

Diaz Maurin, F. (2012). Fukushima : limites anthropologiques à la complexité et risque d'effondrement sociétal, *Entropia*, Vol. 12: 99-108. <http://www.entropia-la-revue.org/>

VERSION DE PRÉPUBLICATION
SE RÉFÉRER À LA VERSION DE L'ÉDITEUR POUR CITATION

FUKUSHIMA : LIMITES ANTHROPOLOGIQUES À LA COMPLEXITÉ ET RISQUE D'EFFONDREMENT SOCIÉTAL

*François Diaz Maurin**

Anthropocène, complexité et énergie

L'Anthropocène, c'est l'ère de l'appropriation grandissante par l'homme de l'ensemble du système terrestre et de ses attributs à l'œuvre depuis la révolution industrielle à la fin du XVIIIème siècle. Mais l'Anthropocène c'est aussi l'ère de la complexification de la société au sens culturel du terme. Selon l'historien et anthropologue américain Joseph Tainter (1988) la complexité culturelle d'une société se mesure par sa différenciation structurelle et organisationnelle présentant plus d'éléments constitutifs (par exemple, de nouvelles institutions) et/ou plus de types d'éléments constitutifs (par exemple, de nouvelles fonctions au sein d'institutions existantes).

Dans la vision progressiste du développement des civilisations, le processus de complexification est souvent considéré comme intentionnel, c'est-à-dire comme étant le résultat de l'imagination de nos ancêtres et plus ou moins facilité par les circonstances du moment (Tainter, 2011). Selon cette même vision progressiste, la complexification de la société a lieu par ce qu'elle le peut. De la même façon qu'une jeune pousse émerge de la terre lorsque toutes les conditions de température, d'humidité, de nutriments et de rayonnement solaire sont réunies, la complexification de la société devient possible lorsque de plus grandes quantités de ressources naturelles sont disponibles et que le surplus énergétique (quantité d'énergie délivrée à la société par le secteur de production d'énergie et dissipée ensuite au sein des autres secteurs) croît. La vision progressiste établit ainsi une relation linéaire de cause à effet entre énergie et complexité, considérant la première comme précédant la seconde et lui permettant d'émerger.

Pourtant, de nombreuses civilisations avant nous, comme la Rome Antique ou la Mésopotamie Ancienne, ont bénéficié d'un niveau d'organisation structurelle – et donc d'une complexité – relativement avancé (Tainter, 1988). Ces mêmes civilisations n'ont pour autant jamais bénéficié d'un surplus énergétique aussi important que celui dont notre « civilisation à haute énergie » (Smil, 2004) bénéficie depuis deux siècles. L'ère de l'Anthropocène représente à ce titre une période unique – et très courte – dans l'histoire de l'humanité. La relation linéaire de cause à effet entre énergie et complexité n'est donc pas suffisante

* Ancien ingénieur de l'industrie nucléaire en France et aux Etats-Unis. Chercheur à l'Institut des Sciences et Technologies Environnementales (ICTA), Université Autonome de Barcelone, Espagne. – Contact : Francois.Diaz@uab.cat

pour expliquer le développement des civilisations anciennes.

Pour comprendre toute l'ambiguïté de cette relation entre énergie et complexité, il faut d'abord étudier le rôle essentiel que joue la complexité dans la durabilité d'une société. Selon Tainter (1988, 2004, 2011), qui a fait de cette question l'une de ses principales lignes de recherche, la complexité est un outil fondamental de résolution des problèmes rencontrés par une société et qui se dressent comme obstacles à son désir de continuité. Confrontée à de tels problèmes, la société développe alors de nouvelles technologies et institutions, ou ajoute des éléments constitutifs supplémentaires à celles déjà existantes, menant logiquement à sa complexification. La durabilité d'une civilisation dépend ainsi de sa capacité à résoudre les problèmes qu'elle rencontre à l'aide de ce processus de complexification tout en étant capable d'en absorber les contraintes (coûts financiers, énergétiques, etc.).

La relation entre énergie et complexité apparaît alors comme étant auto-catalytique, c'est-à-dire que la présence d'un surplus d'énergie permet à la complexité d'émerger (vision progressiste), complexité qui en retour produit de nouveaux types de problèmes qui n'existaient pas auparavant. Or, résoudre de tels problèmes requière une complexification supplémentaire de la société et donc un surplus d'énergie d'autant plus grand. Énergie et complexité sont ainsi imbriquées dans une relation de causalité à double sens (réciprocité).

L'existence d'un surplus d'énergie étant une condition *sine qua non* à l'émergence de la complexité, celui-ci joue donc le rôle de contrainte limitative à cette relation de réciprocité et donc *in fine* à l'évolution d'une société complexe. Ce point, pourtant essentiel, n'est pas toujours bien compris dans les discussions ayant trait à la durabilité. Cela vient du fait que vivre à l'ère de l'Anthropocène où l'énergie est à la fois bon marché et abondante nous donne l'impression (biaisée) que ce surplus d'énergie est quelque chose de tout à fait normal et d'immuable. Rappelons-nous toutefois que ces périodes d'abondance énergétique ont été à la fois rares et de courte durée à l'échelle de l'histoire de l'humanité. Or, notre civilisation s'appête à devoir affronter une double contrainte qui menace sa durabilité : la multiplication grandissante - et évidente - des problèmes et une crise énergétique globale réduisant sa capacité à résoudre ces problèmes.

Fukushima, complexité et énergie nucléaire

Dans ce contexte de l'Anthropocène, l'énergie nucléaire est de loin le système de génération d'énergie le plus complexe jamais conçu par l'homme. Il tient sa complexité de la nature même de cette source

d'énergie à la fois très diluée à l'état primaire (minerai d'uranium) et très concentrée lors de la génération des vecteurs énergétiques (chaleur puis électricité) directement utilisable par la société. Toute la difficulté de la production d'électricité à l'aide de l'énergie nucléaire (fission) réside alors dans deux tâches suivantes : la concentration de l'uranium depuis son état naturel à son état de combustible (processus amonts de production du combustible) suivis du contrôle de cette énergie fortement concentrée (centrale nucléaire et processus aval de gestion des déchets). Ces deux étapes impliquent la multiplication des processus industriels, des capitaux (financiers, humains et matériels), des décisions, et de la connaissance scientifique indispensables pour faire fonctionner ce système énergétique. A titre de comparaison, l'exploitation des énergies renouvelables (rayonnement solaire, vent, marées, etc.) qui sont également très diluées à l'état primaire ne requièrent que des efforts de concentration de façon à obtenir un vecteur énergétique (électricité) directement utilisable par la société, ce qui leur donne un avantage considérable par rapport à l'énergie nucléaire en terme de compétitivité biophysique (basée sur des données énergétiques et physique, et non pas sur des données monétaires comme c'est le cas des études économétriques conventionnelles).

L'énergie nucléaire est sans doute la source primaire d'énergie qui illustre le mieux l'ère hautement complexe qu'est l'Anthropocène. Cependant, comme tout système complexe, l'énergie nucléaire est également un système fragile comme récemment illustré par les accidents de Fukushima.

Le 11 mars 2011, un violent séisme suivi d'un fort tsunami s'abattaient sur la côte Est du Japon mettant en péril 4 des 6 unités appartenant au site de production d'électricité de Fukushima-Daiichi. Plus précisément, ce sont trois cœurs de réacteur qui sont entrés en fusion partielle, ainsi qu'une piscine de stockage de combustible usagés d'un autre réacteur qui a subi un incendie¹. L'ensemble de ces événements a obligé les autorités japonaises à classer la catastrophe nucléaire d'accident majeur - le niveau maximum sur l'échelle de l'INES (niveau 7) - toutefois plus d'un mois après le début des accidents. Il a d'ailleurs été largement admis que la gestion de la catastrophe nucléaire a démontré d'importantes lacunes que ce soit de la part de l'exploitant de la centrale TEPCO, des autorités japonaises ou de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (Brumfiel, 2011a) dont la principale conséquence a été le manque d'informations - parfois retenues intentionnellement (Taira et Hatoyama, 2011) - au sujet de l'état des réacteurs, de la situation sanitaire et de la radioactivité à l'échelle locale et globale. Cette mauvaise gestion de crise montre également la fragilité

1 Il est important de préciser qu'ils s'agit bien de 4 accidents distincts du point de vue de la sûreté nucléaire (études de risques), et ce, bien que la cause initiatrice et que la centrale nucléaire soient les mêmes (Diaz Maurin, 2011a).

de ce système dont les enjeux et conséquences sont pourtant globaux.

Pour prendre la mesure de la gravité de la catastrophe, il ne suffit pas de regarder les conséquences immédiates des accidents (radioactivité dans l'air et évacuation des populations) – qui ne sont que la partie émergée de l'iceberg – mais bel et bien l'ensemble des conséquences sanitaires, économiques et sociales que ces accidents auront à long terme. Pour rendre la situation encore plus dramatique, les accidents ne peuvent pas encore à ce jour – l'article a été écrit en décembre 2011, soit près d'un an après le début des accidents – être considérés comme techniquement terminés et resteront actifs tant que les réacteurs ne seront pas complètement refroidis, ce qui est normalement prévu pour le début de l'année 2012 (Brumfiel, 2011b).

Compte tenu de l'ampleur de la catastrophe nucléaire de Fukushima, on est en droit – et même dans le devoir – de s'interroger sur les raisons d'une telle catastrophe. Qu'a-t-il permis la perte totale de contrôle sur ces centrales et qui en porte la véritable responsabilité ? Ces questions sont d'autant plus importantes puisqu'elles concernent la viabilité et la désirabilité de l'énergie nucléaire qui entend être une source d'énergie alternative dans un contexte de crise globale de l'énergie. Pour répondre à cette question, je propose de discuter deux aspects : les phénomènes naturels qui ont provoqué les accidents de Fukushima et les méthodes employées pour estimer les risques liés à ces phénomènes.

A l'origine de la catastrophe nucléaire de Fukushima, il y a deux phénomènes naturels : un séisme et d'un tsunami. C'est la combinaison de ces deux phénomènes naturels – bien connus des géologues pour être dans certains cas couplés entre eux – qui est le plus souvent annoncée comme étant la cause des accidents. Or, les dernières expertises font état du fait que le séisme, seul, aurait été responsable des principaux dommages causés à la centrale et notamment aux pompes de secours qui étaient déjà hors d'état de fonctionner *avant* le tsunami – information retenue intentionnellement par TEPCO et délivrée aux institutions gouvernementales seulement 6 mois après le début des accidents (Taira et Hatoyama, 2011). A ce stade, qu'un séisme seul – pourtant pris en compte dans les études de risques – soit la cause principale d'une telle catastrophe nucléaire réduit d'autant plus le caractère de « jamais vu » utilisé pour décrire la catastrophe naturelle. Certes, le séisme lui-même était d'une magnitude inégalée dans la région, il n'en est pas moins qu'un séisme de magnitude supérieure à 9.0 a lieu tous les 6 ans environ dans le monde. Cela démontre les limites des études de risques vis-à-vis des phénomènes naturels, que ce soit au niveau de leur localisation, de leur amplitude et de leur récurrence.

Ce type de scénario – séisme et/ou tsunami – est bien connu et

régulièrement pris en compte dans les calculs de sûreté des installations nucléaires. Pourtant, malgré leur prise en compte dans le cas des réacteurs de Fukushima, cela n'a pas empêché d'aboutir à l'une des pires catastrophes nucléaires depuis le début de son développement. Cela signifie que les hypothèses prises au moment du développement de ces réacteurs dans les années 1970 ne furent pas suffisantes pour contenir les événements survenant en 2011 au large du Japon. Nous sommes ici en présence d'un scénario à faibles probabilités mais à grandes conséquences pour l'homme et pour l'environnement. Cette très grande sensibilité aux hypothèses critiques est caractéristique des projets complexes et représente leur fragilité. La fragilité de la sûreté des réacteurs nucléaires peut se résumer ainsi : l'énergie nucléaire est sûre jusqu'à ce qu'un accident survienne. L'exploitation de centrales nucléaires actuelles implique ainsi une inévitable situation de dualité en passant d'une sûreté totale à une situation de chaos juste par le fait que certaines hypothèses critiques peuvent être dépassées.

L'implication des hypothèses de calculs comme source profonde des accidents de Fukushima – les deux événements naturels n'étant que les facteurs déclencheurs – fait donc indéniablement porter la responsabilité sur l'industrie nucléaire en charge de ces calculs, et sur les autorités de régulation en charge de leur validation. Plus largement ce sont les méthodes probabilistes utilisées pour évaluer les risques liés à ce type de phénomènes – naturels ou non – qui peuvent être critiquées. On peut se demander en effet si la conception de telles centrales est faite en pleine connaissance des risques encourus. La réponse est de toute évidence négative, puisque de telles études sont affectées par la présence inévitable de « véritable ignorance » – ou « incertitude » – que l'on doit différencier de la simple « indétermination probabiliste » (Knight, 1921 ; Diaz Maurin, 2011b). Le physicien Richard P. Feynman, lauréat du prix Nobel de physique, disait à ce sujet en 1963 qu'« il est d'une importance primordiale, afin de faire progresser [la science], que nous reconnaissons cette ignorance et ce doute » (Feynman, 1998). Cela s'applique également au domaine de la technologie et donc de l'énergie nucléaire pour laquelle il est essentiel de reconnaître la présence d'ignorance et d'en identifier les sources. Or, l'une des principales sources est l'ignorance systémique affectant l'ensemble des études de risques indépendamment du type de réacteur nucléaire – à la conception aussi avancée soit-elle² – et de sa

2 A ce titre, l'empressement de l'industrie nucléaire au lendemain des accidents de Fukushima pour annoncer à la population que les nouveaux réacteurs « auraient résisté à une telle situation » ne fait que repousser le seuil d'incertitude sans régler pour autant le problème de fond qu'est la présence d'incertitude. De plus, de telles déclarations sont complètement hors sujet puisque aucun de ces « nouveaux réacteurs » n'est en fonctionnement à l'heure actuelle dans le monde et il faudra attendre encore plusieurs dizaines d'années avant qu'ils représentent une part significative de la production d'électricité de la filière nucléaire – si toutefois ils étaient commandés, financés et finalement construits ce qui est de moins en moins envisagés

localisation (Diaz Maurin, 2011b). De telles études de risques conventionnelles basées sur des calculs probabilistes ne peuvent donc pas – et ne devraient pas – être utilisées dans des situations où la présence d'ignorance est avérée, comme dans le cas de la sûreté nucléaire. Et si c'est encore le cas, compte tenu de la présence inévitable d'ignorance – comme lorsque l'on mène un projet à large échelle pour la première fois – il n'est pas recommandé de seulement se baser sur l'avis de « l'expert » qui n'a pas plus de raison d'être immunisé contre l'ignorance que n'importe quelle autre personne.

La présence de « véritable ignorance » pose donc la question de la désirabilité de l'énergie nucléaire pour laquelle on ne peut connaître les risques encourus. Poursuivre l'*expérience* à grande échelle de l'énergie nucléaire, d'une part, tout en refusant d'admettre les sources d'ignorance évidentes, d'autre part, démontre une certaine fermeture d'esprit loin de la sagesse et de l'imagination que requière la gestion de la crise énergétique globale qui représente sans doute la plus grande menace de l'ère de l'Anthropocène.

En effet, rien n'indique que la transition énergétique et sociétale impliquant une diminution rapide de la qualité de l'énergie – et donc de la quantité disponible pour la société – se passe nécessairement sans heurts vis-à-vis de l'organisation sociétale actuelle (Smil, 2008, 2010 ; Tainter, 2004). Il semble même très probable que la transition énergétique s'accompagne d'un « effondrement sociétal » global.

Risque d'effondrement sociétal

La notion d'effondrement sociétal est familière des lecteurs d'*Entropia* qui lui a consacré son numéro 7 avec un dossier intitulé *L'Effondrement : et après ?* Toutefois, ce terme n'y était pas clairement défini. Par effondrement sociétal j'entends ici la perte rapide de la complexité sociale, politique et économique (Tainter, 2004). Ce type d'effondrement est un phénomène récurrent de l'histoire des civilisations et a été synonyme de leur déclin. Un tel effondrement sociétal, selon Tainter, apparaît lorsque la résolution des problèmes n'est plus possible par l'usage du processus de complexification de la société décrit précédemment. Or, même si l'on admet la thèse de Tainter à savoir que l'énergie n'est pas la cause première de l'effondrement des civilisations anciennes mais bel et bien leur incapacité à poursuivre dans la résolution des problèmes par le recours à toujours plus de complexité, on doit néanmoins se rappeler que la complexification d'une société n'est possible que parce qu'un surplus d'énergie croissant est disponible. C'est à ce titre que la crise énergétique

dans les pays développés – et donc avant que l'on puisse les prendre en considération dans les discussions relatives à la sûreté nucléaire.

globale - de par le déclin du surplus énergétique qu'elle impliquera - représente un véritable risque d'effondrement sociétal.

La question n'est alors plus de savoir si un effondrement de notre société est possible - l'histoire nous a montré que oui - ou de savoir ce qu'il y aura après l'effondrement - compte tenu de notre ignorance vis-à-vis de cette question et du caractère auto-évolutif et non planifiable d'une société - mais la question est avant tout autre chose de connaître les implications d'un tel processus d'effondrement, et notamment de savoir s'il est désirable, évitable et, si tel n'est pas le cas, de savoir comment s'y préparer.

La désirabilité d'un processus dépend de l'équilibre entre coûts engendrés et bénéfices escomptés. Or, il est clair que dans le cas d'un processus d'effondrement sociétal l'humain n'est pas disposé à accepter les coûts d'une telle transition d'autant plus que les bénéfices escomptés sont tout sauf certains - il est en effet impossible de prédire *l'après effondrement* qui est affecté par la présence d'ignorance. Si l'effondrement sociétal n'est donc pas un processus de transition désirable pour notre société, est-il encore évitable ?

Tout porte à croire que le processus d'effondrement sociétal soit déjà engagé même s'il n'est pas encore évident. Par exemple, le fait que certains pays renoncent à tenter de résoudre certains des problèmes auxquels ils font face (retrait du Protocole de Kyoto par le Canada, arrêt du financement des recherches européennes sur les effets à long terme de la radiation, etc.) semble illustrer l'arrêt du processus de résolution des problèmes utilisé depuis le début de l'ère de l'Anthropocène - et même au cours de l'expansion des civilisations anciennes. Il semble donc difficile de pouvoir éviter un processus d'effondrement sociétal déjà engagé ça et là, et ce, d'autant plus que le contexte à venir de crise énergétique y est très favorable. L'effondrement sociétal sera donc très probablement une réalité signant effectivement la fin de l'Anthropocène. Toutefois, si la fin de l'Anthropocène est quelque chose de désirable à de multiples aspects sociaux et environnementaux, on ne pourrait en aucun cas s'en réjouir lorsque l'on sait qu'il sera précédé d'un tel processus d'effondrement sociétal caractérisé par une modification brutale du métabolisme énergétique aux conséquences négatives pour l'humain voire même pour l'environnement (par exemple par l'exploitation des ressources fossiles non conventionnelles). L'humain va donc devoir assurer une certaine gestion de crise ou plutôt une « gestion de l'effondrement ». La véritable question posée devient donc : *L'Effondrement : comment ?*

L'un des leviers de la « gestion de l'effondrement » est la réaffectation de l'utilisation des énergies conventionnelles de façon à accompagner la transition vers une société soutenable basée sur d'autres formes d'énergie

qui soient renouvelables. Cette transition, bien que longue, implique d'engager dès maintenant nos sociétés dans une discussion sur les options énergétiques qui apparaissent comme viables et désirables. Ceci est important pour que les « dernières » ressources fossiles (de qualité) ne soient plus vues comme le support de notre société moderne actuelle mais bel et bien comme le support des alternatives tant énergétiques que sociétales.

Conclusion

Aujourd'hui, à l'ère de l'Anthropocène, le recours à l'énergie nucléaire pour la production d'électricité est de loin le système énergétique le plus complexe jamais entrepris par l'homme. Or, les accidents de Fukushima ont démontré l'incapacité de l'humanité à contrôler ce système complexe. Plus spécifiquement, la présence systémique – c'est-à-dire à tout niveau – de véritable ignorance pose la question de la désirabilité d'une telle source d'énergie. En effet, dans un contexte de crise énergétique globale étant déjà affecté par de l'incertitude, il ne serait pas judicieux d'ajouter de l'incertitude supplémentaire en faisant le choix d'une source d'énergie alternative que l'on ne peut prédire – et donc contrôler – totalement. C'est en cela que l'humanité ne semble donc plus capable de poursuivre son expansion telle que nous la connaissons depuis deux siècles en recourant au même mécanisme de complexification de la société. Cette nouvelle catastrophe nucléaire pourrait ainsi marquer la fin de cette ère, ou tout au moins « le début de la fin ». Pourtant, fin de l'Anthropocène ne signifierait pas nécessairement – et fort heureusement – fin de l'humanité mais ouverture sur une nouvelle ère plus simple et plus durable, celle d'une co-évolution entre l'homme et son environnement. Toutefois, pour réaliser avec succès cette transition sociétale il est important de comprendre les implications de la crise énergétique globale à venir de manière à s'engager dans une transition la plus informée possible.

Pour ce faire, cela nécessite un nouveau pacte de société visant à discuter la question de soutenabilité de manière informée à l'aide des scientifiques devant accepter l'existence de l'ignorance et du doute. Enfin, un tel pacte de société nécessite d'être démocratique et participatif impliquant un processus de *négociation* entre les différents acteurs sociaux puisque rien n'a jamais été aussi incertain qu'aujourd'hui.

Références

Brumfiel G. (2011a) International atomic energy agency gets new safety remit. *Nature News Blog*. URL: http://blogs.nature.com/news/2011/09/iaea_gets_new_safety_remit.html

- Brumfiel G. (2011b) Fukushima's reactor cores still too hot to open. *Nature News*. doi:10.1038/news.2011.525
- Diaz Maurin F. (2011a) Fukushima: Consequences of systemic problems in nuclear plant design. *Economic & Political Weekly*, 46(13):10-12.
- Diaz Maurin F. (2011b) Sobre la viabilidad de la energía nuclear: Implicaciones de los accidentes de Fukushima-Daiichi. *Ecología Política* 41:106-111.
- Feynman R.P. (1998) *The meaning of it all: thoughts of a citizen-scientist*. Basic Books.
- Knight, F.H. (1921) *Risk, uncertainty and profit*. Library of Economics and Liberty.
- Smil V. (2010) *Energy transitions: history, requirements, prospects*, Praeger Publishers.
- Smil V. (2008) *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Smil V. (2004) World History and Energy. In *Encyclopedia of Energy* 6:549-561, C. Cleveland, Ed., Elsevier: Oxford.
- Tainter J. (2011) Energy, complexity, and sustainability: A historical perspective. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1:89-95.
- Tainter J. (2004) Energy and sociopolitical collapse. In *Encyclopedia of Energy* 5:529-543, C. Cleveland, Ed., Elsevier: Oxford.
- Tainter J. (1988) *The collapse of complex societies*. New Studies in Archaeology. Cambridge University Press, New York.
- Taira T., Hatoyama Y. (2011) Nationalize the Fukushima Daiichi atomic plant. *Nature* 480:313-314.