

## « Sortir des nuages », dit-il ...

Note de lecture, à propos de

Harry Bernas, « *Les merveilleux nuages, Que faire du nucléaire ?* », Seuil, 2023

Jacques Rigaudiat

C'est peu de dire que le livre de Harry Bernas (HB) récemment paru au Seuil suscite, *a priori*, une très forte attente de la part de son lecteur. Physicien éminent, il est l'ancien directeur du Centre de sciences nucléaires et de sciences de la matière, au CNRS-Université de Paris-Sud ; il est aussi, dit sa notice Wikipédia, le créateur d'un programme européen, "Études de matériaux irradiés", auquel collaborent pas moins de 130 laboratoires dans 12 pays ; il est l'auteur de très nombreux articles et de plusieurs ouvrages scientifiques. Il a, par ailleurs, publié il y a peu un premier livre<sup>1</sup>, destiné comme celui-ci à un large public. Il est donc assez légitime d'attendre de sa part une analyse parfaitement informée de la question, si clivante et pour le cas français essentielle<sup>2</sup>, de la place qu'il faut, ou non, réserver au nucléaire dans le mix électrique.

À vrai dire, l'auteur prend quelque peu de court son lecteur, tout accoutumé qu'est celui-ci à voir défiler le triptyque usuel des objections au nucléaire (risque d'accident grave, gestion de très longue durée des déchets, problèmes de démantèlement des centrales) ; non que ces objections ne soient pas présentes, tout au contraire, on y reviendra, mais parce que, pour une fois, elles ne sont pas mises d'emblée au premier rang, et qu'elles n'y viennent qu'au terme d'un détour historique particulièrement intéressant, à la fois original et instructif.

C'est que, à la suite de l'accident de Fukushima, le physicien qu'est HB s'est beaucoup préoccupé de l'histoire initiale du nucléaire<sup>3</sup> ; c'est ici ce qui lui sert pour l'essentiel de fil directeur.

Pour lui, la question actuelle du nucléaire est, en effet, due à un « horizon ignoré », celui d'une

durée de vie raisonnable des centrales, estimée dès l'origine à quarante ans, qui est la source d'une « crise prévisible » (chapitre 1). Les centrales électronucléaires ayant été « construites deux par deux sur une période brève de six à huit ans entre la fin des années 1970 et les années 1990 », il était parfaitement clair que « la préparation d'un relais en matière d'énergie était donc vue, dès le départ, comme une nécessité patente ». Le temps passe, les centrales vieillissent et rien ou si peu n'est fait : les filières industrielles se sont délabrées, les savoir-faire de la main-d'œuvre se sont perdus et, avec sa financiarisation, EDF est passée « de star technologique à casino » ; au total, « la préparation d'une relève lors de la fin de vie des centrales anciennes [est] sortie du champ de vision des gouvernements successifs ». Avec la fin de vie des centrales du parc historique, nous sommes désormais devant une falaise.

Or, la question de l'énergie (chapitre 2) est centrale, au sens le plus plein du terme : « elle sert à faire société [...] [et] sa transformation est à la source de toutes les activités humaines, collectives ou individuelles, choisies ou subies. La manière de l'utiliser est d'abord un facteur d'organisation sociale et politique, avant même d'être une question scientifique et technique ».

C'est là que l'histoire intervient (chapitre 3) pour donner tout son sens à ce qui est qualifié de « situation de crise », car -si j'ose dire- le ver était dès l'origine dans la fission ! HB revient alors de façon passionnante sur les premiers pas de la fission, lesquels débutent entre 1934 et 1938 et se déroulent ensuite dans le contexte de la seconde guerre mondiale et de la construction de la bombe atomique, puis de la guerre froide, car « bombe ou réacteur, c'est le même processus de fission et de réaction en chaîne – tout est dans le dans la maîtrise du temps, du rythme de cette réaction », et ajoute-t-il avec justesse « ce rapprochement entre bombe et réacteur nucléaire ne s'effacera jamais ».

1 Harry Bernas, *L'Île au Bonheur : Hommes, atomes et cécité volontaire*, Le Pommier, 2022.

2 Il suffit pour justifier cette affirmation de rappeler que le parc nucléaire installé représente en France 70 % de la production d'électricité.

3 Né à Vienne en 1936, il a été le contemporain des premiers éléments constitutifs du nucléaire civil.

C'est à la fin de cette époque, le 8 décembre 1953 très précisément, que, selon HB, avec le discours d'Eisenhower dit « Atomes pour la paix », les choses se décanteront, définitivement à ce jour. « Pressé de lancer ses « atomes pacifiques » [...] Eisenhower veut réaliser une centrale témoin au plus tôt [...]. Le petit réacteur à eau pressurisée du sous-marin [le Nautilus, premier sous-marin nucléaire] parce qu'il est le plus rapide à construire et le seul disponible se verra promu à un grand destin. Depuis lors, on n'a inventé aucun nouveau nucléaire ». Ce sera donc le triomphe d'un seul type : le réacteur à eau légère (Light Water Reactor, LWR en anglais), pressurisée (REP) pour la quasi-totalité aujourd'hui, ou pas.

Or, ce choix est un péché originel et la messe désormais est dite (chapitre 4) : « ce choix baroque et risqué » qui fait du REP le réacteur modèle et dont l'EPR français n'est qu'une variante supposément optimisée, est « une occasion historique manquée [...] c'est une technologie immature, qui le restera ». Son « irrémédiable point faible » est bien connu : un REP, n'est ni plus ni moins qu'une bouilloire [c'est l'image utilisée par HB, personnellement, j'opterai plutôt pour une cocotte-minute qui me paraît plus appropriée, du fait de la mise sous pression de l'eau qui sert de vecteur au transfert de chaleur]. Dès lors que, pour une cause quelconque – mécanique, erreur humaine, facteur exogène comme un tsunami –, la chaleur ne s'évacue plus, alors la perte de refroidissement (loss of coolant accident, LOCA) entraîne la fusion du cœur (corium) ; de Three Miles Island à Tchernobyl et Fukushima, c'est à chaque fois le même scénario catastrophe qui se rejoue.

Le reste alors en découle, inéluctablement. La relance en France d'un programme de « nouveau nucléaire » (fausse appellation dit HB, puisqu'il s'agit toujours et encore de REP) ne fera que reconduire ces problèmes (chapitre 5). Avec les REP, le cycle du combustible nucléaire ne pouvant être fermé, la question des déchets et de leur gestion, les « poubelles de l'histoire » (chapitre 6), ne peut être réglée. Quant à la fermeture de ce cycle (chapitre 7), rêve du CEA avec ses divers démonstrateurs de surgénérateur<sup>4</sup>, sa possibilité « reste virtuelle

dans la configuration technique, économique et politique qui existe depuis soixante ans » et est destinée à demeurer une « vision messianique ». Que faire donc, alors que nous sommes, en France du moins, au bord de la falaise ? Il faut « sortir des nuages » (chapitre 8). En effet, « Une rupture de l'approvisionnement électrique est en vue. La politique et le militaire ont imposé la technologie LWR en usage aujourd'hui [...] elle se révèle après quarante ans lourde, fragile et proche de sa fin de vie » et le projet macronien de « nouveau nucléaire » est « irréalisable avec les infrastructures industrielles, les compétences et la main-d'œuvre existante ». Quant aux énergies renouvelables, « malgré ses progrès foudroyants, l'électrique renouvelable n'est pas une solution magique : une foule d'améliorations importantes (dont les rendements, les matériaux, la stabilisation des réseaux et l'entreposage d'électricité) restent à faire pour en profiter pleinement. Le double avantage des renouvelables, crucial aujourd'hui, est la rapidité de leur mise en œuvre pour la transition technologique et la souplesse de leur utilisation (...) Ce n'est pas une solution universelle et idéale ». Face aux effets du réchauffement climatique qui est engagé et qui « quoi que nous fassions désormais, [nous mène] vers une augmentation d'au moins 1,7 à 2° en fin de siècle [...], il faudra être à la fois radical et prudent, prendre des mesures techniquement simples, socialement acceptables, de sobriété énergétique ». La sobriété, donc, comme voie centrale faite de mieux pour « sortir des nuages ».

À la lecture de ce court résumé que je me suis efforcé de garder fidèle à sa pensée, on le voit, HB ne cache guère la gravité de la situation ! Ce que, s'agissant du dérèglement climatique du moins, on ne peut à vrai dire que partager, alors que, les « anomalies thermiques positives » s'enchaînant sur l'ensemble du globe, cette année 2023, sur le point de s'achever au moment où ces lignes sont écrites, devrait s'avérer avoir été la plus chaude jamais enregistrée sur terre...

---

d'isotope fissile qu'il n'en consomme. Depuis Rapsodie (1959), puis Rachel (1961), la France a en la matière une longue histoire. Elle s'est poursuivie avec Phénix, Rapsodie, puis Super Phénix. Elle s'est désormais arrêtée en 2019 avec Astrid.

4 On parle de surgénérateur à propos d'un réacteur nucléaire, dès lors qu'il a la capacité de produire plus

*La lutte contre le réchauffement climatique, et donc contre les émissions de gaz à effet de serre (GES), est assurément la mère de toutes les batailles écologiques, même si, bien sûr, elles ne s'y résument pas complètement. On ne peut à cet égard qu'être en total accord – c'est à tout le moins mon cas – avec ce que souligne fermement HB, « la question du temps est incontournable : il nous reste une dizaine d'années pour réduire de moitié les émissions de GES, moins d'une vingtaine pour atteindre l'équilibre ». Et de ce point de vue, c'est bien la question de l'énergie qui doit être posée, celle d'une énergie décarbonée, celle, in fine, d'une électricité décarbonée. Faute de cela, nous en sommes d'accord, pas d'autre « sortie des nuages » que dans une réduction de son utilisation, soit, en conséquence, une diminution du « tas de marchandises » qui, biens ou services, nous sert tant bien que mal à mesurer notre niveau de vie. Décarbonation ou décroissance, donc. Tels sont les éléments de départ du débat qui doit se tenir et que je partage totalement, mais justement...*

Car l'éminent physicien est aussi, on l'a compris, un ardent militant et les deux ne vont pas toujours parfaitement de concert.

*C'est d'abord patent dans le vocabulaire utilisé, qui excède, et de beaucoup, la neutralité au moins de ton qui, paraît-il, sied au scientifique : l'approvisionnement électrique est affirmé être « en danger », le projet de bâtir des EPR2 est « démesuré », « irréalisable » et en définitive « absurde », les paris sont évidemment « dangereux », alors que, à l'inverse, les obstacles que devraient rencontrer les solutions avancées par HB sont, bien sûr, « loin d'être insurmontables » et que, concernant CIGEO, le site d'enfouissement des déchets de Bure, « les évolutions souterraines observées semblent interroger l'hypothèse d'un environnement stable ... ». On conviendra volontiers que c'est là l'une des grandes lois du genre, et que tels excès dans l'hyperbole critique et l'euphémisation des difficultés des remèdes proposés ne sont après tout que faiblement peccamineux, même s'ils amènent les mots du militant à quelque peu excéder les arguments rationnels à disposition du scientifique.*

*Mais c'est surtout que cela entraîne HB à d'autres débords, sensiblement plus gênants. Par exemple, cette lecture, que l'on dira rapide,*

*d'un rapport de la Cour des comptes, qui l'amène à évoquer le chiffre, pour le coup faramineux, de 100 Md€ pour le « Grand carénage », cette opération de remise à niveau « post-Fukushima » de la sécurité des centrales et de remplacement d'un certain nombre d'équipements arrivant en fin de vie (turbines, alternateurs, aéroréfrigérants, conduites ...) permettant aux centrales d'aller au-delà des 40 ans supposées fatidiques<sup>5</sup>. Or la Cour n'a évoqué un tel chiffre que dans l'un de ses rapports, son Rapport public annuel de 2016 ; voici la citation : « Un programme global de près de 100 Md€<sub>2013</sub>, d'ici à 2030, est nécessaire pour maintenir le parc actuel en état de répondre à la consommation électrique et aux normes de sûreté nucléaire »<sup>6</sup>, dans ce montant, qui reprend l'ensemble des coûts de fonctionnement et d'investissement 2014-2030 du nucléaire, les investissements de Grand carénage proprement dits émarginent à hauteur de 56,4 Md€<sub>2013</sub>, ce qui n'est déjà pas rien ! Au demeurant, cette estimation, aujourd'hui déjà ancienne, a été depuis révisée à la baisse à 49,4 Md€<sub>2020</sub> par EDF<sup>7</sup> en 2020. Enfin, cette conviction militante l'amène à fournir des données a priori étonnantes pour le lecteur. Ainsi de la question centrale du risque de fusion du cœur du réacteur, pour laquelle il écrit ceci : « la chaleur résiduelle due à la radioactivité des produits de fission, juste après l'arrêt d'un réacteur à eau pressurisée de 1 GW, correspond à une puissance d'environ 15 MW, soit 15 % de sa puissance de fonctionnement ». Si les données de calcul fournies sont les bonnes et 1 GW valant 1000 MW, la chaleur résiduelle*

5 En fait, selon l'[ASN](#) : « Les réacteurs nucléaires français ont été autorisés sans limitation de durée de fonctionnement ; toutefois 40 ans correspondent à la durée de fonctionnement des réacteurs initialement envisagée par EDF. Ainsi, pour aller au-delà de cette durée de conception, la démonstration de sûreté doit être révisée ou complétée. Entre autres, l'exploitant doit démontrer que le vieillissement de certains matériels est maîtrisé compte-tenu de la nouvelle durée de fonctionnement envisagée, certains équipements doivent être remplacés, les éventuels écarts doivent être corrigés, et des améliorations de sûreté doivent être apportées. C'est donc à ce titre que le fonctionnement d'un réacteur au-delà de 40 ans constitue une étape significative ».

6 Cour des comptes, « Rapport public annuel 2016 », tome 1, p.111, voir aussi l'encadré qui détaille ce point p.112. Ce rapport est en ligne sur [le site de la Cour](#).

7 Voir [EDF](#).

*n'est en ce cas évidemment pas de 15 %, mais de 1,5 % ; ce qui est déjà bien suffisant pour inquiéter... On ne verra certes pas malice volontaire dans cette erreur manifeste de calcul, mais l'expression, involontaire et symptomatique, d'un lapsus calami, où la force irrésistible de son inconscient finit par déborder la raison du scientifique*<sup>8</sup>.

Pour toutes ces raisons conjuguées, on ne peut se déprendre tout au long de la lecture du sentiment inconfortable d'être à chaque instant baigné dans un monde artificiellement placé au bord permanent sinon de la crise de nerfs, du moins de la crise énergétique aiguë. *E pur si muove !* Pourtant, malgré tout, il – le système électrique – tourne. Il faut donc reprendre à ce compte, celui de l'excès, la lecture ; on se contentera ici d'aller à l'essentiel, c'est-à-dire la question du risque de fusion du cœur.

*Si ce risque est malheureusement bien réel, réalité démontrée par les trois accidents majeurs que l'électro nucléaire a connus par le monde, la filière française des 56 REP actuellement raccordés n'a quant à elle jamais connu d'accident*<sup>9</sup> *en quelque quarante années de fonctionnement. Les deux accidents historiques intervenus en France, ceux de Saint-Laurent-des-Eaux (octobre 1969 et mars 1980), sont intervenus non sur des REP, mais sur des réacteurs graphite-gaz, filière abandonnée de longue date et dont le dernier réacteur (Bugey 1) a été fermé en 1994.*

Si le risque de LOCA demeure bien présent et ne peut en aucun cas être *a priori* considéré comme nul, le Grand carénage vise précisément à en écarter la possibilité. D'abord, puisque que c'est dans les premiers moments de l'accident que le risque de *corium* est majeur (cf. Annexe,

8 Les choses sont d'ailleurs comme de juste plus compliquées que cette arithmétique basique, ne serait-ce que parce qu'il faut évidemment tenir compte du temps écoulé depuis l'arrêt. Le lecteur intéressé trouvera en annexe la chronique de la chaleur résiduelle post arrêt d'un réacteur. On voit que le chiffre évoqué de 15 % n'a strictement aucune consistance ; il s'agit donc bel et bien d'un *lapsus calami*.

9 C'est-à-dire les événements classés au niveau 4 et + dans l'échelle internationale INES ; les événements d'un niveau inférieur sont qualifiés d'incidents. Greenpeace-France tient une liste que l'on peut penser scrupuleuse de ces accidents et incidents : cf. « [Les accidents nucléaires en France](#) », en ligne sur le site de l'association.

ci-après), en assurant les conditions de la poursuite du refroidissement en toutes circonstances et sans solution de continuité (générateurs diesels d'ultime secours pour assurer le fonctionnement des pompes de refroidissement, diversification des sources de refroidissement), afin d'éviter sa formation ; enfin, dans le cas où un *corium* aurait néanmoins été formé, en assurant son étalement puis son refroidissement (source d'eau d'ultime secours, renforcement et modification du radier sous la cuve...) <sup>10</sup>.

*À lire HB, on est sur beaucoup de points – et pas seulement sur celui du LOCA – tenté de le reprendre, ou à tout le moins de l'interroger, par exemple, sur les « small modular reactor » (SMR), ou les surgénérateurs. Mais, au fond, là n'est pas l'essentiel, car, en définitive, le lecteur – du moins le lecteur critique – ne peut se déprendre du vif sentiment que bien loin d'être comme beaucoup d'autres un simple et brutal contempteur du nucléaire, il en est peut-être d'abord et avant tout un amoureux éconduit, plutôt que le zélateur inconditionnel des énergies renouvelables que d'aucuns pourraient espérer. Car ses rappels récurrents à rouvrir le moment inaugural, celui d'effervescence de la recherche du début des années 1950 (pendant lequel rappelle-t-il, pas moins de « dix-neuf démonstrateurs, tous différents » étaient expérimentés) clos par le discours d'Eisenhower de 1953, sont trop insistants pour ne pas être significatifs. S'il fustige le nucléaire réellement existant, celui des réacteurs à eau pressurisée, c'est pour mieux regretter l'avortement des « réacteurs où le matériau fissile et le milieu ralentisseur de neutrons [...] sont mélangés de façon homogène sous forme liquide, par exemple un sel d'uranium ou de thorium fondu [...], système [qui a] l'avantage d'être intrinsèquement sûr [...] [et où] le risque de fusion du cœur [...] serait éliminé » et d'ailleurs, ajoute-t-il : « faut-il se limiter à la fission ? ».*

*Même s'il est sans doute malséant de le soutenir ici, dans la revue d'ATTAC, il faut bien entendre que, après l'arrêt post-Fukushima et avec la nouvelle donne énergétique pour partie issue du conflit ukrainien, le moment du nucléaire est*

10 Sur ce point cf. Bernard Laponche, « [Quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MW. Le récupérateur de corium](#) », *Global chance*, septembre 2019.

revenu. Les réacteurs arrêtés au Japon sont remis en marche les uns après les autres, de nouvelles centrales sont en construction partout dans le monde et les projets futurs se multiplient, y compris de SMR. La question n'est plus de savoir si le nucléaire a encore un avenir, mais lequel, et si la France aura sa place dans le redémarrage en cours. Aussi est-ce à HB que je laisserai la conclusion : « Comme elle a maîtrisé le feu et ainsi transformé l'énergie chimique voici un million d'années [...] l'intervention humaine est parvenue en 1938 à créer les conditions pour provoquer des fissions nucléaires en série libérant une énorme énergie concentrée dans un très faible volume. Poser la question « le nucléaire, pour ou contre ? » n'a donc, tel que, aucun sens : cette force existe. »

12 novembre 2023

Jacques Rigaudiat est Conseiller maître honoraire à la Cour des comptes, membre des Économistes atterrés. Son dernier livre est *Quoi qu'il en coûte, Sortir la dette des griffes de la finance* (avec J.-M. Harribey, et P. Khalfa), Textuel, 2022.

## ANNEXE

### La chaleur résiduelle à évacuer après arrêt d'un réacteur nucléaire

*Puissance thermique dégagée avant et après l'arrêt du réacteur*

	en %	REP 900	REP 1300
Avant l'arrêt	100 %	2 700 MW	3 900 MW
Après 1 seconde	7 %	190 MW	270 MW
Après 1 minute	5 %	135 MW	195 MW
Après 1 heure	1,5 %	40 MW	58 MW
Après 1 jour	0,6 %	16 MW	24 MW
Après 1 semaine	0,3 %	8 MW	12 MW
Après 1 mois	0,15 %	4 MW	6 MW

#### Une forte chaleur résiduelle

Décroissance de la puissance résiduelle en fonction du temps pour les réacteurs à eau pressurisée de 900 et 1300 mégawatts (MW) de puissance électrique. Une chaleur considérable continue d'être dégagée après l'arrêt. Cette chaleur va diminuer ensuite de plusieurs ordres de grandeur, mais son évacuation par l'intermédiaire des générateurs de vapeur est cruciale dans les premiers instants pour éviter la fusion du cœur du réacteur, un accident majeur. Ensuite la chaleur dégagée ayant suffisamment décru, un dispositif de refroidissement du réacteur à l'arrêt prend le relais.

© EDF/Electra ©