d'erreur connu.

⁴ <http://images.math.cnrs.fr/Accident-nucleaire-une-certitude.html>

Intervalle de confiance

Si nous observons N fois une situation où un événement peut se produire, et que l'événement en question se produit n fois parmi les N observations, que pouvons-nous en conclure concernant la probabilité d'apparition p de l'événement ? (Les situations sont, dans le cas de cet article, les années-réacteurs ; et les événements sont les accidents majeurs.)

Une première idée est que la probabilité p doit être environ n/N . Pourtant, les observations que nous faisons sont aléatoires. Nous pouvons tomber par hasard sur un nombre d'événements particulièrement important ou, au contraire, particulièrement faible, pour des raisons liées au hasard. Pour donner une estimation de p un peu plus rigoureuse, il faut aller plus loin.

Lorsque N observations aléatoires sont faites à propos d'un événement de probabilité p , la « loi de probabilité » du nombre n d'événements constatés – qui est aléatoire – est connue. On l'appelle la *loi binomiale* de paramètres N et p . Grâce à la connaissance de cette loi, il nous est possible de déterminer un intervalle $[p_a, p_b]$ qui contient p avec un risque d'erreur faible (5 % typiquement). Autrement dit, la méthode qui permet de déterminer l'intervalle $[p_a, p_b]$ fonctionne dans 95 % des cas.

Pour en savoir plus, <http://joseph.larmange.net/?Intervalle-de-confiance-bilateral> est un bon texte introductif.

Classiquement, on calcule des intervalles de confiance au seuil de 95 %, ce qui signifie qu'il y a 95 chances sur 100 pour que la *vraie valeur*, de nous inconnue, se trouve dans l'intervalle. Les échecs répétés des sondages pré-électoraux sont en partie le résultat de la négligence des médias, qui ne donnent pas les fourchettes, surtout quand celles-ci ne permettent pas de trancher (que conclure de : « Au référendum, le *oui* obtiendra probablement entre 45 et 52 % de suffrages ? »...).

Avec les données de Laponche et Dessus et un seuil de 95 %, on trouve l'intervalle suivant pour les probabilités d'accident majeur dans un réacteur donné pendant une année : [0 % ; 0,06 %], ce qui conduit à la fourchette suivante de risque d'accident dans au moins une centrale en Europe au cours des trente prochaines années : 0 % – 92 %... pas très informatif.

Si l'on accepte un risque d'erreur plus grand, on peut réduire cet intervalle démesuré. Avec un seuil de 80 %, on obtient la fourchette 35 % – 88 %. Si on comptait Fukushima comme un unique accident et non trois, on obtiendrait alors 0 % – 72 %...

Une raison de s'inquiéter ?

Le propos de Laponche et Dessus était de montrer que le risque d'accident nucléaire grave, malgré les discours lénifiants de l'administration, n'est pas faible. À la suite d'une série d'hypothèses non explicites, d'une grosse erreur statistique et de la négligence de certains problèmes d'échantillonnage, ils concluent à tort que cet accident est une « certitude ».

Pourtant, le fond du problème n'est pas dénué de sens et en négligeant les diverses entorses méthodologiques, on pourrait corriger leur conclusion de la manière suivante :

En supposant que la probabilité d'accident nucléaire reste constante au

cours du temps et dans l'espace, nous pouvons dire avec une fiabilité de 80 % (autrement dit, en utilisant une méthode qui donne un résultat correct dans 80 % des cas) que la probabilité qu'il y ait, dans les trente prochaines années, au moins un accident nucléaire majeur en Europe, est comprise entre 35 % et 88 %. Ce résultat, bien plus raisonnable sur la méthode, est en lui-même inquiétant puisqu'il conduit à penser qu'un accident nucléaire majeur est loin d'être improbable... sans être pour autant une « certitude statistique ». Ce résultat reste toutefois éminemment discutable, puisqu'il est tributaire de plusieurs concessions méthodologiques importantes.

Pour finir, avouons que Laponche a habituellement un avis rationnel sur le nucléaire, et que son erreur relève plus de la bourde que de l'incompétence... mais peut-être est-elle révélatrice d'un aveuglement passionné. ■

La nécessité d'une perception équilibrée des risques technologiques

Dans un article documenté sur les conséquences du tsunami sur les sites industriels au Japon (hors sites nucléaires) Didier Pitrat¹, chargé de mission au ministère du développement durable, souligne les paradoxes de l'information préventive des populations et s'interroge sur le lourd bilan humain au regard de la sophistication du dispositif d'alerte tsunami existant et du niveau de préparation des populations japonaises face à ce risque.

« Les vidéos et témoignages disponibles sur Internet montrent des personnes évacuant leur domicile dans les derniers instants, ou fuyant en voiture au mépris des consignes données depuis plusieurs décennies. L'alerte tsunami, lancée après le séisme survenu un peu plus d'un an avant au Chili, concernait 1,68 million de japonais, seuls 62 000 d'entre eux avaient rejoint les abris anti-tsunami. Des spécialistes parlent déjà du syndrome "Pierre et le Loup" ou du faux sentiment de sécurité apporté à la population par la présence d'ouvrages anti-tsunami dimensionnés pour ceux les plus fréquents, tous les 10 ans avec des vagues de 2 à 3 m, conjugué aux fréquentes fausses alertes du système en place. À l'heure où les mesures techniques de prévention toujours plus sophistiquées et des systèmes d'alerte performants sont installés pour rassurer les riverains des sites industriels à risques français, le comportement des populations côtières japonaises peut apporter des enseignements importants sur l'efficacité de l'information préventive. La tendance "naturelle" consistant à mettre en avant auprès du grand public l'efficacité de ces dispositifs face aux risques d'intensité moyenne les plus probables, ne doit pas masquer un message essentiel récemment rappelé par le président de l'ASN (Autorité de sûreté nucléaire) à propos du risque nucléaire : "personne ne peut garantir qu'il n'y aura jamais un accident grave en France". Comme pour les risques naturels, une perception équilibrée des risques technologiques par les riverains reste certainement l'une des clés de la bonne application de l'information préventive. »

Il n'est pas certain que l'atmosphère anxiogène qui a entouré le traitement médiatique de l'accident de Fukushima contribue à cette perception équilibrée.

J.-P.K

¹ Face au risque, n°474 – Juin-Juillet 2011

Jeûner pour combattre la radioactivité ?

Vingt-cinq ans après Tchernobyl, la catastrophe de Fukushima a réactivé la peur des retombées radioactives sur notre santé. Profitant de l'occasion, des « illuminés » ont concocté des recettes qu'une certaine presse s'est empressée de relayer. Certains ont prôné, avec un grand sérieux, l'homéopathie. On trouve sur le Web [1] des prescriptions homéopathiques ultra précises telles que *Lycopodium 7 CH*, (trois granules par jour pendant un mois) ou *Iodum 7 CH*, (3 granules pendant 7 jours, arrêt 7 jours puis 3 granules pendant 3 jours). Pourquoi pas 6 jours ou 8 jours ? On peut se demander sur quelles expériences et quelles études se fonde l'homéopathe ! D'autres ont préconisé les algues, le miso non pasteurisé (pâte fermentée alcalinisante, produite à partir de graines de soja qui peuvent aussi être mélangées à du riz ou de l'orge et qui contient plus de bactéries que le miso pasteurisé à proscrire), l'argile, l'ail, les betteraves rouges, le pollen, etc. Michel Dogna sur son site [2] prescrit les « médicaments de lumière » recommandés par les Hathors [3], qu'il présente comme « *un groupe d'êtres interdimensionnels, intergalactiques, reliés à l'Égypte ancienne à travers les Temples de la Déesse Hathor, ainsi que d'autres cultures de la pré-histoire* ». Selon les Hathors et Michel Dogna, il faut éviter, entre autres, tous les produits laitiers, la viande. Il ne faut pas sortir sous la pluie ou alors vite prendre une douche après et passer tous ses vêtements à la lessive. Il est préférable de faire ses courses avec un compteur Geiger, etc.

Mais le fin du fin reste le jeûne. La pratique du jeûne est souvent préconisée pour purifier et fortifier son corps. Certains s'enfilent dans cette brèche et vantent les bienfaits du jeûne pour se protéger de la radioactivité. Dans *TV Magazine* du 26-06-2011, un journal gratuit, on lit : « *Si vous avez le courage et l'occasion de la (cette pratique) tester, c'est le moment de le faire, d'autant plus si vous craignez la radioactivité.* » En quoi, le jeûne protège-t-il de la radioactivité ? Quel est le rapport entre les deux ? Cela n'est dit nulle part. On brandit l'épouvantail de la radioactivité qui s'échappe de Fukushima. Elle s'ajoute à la radioactivité naturelle inévitable, radon émis par certaines roches granitiques, volcaniques ou uranifères, radiographie ou scanner, doses de rayonnement cosmique reçues pendant les voyages en avion... [4] Enfin, le journaliste cite le Dr Vorobiev, ministre de la Santé en Russie en 1991 et 1992 et responsable de la commission Santé au moment de Tchernobyl : « *Comme le montrent les études pratiques, le rayonnement et les radionucléotides disparaissent de l'organisme humain en seulement douze à quatorze jours de jeûne* ». Il ajoute que le jeûne a réussi là où toutes les autres thérapies avaient échoué. Faute de référence à des études scientifiques sérieuses, il termine, pour ponctuer ces affirmations, par l'évocation incontournable des nombreux témoignages « *sur les vertus du jeûne en cas de contamination radioactive* ».

Alors inutile de vous faire du souci, il suffit de vous serrer la ceinture et bonne humeur, santé, confiance ressurgiront comme par enchantement !

Brigitte Axelrad

[1] <http://www.paperblog.fr/4291926/aliments-et-homeopathie-contre-la-radioactivite-du-nuage-du-japon/>

[2] www.infomicheldogna.net

[3] www.ascensionplanetaire.com

[4] http://www.sievert-system.org/WebMasters/fr/contenu_exposition.html

Peut-on se passer du nucléaire ?

Claude Acket et Pierre Bacher

Claude Acket est ingénieur des Arts et Métiers et du Génie Atomique. Il a passé sa carrière dans le domaine nucléaire, notamment celui des neutrons rapides. En retraite, il élargit son champ de vision à l'ensemble de la problématique énergétique et il est ainsi coauteur du livre *Les énergies renouvelables, état des lieux et perspectives* publié chez Technip. Claude Acket est membre du conseil scientifique de l'association *Sauvons le Climat*.



Pierre Bacher est ancien élève de Polytechnique. Il a fait toute sa carrière dans le nucléaire, au CEA puis à EDF, où il a terminé comme directeur délégué de l'Équipement. Il est actuellement expert auprès de l'Académie des technologies et membre du conseil scientifique de *Sauvons le Climat*. Il est l'auteur de deux livres : *Quelle énergie pour demain ?* (NucleoN 2000) et *L'énergie en 21 questions* (Odile Jacob 2007).



Pour limiter les conséquences du changement climatique, il faudrait, au niveau mondial, diviser par deux les rejets de gaz carbonique d'ici 2050. Mais pour arriver à ce résultat, il faut que l'effort principal de réduction vienne des pays développés. Pour la France, la réduction devrait être d'un facteur 4 (objectif fixé dans la loi d'orientation sur l'énergie de 2005). Elle devrait être entre 5 et 6 en Allemagne, où les rejets par habitant sont plus élevés qu'en France. Ceci nécessite pratiquement de diviser d'autant la consommation d'énergies fossiles.

Les combustibles fossiles, qui assurent à ce jour plus de 80 % de la production énergétique mondiale et environ 50 % en France, devraient être remplacés par des sources non émettrices de gaz carbonique, dont font parties les renouvelables et le nucléaire. Ces deux sources d'énergie sont-elles complémentaires, ou peut-on répondre au remplacement des combustibles fossiles en ne comptant que sur les seules renouvelables et en abandonnant progressivement le nucléaire ?

Des réponses divergentes sont apportées à ces questions.

En Europe, certains pays comme l'Allemagne affirment vouloir sortir plus ou moins vite du nucléaire, d'autres considèrent qu'il reste une voie d'avenir, en dépit de

Fukushima. Les pays émergents, avec au premier rang la Chine, l'Inde et le Brésil, estiment que leur priorité est le développement économique, et que les efforts de réduction des gaz à effet de serre doivent être faits par les pays industriels, responsables de l'augmentation passée de la teneur en GES (gaz à effet de serre) de l'atmosphère. Leur argument est valable aujourd'hui, mais sera d'autant plus difficile à défendre que ces pays progresseront dans leur développement ; il restera pertinent pour les pays pauvres (notamment l'Afrique et l'Asie du Sud-est).

Quoi qu'il en soit, un large consensus se dessine, au moins en Europe, autour d'une meilleure utilisation de l'énergie, permettant de l'économiser ; large consensus également pour le développement des énergies renouvelables fournissant de la chaleur (biomasse, solaire...). Le consensus est moins marqué dès que l'on aborde le sujet complexe de l'électricité : l'électricité peut-elle se substituer massivement aux énergies fossiles (et notamment au pétrole dans les transports) ? Quelle peut être la contribution des énergies renouvelables à la production d'électricité ? N'existe-t-il pas aussi une autre voie, permettant de continuer à utiliser les énergies fossiles, notamment dans les centrales électriques au charbon, mais en captant et stockant le CO₂ produit par leur combustion ?

Économiser l'énergie

« L'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas... »

Les développements dans les secteurs de l'énergie, au cours des deux derniers siècles, sont étroitement liés aux progrès scientifiques. Maurice Tubiana en rappelle les principales étapes¹ : lois de la mécanique avec Newton, thermodynamique, électromagnétisme, structure de l'atome... Et qui peut penser que les progrès réalisés dans les sciences du vivant auraient pu l'être sans les progrès technologiques qui ont accompagné la Révolution industrielle ? Or, ceux-ci ont permis de doubler l'espérance de vie, dans les pays riches, passée de 40 ans en 1800 à 80 ans aujourd'hui². En d'autres termes, s'il est vrai que l'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas, il est non moins vrai que le manque d'énergie a un coût et que celui-ci peut être très élevé.

« Chasse aux gaspis »

Dès le premier choc pétrolier de 1973, Valéry Giscard d'Estaing lançait la « chasse aux gaspis », souvent l'objet de dérision. Mais il avait raison : le gaspillage de l'énergie est une aberration, d'autant plus qu'un tiers de l'humanité doit faire face à une pénurie dramatique. Éteindre la lumière lorsque l'on quitte une pièce devrait être un geste automatique.

¹ Maurice Tubiana, *La science au cœur de nos vies*, Odile Jacob (2010) – p. 77 : « ... on doit à Newton les relations fondamentales de la mécanique. C'est sur son œuvre scientifique que s'est construite la révolution industrielle, fondement de la richesse et de la puissance de l'Occident. »

² Maurice Tubiana, *op. cit.*, p. 218.

Le scénario Négatep

Le scénario Négatep vise, conformément aux objectifs de la loi d'orientation sur l'énergie de 2005, la division par 4 des rejets de gaz carbonique, ce qui implique, à peu de chose près, de diviser par 4 la consommation de combustibles fossiles.

Outre les économies d'énergie, sans lesquelles le « facteur 4 » serait inaccessible, il faut remplacer le plus possible les combustibles fossiles par des sources d'énergie non émettrices de gaz carbonique et, pour cela :

- Pratiquement supprimer le pétrole et le gaz dans le résidentiel et le tertiaire. Les moyens existent, en combinant une meilleure isolation, les énergies renouvelables pour la production de chaleur, associées ou non à des pompes à chaleur, et l'électricité directe exploitée intelligemment.
- Réduire très fortement le pétrole pour les transports. Il s'agit là d'une double révolution : repenser la mobilité (transports en commun, fret) et remplacer le pétrole par l'électricité, soit directement dans des véhicules hybrides rechargeables ou électriques, soit en apportant tout ou partie de l'énergie nécessaire à la synthèse des biocarburants.
- Limiter sérieusement les combustibles fossiles dans l'industrie. Ceci implique notamment des modifications de procédés (et donc des investissements lourds).
- Augmenter fortement la part de l'électricité dans le mix énergétique, maintenir la part de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité et, tant que des moyens économiques de stockage n'auront pas été développés, limiter la part des électricités intermittentes au niveau que le réseau électrique peut supporter sans augmenter les capacités des centrales à gaz.

Ces différentes mesures permettraient, d'ici 2050, de diminuer légèrement la consommation d'énergie finale par rapport à 2010 (ce qui se traduirait par une diminution d'un tiers de la consommation finale d'énergie par rapport à la poursuite de la tendance actuelle) ; le facteur 4 de réduction des rejets de CO₂ serait alors atteint moyennant une augmentation sensible des énergies renouvelables pour la production de chaleur (qui atteindraient près du tiers des énergies finales consommées) et de l'électricité qui doublerait pratiquement.

La complexité des systèmes énergétiques

Plus généralement, on doit s'interroger sur le bien-fondé d'une démarche qui ne prend pas en considération les multiples aspects d'un système énergétique. La Directive européenne dite des « 3 fois 20 » (+ 20 % d'efficacité énergétique, – 20 % d'émissions de CO₂, 20 % d'énergies renouvelables, le tout d'ici 2020) traite ces trois facteurs indépendamment les uns des autres, alors qu'ils sont très liés et, parfois, antinomiques. Par exemple, les substitutions d'énergie (bois à la place de fioul pour le chauffage, biocarburants ou électricité à la place de produits pétroliers dans les transports, hydrogène, etc.) se traduisent le plus souvent, pour un même usage final, par une augmentation de l'énergie primaire³ consommée, donc par une baisse de l'efficacité énergétique. Le captage et stockage du CO₂ réduisent

³ Les mesures d'énergie peuvent s'exprimer de trois façons différentes : en primaire, en finale et en utile. Le passage de l'une à l'autre reflète les pertes intermédiaires (ou rendement au fur et à mesure de la transition). L'énergie primaire correspond à la mesure la plus en amont, à l'état brut, à la source avant toute transformation.

les rejets de CO₂ dans l'atmosphère mais augmentent d'au moins 25 % la consommation d'énergie. Les systèmes énergétiques sont des systèmes complexes, qui s'accommodent mal d'être réduits à des formules simplistes.

Le coût des économies d'énergie

Améliorer l'efficacité énergétique a le plus souvent un coût, parfois très élevé. Un bon exemple est celui de la consommation énergétique de l'habitat. Il y a 20 millions de logements mal isolés en France ; réduire leur consommation par deux (de 20 millions de tep – tonnes équivalent pétrole) coûterait environ 200 milliards, mais la diviser par 4 pour réduire de 30 millions de tep coûterait le double. Le secteur des transports est encore plus complexe, dans la mesure où il subsiste encore des inconnues technologiques majeures (batteries notamment). En définitive, il apparaît essentiel de rationaliser les choix et, pour commencer, de bien définir le ou les objectifs. En l'occurrence, les économies d'énergie devraient apparaître non comme une fin en soi, mais comme un *moyen*, au service de deux objectifs : la protection du climat (ce qui, dans le domaine de l'énergie, signifie réduire les rejets de CO₂ dans l'atmosphère) et la réduction des consommations de combustibles fossiles, pour des raisons à la fois économiques et géostratégiques. La réduction de la consommation finale d'énergie n'apparaît plus alors comme un objectif en soi, mais comme le résultat d'une politique qui intègre tous les multiples facteurs d'une politique énergétique. En Europe et en France, cela pourrait se traduire par une stabilisation de cette consommation.

Le cas particulier de l'électricité

L'électricité mérite un examen particulier, dans la mesure où, comme vecteur d'énergie, elle est à la fois efficace et capable de se substituer à de nombreuses sources d'énergies.

Les organisations hostiles au nucléaire reportent volontiers leur hostilité sur l'électricité. On ne compte pas les sarcasmes sur la faible part de l'électricité en général (autour de 16 %) et du nucléaire en particulier (au voisinage de 2 % dans la consommation mondiale d'énergie finale⁴). Mais quand on mesure tous les services rendus par l'électricité dans la vie de chacun d'entre nous, ce constat apparaît comme un formidable hommage à l'efficacité de l'électricité pour satisfaire nos besoins d'énergie aussi bien pour les usages domestiques que dans l'industrie.

L'électricité bénéficie également de sa capacité à se substituer aux autres sources d'énergies dans de nombreux domaines, qualité malheureusement pratiquement « oubliée » par le Grenelle de l'environnement. En effet, l'électricité, qu'elle soit d'origine renouvelable ou nucléaire, peut se substituer aux combustibles fossiles pour le chauffage, soit directement, soit indirectement grâce aux pompes à chaleur. Elle peut se substituer en partie au pétrole pour les véhicules, la limitation provenant encore des performances insuffisantes et du coût élevé des batteries. Elle a également des usages spécifiques, notamment l'entraînement des moteurs, dont ceux de la chaîne du froid, élément essentiel pour la santé, et pour toute l'informatique.

⁴ Ces parts sont respectivement de 28 % et 22 % en France.



© Peterfnl | Dreamstime.com

D'un côté, des progrès importants ont été faits et se poursuivent pour réduire les consommations d'électricité dans ses usages traditionnels. De l'autre, le développement très rapide des usages plus récents (informatique, pompes à chaleur et transports) est susceptible d'entraîner une forte hausse de la consommation finale d'électricité (1 à 2 % par an dans les scénarios ECF – European Climate Foundation – et Négatep).

Les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables ont un long passé pour la fourniture de chaleur et de force motrice. Cela fait des siècles que le bois sert à chauffer les logements et à produire de la vapeur pour l'industrie (avant d'être supplanté par le charbon), que l'eau et le vent font tourner les moulins. Au XXI^e siècle, le bois (et plus généralement la biomasse), le solaire et la géothermie ont encore un vaste potentiel, tant pour fournir de la chaleur que pour la production de biocarburants. Mais nous limiterons ici notre analyse à l'utilisation des énergies renouvelables pour la production d'électricité. L'hydraulique est de loin à ce jour la première des renouvelables électriques (en 2008, à l'échelle de toute la planète : 2800 TWh hydraulique pour un total énergies renouvelables de 3400, et un total toutes sources d'énergie de 20 000 TWh). Si elle peut connaître un fort développement au niveau mondial (facteur 3), elle ne peut, au niveau de l'Europe, que peu se développer, tout a déjà été pratiquement réalisé lors du siècle dernier.

Plus précisément, sans négliger la production d'électricité à partir de la géothermie profonde, en cogénération, et à partir de la biomasse, qui devraient rester marginales, nous nous intéresserons ici aux nouvelles électricités renouvelables (NER) produites à partir du vent et de l'énergie solaire, sur lesquelles se portent tant d'espairs.

Les scénarios allemands



Pour remplacer les énergies nucléaire et fossiles, les scénarios allemands supposent une baisse importante de la consommation finale d'énergie (passage de 217 Mtep à 125 Mtep, soit 42 % de baisse), et une chasse aux usages de l'électricité avec une diminution d'un tiers de la consommation (de 600 à 430 TWh) ; un très fort développement des énergies renouvelables (270 TWh) dont près de 200 TWh intermittents ; et près d'un quart d'importation d'énergie, dont l'origine n'est pas précisée, sinon qu'elle serait produite à partir de source non émettrice de gaz à effet de serre. Ces deux derniers facteurs impliquent un très fort développement des réseaux de grand transport d'électricité.

Références : « Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung » – Prognos/EWI/GWS 2100 (août 2010) ; « Prévisions futur énergétique de l'Allemagne ; comparaison avec France Negatep » – Claude Acket, Pierre Bacher (www.sauvonsleclimat.org)

Les scénarios ECF (European Climate Foundation)



Les scénarios ECF, applicables à l'ensemble de l'Europe s'intéressant à l'horizon 2050, considèrent que la consommation d'énergie finale est stabilisée à un niveau proche de son niveau de 2005 : + 12 % alors que le scénario « *business as usual* » conduirait à une augmentation d'environ 50 %. Les scénarios retiennent une forte augmentation de l'électricité (+ 50 %). L'étude européenne va beaucoup plus loin dans la modélisation d'un système électrique devant incorporer de grandes proportions d'électricités intermittentes (de 40 à 80 %). Elle montre la nécessité à la fois d'augmenter considérablement les moyens de production de pointe (plus de 200 GW de turbines à combustion, même en faisant l'hypothèse, favorable, que l'hydraulique norvégien et suisse seraient mobilisés pour répondre aux besoins de pointe) et de bâtir un « super réseau », probablement en courant continu (le courant continu permet de transporter de très fortes puissances sur de grandes distances en enterrant les lignes ; l'inconvénient majeur est son coût très élevé).

Références : « Practical guide to a prosperous, low carbon Europe » – European Climate Foundation (www.roadmap2050.eu) ; « Suggestions / contributions pour la refonte de la politique énergétique européenne » – Claude Acket, Pierre Bacher (www.sauvonsleclimat.org)

On entend souvent dire que les potentiels éolien et solaire sont quasi infinis. Et c'est vrai ! On entend aussi dire que ce sont des énergies « démocratiques », car elles existent partout (plus ou moins, il est vrai), sont gratuites et décentralisées, et peuvent être mises en œuvre par tout citoyen. La réalité est malheureusement moins belle : ces sources d'énergie étant diffuses, pour les capter et les convertir en électricité, il faut investir lourdement (seuls les citoyens fortunés peuvent investir dans des panneaux photovoltaïques et ils le font grâce aux aides) et, très rapidement, l'industrie s'oriente vers de très grosses installations (*small is not beautiful* !).

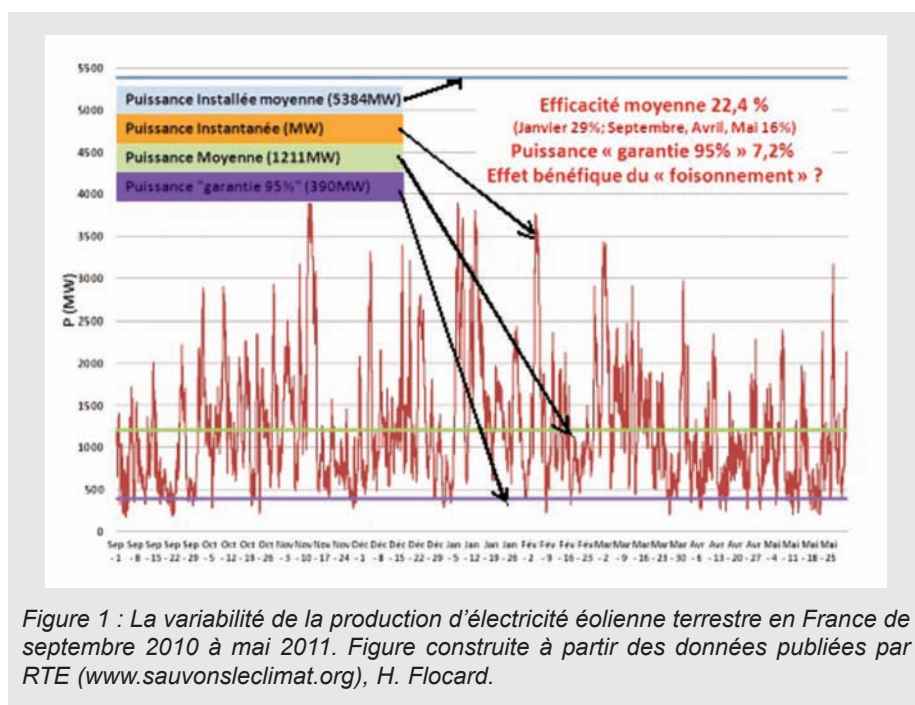
Plus grave, le vent, comme le solaire, sont des sources intermittentes d'énergie. Comment faire lorsque le vent ne souffle pas et que le soleil ne brille pas ? Le développement massif de ces NER se heurte à des problèmes de coût et d'insertion dans un réseau électrique.

Ce sont ces problèmes qui seront abordés ici, à l'aide de scénarios énergétiques allemands et européens (voir encadrés) que nous avons choisis parce que les uns et les autres examinent les conséquences d'un développement massif de ces énergies éolienne et solaire en remplacement total ou partiel du nucléaire. Un autre intérêt est que ces scénarios sont très contrastés : les premiers font le pari d'une diminution d'un tiers de la consommation d'électricité en Allemagne, alors que les seconds tablent sur une augmentation de moitié de la consommation d'électricité en Europe.

Nous examinerons successivement les moyens de faire face à l'intermittence de la production, les considérations économiques et la façon dont ces questions sont abordées pour le grand public.

L'intermittence de la production d'électricité solaire et éolienne

L'énergie du vent varie comme le cube de sa vitesse. Autrement dit, la puissance fournie par une éolienne est divisée par presque 30 lorsque le vent faiblit de 15 m/s à 5 m/s. Au-delà de 25 m/s, les éoliennes sont arrêtées par précaution, pour éviter leur emballement. Les conséquences sont une production extrêmement variable, illustrée par la figure 1. La puissance moyenne est de l'ordre de 25 % de la puissance installée, soit l'équivalent de 2200 heures par an de fonctionnement à pleine puissance. La France se situe ainsi, pour l'éolien terrestre, à mi-chemin entre l'Allemagne et l'Espagne. De grands espoirs sont mis aujourd'hui dans l'éolien en mer (dit « offshore ») censé bénéficier de conditions de vent beaucoup plus régulières, bien que soumises à plus de risques de tempêtes.



L'énergie solaire est beaucoup moins capricieuse, car elle est directement proportionnelle à la luminosité. Même par temps couvert, les cellules photovoltaïques reçoivent de la lumière et la transforment en électricité ; sauf la nuit, évidemment⁵.

Un fort développement des réseaux de grand transport

Les développements des réseaux de grand transport (lignes à très haute tension) sont une conséquence des deux scénarios. Ils sont illustrés dans l'encadré page suivante. La première carte provient de l'étude allemande, et la seconde de l'étude européenne dans l'hypothèse de 80 % d'électricités intermittentes.

L'importance des échanges à travers la France s'explique par la nécessité de compenser à chaque instant les défaillances du vent et du soleil, l'énergie éolienne étant relativement concentrée au nord de l'Europe et l'énergie solaire au sud (Espagne et, au-delà, Maghreb⁶, non représenté ici). On est frappé par l'importance des échanges transpyrénéens (47 GW) alors que la France et l'Espagne peinent depuis 20 ans à les faire passer de 1 à 2 GW !

L'augmentation du coût de l'électricité

Le développement massif des énergies renouvelables se traduirait par une très forte augmentation du coût de l'électricité (pratiquement un doublement), tout au moins dans les pays comme la France qui n'utilisent que très peu de combustibles fossiles pour la production d'électricité. Augmentation due pour l'essentiel aux coûts d'investissement très élevés pour l'éolien « offshore » et le solaire, mais en partie aussi au développement nécessaire des réseaux électriques.

En ordre de grandeur, pour produire la même quantité d'électricité qu'une centrale nucléaire de 1 000 MW (6700 heures équivalentes pleine puissance – hepp – par an) avec un mélange de 1000 MW d'éolien terrestre (2200 hepp par an), 1000 MW d'éolien offshore (3500 hepp par an) et 1000 MW de solaire (1200 hepp par an), le supplément d'investissement serait de 6,6 à 8 milliards d'euros⁷, sans compter les besoins de développement du réseau et les investissements supplémentaires dans les turbines à combustion.

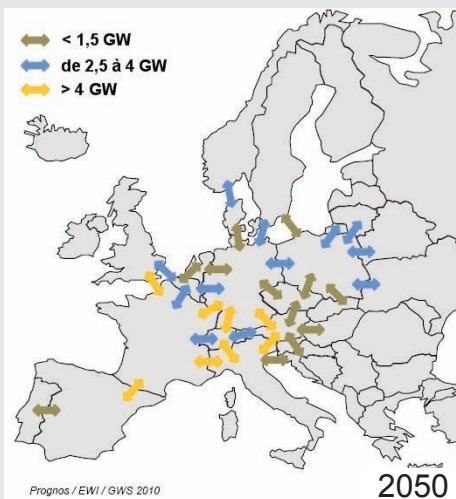
Remplacer en vingt ans le nucléaire par des énergies renouvelables, comme le préconisent certains, impliquerait le remplacement de 3000 MW par an de nucléaire, et exigerait des investissements annuels de 20 à 24 milliards d'euros. Ce montant peut être comparé à celui du « grand emprunt » de 25 milliards, censé donner une impulsion majeure à l'économie du pays.

⁵ C'est différent pour le solaire dit « à concentration », où le rayonnement solaire est concentré vers un foyer à l'aide de miroirs. Une lumière diffuse ne peut pas être concentrée, ce qui explique pourquoi cette technique est réservée aux régions bénéficiant d'un temps sec et clair (déserts américains, régions méditerranéennes).

⁶ Les principaux industriels et investisseurs allemands ont créé le consortium Desertec, dont l'ambition est de produire de grandes quantités d'électricité au Maghreb pour alimenter l'Europe.

⁷ Avec le « mix » ci-dessus, l'investissement annuel serait de : 1,3 à 1,5 G € pour 1000 MW d'éolien terrestre (1300 à 1500 €/kW) ; 2,3 à 2,5 G € pour 1000 MW d'éolien offshore (2000 à 2500 €/kW) et 3 à 4 G € pour 1000 MW de solaire photovoltaïque (3000 à 4000 €/kW).

Énergies intermittentes et renforcement des réseaux très haute tension



Les développements des réseaux de grand transport (lignes à très haute tension) sont une conséquence des scénarios incluant une forte proportion de production d'énergies intermittentes. Les trois figures ci-contre rendent compte des lignes d'interconnexion qui seraient à développer.

La première carte représente la situation actuelle.

La deuxième carte représente la situation en 2050, selon un des scénarios considéré dans l'étude européenne dans l'hypothèse de 80 % d'électricité intermittente.

La troisième carte provient de l'étude allemande et représente les évolutions des capacités d'interconnexions entre l'Allemagne et ses voisins, pour les seuls besoins du scénario allemand.



Dans un pays comme l'Allemagne, ces énergies renouvelables viendraient se substituer pour moitié au nucléaire et pour moitié aux énergies fossiles. Si, comme on peut le penser, le coût de ces dernières, incorporant le coût attribué au CO₂, augmente fortement au cours des prochaines décennies, leur remplacement par des énergies renouvelables sera indolore. Mieux, il remplacera des dépenses d'importation par des dépenses domestiques, créatrices d'emplois. Autrement dit, dès lors qu'une décision politique a été prise d'abandonner le nucléaire, le choix se situe entre fossiles et renouvelables, avec des atouts économiques sérieux en faveur des renouvelables. Un tel choix implique des investissements très élevés, particulièrement difficiles à financer en période de crise, mais probablement à la portée de nos voisins. Ceci explique probablement que l'Allemagne ait pris une « assurance énergie » en devenant un partenaire privilégié de GAZPROM, producteur majeur de gaz russe⁸.

Les deux exemples, de la France et de l'Allemagne, permettent de se faire une idée des enjeux économiques en cause. Dans la compétition économique en Europe, il est de l'intérêt de l'Allemagne que les autres pays abandonnent, comme elle, le nucléaire. Un tel choix contraindrait ces pays à développer les interconnexions permettant de palier les défaillances des NER. Il pousserait à la hausse les prix de l'électricité, les rapprochant des prix allemands.

La Commission européenne a, pour sa part, comme objectif premier la création effective d'une « Europe des électrons », d'un grand marché européen de l'électricité permettant de rapprocher les prix de l'électricité entre les différents pays dans un système de libre concurrence. Or, cette « Europe des électrons » ne peut vraiment exister que si les interconnexions entre pays se développent fortement. Il y a clairement convergence d'intérêts entre l'Allemagne et la Commission. Ce n'est pas forcément l'intérêt du consommateur français.

Bulles spéculatives autour du solaire ?

Le développement de l'énergie solaire photovoltaïque est un cas particulièrement intéressant à examiner. Elle est présentée en effet comme une énergie inépuisable (aucun doute là-dessus), démocratique (on a vu plus haut ce qu'il en était en termes de coûts induits), bientôt compétitive sans subventions (d'ici 2020, selon ses promoteurs, mais il faut encore diviser par 5 à 10 le coût du kWh). Pour faciliter son développement, les grands pays européens ont mis en place des tarifs d'achat par les distributeurs d'électricité très incitatifs, qui ont induit des bulles spéculatives monstres. Successivement, pour dégonfler ces bulles, les tarifs ont été revus à la baisse et les quantités installées plus ou moins contingentées : en Espagne en 2008, en Allemagne en 2009, en France en 2010 et 2011, en Grande-Bretagne en 2011. En France, notamment, l'industrie a vivement réagi en évoquant les emplois mis en péril. Ceci est probablement

⁸ On rappelle que l'ex-Chancelier Schröder est devenu président de North Stream, gazoduc reliant directement l'Allemagne à la Russie. L'Allemagne aurait aussi des intérêts dans le gazoduc South Stream.



vrai⁹ ; mais peu de médias se sont indignés de la bulle spéculative qui, si l'on n'y avait mis bon ordre, aurait rapidement entraîné plusieurs milliards d'euros de dépenses supplémentaires annuelles, répercutées sur les factures d'électricité, et de moindres rentrées fiscales, à la charge, *in fine*, des contribuables¹⁰.

Capter et stocker le CO₂

Très globalement, les quantités de CO₂ produites lorsque l'on consomme des combustibles fossiles sont proportionnelles aux quantités consommées (par rapport au pétrole, un quart en moins pour le gaz, un quart en plus pour le charbon). Diviser par quatre les rejets implique donc *grosso modo* de diviser par quatre les consommations de combustibles fossiles, à moins d'empêcher le CO₂ produit de partir dans l'atmosphère. Pour cela, il faut le capter à la source, puis le stocker. Le captage et le stockage du CO₂ (CSC) font l'objet de très nombreuses études et de quelques opérations pilotes, en particulier en Amérique du Nord, en Europe et en Chine.

⁹ Une étude allemande (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung : « Economic impacts from the promotion of renewable energies – the German experience – final report »- oct. 2009 – www.rwi.essen.de) attire cependant l'attention sur le fait que des emplois très subventionnés risquent, en faisant baisser le pouvoir d'achat des consommateurs, d'entraîner la destruction d'emplois non subventionnés.

¹⁰ Pierre Bacher – « Loi de Grenelle et flux financiers », Revue de l'énergie n° 590 (juillet-août 2009).

L'efficacité du captage et stockage du CO₂

Rares sont les études prospectives qui analysent l'efficacité du captage et stockage du CO₂, le chiffre le plus souvent cité pour le captage étant 90 % du CO₂ émis. Mais ce chiffre ignore le fait que le captage s'accompagne d'une augmentation (de près d'un quart) des quantités émises par kWh ou par tonne d'acier produits et oublie les émissions de CO₂ en amont. Or, le bilan des émissions de gaz à effet de serre du charbon, du pétrole et du gaz est très généralement sous-estimé. Lorsque l'on prend en compte les rejets de CO₂ lors de l'extraction et du transport des différentes énergies, l'efficacité réelle du captage et stockage du CO₂ devrait être plus proche de 75 % que de 90 %, voire sensiblement moins lorsque les conditions d'extraction sont défavorables (grisou des mines de charbon, pétroles non conventionnels...).



© Zambezishark | Dreamstime.com

Conclusion

La France et l'Europe peuvent-elles simultanément atteindre les objectifs ambitieux de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre et abandonner le nucléaire pour la production de leur électricité ? Nous avons cherché à fournir et à justifier quelques éléments de réflexion. Nous en tirons comme conclusion essentielle que la tâche serait très ardue mais pas impossible si on est prêt à en payer le prix très élevé, et si les citoyens, dûment informés des conséquences, y adhèrent pleinement. Le risque lié à l'abandon éventuel du nucléaire est triple : ne pas atteindre les objectifs de protection du climat, aggraver la crise économique surtout chez les défavorisés avec l'accroissement du coût de l'électricité, et se retrouver très dépendants des producteurs de gaz naturel. ■



Abonnez-vous en ligne :
<http://www.pseudo-sciences.org>

Le futur de l'énergie passe par davantage d'innovation

Jean-Luc Dormoy

Jean-Luc Dormoy, docteur en Informatique, travaille dans l'innovation et la recherche pour l'industrie dans le domaine des technologies de l'information. Il a créé de nouvelles sociétés et a été directeur *Smart Grid Commerce* pour le Groupe EDF.



L'énergie est au cœur de questions générales sur la crise, l'avenir de nos sociétés, l'avenir politique, le rôle de la science et de la technologie. Des affirmations plus ou moins étayées, mais relevant de la science ou de la technique et de son utilisation par les sociétés humaines, servent de pilier argumentatif. Outre apporter des rectificatifs point par point aux éventuelles inexactitudes, incompréhensions ou réelles impostures, il semble nécessaire d'éclairer les divers socles de conceptions en présence, et notamment sur leur attitude vis-à-vis du progrès technique et scientifique, et de son utilisation par les sociétés humaines. L'innovation technique en matière d'énergie est-elle à appeler de nos vœux, ou au contraire à redouter ? Y a-t-il un péché originel et irréductible au développement de la production et de la consommation énergétique, qu'il s'agirait

donc de combattre ? Ou ce développement doit-il au contraire être amplifié, en analysant et corrigeant ses effets secondaires négatifs, notamment par l'emploi de la science et de la technologie ? Si l'innovation technologique est souhaitable, quels obstacles se dressent à sa mise en œuvre, et comment éclairer les choix politiques, économiques et financiers nécessaires ?

Une raréfaction inéluctable et souhaitable de l'énergie ?

Au centre des discussions actuelles autour de l'énergie, on trouve la question de la quantité d'énergie disponible pour l'humanité : est-il souhaitable, nécessaire, possible, légitime de l'augmenter significativement ?

Une des grandes tendances à la mode est de répondre par la négative. C'est le propos notamment des partisans de la décroissance.

Pour eux, chercher à accroître la quantité d'énergie disponible n'est pas souhaitable, car cela abrègerait inmanquablement la disponibilité de ressources finies et non renouvelables ; en outre, cela aurait des effets contre-productifs massifs, notamment sur le réchauffement climatique. Ces futurs négatifs sont supposés se produire quoi que l'on fasse, ils ont la force d'une

démonstration mathématique à travers un modèle prédictif : effondrements résultant du modèle du Club de Rome (voir encadré) et de ses descendants, inévitabilité, voire actualité immédiate, du *peak oil* (point à partir duquel la production de pétrole va inexorablement baisser par raréfaction et extinction des gisements). Ils prennent aussi la forme de la catastrophe inévitable¹. Ivan Illitch constitue une des références pionnières reconnues².

Accroître la quantité d'énergie disponible ne serait pas nécessaire car une alternative existerait, celle d'une société sobre en énergie. Ce que cela signifie est plus ou moins vaste, d'une amélioration de l'efficacité énergétique à une réorganisation complète de la société, avec une diminution drastique des transports, de la production, des loisirs, etc.

Les arguments démontrant l'impossibilité de cet accroissement s'appuient tous sur deux présupposés : (1) les ressources naturelles sont de toute façon finies, quel que soit le procédé de production énergétique utilisé ; (2) on n'a rien trouvé, et on ne peut rien trouver, comme substitut massif aux énergies fossiles (par exemple, l'essence des voitures est une source d'énergie dont le caractère stockable et transportable est présenté comme inégalable pour les transports³).

Le club de Rome



Le Club de Rome est un groupe de scientifiques, d'économistes, d'industriels et de fonctionnaires de plus de 50 pays fondé en 1968 par Aurelio Peccei, à l'époque un dirigeant de Fiat. Le document de référence du Club de Rome est *Limits to Growth*, publié en 1972, qui décrit les futurs possibles de l'Humanité au XXI^e siècle à partir d'un modèle mathématique dynamique baptisé *World3*. Ce modèle regroupe quelques variables-clés dans un modèle à base d'équations différentielles, comme la population, la production agricole, industrielle, le niveau de pollution, et dans certaines versions le progrès technologique. Il a été élaboré au MIT par une équipe dont des membres les plus éminents furent le couple Dennis et Donella Meadows.

Tous les scénarios étudiés et simulés conduisent, à un horizon pratiquement invariable d'une centaine d'années, à un effondrement de la production agricole et industrielle et, de façon générale du développement humain, notamment de la population. La raison principale en est la prédominance *in fine* des effets contreproductifs, cristallisés dans la variable pollution, et la limite finie et indépassable des ressources naturelles.

Le Club de Rome est toujours actif, et de nouveaux rapports ont repris, en l'actualisant, le rapport *Limits to Growth* et le modèle *World3* sous-jacent. De nombreuses critiques méthodologiques et de fondement ont été émises sur ce travail, notamment sur les hypothèses de croissance exponentielle de la population, du capital disponible et de la pollution, alors que le progrès technologique ne croît que par incréments discrets et linéaires.

<http://www.clubofrome.org/>

¹ Jean-Pierre Dupuy, *Pour un catastrophisme éclairé*, éditions du Seuil, 2004.

² Ivan Illitch qui considérait également l'École et le système de santé comme des systèmes finalement plus contreproductifs que bénéfiques, et qui appelait à leur suppression, voir par exemple *Une société sans école*, Seuil 1971, ou *Némésis médicale*, Seuil 1975.

³ Yves Cochet, *Entropia*, n° 3, *Tout ce qui croît décroît*. (*Entropia* se présente comme la « revue d'étude politique et théorique de la décroissance »).



Enfin, il y aurait une légitimité supérieure de l'environnement, de la nature, de la planète, ou *a minima* des générations futures. Au cœur de cette affirmation, il y a le présupposé que toute industrie humaine *dégrade* de façon *irréversible* le milieu naturel, supposé intrinsèquement *bon*.

Un certain nombre d'éléments viennent en appui de ces points de vue : les ressources fossiles sont effectivement finies, et l'horizon de leur épuisement, s'il est discutable, n'en est pas moins visible à l'échelle de quelques décennies ou siècles. Le réchauffement climatique, dont il est avéré qu'il est causé par le rejet de gaz carbonique issu de la combustion de produits carbonés fossiles – même si son ampleur, son horizon temporel et ses conséquences sont incertains – est gros de conséquences néfastes. Les accidents – marées noires, accidents nucléaires – mettent en cause le passage à une échelle supérieure de l'exploitation de certaines filières énergétiques dans des conditions de sûreté acceptables.

Ceux qui répondent de façon opposée à toutes ces questions se font rares de nos jours, au moins en Europe, donnant le sentiment que les tenants d'une poursuite des progrès dans la maîtrise par l'homme de l'énergie sont contraints à une attitude défensive. Cela n'est pas vrai sur d'autres continents, par exemple aux États-Unis, les créateurs de l'industrie des technologies de l'information et de l'Internet investissent le domaine de l'énergie, avec un point de vue, naturel pour eux, qu'il s'agit de mettre à disposition de l'Humanité des ressources d'une magnitude supérieure à aujourd'hui. Ce n'est bien sûr pas le cas non plus des pays émergents qui, loin des débats théoriques ou de salon, répondent tout simplement avec les moyens

existants aux besoins immenses des populations et des pays.

Un point de vue humaniste sur les questions énergétiques

Bob Metcalfe, le créateur d'Ethernet et de la société 3Com, et un des financeurs de Cisco (entreprise leader des équipements de réseau de l'Internet), pose ainsi la question : que ferions-nous de 10 fois plus d'énergie qu'aujourd'hui ? Pour montrer comment la réponse à cette question peut dépendre du type de société où l'on vit, il suggère, d'une façon que l'on pourrait qualifier de futile, que cela permettrait d'envoyer 500 millions de personnes chaque année passer un week-end sur la Lune. Mais il apporte aussi une réponse qui l'est moins : cela permettrait de fournir à tout être humain de l'eau pure et saine en quantité correspondant au standard américain d'aujourd'hui, soit 400 litres par jour. Bien sûr, on peut discuter pour savoir si 400 litres ce n'est pas un peu trop ; on peut aussi sans doute améliorer le procédé retenu pour ce calcul de coin de table – en l'occurrence faire bouillir l'eau ! Cela souligne en passant que le problème de l'eau, mentionné comme un des grands problèmes à venir, revient en réalité à un problème d'énergie. Mais cela montre aussi et surtout qu'une augmentation massive de la quantité d'énergie disponible peut être éminemment souhaitable afin de ne pas condamner la majeure partie de l'Humanité à des conditions de misère matérielle et de sous-hygiène.



Entre la Lune et la simple disponibilité d'eau pure, il y a évidemment l'ensemble du développement humain : la culture, la communication, la connaissance, l'échange. Ainsi, la pyramide de Maslow⁴, qui prétend qu'il faut d'abord satisfaire les besoins humains basiques avant de penser à ceux qui sont plus « élaborés », doit être inversée : un être humain est pensant, qu'il ait ou non l'électricité – mais il l'est plus facilement lorsqu'il l'a. Souhaiter aller sur la Lune fait aussi partie de l'être humain !

Un tel point de vue humaniste, quelles que soient les nuances préférées de chacun, répond donc par la positive à la nécessité d'augmenter la quantité d'énergie disponible. En premier doivent être mis les besoins humains. D'ailleurs, il ne s'agit pas de décider à la place des personnes, des peuples, quelles que soient leurs cultures : plutôt que d'imposer des réponses aboutissant au maintien dans la misère d'une large partie de l'Humanité à partir de son confortable appartement parisien ou de sa maison ancienne, non

⁴ Pyramide de Maslow (*Maslow's hierarchy of needs*), http://en.wikipedia.org/wiki/Maslow's_hierarchy_of_needs

moins confortablement restaurée, demandons-leur leur avis. En fait, ils ont commencé à le donner, sans attendre l'autorisation.

Cela a des conséquences sur les développements énergétiques qui doivent être entrepris : les solutions proposées doivent passer à l'échelle d'une humanité de 8 à 10 milliards d'êtres humains, et pas seulement à sa fraction des pays dits riches.

Et les effets négatifs ?

L'hypothèse implicite des opposants à l'augmentation de l'énergie disponible est que les conséquences négatives sont en définitive dominantes, et ne peuvent pas être évitées. Disons-le, il s'agit d'idéologie. Il y a tout d'abord tromperie à affirmer qu'un procédé, s'il peut générer des effets négatifs, mêmes s'ils sont très peu probables, et même si ces conséquences pourront être évitées à l'avenir, doit être interdit : c'est le principe de précaution. La civilisation humaine ne s'est pas construite de cette façon, chaque innovation a créé des conditions négatives d'utilisation, potentielles ou intrinsèques, mais qui ont pu être surmontées. Soulignons qu'il n'y a pas non plus, à notre sens, de principe opposé au principe de précaution, qui garantisse que l'on s'en sorte toujours : c'est une des raisons de fond de la nécessité de l'exposé clair et, si nécessaire, public des éléments de choix.

C'est, par exemple, le cas de la non renouvelabilité des énergies fossiles. Il n'y a probablement pas de raison de principe interdisant la substitution d'énergies renouvelables à celles qui ne le sont pas – on croirait parfois être revenu au débat sur l'impossibilité du vol pour les plus lourds que l'air. Pour autant, l'utilisation du charbon puis du pétrole, a constitué historiquement, et constitue toujours, un vecteur et une étape essentiels du développement humain et de la civilisation. Si l'utilisation de ces énergies devient illégitime, quelles qu'en soient les raisons, elle l'a néanmoins été, et a permis d'atteindre un seuil où l'on peut poser et résoudre les conditions permettant de s'en passer. Et elle le restera pour en instruire l'effort.

Il est probable qu'il faille aujourd'hui investir massivement dans la mise au point et le déploiement de technologies *renouvelables*. Cela ne concerne d'ailleurs pas que l'énergie, mais l'ensemble des cycles d'utilisation de ressources naturelles. Par exemple, on l'a déjà souligné, l'eau devra être *fabriquée*. C'est déjà le cas dans une certaine mesure dans les pays développés, car il est rare que l'eau arrivant sur notre évier ne soit pas passée par un traitement, ou un retraitement. Le développement de technologies de désalinisation, accompagné d'une baisse massive des prix, est probablement la meilleure solution. Au regard des volumes prévisibles, le prélèvement sur les océans sera infinitésimal, et ne posera pas de problème, la renouvelabilité n'est donc pas une question absolue, mais de viabilité des cycles économiques humains, intégrés aux cycles naturels ainsi modifiés. On en viendra aussi, probablement, à fabriquer la plupart des matériaux. C'est déjà le cas pour les plastiques ou des matériaux plus



complexes, mais ceux-ci sont aujourd'hui à base de pétrole. Les promesses des nanotechnologies et de la biologie synthétique balbutiante, si elles se réalisent, pourraient à la fois apporter des solutions bien plus vastes que celles existantes, et repousser les limites des ressources naturelles fossiles. Permettons-nous un pronostic que nous sommes probablement trop vieux pour voir se réaliser : la prochaine « grande limite naturelle » sera de manquer de carbone – y compris sous forme CO_2 , que l'on saura utiliser comme matière première.

En résumé, si le doute sur la légitimité d'un accroissement de l'énergie disponible vient de l'opposition entre les besoins souhaitables et les conséquences néfastes inévitables, on y répond en construisant de façon pratique des solutions satisfaisant les uns en écartant les autres.

Le débat se concentre donc *in fine* sur la possibilité d'augmenter la quantité d'énergie disponible, tout en résolvant les problèmes posés par les technologies existantes. En outre, personne ne peut contester, à moins d'avouer des conceptions cachées, que si cela est possible, alors c'est souhaitable – à condition bien sûr d'écarter la tromperie du principe de précaution.

Et l'efficacité énergétique ?

Améliorer l'efficacité énergétique, c'est-à-dire faire la même chose avec moins d'énergie, est souvent opposé aux besoins de plus d'énergie, ou est présenté comme la solution à l'avenir énergétique.

Il est évident que l'efficacité énergétique fait partie des outils à disposition ou à construire. Cela n'est pas nouveau, certains ont ainsi essayé d'estimer l'amélioration de cette efficacité depuis la machine à vapeur, et ont trouvé⁵ des gains d'un facteur 7.

Mais il y a une autre tromperie derrière cette référence exclusive à l'efficacité énergétique, que l'on peut expliquer à partir de l'effet rebond. L'effet

⁵ Par exemple Angus Maddison. *Contours of the World Economy 1-2030 AD : Essays in Macroeconomic History*, OUP Oxford, September 2007.

rebond est une notion imaginée par Jevons, un économiste anglais du XIX^e siècle, successeur intellectuel de Malthus face à la révolution industrielle, et s'appelle donc paradoxe de Jevons. L'idée de base est que l'amélioration de l'efficacité de consommation d'une ressource ne diminue pas la consommation de cette ressource, mais au contraire l'augmente. Pour l'énergie, cela signifie que l'amélioration de l'efficacité énergétique entraîne une augmentation de la consommation de celle-ci. Comme cela n'est pas considéré comme souhaitable par les tenants d'une baisse absolue de la consommation énergétique, ils parlent de sobriété énergétique plutôt que d'efficacité.

Jevons avait en effet constaté dans son livre de 1865, *Sur la question du charbon*, que la consommation anglaise de charbon avait fortement augmenté après l'introduction par James Watt de sa machine à vapeur, bien plus efficace que celle de Newcomen.

Jevons a largement développé sa théorie, et projeté cet accroissement – exponentiel – de la consommation de charbon dans l'avenir, jusqu'en 1961, pour constater que les ressources de toute l'Angleterre, et même du monde, ne suffiraient pas à la couvrir. Avec le vocabulaire d'aujourd'hui, on parlerait de *peak coal*. Il imaginait même de mobiliser l'ensemble des ressources charbonnières de la planète pour alimenter la soif inextinguible de l'Angleterre, dont l'exploitation serait *in fine* limitée par des rendements décroissants, notamment de leur transport. Jevons s'est bien sûr trompé, pour deux raisons :

- Il faut distinguer ressource et usages de cette ressource ; on peut aussi parler d'infrastructure et de services rendus par cette infrastructure dans d'autres domaines ; cela est particulièrement vrai pour les ressources génériques, aux multiples applications, comme l'énergie, ou l'information.
- C'est ignorer l'innovation technologique, qui a rendu possible, sur la base de la création de richesse permise par l'économie du charbon et de ses applications, le développement de nouvelles formes d'énergie, notamment basées sur le pétrole.

En réalité, ce qui est présenté comme un paradoxe n'est qu'un sophisme, et l'effet rebond n'est pas à rejeter mais au contraire à souhaiter : l'amélioration de l'accès à une ressource – et notamment son prix – permet un développement de ses usages. C'est la révolution industrielle qui a fourni les ressources techniques permettant d'améliorer les déplacements, l'hygiène de vie – il faisait 12°C l'hiver dans un appartement londonien au XIX^e siècle – le retraitement des déchets, les conditions sanitaires, une nourriture saine et abondante, etc. Le passage au pétrole a permis de mettre des « nations entières sur des roues » avec la révolution automobile, et pas seulement les quelques dizaines de millions d'habitants du Royaume-Uni – qui ne profitaient pas tous de la révolution industrielle au XIX^e siècle d'ailleurs, loin de là.

Et, point clé, c'est la richesse acquise grâce à la technologie du charbon qui a fourni les ressources pour développer celle du pétrole. Le développement

appelle le développement – et la préservation des ressources naturelles à travers le passage à d'autres technologies. La décroissance n'appelle que la misère malthusienne.

Or, Jevons se limitait aussi bien à la technologie de base du charbon et de la machine à vapeur qu'aux usages qu'il connaissait. La « sobriété énergétique » d'aujourd'hui se limite aux usages énergétiques connus, qui sont insuffisants pour l'ensemble de l'humanité, alors qu'il s'agit de donner la possibilité de les étendre.

Quelle innovation technologique, et comment ?

L'innovation technologique est donc nécessaire à la résolution des problèmes énergétiques. En réalité, on devrait l'inclure par principe dans les modèles d'affaires, les modèles économiques (*business models*) et les projections qui sont faites à moyen et long terme, ce qui est très peu pratiqué aujourd'hui.

Un autre domaine industriel s'est développé sur un tel cycle d'innovation systématique et en a fait la base de ses circuits financiers et de décision : les technologies de l'information. Avec la loi de Moore qui, pour simplifier, fournit deux fois plus de puissance de calcul tous les 18 mois, un « effet rebond » ou « paradoxe de Jevons » est sciemment recherché. L'industrie détruit systématiquement les conditions d'installation d'une rente avant qu'elles ne soient réunies, et ouvre en permanence la place pour de nouvelles applications, de nouveaux marchés, etc. Un public de plus en plus large – deux êtres humains sur trois ont aujourd'hui un téléphone cellulaire – a appris les bases et adopté ces nouvelles technologies : le progrès technologique n'est pas le fait d'un petit groupe d'ingénieurs s'imposant au monde, il est massivement compris et adopté par des millions d'utilisateurs humains, ayant acquis la connaissance nécessaire. Savoir quelles applications sont souhaitables relève aujourd'hui essentiellement du marché, on peut estimer que des choix de société sont également nécessaires. Mais ces développements technologiques ouvrent massivement les choix possibles.

On devrait donc avoir dans l'énergie des projections semblables, avec la formation progressive d'une feuille de route, à l'instar de celle de l'ITRS⁶ pour l'électronique silicium, qui rythmerait les objectifs d'amélioration technologique de la production, du transport, du stockage et de la consommation d'énergie. Si elle est équilibrée entre ambition et réalisme, une telle feuille de route fournit un cadre de promesse technologique qui permet

⁶ L'*International Technology Roadmap for Semiconductors* est une organisation regroupant la communauté industrielle et scientifique internationale de la microélectronique créée en 1999 et qui publie un document de référence du même nom et remis à jour régulièrement. Ce document met en lumière les principales barrières au développement de nouvelles générations de composants de manière à respecter un cycle d'évolution suivant la loi de Moore et planifie à échéance d'une dizaine d'années les progrès technologiques attendus et espérés en micro et nanoélectronique. Il est à la base des décisions de financement de la R&D pour y parvenir, des investissements productifs (« fabs », ou usines fabriquant des puces, extrêmement coûteuses), et en avance de phase des nouveaux domaines applicatifs susceptibles d'être ouverts. <http://www.itrs.net>



d'engager les financements et les décisions à la fois de recherche et développement des technologies de base, des applications et des déploiements.

Car un autre type de barrière s'élève face à la résolution de nos problèmes énergétiques, qui est ce qu'on pourrait appeler l'allocation des ressources. Un pur financier ne peut pas faire plus que d'élaborer des plans à technologie constante. Notre expérience professionnelle autour des systèmes électriques intelligents, qui mêlent électricité et technologies de l'information, est que les acteurs demandent des plans à trente ans à technologie constante. Pour des technologies de l'information, voilà un véritable paradoxe. La concentration de la décision d'allocation des capitaux chez un petit nombre d'acteurs purement informationnels et financiers ne permet pas de juger de la pertinence de plans de développement technologique – et n'associe pas non plus le citoyen aux choix.

Quelles technologies ?

Les lecteurs de l'article attendent sans doute que l'on en vienne aux technologies. Nous ne le ferons pas dans le détail, c'est une question complexe, mais nous évoquerons deux sujets.

Tout d'abord, le nucléaire. Le nucléaire tel qu'il a été développé à ce jour a représenté une réponse adéquate à l'échelle de son utilisation : environ 16 % de la production d'électricité dans le monde, par un peu moins de 500 réacteurs. L'utilisation est à une échelle suffisante pour profiter de coûts bas. La technologie présente un risque – comme toute technologie – mais calibré par rapport à son utilisation : le bilan humain des trois accidents majeurs à ce jour a été effectivement très en dessous de celui d'autres technologies dans d'autres domaines.

Si on va vers deux, trois, dix fois plus d'énergie qu'aujourd'hui, est-ce que la technologie actuelle tient le passage à l'échelle ? Probablement pas, car

les risques et les conséquences seraient alors inacceptables et non acceptés. On peut donc comprendre de ce point de vue les réactions du public et d'un certain nombre de pays, qui souhaitent s'orienter vers de nouvelles technologies, nucléaires ou non. Il est donc temps de changer de technologie, et d'ailleurs le programme nucléaire français, par exemple, avait à l'origine prévu des financements pour développer et déployer ces technologies à venir – le parc était construit pour trente ans.

Il ne s'agit pas ici d'analyser et juger des technologies susceptibles d'émerger : troisième génération (dont un prototype est le réacteur EPR), qui constitue une amélioration de la seconde, c'est-à-dire l'actuelle ? Quatrième génération (qui peut être à base de surgénérateurs, mais d'autres technologies sont également étudiées dans le monde), dans un délai plus lointain, visant à dépasser l'horizon des ressources naturelles en uranium ? Ou technologies de rupture, comme celles développées par un certain nombre de sociétés innovantes aux États-Unis, par exemple ?

Nous ne l'analysons pas ici, mais ces développements technologiques seront indispensables. La question de leur financement est néanmoins posée dans un contexte difficile, où on a le sentiment de ne pas avoir fait preuve ces dernières années de toute la prévoyance d'une loi de Moore, nous conduisant à une situation où nous sommes confrontés à des défis pour lesquels nous ne sommes pas prêts. Mais l'énergie nucléaire comme énergie primaire, sous une forme ou une autre, représente certainement une partie de l'avenir énergétique.

Un autre exemple est celui des renouvelables. Là aussi, il faut penser des solutions à l'échelle des besoins et des aspirations humains. Par ailleurs, les renouvelables sont... renouvelables, et permettent donc à la fois d'attaquer la question de la limitation *in fine* de ressources fossiles, et des effets négatifs de la prolongation excessive de leur utilisation. Les renouvelables sont aujourd'hui chers. Bien sûr ! Il faut les améliorer, et établir un cycle vertueux d'amélioration et de déploiement. Cela ne se fera pas sans le public et les utilisateurs. Entendons-nous : pas seulement en Europe, aux États-Unis et au Japon, mais sur tous les continents. D'ailleurs, la question de l'équité des échanges et de l'accès aux ressources – quelle contrepartie pour le soleil du Sahara alimentant l'Europe, par exemple ? – se posera également de façon... renouvelée. Soulignons que les technologies renouvelables nécessiteront le développement conjoint de deux vecteurs technologiques : le stockage d'énergie, et notamment d'électricité, et l'intelligence à l'échelle de milliards de composants et d'acteurs du système énergétique.

Conclusion

Il n'est pas possible d'aborder les questions de l'avenir énergétique sans évoquer celles des objectifs souhaitables, et des ressources technologiques nouvelles qu'il va falloir développer pour y parvenir. Dans ce cadre, il est nécessaire d'éclairer le public et les décideurs sur ce que la science et la technologie peuvent éventuellement faire ou ne peuvent pas faire, sciences humaines comme l'économie et l'histoire incluses. ■

Où en est la prédiction sismique ?

Georges Jobert

Georges Jobert est géophysicien, professeur honoraire de géophysique à l'Université Pierre et Marie Curie, ancien directeur scientifique du CNRS. Il a été directeur de l'Institut de Physique du Globe de Paris et est correspondant de l'Académie des sciences. Ses recherches ont porté sur les ondes sismiques, les marées terrestres, les propriétés physiques de l'intérieur de la Terre et des planètes terrestres, les problèmes inverses.



La soudaine violence d'un séisme amène toujours la même question : était-il possible de le prédire ? Comme toujours à chaque catastrophe, paraissent des articles parascientifiques qui proposent des techniques assurées efficaces. D'autres dénoncent des opérations qui peuvent s'avérer sources de risques sismiques. Il est sans aucun doute opportun de faire le point.

Quelle est la cause des séismes ?

Ils sont dus à l'interaction de plaques lithosphériques. Celles-ci – au nombre d'une douzaine (voir carte) et d'une centaine de kilomètres d'épaisseur – forment la partie superficielle du Globe. Elles sont rigides et peuvent glisser sur la couche sous-jacente ductile, l'asthénosphère, dont certains minéraux sont au voisinage du point de fusion. Le manteau sous-jacent, quoique solide, est lentement déformable avec des vitesses de l'ordre de quelques centimètres par an. Sa propre chaleur, provenant de son état initial fondu, et celle qui provient de la solidification du noyau interne, s'évacuent par des mouvements de convection, analogues à ceux de l'eau dans une casserole chauffée par son fond. Le matériau chaud arrive en surface sous les dorsales océaniques et provoque l'écartement des plaques qui les encadrent. L'enfoncement dans les zones de subduction des plaques refroidies, et d'autant plus denses qu'elles sont plus âgées, contribue au mécanisme de convection.

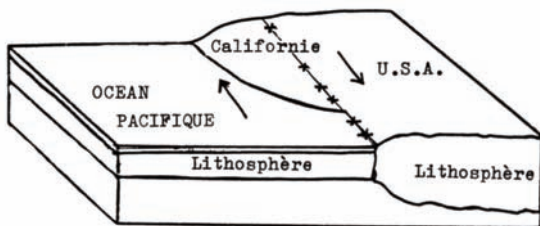
Pour calculer les vitesses relatives des plaques, on considère que celles-ci sont indéformables. Cette hypothèse est valable pour les parties des plaques océaniques formées



© Nigel Spiers | Dreamstime.com

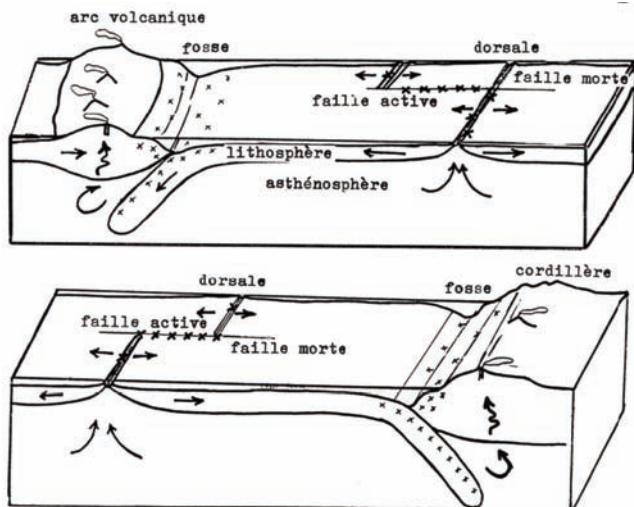
aux dorsales, mais pas au voisinage des zones de subduction, où elles doivent se plier (ce qui est à l'origine de la courbure des arcs volcaniques). Elle l'est moins pour les continents où des déformations importantes peuvent se produire comme dans le sud de la Chine¹.

Deux plaques adjacentes peuvent coulisser le long de leur frontière. Il ne s'agit évidemment pas d'un mouvement simple comme celui d'un tiroir dans son logement. Une zone, d'une largeur d'une centaine de kilomètres, est déformée ; des fractures dans la croûte se produisent sur des failles, à toutes les échelles jusqu'aux centaines de kilomètres. C'est par exemple le cas de la faille de San Andreas en Californie, qui s'étend du Nord de San Francisco à la baie de Californie, et qui est accompagnée d'un réseau complexe de failles dans toute la région, ou encore de la faille Nord Anatolienne, en Turquie et Arménie.



Quand deux plaques sont en convergence, deux cas² se présentent, selon la nature de leur croûte (continentale et épaisse d'une trentaine de kilomètres, ou océanique et épaisse d'une dizaine de kilomètres). Si l'une des croûtes est océanique, elle pourra glisser au-dessous de l'autre, provoquant, selon la nature de l'autre croûte, un archipel volcanique (par exemple Japon, Tongas ou Antilles) ou une cordillère (par exemple Andes).

Cette subduction s'accompagne de ruptures dans la plaque qui s'enfonce, générant fréquemment des tsunamis. Si les deux croûtes sont continentales, comme dans la collision Inde-Asie

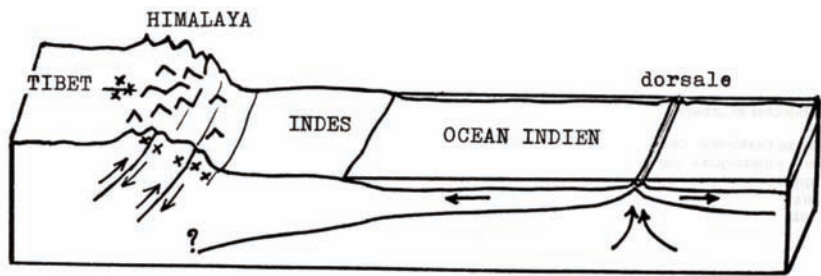


qui a provoqué la formation de l'Himalaya et du Tibet, ou encore dans la collision Europe-Afrique qui a provoqué la formation des Alpes, le plongement de l'une sous l'autre est plus difficile : il peut y avoir des séparations au niveau des croûtes. Mais cela

¹ Voir par exemple : <http://lgca.obs.ujf-grenoble.fr/perso/arepluma/recherche.html>

² Un troisième cas est possible : celui de l'obduction, où une croûte océanique chevauche une croûte continentale, comme dans l'Oman. On n'observe actuellement aucun processus de ce genre.

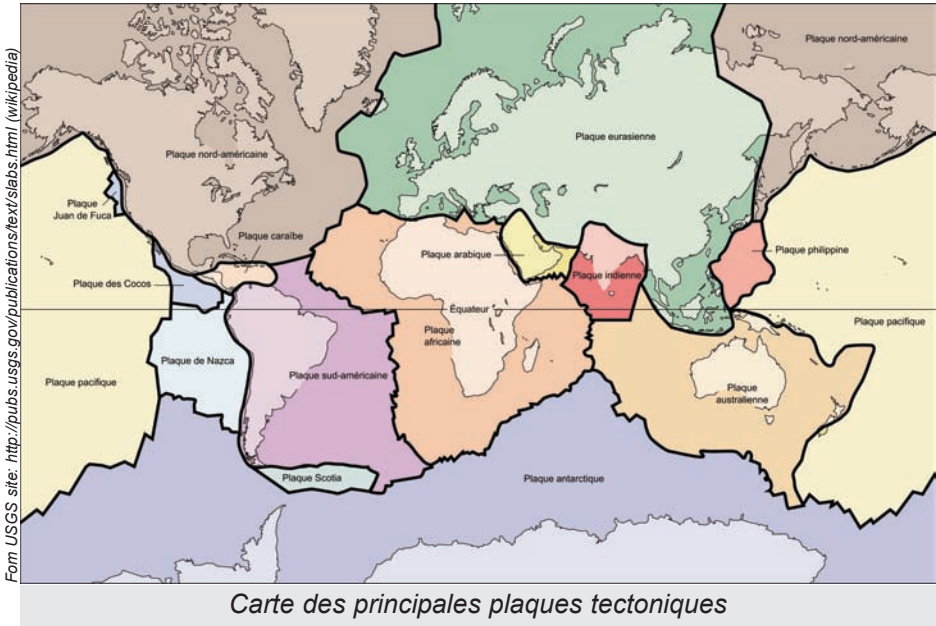
n'empêche pas le mouvement de se continuer pendant des dizaines de millions d'années. Dans ces contextes, la diminution de la surface occupée se fait par le jeu de failles dites inverses. Mais des phénomènes thermiques peuvent provoquer des distensions en avant des reliefs (volcanisme du Tibet).



Inversement, si une zone est en distension, comme dans les grabens (fossés d'effondrement continentaux des grands lacs d'Afrique de l'Est, et plus modestement des Limagnes), ou les vallées axiales des dorsales océaniques, les failles sont dites normales et la surface s'accroît.

C'est lorsqu'une faille « joue », sous l'effet de contraintes accumulées au cours du temps, que se produit le séisme, la rupture des blocs rocheux en profondeur pouvant être observée en surface.

Les séismes ne sont en somme que des accidents de la circulation des plaques. Le déplacement le long de leurs frontières est d'ailleurs très souvent asismique. On observe ainsi en profondeur des séismes « lents » ou « silencieux » (comme dans l'état de Washington, en 2004), probablement liés à un tel glissement lent.



Où en est la prédiction sismique ?

On peut dire que la prévision sismique est née avec la théorie de la tectonique des plaques³. Elle se base sur les traces de paléoséismes sur des failles anciennes, l'existence de failles actives, les taux de glissement déduits de la tectonique globale, ou les observations de déformation par GPS. Ce travail est utile à long terme pour la planification des implantations de villes nouvelles ou d'équipements divers, l'évaluation d'assurances⁴. Il fournit parfois la probabilité de répliques après un séisme moyen ou fort.

On appelle prédiction une prévision qui spécifie, avec leur incertitude, la position, la taille, la date du séisme, et donne une estimation de la probabilité de son propre succès. Ceci implique l'identification de phénomènes précurseurs fiables, sans ambiguïté, qui sera cependant nécessairement accompagnée de non-détections et de fausses alarmes. Les premières entraîneront d'innombrables procès pour les spécialistes, les dernières une perte de confiance des populations alertées, et éventuellement évacuées à tort, pendant des semaines, voire des mois. En Chine, une trentaine de fausses alarmes, ces dernières années, ont fortement perturbé les régions concernées, du point de vue économique aussi bien que social.

La recherche de signes précurseurs

Il est généralement admis qu'un gros séisme est précédé par des phénomènes précurseurs. On a, depuis longtemps, recherché toutes sortes de signaux géophysiques, géochimiques ou autres (comportement animal, par exemple), qui pourraient être utilisés à cette fin. Les sismologues chinois avaient réussi⁵ à prédire à temps le séisme de Haicheng (février 1975, province du Liaoning) et, grâce à plusieurs décisions d'évacuation opportunes,

à réduire notablement les pertes subies. Un grand espoir était alors né. Malheureusement, il fut ruiné l'année suivante par le séisme de Tangshan (province du Hebei), qui fit plus de 240 000 victimes.

Diverses méthodes, comme VAN, proposée par des géophysiciens grecs au début des années 80, sont basées sur l'étude de signaux électromagnétiques qui seraient associés à la préparation du séisme, mais elles n'ont jamais été considérées comme probantes.



© Vorika Prikhodko, istockphoto.com

³ Peu de séismes se produisent en dehors de leurs frontières. Dans certains cas, on peut attribuer ces séismes intraplaques aux lents réajustements post-glaciaires.

⁴ Voir par exemple <http://www.earthquakeauthority.com/>

⁵ Voir une étude détaillée sur ce sujet :

<http://www.sciencenet.cn/upload/blog/file/2008/6/200861418434216280.pdf>

Séismes et tsunamis

Pour des séismes qui se produisent en mer au voisinage des côtes, dans les zones de subduction, les dégâts les plus étendus sont généralement dus à des tsunamis.

Les zones proches du foyer sismique doivent être alertées immédiatement du danger. Ceci ne va pas sans le risque de fausses alertes, comme cela s'est produit le 14 mars dernier au Japon. En effet, tout séisme sous-marin ne déclenche pas automatiquement un tsunami.

Dans de nombreux cas, le foyer est éloigné de la côte – d'environ 150 km au Chili en février 2010 par exemple – et le délai avant l'arrivée de l'onde y est alors de l'ordre de 15 à 20 minutes, ce qui, si l'alarme est donnée aussitôt, permet à la population de se déplacer sur des hauteurs proches. Mais dans d'autres cas, les délais sont plus courts et il n'est pas toujours possible de déterminer à temps le potentiel du séisme à exciter une vague géante. Enfin, les moyens ne sont pas toujours disponibles pour alerter rapidement la population.

Le cas des zones éloignées du foyer ne présente pas en principe de difficulté majeure. La modélisation de l'avancée du tsunami est acquise et les caractéristiques de la rupture au foyer du séisme – nécessaires pour juger de la puissance de l'onde marine induite – peuvent être évaluées rapidement. La capacité de diffuser l'alerte à des milliers de kilomètres aussi. La difficulté essentielle est de faire passer l'information des centres de réception nationaux à la population menacée, qui ne saura pas toujours comment réagir lors d'une alerte. Cependant, les îles sans relief au voisinage des côtes resteront toujours sans protection.

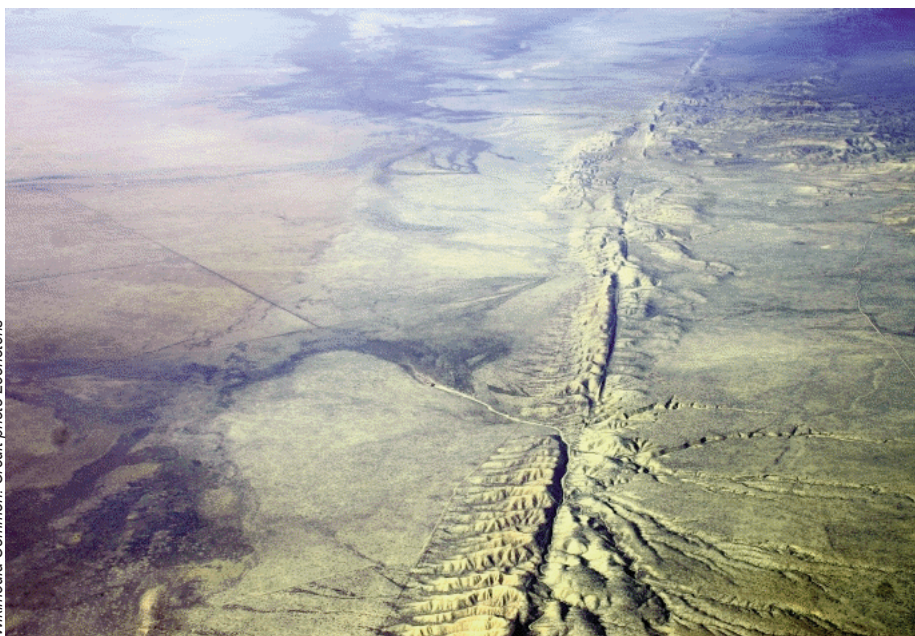
L'étude la plus complète a été menée à Parkfield, aux États-Unis, sur la faille de San Andreas. Compte tenu de la régularité des séismes qui y ont été observés (1857, 1881, 1901, 1922, 1934, 1966), on attendait vers 1990 un séisme d'une magnitude supérieure à 6 et on y a installé un réseau très étendu d'appareils variés. Le séisme a bien eu lieu, mais le 28 septembre 2004. Il n'y avait pas eu de précurseur visible en surface.

À défaut de précurseurs détectés, on peut utiliser des ondes sismiques dépassant un certain seuil, pour arrêter automatiquement des installations à risque comme les centrales nucléaires, les réseaux de distribution de gaz ou d'électricité ou des trains à grande vitesse. Des systèmes efficaces de ce type ont été mis en place au Japon, au Mexique et en Roumanie. Il est surprenant que ce ne soit pas encore le cas en Californie⁶.

La genèse des séismes

Les progrès ne pourraient venir que d'une meilleure compréhension de la préparation d'un séisme : la sismogenèse. Plus que le reste de la Terre, peut-être, la croûte continentale est un milieu hétérogène très complexe. Son état actuel est le résultat d'une évolution poursuivie sur des milliards d'années. Des failles s'y sont formées, ont guéri, se sont réactivées, selon l'évolution du système de convection mantellique qui commande la tectonique globale.

⁶ <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=tsunami-seconds-before-the-big-one>



La faille de San Andreas. Les plaques du Pacifique et de l'Amérique coulisent le long de leur frontière et sont responsables de très importants séismes en Californie.

L'avance la plus notable vient d'une meilleure appréciation du rôle des fluides, tant mécanique (pression de pore) que chimique (recristallisation). C'est ce qui rend particulièrement intéressantes les recherches qui sont menées dans cette optique par le Programme européen d'étude du Golfe de Corinthe⁷.

Une autre approche est basée sur le concept de criticalité auto-organisée proposé par Per Bak⁸, dans laquelle apparaissent des lois en puissance comme en sismologie (loi de Gutenberg-Richter liant nombre de séismes et magnitude, distribution des longueurs de failles, géométrie fractale des épacentres et des patrons de failles). Mais on est encore loin d'en déduire un modèle efficace pour la prédiction des séismes.

Prévision ou prévention ?

On a pu faire un parallèle intéressant entre prévision météorologique et prévision sismologique⁹ : la théorie du chaos et celle des systèmes dynamiques ont permis de comprendre les limitations de la première, où l'on dispose de mesures *in situ* autrement plus nombreuses que pour la seconde. De plus, on n'a pas en sismologie d'outil mathématique analogue à l'équation de Navier-Stokes, qui permet d'étudier l'évolution d'un fluide

⁷ Voir : http://corinth.dt.insu.cnrs.fr/index_en.html

⁸ Bak, P. *Quand la nature s'organise : avalanches, tremblements de terre et autres cataclysmes*. Flammarion 1999.

⁹ D.Sornette. *Critical Phenomena in Natural Sciences : Chaos, Fractals, Selforganization and Disorder : Concepts and Tools*, Springer 2000.

turbulent. La prédiction déterministe d'un séisme individuel, avec des limites assez étroites pour permettre de planifier l'évacuation de la population, est considérée par les spécialistes comme un but non réaliste.

Il faut rappeler que les failles sismiques elles-mêmes font très peu de victimes, qui – en dehors des tsunamis et autres effets indirects – sont essentiellement dues à l'effondrement de leurs habitations. Des normes de construction adaptées au risque, dites parasismiques, ont été mises au point. En France, la carte des risques sismiques pour l'ensemble des communes, vient d'être remise à jour. Des immeubles construits en respectant ces normes peuvent résister même à un séisme très violent. En ce qui concerne les immeubles anciens, les décisions relèvent de considérations socio-économiques tenant compte du risque sismique. Les pays développés ne font que médiocrement l'effort de remise aux normes et souvent, même pour les ouvrages neufs, le contrôle de la qualité des travaux effectués n'y est pas toujours très strict. Que dire alors des pays pauvres ! ■

Un lien conseillé aux lecteurs intéressés :

http://www.nature.com/nature/debates/earthquake/quake_frameset.html



Deux lacunes sismiques identifiées au Nord et au Centre/sud du Chili qui semblaient mûres pour une rupture prochaine (les zones entourées en rouge). L'étoile rouge bordée de noir montre l'épicentre du séisme de Concepcion du 27 février, survenu au centre d'une de ces lacunes. Les cercles rouges montrent les épicentres des gros séismes passés, les points jaunes leurs répliques enregistrées pendant un mois après le choc principal. Elles dessinent la surface de la faille qui a rompu lors du séisme (les ellipses blanches).

Les lacunes sismiques

La théorie du rebond élastique, due à Reid (1910), a été complétée par la prise en compte du frottement sur la faille. Le glissement sur celle-ci peut être bloqué par des aspérités, où s'accumulent les contraintes quand l'ensemble du milieu est déformé par le mouvement des plaques tectoniques. Toute une zone* où se sont déjà produits des séismes importants dans le passé, peut rester inactive pendant un certain temps : c'est une « lacune » sismique (*seismic gaps*). La rupture d'une aspérité permettra le déplacement des blocs et l'élimination provisoire des contraintes, avec un séisme d'autant plus fort que la période calme a été plus longue. On envisage à l'inverse qu'un mont sous-marin, sur la plaque plongeante, puisse constituer une de ces aspérités et limiter l'importance du séisme.

Pour passer de la prévision à la prédiction, il serait nécessaire de bien connaître le fonctionnement du réseau de failles voisines de la faille étudiée et d'arriver à estimer la probabilité d'occurrence de la rupture brutale.

* Une extension à la frontière complète d'une plaque a été envisagée. Si la séquence de gros séismes en 15 mois autour du Pacifique (2/2010 au Chili, 9/2011 en Nouvelle-Zélande, 3/2011 au Japon) correspondait à un processus global, on pourrait craindre un séisme de magnitude analogue dans la zone de subduction de la petite plaque de Juan de Fuca au large du Canada et de l'Oregon, qui est bloquée depuis des siècles. Les villes de Vancouver, Seattle, Portland, seraient alors menacées.

Séismes et ionosphère

Les relations entre séismes et ionosphère* ont fait récemment l'objet de nombreux commentaires sur Internet, en particulier à cause de projets russe, SURA, et américain, HAARP, consistant à envoyer dans l'ionosphère de puissants faisceaux d'ondes électromagnétiques à très haute fréquence, pour modifier son état dans une zone donnée. Ces projets ont été abondamment dénoncés comme sources potentielles de nombreux dangers pour l'Humanité : tornades, tsunamis, changements climatiques et même fonctionnement cérébral humain.

Est-ce là une conséquence inattendue d'une publication** qui décrit les effets à basse fréquence dans l'ionosphère d'ondes sonores émises par un séisme et en déduit une méthode de détection d'un séisme ou d'un tsunami ? La causalité dans ce sens paraît bien établie. Pour l'instant, rien ne permet de dire qu'elle fonctionne aussi dans l'autre sens. En général, des phénomènes qui se produisent dans des gammes de fréquence extrêmement éloignées n'interagissent pas.

* L'ionosphère est la couche externe de l'atmosphère terrestre, caractérisée par une ionisation partielle des gaz.

** http://www.ipgp.fr/files_lib/818_Lognonne_JSFP_2005.pdf

Séismes induits par l'activité humaine (barrages, injections de fluides...)

Un barrage hydraulique provoque l'infiltration d'eau dans le sous-sol, qui modifie le coefficient de frottement sur une éventuelle faille, soumise alors à un surplus de charge. On a attribué de telles causes à différents séismes, comme celui du Sichuan de mai 2008.

Dans une zone sismique, la menace qu'un barrage affaibli ferait peser sur les habitants en aval de sa vallée ne peut être ignorée.

Dans les années 1960, des séismes avaient eu lieu dans la région de Denver, après l'injection de rejets liquides dans des forages profonds. La fracturation hydraulique utilisée en géothermie et pour l'exploitation des schistes bitumineux en est un autre exemple.

Séismes et marées

Un lien de causalité est parfois invoqué entre ces deux phénomènes. Rappelons que les marées correspondent aux variations périodiques du champ de gravité dues au déplacement d'une planète par rapport à son étoile et aux autres planètes et satellites du système. Pour un couple donné, elles sont proportionnelles au produit des masses et inversement proportionnelles au cube de la distance. C'est pourquoi, pour la Terre, seuls interviennent le Soleil par sa masse, et la Lune par sa distance. Leurs actions sont voisines et de l'ordre du dix-millionième de la pesanteur, correspondant à des déplacements du sol de l'ordre du décimètre. La plupart des études statistiques entreprises pour détecter un éventuel effet sur les séismes ont échoué. Il faut signaler toutefois un travail de L.Métivier*, portant sur 400 000 séismes, qui indique un faible effet statistique, inutilisable pour une prédiction. *A fortiori*, aucune autre planète ne peut avoir une influence. Même si les marées océaniques peuvent être renforcées par leur canalisation et des conditions d'alignement ou de distance des astres, aucune influence n'a jusqu'ici été détectée.

* L.Métivier et al. *Evidence of earthquake triggering by the solid earth tides* EPSL 278 2009

Glissements de terrain

Comme pour les éruptions volcaniques, ces effets secondaires sont souvent très destructeurs*. Rappelons l'engloutissement en 1949 de Khait et de plusieurs villages au Tadjikistan, avec près de 30 000 morts, les 50 000 victimes du séisme d'Ancash au Pérou en 1970, le séisme du Salvador en 2001.

* www.lirigm.ujf-grenoble.fr/PDF/nhs2003-3-135.pdf

Notes de lecture

Le nucléaire : un choix raisonnable ?

Hervé Nifenecker

Éditions EDP Sciences, 2011, 213 pages, 19 €



Le livre d'Hervé Nifenecker, président de l'association « Sauvons le Climat », récapitule les raisons pour lesquelles l'énergie nucléaire est utile, voire indispensable, pour l'avenir de nos sociétés et la préservation du climat. Il s'adresse à un public scientifique (certains développements en sont assez pointus) et passe en revue tous les aspects de la question (techniques, économiques, biologiques, etc.). Publié en mai 2011, le livre intègre quelques développements suite à l'accident de Fukushima dû au tsunami qui a ravagé les côtes japonaises.

Le livre est découpé en 20 chapitres, chacun abordant un aspect du problème. Une introduction précise le parcours personnel de l'auteur. Des annexes rappellent les notions de base.

Un chapitre, essentiellement descriptif, expose l'état actuel et les perspectives de la filière, et la part importante, mais pas prépondérante, de la France. Hervé Nifenecker aborde également les stratégies de stockages des divers types de déchets, pose le problème de l'indépendance énergétique, et s'interroge sur l'acceptation par la population et ses incidences politiques.

La transparence de l'industrie du nucléaire civil fait l'objet d'un autre chapitre. Le reproche d'opacité adressé au nucléaire serait dû à son utilisation militaire. L'opposition de beaucoup de scientifiques au programme militaire semble être l'une des origines de la contestation du programme civil. Hervé Nifenecker montre qu'aujourd'hui, la transparence sur les activités des opérateurs du nucléaire (centrales, déchets, etc.), est d'un niveau satisfaisant.

Le danger des radiations est ensuite exposé, et l'auteur critique l'approche RLSS (relation linéaire sans seuil, l'hypothèse selon laquelle il y aurait proportionnalité, même pour de faibles doses, entre dose et effet). Cette approche, souvent recommandée par raison de sécurité, conduit à des absurdités (par exemple, à propos de l'évaluation du nombre de victimes de la catastrophe de Tchernobyl) et contredit tous les résultats biologiques et épidémiologiques reconnus.

Hervé Nifenecker aborde ainsi, au fil des chapitres, et de façon détaillée, l'incidence de la catastrophe de Tchernobyl sur le développement du nucléaire (paradoxalement, plus forte dans les pays éloignés que dans les pays proches, inquiets de dépendre du fournisseur russe d'énergie), la plausibilité et les conséquences d'un attentat contre une centrale, de l'écrasement volontaire

d'avion sur un réacteur. Un chapitre compare les situations à Tchernobyl, à Fukushima, et les caractéristiques du parc français (si l'équivalent de Tchernobyl semble inconcevable en France, l'équivalent de Fukushima est possible et Hervé Nifenecker expose certains renforcements de la sûreté envisageables chez nous). Un tableau rend compte d'une étude comparée des différentes sources d'énergie, quant à leur dangerosité relative. Le nucléaire apparaît comme bien moins problématique que le charbon ou le gaz.

Plusieurs chapitres sont consacrés aux questions énergétiques : la contribution du nucléaire pour résoudre les problèmes de sources d'énergies, les réserves de combustibles, suffisantes si on met en œuvre des techniques de 4^e génération, avec les réacteurs surgénérateurs, la compétitivité économique du nucléaire (avec une discussion sur les questions du démantèlement, des coûts externes induits, de la filière EPR, de la souplesse de production du nucléaire pour s'adapter à la courbe de consommation). Enfin, les questions des déchets, de la prolifération, bien entendu du réchauffement climatique, font l'objet de chapitres précis et détaillés.

Dans sa conclusion, Hervé Nifenecker reconnaît que le nucléaire ne résoudra pas tous les problèmes d'énergie, mais montre que la balance entre avantages et dangers est largement positive. Il reste à faire de gros efforts d'éducation et de diffusion des connaissances pour calmer les craintes irraisonnées, dont le nucléaire n'a du reste pas le monopole (l'auteur évoque les OGM, les nanotechnologies, les ondes électromagnétiques...). Sur un certain nombre d'aspects (intérêt du MOx, retraitement immédiat des combustibles usés, concentration des déchets de haute activité et de vie longue sans effort de traitement plus poussé), les positions exprimées par l'auteur divergent des choix faits par les autorités françaises du domaine nucléaire.

Ce travail d'Hervé Nifenecker, malgré quelques imperfections, constitue une base solide dans cette perspective de diffusion de connaissances scientifiquement fondées sur la filière nucléaire.

Jean Günther

Le nucléaire – Débats et réalités

Bertrand Barré

Ellipses, 2011, 160 pages, 15,20 €



Bertrand Barré nous offre un ouvrage fort utile en ces temps de débat sur l'énergie nucléaire. Avec un réel talent de conteur, il relate l'histoire de l'énergie, depuis le feu jusqu'à l'atome, et présente au lecteur tout ce qu'il faut savoir sur le phénomène de la radioactivité. Bertrand Barré explique aussi le fonctionnement des différents types de réacteurs nucléaires, ainsi que le mode de production du combustible nucléaire. L'exposé surprendra certains : il existe même plusieurs réacteurs nucléaires... naturels !

Une fois le lecteur informé, il aborde les sujets qui fâchent : l'accident de Tchernobyl et son fameux « nuage », ses conséquences sanitaires, un point également sur celui de Fukushima, la gestion du risque dans cette industrie et le problème des déchets et de la prolifération nucléaires.

Mais l'intérêt majeur de cet ouvrage est certainement de poser clairement les enjeux du débat sur le nucléaire : Bertrand Barré montre que le vrai sujet, c'est l'énergie. Sans énergie, pas de développement possible et pas de vie décente possible pour les populations qui en sont privées. Ainsi, la question qui est réellement posée à l'Humanité entière n'est pas : faut-il être pour ou contre le nucléaire ? Le véritable problème à résoudre est : comment produire dans quelques décennies deux fois plus d'énergie tout en émettant quatre fois moins de gaz à effet de serre afin de lutter efficacement contre le réchauffement climatique ?

Vincent Laget

La fantastique histoire du Radium ***Quand un élément radioactif devient potion magique***

Jean-Marie Cosset et Renaud Huynh

Éditions Ouest-France, 2011, 128 pages, 17,90 €



« *Le Radium est un élément radioactif. Mais le Radium est beaucoup plus que ça ! Le Radium est un symbole* ». C'est par cette phrase que commence l'introduction des deux auteurs, le premier, médecin radiothérapeute et chef de département honoraire (oncologie-radiothérapie) à l'Institut Curie, le second, directeur du Musée Curie à Paris. L'ouvrage passe en revue les divers aspects de ce métal aux propriétés à la fois bénéfiques et mortelles.

C'est d'abord le symbole scientifique qui est présenté, depuis la découverte en 1898 par Pierre et Marie Curie, jusqu'aux prix Nobel attribués en 1903 au couple et à Henri Becquerel, puis en 1911 à Marie Curie. Le symbole médical, ensuite, avec la curiethérapie et les divers usages, internes et externes, du radium pour soigner plaies ou cancers. Le cours du radium, alors symbole industriel, a dépassé largement le cours de l'or dans les années 1910-1920, faisant et défaisant les monopoles au fur et à mesure de la découverte des gisements d'uranium d'où l'on extrayait le précieux métal.

La création publicitaire aidant, la fascination pour le matériau « le plus cher du monde », introduit dans toutes sortes de préparations médicales (pommades, potions, boues, compresses radifères) ainsi que la mise en avant de la radioactivité des sources thermales, dont on venait, enfin, disait-on, de trouver l'origine des propriétés curatives, ont conduit à sa popularisation. Bien entendu, si la plupart des produits « radifères » étaient dénués de radioactivité – ou en contenaient d'infimes quantités –, cela ne pouvait laisser indifférents les charlatans qui n'hésitèrent pas à mettre en péril la santé

de leurs clients, comme dans l'affaire du Radithor, aux États-Unis, à la fin des années 1920. Autre scandale sanitaire, celui des « *Radium girls* », ces jeunes femmes qui, travaillant pour la compagnie US Radium, se contaminaient en appliquant sur les aiguilles et cadrans des réveils et des montres – et de nombreux autres objets – une peinture « au radium » qui les rendait fluorescents : au cours des procès, l'industriel mobilisa des experts scientifiques pour défendre l'idée que l'on ne pouvait, alors, évaluer la dangerosité du radium et surgit, déjà, la question des conflits d'intérêt...

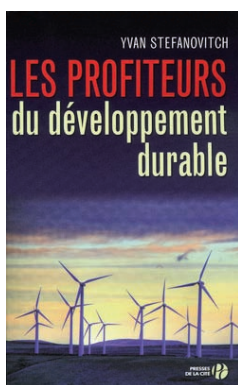
Panacée presque universelle, le radium connut aussi un véritable succès populaire grâce à la littérature, au cinéma, au théâtre, à la bande-dessinée, à la chanson et à la musique. Aujourd'hui encore, tant dans le domaine médical que dans la culture populaire (et commerciale), le radium conserve une certaine estime. C'est cette « saga » que présente l'ouvrage. Celui-ci, d'une lecture aisée et agréable, est richement illustré par les documents d'époque et la reproduction de pièces étonnantes du Musée Curie ; de nombreuses citations montrent les bienfaits attribués, alors, à la radioactivité. Enfin, signalons que les droits d'auteur de cet ouvrage sont reversés à l'Institut Curie pour la recherche sur le cancer.

Philippe Le Vigouroux

Les profiteurs du développement durable

Yvan Stepanovitch

Presses de la Cité, 2011, 288 pages, 18,50 €



Journaliste d'investigation, l'auteur se plonge dans la réalité des projets dits de « développement durable » et critique durement la manière dont ces projets sont gérés. Sans le dire clairement, l'auteur est un opposant à l'énergie nucléaire. Il nous explique que les abondantes subventions distribuées par la puissance publique aux énergies « renouvelables » aboutissent chez les grandes entreprises, qui, selon lui, ne sont ni honnêtes ni efficaces, et négligent les PME innovantes ou les initiatives individuelles. Ce dernier point mériterait une discussion plus sereine que celle qui nous est présentée.

La leçon que l'on peut tirer de ce livre est que quand un État, pour des raisons politiques, distribue des subventions à des acteurs industriels, il ne doit pas s'étonner du mauvais usage de cet argent et des dérives constatées.

Même si les raisonnements de l'auteur ne sont pas tous sans parti pris, sa prose passionnée, basée sur un grand nombre de faits avérés, est une utile mise en garde contre la confiance naïve que font certains à des décisions politiques déconnectées des réalités scientifiques et industrielles.

J. G.

Rubrique coordonnée par **Philippe Le Vigouroux**

Petites nouvelles...

Un monde fou, fou, fou...



Que la pâte soit avec vous !

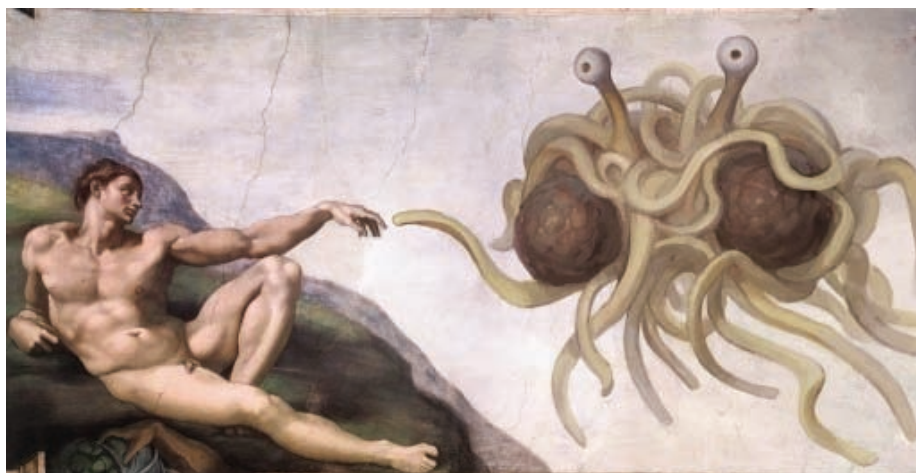
Selon la BBC [1], un automobiliste autrichien, Niko Alm, a reçu son permis de conduire avec sa photo sur laquelle il porte, en guise de couvre-chef, un égouttoir pour les pâtes. Trois ans plus tôt, Niko Alm avait déposé la demande d'un permis de conduire avec cette photo, après avoir lu que le seul couvre-chef autorisé sur les photos officielles devait être religieux. Nicolas Alm a prétendu que porter ce couvre-chef était une obligation liée à sa religion, le « pastafarisme ».

Cette demande a visiblement embarrassé les autorités autrichiennes, qui ont exigé qu'il produise un certificat médical mentionnant qu'il était psychologiquement apte à conduire !

Niko Alm se présente comme un « pastafarien », membre de l'« Église du Monstre en Spaghettis Volant » et demande que les autorités autrichiennes reconnaissent officiellement le pastafarisme comme religion.

Cette « Église » a été créée aux États-Unis par Bobby Henderson, 24 ans, diplômé en physique de l'Université d'État de l'Oregon, afin de répondre aux pressions exercées sur les écoles américaines pour qu'elles enseignent la théorie du dessein intelligent, que certains groupes chrétiens défendent comme l'alternative à la théorie de l'évolution et de la sélection naturelle de Darwin.

Depuis, elle s'est répandue dans le monde entier et compte plusieurs milliers de membres, principale-



*Monstre Spaghetti Volant touchant l'Homme de son appendice nouillesque
WikipediaCommon.*

ment dans les milieux étudiants états-uniens et européens.

En 2005, le Kansas avait décidé d'enseigner en cours de science le créationnisme, parallèlement à la théorie de l'évolution. Bobby Henderson écrivit alors une lettre ouverte [2] au Comité d'Éducation de l'État du Kansas pour protester et demander que le pastafarisme y soit enseigné au même titre que les deux autres théories.

Il écrivait notamment : « *Je pense que nous pouvons nous réjouir à l'idée qu'un jour ces trois théories aient une part de temps égale dans les cours de science de notre pays mais aussi du monde entier ; un tiers du temps pour le dessein intelligent, un tiers du temps pour le Monstre de Spaghettis Volant, et un tiers du temps pour une théorie logique fondée sur une masse écrasante de preuves irréfutables et observables.* »

C'est dans cet état d'esprit que Niko Alm a demandé que la photo de son permis de conduire comporte un couvre-chef à caractère confessionnel.

Le pastafarisme, vous l'avez compris, est une parodie du concept de dessein intelligent. Il professe que le monde a été créé par un dieu, le Monstre en Spaghettis Volant, dont l'apparence serait celle d'un plat de spaghettis et de boulettes de viande, hypothèse pas forcément plus absurde et improbable que

celle de Dieu. L'imperfection du Monde viendrait de ce que son créateur aurait beaucoup bu en le créant.

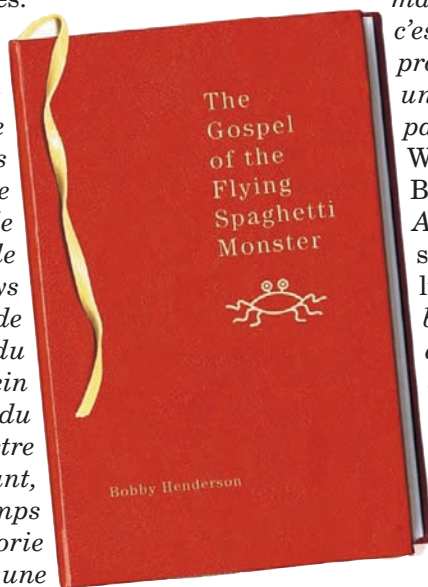
En 2006, Bob Henderson a publié *L'Évangile du Monstre en Spaghettis Volant*. Environ cent mille exemplaires ont été vendus. Simon Singh [3] écrivit dans *The Telegraph* que l'Évangile « *peut paraître légèrement répétitif [...]*

mais, par-dessus tout, c'est un livre brillant, provocateur, spirituel, une sorte de joyau parmi les livres. » [4]

Wayne Allen Brenner, de *The Austin Chronicle*, souligna que le livre : « *répond à un besoin d'humour dans la bataille excessivement sérieuse entre science et religion.* » [5] James Randi, quant à lui, pense que « *la "théorie" du dessein*

intelligent a un problème fondamental que ses concepteurs (sans jeu de mots) n'ont apparemment pas anticipé : elle ne précise pas lequel parmi des milliers de dieux doit être accepté, elle suppose que la divinité sera la divinité traditionnelle chrétienne fondamentaliste. Cela laisse la place pour n'importe lequel des autres dieux. » [6]

Le seul dogme autorisé dans cette Église est le rejet de tout dogme. Le vendredi est un jour saint, les prières se terminent généralement par *Ramen*, parodie de *Amen* (les *ramen* sont des nouilles japonaises)



et les fidèles sont des buveurs de bière invétérés à l'image de leur prophète. Quand deux fidèles se rencontrent, ils émettent ce souhait : « *Que la Pâte soit avec vous* » ! Les « huit condiments » [7] ont remplacé les dix commandements. Tous commencent par : « *Vraiment, J'aimerais assez que...* ». Le premier dit : « *Vraiment, J'aimerais assez que vous évitiez d'être un moraliste cul béni quand vous prêcherez Ma Bonté Nouillesque. Si certaines personnes ne croient pas en Moi, c'est bon : Vraiment, Je ne suis pas Vaniteux. Par ailleurs, ce n'est pas à leur propos que Je changerai Mes Desseins.* »

Le mouvement des pastafariens a trouvé cette méthode provocatrice et humoristique pour lutter sans agressivité contre l'enseignement du créationnisme.

Comme le dit James Randi : « *Alléluia* » !

[1] <http://www.bbc.co.uk/news/world-europe-14135523>, 14 juillet 2011

[2] <http://pastafrancophone.canalblog.com/archives/2010/09/22/19129496.html>

[3] À propos de Simon Singh : www.pseudo-sciences.org/spip.php?article1172 et www.pseudo-sciences.org/spip.php?article1651

[4] Simon Singh : Was the world created by god, evolution or pasta ? <http://www.telegraph.co.uk/culture/books/3655035/Was-the-world-created-by-god-evolution-or-pasta.html>

[5] www.austinchronicle.com/books/2006-04-14/356663

[6] www.randi.org/jr/200509/091605church.html#1 Church of the Flying Spaghetti Monster, James Randi Educational Foundation, article September 16, 2005.

[7] pastafrancophone.canalblog.com/archives/2010/09/22/19129665.html

L'astrologie « traditionnelle » a-t-elle encore un avenir ?

Selon un article paru sur les sites *Frenchweb.fr* [1], le 14 avril 2011, la start-up israélo-américaine *AstroloMe* propose des prévisions personnalisées et innovantes sur son site d'horoscopes. Le concept se veut plus précis, plus ludique et plus novateur : « *AstroloMe propose une prévision astrologique personnalisée basée sur le lieu, le jour et l'heure de la naissance ainsi que l'endroit où se trouve l'utilisateur.* » Il permet de partager ses informations avec ses amis. Les prévisions quotidiennes sont envoyées par *e-mail* et peuvent évoluer au cours de la journée. Elles prennent en compte tous les aspects de la vie de l'utilisateur : situation personnelle, sociale, amoureuse, professionnelle. Elles détaillent tous les événements et les défis de la journée. La version de base est gratuite. Elle est disponible en application iPhone et bientôt sur Android et Windows. Une version payante permet de prévoir l'avenir jusqu'à six mois et même d'accéder à l'avis personnalisé d'un astrologue !



Jan Matejko (1838-1893), *l'Astronome Copernic en conversation avec Dieu.*

Le plus étonnant est que cette start-up a levé 300 000 \$ auprès d'un investisseur – et pas n'importe lequel – Kima Ventures !

Kima Ventures est un fond d'investissement qui a été créé par deux entrepreneurs français, Xavier Niel, créateur de Free, et Jérémie Berrebi, fondateur de Zlio et Net2One.

L'objectif de Kima Ventures est d'investir dans cent sociétés du secteur de l'Internet en deux ans et de les faire bénéficier du réseau relationnel et de l'expérience internationale des deux industriels fondateurs.

Si ces industriels ont fait un investissement aussi important, c'est qu'ils parient sur le succès de ce produit et le cautionnent. Ils espèrent ainsi surfer sur le besoin de se rassurer et, d'une certaine manière, sur la crédulité des utilisateurs. Ils se sont bien certainement assurés aussi de l'existence d'un marché.

Le côté technologique du produit risque de gommer le caractère pseudo-scientifique de l'astrologie, en faisant croire que « technologique » égale « scientifique ».

En séduisant de nouveaux utilisateurs plus « branchés », plus jeunes, ceux qu'on appelle les « geek » etc., AstroloMe va élargir le cercle des adeptes de l'astrologie, tout en introduisant une concurrence nouvelle avec l'astrologie traditionnelle.

Les astrologues l'ont-ils déjà vu dans leur « boule de cristal » ?

[1] <http://frenchweb.fr/lancement-astrolome-nouvel-investissement-kima-ventures>

Les fausses promesses sur nos étiquettes alimentaires : c'est fou !

L'Union Européenne vient de mettre un peu d'ordre dans les allégations de santé utilisées sur les étiquettes alimentaires à des fins de publicité.



L'EAU DES CARMES
BOYER
14, Rue de l'Abbaye, 14
PARIS

est d'un prompt secours contre
l'Apoplexie, la Paralyse, les
Vapeurs, les Dysenteries, les
Indigestions, le Choléra, les Syn-
copes, les Étourdissements, les
Congestions cérébrales, etc.

ÉVITER
LES
CONTREFAÇONS

En 2006, l'Union Européenne a adopté un règlement garantissant que toute allégation figurant sur l'étiquette d'un aliment vendu au sein de l'UE soit claire et justifiée par des preuves scientifiques. C'est l'Agence européenne pour la sécurité des aliments (EFSA) [1], qui est chargée de vérifier le bien-fondé scientifique de ces allégations. En effet, depuis quelques années, on a vu fleurir les affirmations et les promesses sur les étiquettes de nos denrées alimentaires : « Réduit le taux de cholestérol », « solidifie le squelette », « améliore la circulation sanguine », « booste la mémoire », « renforce l'organisme », « régule le transit dès quinze jours », « diminue la sensation de faim », etc. [2] « Beaucoup de ces promesses sont trompeuses », comme le souligne Frédéric Vincent, porte-parole du Commissaire européen, John Dalli, responsable de la santé des consommateurs.

Les États européens ont fourni une liste de 4 637 allégations, 331 d'entre elles ont été spontanément retirées par l'industrie alimentaire et 1 548 autres, liées aux plantes, seront examinées ultérieurement. Sur les 2 758 restantes, 510 seulement se sont avérées scientifiquement fondées. Il y a donc un grand ménage à faire pour retirer plus de 2 000 allégations pseudo-scientifiques, trompeuses ou mensongères. Certes, selon Frédéric Vincent : « *Le rejet d'une allégation ne signifie pas que le produit n'est pas bon, mais seulement que les promesses figurant sur l'étiquette ne sont pas correctes.* »

Cette première vérification sera soumise aux États européens. Les industriels auront alors six mois pour retirer des étiquettes les allégations de santé non validées.

Il n'est pas étonnant qu'il faille contraindre les industriels à respecter une éthique de vérité pour rendre le marché plus transparent. La confiance des consommateurs est à ce prix.

Cette action de l'Europe paraît plus légitime que celle, un moment envisagée fin janvier 2009, d'autoriser le mélange de vin rouge et de vin blanc, pour en faire du... rosé. [3]

[1] Communiqué de presse de l'EFSA, du 28 juillet 2011 : www.efsa.europa.eu/fr/press/news/110728.htm

[2] Le Monde.fr du 28-07-2011 :

http://www.lemonde.fr/europe/article/2011/07/28/bruxelles-va-reguler-les-etiquettes-mensongeres-de-l-industrie-alimentaire_1553872_3214.html

[3] <http://www.lefigaro.fr/vins/2009/03/11/05008-20090311ARTFIG00570-tolle-contre-le-vin-rose-concocte-par-bruxelles-.php>

Avec la crise, les kabbalistes d'Israël sont « surbookés »

Lorsque le rationnel ne suffit plus à justifier une décision économique...

Les noms les plus connus du patronat israélien ont un recours régulier à un « coaching » mystique. Dans *Israël Valley.com* du 11 août 2011 [1], Daniel Rouach, professeur à l'ESCP-EAP European School of Management, cite notamment Nohi Dankner, le patron du puissant holding immobilier IDB, Ofer Nimrodi, patron du journal Maariv, Ami Harel, patron de la compagnie de téléphonie Bezeq, Ygal Britman, Président de Deloitte Israël, Meir Brend, PDG de Google Israël. Ces grands patrons consultent entre autres le rabbin kabbaliste, Yaakov Israel Ifergan, aussi surnommé en hébreu « Röntgen » (nom du physicien allemand, 1845-1923, qui a découvert les rayons X) ou « Rayons-X », pour ses prétendues capacités à diagnostiquer l'état de santé de son visiteur.

La dose de rayonnement spirituel reçue par le visiteur du rabbin est-elle proportionnelle à sa dose de crédulité ?

N'y a-t-il qu'en Israël que des grands patrons ont recours au « coaching » mystique ?

[1] www.israelvalley.com/news/2011/08/11/32775

*Rubrique réalisée
par Brigitte Axelrad*



Dialogue avec nos lecteurs



Médecine quantique et respiriens

Je viens d'entendre parler aujourd'hui, pour la seconde fois, de ces mutants que seraient les « respiriens ». Le mot est calqué sur « végétariens » ou « végétaliens ». Ce sont des adeptes de la méditation, semble-t-il, qui arrivent à vivre sans se nourrir du tout, juste boire un minimum d'eau. On sait bien, me dit-on, que manger c'est extraire d'éléments naturels de l'énergie. Or, que font les plantes, continue-t-on ? Elles extraient de l'énergie du soleil. Ces respiriens extraient l'énergie cosmique par la force de leur méditation. Voilà qui est très fort. Arguer, contre ces affirmations obscures, de la fonction chlorophyllienne, du métabolisme d'un corps vivant tel qu'il est maintenant connu, ne sert à rien : nous ne connaissons pas tout, et la science bientôt saura expliquer cela. J'ai trouvé sur Internet une vidéo d'Henri Monfort, « le respirien nantais » qui ne mange plus depuis 3 ans et demi, dit-il, ne dort plus que 3 heures par nuit, est en parfaite santé, rajeunit même. Avez-vous entendu parler de ce grand miracle connu des seuls initiés ? On m'affirme qu'on aurait fait des études scientifiques qui prouvent l'existence et la bonne foi de ces « respiriens ». Les a-t-on passées à la critique ? J'ai d'ailleurs trouvé la même argumentation à propos de la médecine « quantique ». Même question pour cette médecine

« quantique » dont je n'ai pu trouver sur Internet que des débuts de conférence, annonçant qu'on allait nous faire une démonstration imparable, mais la vidéo s'arrête avant, quel dommage. « La voix de la raison est basse, mais elle dit toujours la même chose » disait Freud, ce qui prouve qu'il n'a pas dit que des âneries (mais était-ce de lui ? je n'ai pas demandé à Michel Onfray). Je lui répondrais bien : mais qui est là pour l'écouter ?

J.P. L.

SPS *Les respiriens que vous évoquez (et dont on nous parle souvent) rappellent bien sûr quelques articles que nous avons publiés sur le sujet, avec des allégations régulières sur des années de jeûne. Je me permets de vous renvoyer à l'article de Nicolas Gauvrit sur Prahlad Jani (SPS n° 291, juillet 2010) ou à celui de Brigitte Axelrad sur le jeûne et les radiations, dans ce présent numéro. James Randi, le célèbre magicien démythificateur, en a souvent fait état, soulignant le peu de sérieux des contrôles envisagés pour s'assurer de la véracité de ces témoignages. Soulignons tout de même que cette pratique est loin d'être anodine, et aurait déjà causé la mort d'au moins trois personnes. Quant à la médecine quantique, sans parler du fait que ce mot est mis à toutes les sauces et justifie n'importe quoi, elle semble reposer en grande partie sur des expériences semblables à la « mémoire de l'eau », invalidée*

depuis longtemps, et d'ailleurs, avec l'aide du même James Randi ! Et puisque la boucle est ainsi bouclée, vous ne serez pas étonné d'apprendre que la physique quantique est invoquée, dans un film intitulé « Lumière », comme une explication sur ce qui est présenté comme une « tradition millénaire : de rares personnes expliquent qu'ils n'ont pas besoin de se nourrir pour vivre, et ce sans altérer leur métabolisme. Ils vivent uniquement de lumière, ou du Prana ». Tout un programme !

M.B.

Participer ou non ? Telle est la question...

Je comprends le point de vue d'André Aurengo et Anne Perrin à propos de l'émission [du 18 mai dernier]. Je pense néanmoins qu'ils auraient dû participer à l'émission. Si les contradicteurs scientifiques abandonnent la lutte contre l'ignorance ou la désinformation, alors que, pour une fois, il semble possible d'intervenir, comment pourrait-on regretter qu'à d'autres occasions similaires (OGM, pesticides, nucléaire, gaz de schiste, climat...) les véritables scientifiques ne sont pas invités à débattre et protester contre cette inégalité de traitement. J'apprécie l'action menée par l'AFIS, SPS et quelques autres sites rationalistes, mais il faut bien reconnaître que cela reste confidentiel. Si l'on ne participe pas aux débats dans les médias de grande diffusion, le combat semble perdu d'avance et nous sommes quelques-uns à nous sentir orphelins, délaissés par nos maîtres à penser.

J.-P. H.

SPS Cette question est très délicate et peut faire l'objet de longs débats. À titre personnel, j'aurais tendance à vous rejoindre, mais comme vous le dites, nous pouvons comprendre le point de vue de ces deux scientifiques. Tout le problème est celui de cautionner ou non des émissions possiblement biaisées. Un choix « perdant/perdant », en somme !...

M.B.

Éolien : critique, ou complaisant ?

Membre de l'AFIS, lecteur régulier de la revue et du site internet, j'y trouve des informations précieuses pour la compréhension des grands débats qui traversent nos sociétés. Aussi, je dois dire que j'ai été déçu par la note de lecture relative à l'ouvrage de Jean-Louis Butré, *L'Imposture*, par Michel Naud. Je trouve même qu'il fait preuve d'une certaine complaisance vis-à-vis [de cet ouvrage]. En particulier le sujet de l'intermittence aurait mérité une analyse plus pertinente.

Je suis agriculteur en Beauce limitrophe de parcs éoliens (je précise que je n'ai aucune parcelle louée pour supporter une éolienne) et j'ai installé une toiture photovoltaïque sur l'un de mes bâtiments agricoles. Je ne suis ni un thuriféraire, ni un contempteur de l'éolien, j'essaie simplement de faire la part des arguments des uns et des autres et de me forger une opinion. Par ailleurs, je n' imagine même pas que l'éolien puisse se substituer au nucléaire. Quelques simples multiplications montrent que cet objectif est irréaliste. Les arguments sur lesquels s'appuient les anti-éoliens

sont essentiellement de deux ordres : (1) l'économique, l'éolien est trop cher ; (2) l'écologique, l'éolien contribue à l'émission de CO₂ à cause de l'intermittence. C'est sur ce dernier point que je ne comprends pas que vous ne déniez pas cette escroquerie intellectuelle caractéristique d'une approche militante. En effet, la question importante pour savoir si l'éolien permet de réduire l'émission de CO₂ n'est pas la nature de l'énergie qui la remplace quand l'éolien ne produit pas (de toute façon cette énergie-là, il faudra la produire), mais bien la nature de l'énergie qu'il faudrait mettre en œuvre si l'éolienne n'existait pas. Autrement dit, ce ne sont pas les centrales thermiques qui complètent la production éolienne, mais bien les éoliennes qui réduisent le temps de fonctionnement des centrales thermiques, qu'il faudra dans tous les cas construire afin de satisfaire les besoins en électricité des Français. Je vous rappelle que si, grâce au nucléaire, la France est encore globalement exportatrice d'énergie, la puissance installée est incapable de faire face aux pointes hivernales. C'est là que l'intermittence de l'éolien pose problème, puisque l'exploitant du réseau ne sera pas certain de disposer de la puissance correspondante au moment crucial. Encore faudrait-il évaluer plus précisément ce problème de l'intermittence. En effet, sur un réseau électrique interconnecté, à l'échelle d'un pays comme la France, avec des parcs éoliens répartis sur des régions différentes avec des régimes de vents différents, les variations de la contribution de l'éolien ne sont sans doute pas si importantes que cela. Ce n'est pas du tout

ou rien ! (Il serait intéressant d'avoir les chiffres de [l'opérateur du réseau d'électricité] à ce sujet). [...]

La seule chose qu'on puisse reprocher à l'éolien est sa visibilité, ce qui devient une affaire d'appréciation personnelle et donc hors du champ d'un raisonnement rationnel.

J.-J. H.



Votre ressenti d'une certaine complaisance avec l'ouvrage recensé illustre avant tout que les sensibilités à la lecture d'un texte sont très diverses. C'est ainsi que nous soulignons que « tous les arguments, même les plus douteux, trouvent grâce [aux yeux de Jean-Louis Butré] dès lors qu'ils concourent à disqualifier l'éolien », que nous pointons que « l'instruction est menée entièrement à charge et l'intérêt général n'est évoqué que pour mieux assurer la défense de l'intérêt particulier des riverains des éoliennes », et que nous caractérisons cet opus comme un « livre militant : lecture aisée, arguments simples ne craignant pas d'être simplistes (voire franchement sujets à caution), mais efficaces et rôdés dans les réunions publiques ou les salles de rédaction ». Pour faire bon poids, nous ajoutons que cette publication « se caractérise également par l'absence quasi générale de références précises, l'absence de bibliographie et webographie, tout comme l'absence d'index thématique ou des noms cités ». Peut-on réellement qualifier une telle recension de complaisante ? Il semblerait donc que votre appréciation trouve sa source essentiellement dans le fait que nous n'ayons pas contesté les arguments s'appuyant sur le coût et l'effet d'aubaine, et surtout sur l'intermittence.

Les éléments que vous soulevez sur l'intermittence sont pourtant bien documentés dans les publications spécialisées. Nous vous invitons à vous reporter à l'ouvrage L'éolien, une énergie du XXI^e siècle, publié en 2009 par l'Académie des technologies sous la signature de Gilbert Ruelle, qui est président de la commission énergie et changement climatique. Sur le plan strictement logique, il vous faudrait distinguer les centrales thermiques à combustible fossile (les centrales thermiques

« à flamme » : charbon, gaz, pétrole, tourbe, etc.) et les centrales thermiques à combustible fissile (les différents types de réacteurs, sans parler de la fusion), pour bien comprendre pourquoi, en France (et nous disons bien : en France) l'éolien ne contribue pas à réduire les émissions de CO₂.

Michel Naud



Rubrique coordonnée
par Martin Brunschwig

Université d'été du Cercle zététique du Languedoc-Roussillon



Fin juillet, près de Montpellier, a eu lieu la première Université d'été du Cercle Zététique du Languedoc-Roussillon¹. La zététique, popularisée par Henri Broch, peut être décrite comme « l'art du doute », et s'apparente grandement à notre démarche de réflexion critique. Un de nos collaborateurs y a d'ailleurs participé, ainsi que des membres de l'Observatoire Zététique de Grenoble², association bien sûr très proche. L'organisation de multiples

conférences et discussions a permis de riches et nombreux échanges, dont l'un des temps forts a certainement été l'intervention de Jean Brissonnet, ancien vice-président de l'Afis. Il a exposé notamment les toutes dernières théories sur l'effet placebo (pardon... « l'effet contextuel », devrait-on dire, ainsi qu'il le souligne). Il a évoqué en particulier certaines études, pourtant rigoureuses et contrôlées, qui montrent que les effets observés ne sont pas exempts de biais : certains résultats « ressentis » sont rapportés oralement par les patients testés, mais si l'on mesure ces effets « objectivement », on ne les observe pas ! Il faudra désormais compter avec ce fait tant sur le plan de la recherche que sur le plan clinique³.

En tout cas, sur un week-end bien rempli, ce ne sont pas moins de huit conférences suivies de débats qui ont été organisées, abordant des sujets aussi variés que l'évolution, les idées reçues, ou encore l'équation de Drake, et bien d'autres. Saluons aussi quelques nouveaux abonnés qui nous ont rejoints à cette occasion. Bienvenue à eux, et tous nos vœux à ce cercle de passionnés.

M.B.

¹ <http://www.zetetique-lr.org/>

² <http://www.zetetique.fr/>

³ À noter son article sur ce sujet, paru dans le n° 294, et sur notre site : www.pseudo-sciences.org/spip.php?article1604

Livres et revues



Le goût piquant de l'Univers

Élisa Brune

Poche-Le Pommier, 2011, 254 pages, 8,50 €



Élisa Brune nous convie à une double aventure : un reportage « live » sur un colloque de cosmologie à Peyresq (petit village perché des Alpes de Haute-Provence) et en même temps un texte tout à fait original de vulgarisation des dernières théories de l'Univers. L'entreprise était destinée initialement à la réalisation d'un documentaire. Les diktats de l'audimat n'ont malheureusement pas permis sa réalisation, mais ce film s'est transformé en un livre¹ stimulant et plein d'esprit. La pétillante journaliste scientifique mène ses interviews tambour battant, entre deux communications scientifiques. Elle-même, avide de comprendre, nous entraîne dans ses interrogations et nous permet de réfléchir

à ses côtés. Et elle n'évade aucune des questions importantes, à commencer par « *la cosmologie est-elle une science, puisqu'une science établit toujours des rapports et que l'univers ne peut être décrit par rapport à rien, car il est tout !* »².

Tous les sujets qui enflamment la cosmologie moderne sont abordés : l'énergie du vide, les cordes, la gravité quantique, l'inflation, les dimensions supplémentaires, l'énergie négative, la matière noire... Les débats houleux, les spéculations passionnées, les hypothèses hasardeuses fusent dans une atmosphère effervescente. Comme le soulignent ces chercheurs : « *ce qui nous anime, c'est la curiosité, une curiosité malade* ».

Avec simplicité et humour, Élisa Brune nous ouvre les portes des savoirs parfois les plus complexes. Elle emploie souvent de savoureuses métaphores, comme ces « *galaxies affichent un profil de top model, mais elles valsent au rythme des sumos* », pour expliquer l'existence de la matière noire. Elle rappelle que la science a souvent été l'art de débusquer des forêts entières derrière un arbre puis un autre.

Le lecteur est captivé par ces physiciens théoriciens, parmi les plus audacieux de la planète, déguisés en touristes pour quelques jours. Leurs pittoresques portraits émaillent le récit avec brio, tel celui d'Alex Vilenkin, physicien rétrogradé par le régime soviétique en gardien de nuit dans un zoo, d'où il rédigea d'ailleurs son premier article. Et si parfois, on frôle un peu

la science-fiction à côtoyer ainsi la science en marche³, Marc Lachière-Rey nous remet les pieds sur terre au cours d'une interview centrale : « *la théorie de l'inflation oblige à imaginer une physique très différente de la nôtre. Ce n'est même plus de la physique, ni de la cosmologie...* »

Saluons en tout cas un ouvrage d'initiation très vivant, destiné à tous les publics. Avec son style cinématographique très rafraîchissant, l'auteure a vraiment réussi son pari : piquer notre curiosité !

Christine Brunschwig

¹ Réédition en poche de l'ouvrage grand format paru en 2004 aux éditions Le Pommier.

² Elle souligne aussi qu'aucun outil mathématique, aucun dispositif de mesure ne permet d'appréhender le monde dans son ensemble et que les possibilités de mise à l'épreuve des théories font souvent défaut.

³ Marc Lachière-Rey précise que « *la science en marche, c'est la science controversée, du moins jusqu'à ce qu'elle devienne admise* ».

Le merveilleux

Jean-Bruno Renard

CNRS Éditions, 2011, 212 pages, 22 €



Le dernier livre du sociologue Jean-Bruno Renard, *Le Merveilleux*, propose une analyse fine d'un ensemble de croyances que les rationalistes qualifieraient d'*irrationnel*. Mais Renard est sociologue et c'est avec une grande neutralité méthodologique qu'il aborde ces questions. Au lieu de se demander si la croyance en la présence d'extra-terrestres sur notre planète, à la télépathie ou aux fées, est correcte ou fausse, il en décrit la diffusion, la naissance, la mort, l'histoire aussi.

Dans un langage précis, cette analyse scrupuleuse nous fait découvrir la permanence historique des croyances : oracles de l'Antiquité, miracles du Moyen Âge, sorcellerie de la Renaissance et paranormal dans nos sociétés modernes où la science prend le pas sur la religion. Mais, au-delà de ces croyances, dont l'existence pan-chronique n'étonnera pas, c'est la permanence du *doute* que nous montre surtout Renard. Il y eut toujours des rationalistes, des durs et des mous, et il y eut toujours des « croyants », des dogmatiques et des modérés.

Irrationnelles, les croyances en la sorcellerie, en la télépathie le sont, bien sûr ; mais Renard, à la suite de Boudon, montre que ces croyances ne sont jamais ni totalement absurdes ni totalement gratuites : elles s'appuient toujours sur les *raisons de croire* de la « rationalité subjective », des indices à défaut de preuve et un sens symbolique.

Au fil du texte, on rencontre des histoires anciennes et d'autres récentes ; et l'on est frappé par la ressemblance des argumentations, autant des croyants que des sceptiques. Cette persistance donne presque le vertige et

fait se demander si l'humanité a seulement évolué, si ce n'est pas l'équilibre entre rationalisme et croyance qui caractérise l'homme, plutôt que l'une ou l'autre des positions... Autre vertige, celui de l'Histoire : certaines croyances d'antan semblent aujourd'hui, ridicules tandis que ceux qui aujourd'hui ont vu des extra-terrestres trouveraient absurde de croire aux fées, aux oracles ou à l'existence des licornes, tous ces phénomènes qui eurent, en leur temps, de nombreux témoins directs...

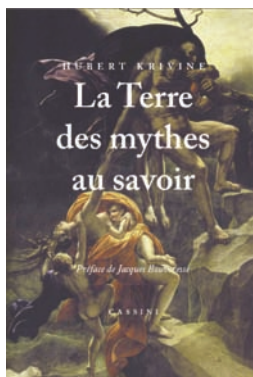
Nicolas Gauvrit

La Terre, des mythes au savoir

Hubert Krivine

Préface de Jacques Bouveresse

Cassini, 2011, 290 pages, 26 €



Hubert Krivine est physicien. Je le connaissais comme un remarquable pédagogue, il se révèle ici comme essayiste et homme des Lumières de notre temps. Jacques Bouveresse dégage dans sa préface la portée philosophique de son ouvrage, et c'est d'ailleurs l'occasion pour lui de dénoncer le relativisme postmoderne en épinglant Bruno Latour. Le propos de l'ouvrage, relevé par Bouveresse, est de « *réhabiliter la notion réputée naïve de vérité scientifique contre l'idée que la science ne serait qu'une opinion socialement construite* ». Et le sujet de l'ouvrage, la

Terre et les conceptions que les hommes en ont eues, a l'intérêt de donner dès la première partie, « l'Âge de la Terre », un exemple impressionnant de la façon dont la vérité se fait jour en partant des mythes, à travers les erreurs et embûches, jusqu'à la connaissance solide, encore que toujours mouvante, que nous en avons aujourd'hui.

À la Renaissance, il était admis en Europe que l'âge de la Terre était de quelque 5 600 ans. Newton, partant d'une étude attentive de la Bible, a fixé sa naissance à 3 998 ans avant Jésus-Christ. On estime aujourd'hui son âge à 4,55 milliards d'années, à quelques millions près. Au 19^e siècle, il restait une contradiction entre la durée nécessaire à l'évolution des espèces et le temps de vie que les physiciens assignaient au Soleil, en supposant que la source de son énergie était son effondrement sur lui même : c'était Kelvin contre Darwin. Le tournant, qui a justifié Darwin contre Kelvin, a été la découverte de la radioactivité. L'énergie solaire repose sur la transformation de la masse en énergie et non de son effondrement sous l'effet de la gravité ; le Soleil a donc bien plus longtemps à vivre qu'on ne le pensait au 19^e siècle. La datation des roches par l'utilisation de la radioactivité a rejoint d'autres données pour aboutir aux chiffres actuels. Telle est, bien sommairement racontée, la grande aventure scientifique qu'Hubert Krivine a choisi de nous présenter comme premier exemple.

Le second exemple – la seconde partie – concerne le mouvement de la Terre. L'histoire, avec Copernic, Kepler, Bruno, Galilée, Newton et leurs successeurs, est mieux connue, et les lecteurs de *Sciences et pseudo-sciences* peuvent penser n'avoir rien à apprendre des rapports entre l'Église catholique et le procès de Galilée. Erreur. Hubert Krivine a dépouillé des documents relatifs à la canonisation du Cardinal Bellarmin, qui instruisit le procès de Galilée, et il éclaire de façon nouvelle l'attitude actuelle de l'Église sur la question (la canonisation et l'attribution à Bellarmin du titre exceptionnel de « docteur de l'Église » date de 1930). Tant au plan historique, qui remonte à l'Antiquité, qu'au plan scientifique, avec l'examen des données et des théories, cette seconde partie me paraît une somme sur la vision qu'ont eue, en Europe, les hommes (oui, peu de femmes dans cet ouvrage et l'auteur s'en explique) de la place relative de la Terre et du Soleil dans l'Univers. Des citations pertinentes émaillent les différents chapitres. On trouve à la fin une belle citation de Poincaré sur la notion de vérité où justement il prend l'exemple de la rotation de la Terre. Je ne résiste pas à la tentation d'en indiquer deux phrases. « *Une théorie physique est d'autant plus vraie qu'elle met en évidence plus de rapports vrais* » et la phrase finale : « *La vérité, pour laquelle Galilée a souffert, reste donc la vérité, encore qu'elle n'ait pas tout à fait le même sens que pour le vulgaire, et que son vrai sens soit bien plus subtil, plus profond et plus riche* ».

Au contraire de la deuxième, la troisième partie est très courte, mais c'est là qu'apparaît en clair le rationalisme d'Hubert Krivine et la façon dont il l'articule avec les enjeux scientifiques et sociaux. Je me borne à l'introduction où il dit le propos du livre et aux dernières phrases, qui témoignent du lien entre ses différents objectifs. « *Ce livre avait trois objectifs, qui ne sont pas indépendants : contribuer à faire entrer la culture scientifique dans la culture tout court (et réciproquement) ; montrer comment et pourquoi les savants de la Renaissance, tous bons chrétiens, ont été contraints d'abandonner la lecture littéraliste des textes sacrés ; réhabiliter la notion réputée naïve de vérité scientifique, contre l'idée que la science ne serait qu'une opinion socialement construite* ». On reconnaît la phrase citée par Bouveresse dans sa préface.

Et voici la fin : « *lorsqu'il conduit à l'équivalence méthodologique entre science et religion (voire magie), le relativisme scientifique ouvre une voie royale aux conservatismes religieux. [...] Misère intellectuelle souvent nourrie par la misère tout court, la résurgence des divers fondamentalismes religieux rend étonnamment actuels l'argumentation de Galilée et l'apport de Darwin* ». Cette fin n'est pas la fin du livre. Une quatrième partie contient les annexes où le pédagogue et le physicien apportent d'excellents éclaircissements sur une série de questions abordées dans les différents chapitres, avant le glossaire, l'index et l'abondante bibliographie. C'est donc un livre très sérieux. Je veux dire aussi qu'il est agréable à lire. Allez-y voir, c'est vraiment mon conseil.

Jean-Pierre Kahane

Note parue dans *Les Cahiers Rationalistes* (mars-avril 2011, n° 611)

Histoire de la vie latente
Des animaux ressuscitants du XVIII^e siècle
aux embryons congelés du XX^e siècle

Stéphane Tirard

Vuibert – Adapt SNES, 2010, 122 pages, 18 €



La référence aux embryons souligne l'actualité d'un problème dont le point de départ, quoique proche des discussions sur les générations spontanées, est rarement objet d'études historiques (hormis des allusions chez Jean Rostand). C'est pour cette double raison que Stéphane Tirard, professeur d'épistémologie et d'histoire des sciences, à l'Université de Nantes, en a fait le sujet de son HDR (habilitation à diriger des recherches). Travail qui poursuivait sa propre thèse sur les origines de la vie.

Ils sont bien curieux, ces animaux microscopiques qui n'attirent l'attention que des naturalistes, et qui ont la propriété de renaître après qu'ils ont été desséchés et ont quitté tout signe de vie. Il suffit de les réhydrater. On les nomme rotifères, anguillules ou tardigrades. Étaient-ils morts et capables de ressusciter ? Ou bien manifestent-ils une étincelle de vie ? À moins qu'existe un état intermédiaire entre vie et mort, encore inconnu. Spallanzani expérimente sans pouvoir conclure. Et Lamarck s'y intéresse à son tour, lui qui a montré la continuité entre matière inerte et matière vivante.

Le XIX^e siècle avance un peu plus sur la question. Doyère, en 1842, distingue deux stades de vie : *in potentia* et *in actu*, la première exigeant seulement une intégrité de la matière et des capacités de la structure. Un débat eut lieu, devant une commission, en 1859, avec Pouchet dont on sait le rôle qu'il joua la même année dans la querelle de la génération spontanée. Preuve de la liaison des problèmes. La question est philosophique avant d'être expérimentale : discontinuité (Doyère) *versus* continuité (Pouchet) de la vie.

La seconde moitié du siècle fait apparaître un concept nouveau, mis en avant par Claude Bernard dans ses travaux sur les états de la vie : celui de vie latente, qui remplace ce qu'on nommait reviviscence. Il existe trois formes de vie : latente (non manifeste), oscillante à manifestation variable selon le milieu (cas des arbres) et constante à manifestation libre, indépendante du milieu. L'organisme en vie latente est tombé dans l'indifférence chimique : le double phénomène vital de création et de destruction de matière est suspendu et non simplement ralenti. C'est le cas des graines et des mousses, dont discutent aussi les botanistes : la germination des graines est la reprise de l'activité. Plus tard, au début du XX^e siècle, suite à un débat pour savoir si les échanges respiratoires des graines sont totalement suspendus, Paul Becquerel montre qu'ils sont nuls et il substitue le terme de vie suspendue à celui de vie latente.

Un autre mot apparaîtra plus tard, celui de cryptobiose, qui fait franchir un dernier stade au problème. Ce terme, créé par le biologiste Daniel Keilin, désigne « *l'état d'un organisme quand il ne montre aucun signe de vie et quand son activité métabolique devient difficilement mesurable, ou s'arrête réversiblement* ». L'auteur, dans cette dernière partie du livre, étudie la formation du concept, son potentiel opératoire et ses limites, en suivant à la fois l'étude naturaliste et la cryopréservation des embryons humains en passant par cette nouvelle discipline qu'est la cryobiologie.

Suivent des annexes sur les expériences de Doyère et Pouchet, ainsi que sur la littérature du XIX^e siècle concernant la vie latente (dont la discussion avec une momie de Poe, qui m'a donné envie de relire les *Histoires extraordinaires*). Et un utile lexique.

Au total, on ne peut que remercier l'auteur d'avoir mis ce délicat sujet à la portée du grand public. Et plus généralement la collection Adapt-Snes de fournir des textes d'accès facile dérivés de travaux universitaires récents, notamment relatifs à l'histoire des sciences.

Gabriel Gohau

Première Partie

JPsy

Éditions ÉDILIVRE, 2010, 102 pages, 13,50 €
<http://www.edilivre.com/premiere-partie-jpsy.html>



« *Tout ce qui est beau chez l'humain n'a probablement pas de sens "naturel", tout ce qui est bon chez l'homme est le résultat d'une lutte contre-nature, que seul peut nourrir l'espoir.* » (p. 16)

« *La physique ne peut pas se permettre de laisser à l'imagination autant de pouvoir que l'imagination en donne à la physique. Par contre, il y a tout le reste. Tout le monde irrationnel du sentiment, du ressenti et de l'émotion.* » (p. 99)

JPsy est auteur-compositeur, musicien et interprète. Il est aussi professeur de physique et de mathématiques dans l'enseignement secondaire.

Composé d'une vingtaine de contes philosophico-scientifiques, ce premier opus, qui révèle une belle écriture, pleine de sensibilité et d'humour, est une heureuse rencontre. On pourrait parler de « fables » parce que chacune des histoires se termine par une « phrase en gras » qui, sans être vraiment moralisatrice, apparaît comme un raccourci fulgurant de l'état d'esprit de l'auteur à chaque point final.

Première partie est un livre étonnant, dans lequel les collisions sont nombreuses – entre le matériel et le spirituel, entre soi et les autres, entre tout

et rien... C'est un mélange de philosophie(s) et de physique, un arc-en-ciel coloré d'expériences de vie, de raisonnements rigoureux (ou vigoureux), d'idées éphémères engendrant de sympathiques réflexions, ou simplement d'éléments factuels remarquables... C'est une introduction à la pensée non-linéaire, parfois légère, parfois intriquée, mais toujours riche en émotions, en poésie et en surprises.

Un petit livre à savourer comme une bouffée d'oxygène, quand on se surprend à se prendre trop au sérieux, quand le poids de la raison fait oublier le pouvoir de l'imagination et que l'on en vient à confondre réfléchir et raisonner.

Nadine de Vos

Rayonnements, OGM, nanotechnologie **Danger ou progrès ?**

Guide CLCV

Alain Chosson et Jacqueline Jamet

Édition Vuibert et CLCV, Collection consom'action, 2009, 208 pages, 13 €



Ce livre, présenté comme un guide, a été rédigé sous l'égide d'une association de consommateurs, la Confédération de la Consommation, du Logement et du Cadre de Vie (CLCV). Le propos affiché de cet ouvrage est d'aider le lecteur à se faire une opinion sur trois sujets à controverses que sont les OGM, les ondes et les nanotechnologies. Les controverses sont présentées dans l'introduction comme de véritables « batailles d'experts » surmédiatisées, mais dont les acteurs sont « tout aussi honorables les uns que les autres ». Les auteurs éprouvent « le sentiment que l'on ne nous dit pas tout », qu'il y a une « crise de confiance dans les institutions », que « le monde scientifique apparaît aussi comme un monde à part » et que les « scientifiques [...] affirment quelquefois tout et son contraire ».

Il est clairement indiqué que « l'information est importante, c'est un droit pour chaque consommateur, usager, citoyen : une information utile, fiable, compréhensible » (p. 171). On s'attend alors à trouver un guide utile pour se retrouver dans l'information apportant des éclairages sur ces trois sujets.

Afin de savoir si le pari était gagné, l'AFIS a demandé à un expert de chaque domaine d'analyser la partie du livre correspondant à sa spécialité. Les trois experts ont procédé indépendamment, sans se concerter avant d'avoir rendu leurs analyses respectives. Celles-ci convergent fortement, permettant de dégager une construction générale similaire pour les trois chapitres : après une présentation simple du sujet qui apporte des notions de base, les données deviennent confuses et disparates.

Ainsi pour le chapitre OGM, Marcel Kuntz, directeur de recherche au CNRS, écrit « *la partie consacrée aux bénéfices et risques environnementaux mélange des approximations étonnantes [et des erreurs qu'il] serait trop long de pointer ainsi que des informations exactes, ou des prises de position légitimes (à défaut d'être impartiales) pour une organisation consumériste. Notons simplement que la partie consacrée aux pays en développement (p. 48) apparaît elle aussi fortement biaisée : la parole est donnée, sur 32 lignes, à un collectif anti-OGM mexicain, sans réflexion critique d'aucune sorte, tandis que les arguments en faveur des OGM n'occupent que 10 lignes, écrites au conditionnel et suivies par 19 lignes d'arguments qui les nient ("Cependant ?"). Notons aussi (p. 50) l'antienne : "en Inde... le coton Bt a déçu les attentes..."* »¹.

Concernant le chapitre 2 qui porte sur les champs électromagnétiques radiofréquences et basses fréquences, Anne Perrin, chercheur en biophysique à l'Institut de Recherche Biomédicale des Armées, écrit « *il apporte de nombreuses informations intéressantes sur les sources rencontrées au quotidien pour les fréquences considérées, sans prétendre expliquer la physique des ondes. À partir du second paragraphe « les effets sur la santé », les explications sont peu convaincantes, lorsqu'il est question des effets non dus à une augmentation de température. Il devient en effet difficile de s'y retrouver du fait de l'amalgame des deux types de champs électromagnétiques, alors qu'ils n'ont pas les mêmes interactions avec la matière et qu'ils représentent des problématiques différentes. Les auteurs parlent alors d'ondes radioélectriques* ». Elle conclut par « *au final, bien que ce chapitre apporte de nombreuses informations, tout est placé sur un même niveau, indépendamment du degré de crédibilité des sources d'information. De nombreuses contradictions apparaissent donc au fil des paragraphes et l'ensemble reste orienté vers une approche plus militante que scientifique* ».

Pour la partie 3, portant sur les nanotechnologies, Daniel Bloch, médecin du travail et conseiller médical pour les nanomatériaux au CEA, remarque que « *le chapitre introductif exposant très succinctement les « techniques des nanotechnologies » comporte des inexactitudes et des lacunes fondamentales mettant par exemple sur le même plan, le monde des nanomatériaux où sont fabriqués et utilisés les nanoparticules, nanotubes et autres nano-objets, et le monde de la nano-électronique et des nanosystèmes, prolongement de la microélectronique vers les petites dimensions, dans lequel, bien que l'on fabrique des circuits intégrés comportant des motifs aussi fins que la dizaine de nanomètres, la problématique "nanoparticule" est pratiquement absente* ». Il rejoint les deux autres analyses en rajoutant « *l'impression qui domine par ailleurs, c'est le manque évident de maîtrise du sujet, qui conduit à une exposition confuse des notions fondamentales, à des erreurs ou des contre-sens, à des approximations et à une absence de mise en perspective qui permettrait au lecteur novice de s'y retrouver* ».

Outre les amalgames, confusions et inexactitudes dans les explications, ont été relevés tout au long des parties 1 et 2 des citations et des conseils qui proviennent tout aussi bien d'experts pour des associations militantes,

d'experts scientifiques ou d'institutions officielles sans mise en contexte. Il n'est malheureusement pas précisé dans le livre ce qui peut permettre au lecteur de différencier un expert recherché pour sa compétence, en tant que spécialiste d'un domaine précis, d'une personne qui se sera emparée de la problématique pour diverses raisons. Cela aurait pourtant été un bon début pour l'aider à se retrouver dans l'information.

Dans chaque chapitre, les auteurs émettent une opinion sur les mesures qui devraient être prises – réduire les niveaux d'exposition aux champs électromagnétiques – interdire les OGM... et tentent d'en convaincre le lecteur.

Cette analyse de l'ouvrage illustre des biais typiques d'une catégorie de la littérature sur les sujets scientifiques impliquant des enjeux sociétaux et une gestion politique. Il montre la difficulté qu'il y a de traiter ces différents volets ensemble et le fait que lorsque science, expertise et demande de mesures de gestion sont abordées de concert, c'est bien souvent dans le domaine de l'opinion et de la pseudo-science que verse le sujet.

¹ Sur ce sujet, voir *Science et pseudo-sciences* : www.pseudo-sciences.org/spip.php?article1143 ou www.pseudo-sciences.org/spip.php?article1214, ainsi que la note de Marcel Kuntz dans ce numéro (rubrique *Du côté de la science*).

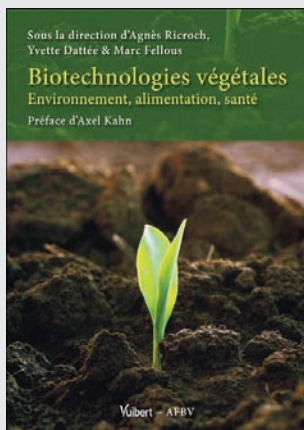
Nous signalons bien volontiers...

Biotechnologies végétales : Environnement, alimentation, santé

Sous la direction d'Agnès Ricroch, Yvette Dattée & Marc Fellous

Préface d'Axel Kahn & postface de François Houllier

Éditions Vuibert – AFBV, 2011, 272 pages, 25 €



Assurer la sécurité alimentaire d'une population mondiale toujours plus nombreuse, accroître et stabiliser les rendements par la résistance aux nombreux bioagresseurs et maladies, adapter les cultures aux contraintes climatiques, mais aussi fabriquer des molécules à but thérapeutique, sont quelques-unes des possibilités offertes par les biotechnologies végétales.

Les auteurs de ce livre, experts dans leur domaine, expliquent dans un langage clair ces innovations majeures du XXI^e siècle et les révolutions qu'elles induisent. Un livre indispensable pour une compréhension des progrès associés aux biotechnologies.

Présentation de l'éditeur

Yvette Dattée et Marc Fellous sont membres du conseil d'administration de l'AFIS, ainsi que de son comité de parrainage.

Rubrique coordonnée par **Philippe Le Vigouroux**



Abonnement et adhésion**Adhésion à l'AFIS (Association Française pour l'Information Scientifique)**

Cotisation pour l'année21 €

Abonnement à la revue Science et pseudo-sciences (SPS)

France. Un an : 5 numéros25 €

France. Deux ans : 10 numéros50 €

Étranger. Un an : 5 numéros30 €

Étranger. Deux ans : 10 numéros60 €

Nom : Prénom :

Adresse complète :

Mail : Profession :

Faites des cadeaux à demi-tarif !

J'offre abonnements à 5 numéros, à 12,5 € chacun

J'offre abonnements à 10 numéros, à 25 € chacun

Destinataires du ou des cadeaux :

Nom : Prénom :

Adresse complète :

Nom : Prénom :

Adresse complète :

Nom : Prénom :

Adresse complète :

(début de l'abonnement au prochain numéro).

Total :€

Chèque à l'ordre de l'AFIS (uniquement en France) ou virement IBAN : FR 65 2004 100001 2100000P020 50. BIC : PSSFRPPPAR. N° de compte : 20041 / 00001 / 2100000P020

AFIS, 14 rue de l'École Polytechnique, 75005 PARIS
service.abonnement@pseudo-sciences.org

& pseudo-sciences

L'Association Française pour l'Information Scientifique (créée en 1968) se donne pour but de promouvoir la science contre ceux qui nient ses valeurs culturelles, la détournent vers des œuvres malfaisantes ou encore usent de son nom pour couvrir des entreprises charlatanesques. La science ne peut résoudre à elle seule les problèmes qui se posent à l'Humanité, mais on ne peut les résoudre sans faire appel à la méthode scientifique. Les citoyens doivent être informés des progrès scientifiques et techniques et des questions qu'ils soulèvent, dans une forme accessible à tous et sans tenir compte de la pression des intérêts privés. Ils doivent être mis en garde contre les fausses sciences et ceux qui dans les médias leur prêtent la main par intérêt personnel ou mercantile.

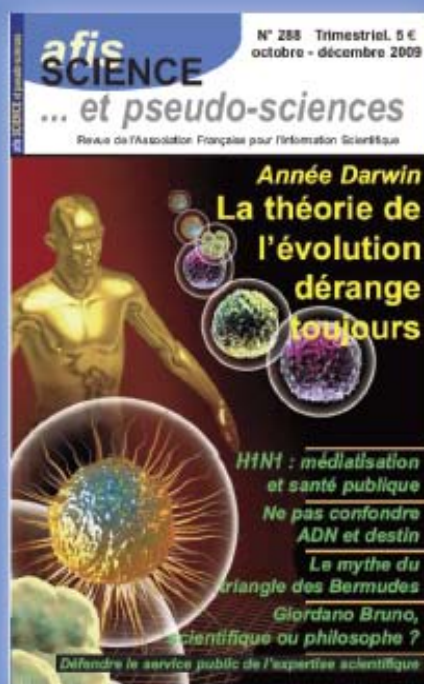
Au travers de sa revue *Science et pseudo-sciences*, elle veut :

- retenir, dans l'actualité scientifique et technique, un certain nombre de faits pour en considérer d'abord la signification humaine ;
- diffuser une information scientifique constituée de nouvelles d'actualité dans toutes les branches de la recherche, dans un langage accessible à tous ;
- dénoncer sans réserve les marchands de fausses ou de pseudo-sciences (astrologie, soucoupes volantes, sectes, « paranormal », médecines fantaisistes) et les charlatans malfaisants pourvoyeurs de l'irrationnel ;
- défendre l'esprit scientifique contre la menace d'un nouvel obscurantisme.

Elle se veut indépendante des groupes de pression afin d'éviter toute concession au sensationnalisme, à la désinformation et à la complaisance pour l'irrationnel.

Le site de l'AFIS a fait peau neuve !

<http://www.pseudo-sciences.org/>



Sommaire

du n° 298

Éditorial	1
Du côté de la science	2
Dossier : après Fukushima	14
Les conséquences sanitaires des accidents (<i>Roland Masse</i>)	15
De Tchernobyl à Fukushima, les risques de la radioactivité (<i>André Aurengo</i>)	22
Quelles doses ?	25
Faut-il revoir les normes d'évacuation à la suite d'un accident nucléaire (<i>Hervé Nifenecker</i>)	27
Perception du risque et nucléaire (<i>Nicolas Gauvrit</i>)	35
Le nuage de Tchernobyl « qui s'arrête à la frontière » : la légende urbaine décryptée à travers Le Figaro de 1986 (<i>Yann Kindo</i>)	39
Les conséquences environnementales (<i>Henri Métivier</i>)	42
Nouveau record du monde de probabilités (<i>Nicolas Gauvrit</i>)	46
Jeûner pour combattre la radioactivité ? (<i>Brigitte Axelrad</i>)	51
Peut-on se passer du nucléaire ? (<i>Claude Acket et Pierre Bacher</i>)	52
Le futur de l'énergie passe par davantage d'innovation (<i>Jean-Luc Dormoy</i>)	64
Où en est la prédiction sismique ? (<i>Georges Jobert</i>)	74
Notes de lecture	82
Un monde fou, fou, fou (<i>Brigitte Axelrad</i>)	86
Dialogue avec nos lecteurs	91
Livres et revues	95

L 16571 -298- F: 5,00 € - RD

