

# NUCLÉAIRE

Conception graphique : Valérie Gautier  
Préparation de copie : Christiane Keukens  
Correction d'épreuves : Isabelle Détéienne

ISBN : 978-2-603-01985-6

© Delachaux et Niestlé, Paris, 2013

Dépôt légal : octobre 2013

Cet ouvrage ne peut être reproduit, même partiellement et sous quelque forme que ce soit (photocopie, décalque, microfilm, duplicateur ou tout autre procédé analogique ou numérique), sans une autorisation écrite de l'éditeur.

Tous droits d'adaptation, de reproduction et de traduction réservés pour tous pays.

Frédéric Denhez

# NUCLÉAIRE

## LE VRAI DU FAUX



delachaux  
et niestlé

# SOMMAIRE

---

<b>INTRODUCTION</b>	
FUKUSHIMA	<b>7</b>
<b>I LE NUCLÉAIRE, C'EST QUOI ?</b>	
<b>CHAPITRE 1</b>	
UN CŒUR	<b>15</b>
<b>CHAPITRE 2</b>	
DE LA FISSION	<b>19</b>
<b>CHAPITRE 3</b>	
DE LA FUSION	<b>22</b>
<b>CHAPITRE 4</b>	
DES RÉACTIONS EN CHAÎNE	<b>25</b>
<b>CHAPITRE 5</b>	
DES CENTRALES	<b>28</b>
<b>CHAPITRE 6</b>	
DES CHERCHEURS	<b>31</b>
<b>CHAPITRE 7</b>	
SUPERPHÉNIX	<b>35</b>
<b>CHAPITRE 8</b>	
DES EPR	<b>39</b>
<b>CHAPITRE 9</b>	
THREE MILE ISLAND	<b>42</b>
<b>CHAPITRE 10</b>	
TCHERNOBYL	<b>45</b>

<b>CHAPITRE 11</b>	
DES ACCIDENTS MOINS CONNUS	<b>48</b>
<b>CHAPITRE 12</b>	
DES DÉCHETS	<b>51</b>
<b>CHAPITRE 13</b>	
DU DÉMANTÈLEMENT	<b>56</b>
<b>CHAPITRE 14</b>	
UNE PREUVE D'EXCELLENCE	<b>59</b>

## **II LE NUCLÉAIRE CIVIL DANS LE MONDE**

<b>CHAPITRE 1</b>	
QUATRE CENT TRENTE-CINQ RÉACTEURS	<b>65</b>
<b>CHAPITRE 2</b>	
QUI A L'URANIUM ?	<b>70</b>
<b>CHAPITRE 3</b>	
ÉNERGIE PRODUITE VS ÉNERGIE CONSOMMÉE	<b>72</b>

## **III LE NUCLÉAIRE MILITAIRE**

<b>CHAPITRE 1</b>	
LE NUCLÉAIRE POUR DÉTRUIRE	<b>79</b>
<b>CHAPITRE 2</b>	
LE NUCLÉAIRE POUR ÊTRE AUTONOME	<b>83</b>
<b>CHAPITRE 3</b>	
LE NUCLÉAIRE, FORCE DE DISSUASION	<b>86</b>
<b>CHAPITRE 4</b>	
DES ESSAIS RÉELS ET SIMULÉS	<b>90</b>
<b>CHAPITRE 5</b>	
DÉSARMEMENT ?	<b>94</b>

## **IV DANGERS, RISQUES ET PEURS**

<b>CHAPITRE 1</b>	
LA PEUR DE L'HIVER NUCLÉAIRE	<b>101</b>
<b>CHAPITRE 2</b>	
LA PEUR DES RADIATIONS	<b>106</b>
<b>CHAPITRE 3</b>	
LA PEUR DU CANCER	<b>110</b>
<b>CHAPITRE 4</b>	
COMBIEN DE MORTS ?	<b>114</b>
<b>CHAPITRE 5</b>	
EN CAS D'ACCIDENT	<b>118</b>
<b>CHAPITRE 6</b>	
LA PEUR DE LA BOMBE SALE	<b>120</b>
<b>CHAPITRE 7</b>	
UNE ÉNERGIE SANS CARBONE ?	<b>123</b>

## **V L'AVENIR DE LA FILIÈRE**

<b>CHAPITRE 1</b>	
LES SURGÉNÉRATEURS	<b>129</b>
<b>CHAPITRE 2</b>	
LE THORIUM	<b>132</b>
<b>CHAPITRE 3</b>	
ITER, UN FANTASME ?	<b>135</b>
<b>CHAPITRE 4</b>	
UN AVENIR COUVERT DE SUIES	<b>138</b>
<b>CHAPITRE 5</b>	
L'INDÉCISION DE TOUS	<b>142</b>

## **CONCLUSION**

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE N'EXISTE PAS	<b>146</b>
--	------------

<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>151</b>
----------------------	------------

# **INTRODUCTION** **FUKUSHIMA**

**L**e 11 mars 2011 en début d'après-midi, la mer tremble au large de la côte nord-est du Japon. De magnitude 9, ce tremblement... de terre fait vibrer le plancher océanique. Agissant comme une peau de tambour, il fait à son tour vibrer l'eau de mer qui se met aussitôt en formation. L'onde créée se creuse, se ramasse, s'accumule et s'abat sur la terre ferme sous la forme d'une vague haute de 15 à 30 m, qui entre jusqu'à 10 km à l'intérieur du Japon. Près de 600 km de côtes sont balayés. Les dégâts humains et matériels sont considérables. Des villes détruites, de dix-huit mille à vingt mille morts. Le soir même, le gouvernement décrète l'état d'urgence... nucléaire, car la centrale de Fukushima Daiichi menace ruine. Le problème qui empêche son fonctionnement nor-

mal est si grave qu'il est immédiatement classé au niveau VII sur l'échelle internationale des événements nucléaires (*International Nuclear Event Scale*, INES), le niveau le plus élevé, qui n'avait été auparavant atteint que par l'accident de Tchernobyl.

Que le séisme ou le tsunami en soit l'origine (qui de l'œuf ou de la poule), on se bat encore parmi les experts, les réacteurs 1, 2 et 3 de la centrale – les trois autres étaient en maintenance, à l'arrêt – ont perdu leur système de refroidissement. La montée en température du combustible nucléaire ne pouvant plus être contrôlée, les gaines qui l'emballent dans le réacteur ont fini par fondre, et le combustible lui-même est entré en fusion. Cela a donné des produits radioactifs qui se sont dissous dans l'eau des réacteurs.

Ceux-ci étaient de type « eau bouillante », c'est-à-dire que de l'eau, directement en contact avec l'uranium, passe à l'état de vapeur pour entraîner les turbines. Dans les réacteurs à eau pressurisée (REP), majoritaires dans le monde, en France notamment, l'eau est maintenue sous très haute pression pour éviter la vaporisation. Ce n'est qu'en entrant en contact, via un circuit secondaire, avec un autre volume d'eau que de la vapeur est fabriquée.

À Fukushima, donc, le combustible en fusion a nourri une vapeur d'eau en éléments radioactifs. Une vapeur dont la chaleur a augmenté, à mesure que celle du combustible croissait. La pression est devenue intenable sous le dôme des réacteurs.



Les opérateurs l'ont fait baisser en relâchant régulièrement de la vapeur dans l'atmosphère. Un mal pour tenter d'éviter *le mal*. Les 16 et 17 mars, ils ne purent malheureusement empêcher incendies et explosions, celles-ci occasionnées par une accumulation d'hydrogène.

Aussitôt connu, l'accident a occulté le tsunami. Dans les médias, l'attention s'est plus portée sur les réacteurs que sur les centaines de milliers de personnes sans abri, les dizaines de milliers de morts et les villes détruites. Le risque sanitaire soulevé par l'accident nucléaire inquiétait plus que la réalité des conséquences désastreuses du tremblement de terre et du tsunami. Jour après jour, on travailla la peur de la contamination au ventre, en suivant le trajet du nuage radioactif, sur terre comme en mer, en pleurant la mort des héroïques travailleurs de la centrale, en déplorant l'interdiction de consommer légumes, fruits et poissons, en goûtant les larmes des agriculteurs obligés de quitter leurs terres et d'abattre leur bétail. Les amalgames faits avec Tchernobyl, dont le réacteur avait explosé un quart de siècle plus tôt, ajoutèrent à la dramaturgie.

En France, la proximité de l'élection présidentielle fit que l'accident de Fukushima alimenta la campagne menée par des associations écologistes et par le parti Vert pour que le pays cesse de produire son électricité avec l'uranium. L'argument était de poids : si même un pays aussi développé que le

Japon, disposant d'une telle culture du risque sismique, d'une mémoire inégalée du risque nucléaire (Hiroshima, Nagasaki...), n'a pu éviter un accident de niveau VII, alors qu'en sera-t-il en France ? L'évacuation de la population sur 30 km fut très commentée. La France le pourrait-elle ? Les Français, notoirement moins disciplinés, accepteraient-ils de quitter leurs maisons ? Le pays, appauvri par la crise, serait-il même capable de supporter les centaines de milliards que lui coûterait un accident de type Fukushima ?

Voilà de bonnes questions, qui furent largement débattues par les autorités responsables du nucléaire, l'Institut de recherche sur la sûreté nucléaire (IRSN) et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), dans une transparence peu habituelle, reconnue par la majorité des associations. Des « stress-tests » (simulations d'accidents) furent ordonnés dans les centrales et leurs résultats furent rendus publics. On n'a jamais autant débattu du nucléaire que depuis l'accident de Fukushima. On n'a jamais autant ordonné de travaux d'amélioration. Le coût de production du kilowattheure (kWh) nucléaire s'en est trouvé grossi. La « nucléocratie » a perdu un peu de son arrogance habituelle.

Depuis l'accident, l'élection présidentielle a eu lieu, la sortie du nucléaire est retombée comme un soufflet (comme si l'avenir énergétique d'un pays pouvait être discuté sur un coin de table, entre un

parti majoritaire et un autre, très minoritaire, sans débat public ni parlementaire ou sénatorial...), celle décidée unilatéralement et brutalement par l'Allemagne a montré quelques travers gênants (la part du charbon dans la production d'électricité est passée de 42 à 52 %), et la crise économique s'est amplifiée. Aujourd'hui, les Français sont revenus à leur attachement très schizophrène à l'énergie nucléaire. Le nucléaire terrifie tout en rassurant.

L'accident de Fukushima n'a pas gravement contaminé les populations. Six employés de la centrale ont été gravement irradiés, mais les hommes et les femmes qui habitaient là où le nuage radioactif est passé ont été exposés à des doses à peine supérieures à celles autorisées à l'année pour les travailleurs du nucléaire : douze diagnostics de cancer de la thyroïde seulement ont par exemple été posés parmi les 174 000 enfants les plus exposés. Une incidence soixante-neuf fois supérieure, tout de même, à la norme (un cas pour un million d'enfants/an). Mais rien ne prouve que tous les nodules cancéreux détectés sont apparus après la catastrophe. Une espèce de papillon a en revanche muté, et ces mutations se sont transmises aux générations suivantes. Le milieu marin est durablement contaminé par des radioéléments, le césium en particulier, qui se sont accumulés dans les sédiments et dans les chaînes alimentaires. Légumes et fruits restent impropres à la consommation. C'est grave, les conséquences à long terme sont imprévi-

## **NUCLÉAIRE**

sibles, mais cela aurait pu être pire. L'accident est surtout la preuve de notre impuissance : quand une centrale devient radioactive, on ne peut rien faire d'autre que fuir, interdire, arroser le réacteur en fusion à la lance à incendie. En espérant.

# I LE NUCLÉAIRE, C'EST QUOI ?

---



# **CHAPITRE 1**

## **UN CŒUR**

Il faut toujours commencer par l'étymologie.

Nucléaire ? De *nucleus*, mot latin désignant le noyau d'un fruit. Apparue dans le langage français en 1838, le mot a été repris par les biologistes pour désigner le cœur de la cellule (celui qui contient l'ADN) et par les sociologues et les démographes afin de distinguer la famille classique – un papa, une maman, des enfants. C'est en 1931 que les physiciens se sont eux aussi approprié le terme pour donner un nom au noyau de l'atome et à la réaction au cours de laquelle ledit noyau est brisé en deux.

Le nucléaire, ça se passe donc au centre de l'atome.

L'atome ? C'est la brique élémentaire à partir de laquelle les chimistes peuvent bricoler. Chacun

de nous le fait sans le savoir : tous les jours, nous combinons ou décombinons des atomes en faisant la cuisine et, plus simplement, en respirant. Mais l'atome n'est qu'une brique et, comme toute brique, il est formé d'éléments plus petits, lesquels ne peuvent se combiner avec autant de facilité que nous mélangeons les ingrédients d'une mayonnaise. Car s'il est très facile de marier et de démarier des atomes, en jouant sur leurs électrons respectifs qui sont plutôt volages, il est impossible dans sa cuisine de séparer les briques qui en forment le noyau.

Débarrassé de ses électrons, l'atome se résume à un assemblage extrêmement solide de protons et de neutrons, le « noyau ». En imaginant que celui-ci mesure 1 cm, l'atome ferait quelque 100 m de diamètre... Le noyau n'est rien, et la matière, c'est, pour l'essentiel, du vide ! Les physiciens réunissent neutrons et protons dans la famille des nucléons. Comme l'électron qui tourne autour du noyau ainsi que la Lune autour de la Terre (mais pas de la même façon), le proton a une charge électrique. Or, puisque l'atome est neutre du point de vue de l'électricien, c'est que l'électron porte une charge négative (-), tandis que celle du proton est positive (+).

C'est une convention qui a le mérite de rendre explicite une des propriétés fondamentales de l'atome : lorsqu'il gagne un électron, il devient « - » et a dès lors tendance, pour revenir à sa neutralité natu-



relle, à s'associer à un atome qui, lui, ayant perdu un électron, sera devenu « + ». Les atomes « + » et « - » sont des ions. De tels échanges expliquent la formidable capacité des atomes à se combiner, à s'associer et à se dissocier. Les réactions chimiques, ce n'est, *in fine*, que cela.

Mais revenons au noyau. Le proton est positif, l'électron est négatif; et le neutron? Comme son nom l'indique, ce nucléon-là ne possède pas de charge électrique : il est neutre.

Tous les atomes présents dans l'univers sont classés en fonction du nombre de leurs protons (égal, toujours, à celui des électrons) – c'est le « nombre atomique ». L'hydrogène, qui ne possède qu'un proton (et un électron, donc), ne fait pas le poids face à l'ununoctium, qui en compte cent dix-huit ! Ce dernier élément n'existe pas dans la nature, il est fabriqué par l'homme dans le cadre d'une réaction nucléaire. Dans la nature, nul élément ne dépasse quatre-vingt-douze. L'uranium, par exemple. Le nombre de neutrons est en général équivalent à celui des protons. Par exemple, le carbone : son numéro atomique est le 6, il possède donc six protons et six électrons, et puisque sa masse atomique (nombre total de nucléons) est égale à 12, son noyau contient également six neutrons.

Toutefois, le nombre de neutrons varie beaucoup. Le carbone peut ainsi en avoir un ou deux de plus. Sous cette forme différente du modèle de base, un

## NUCLÉAIRE

atome est qualifié d'isotope. L'isotope 13 et l'isotope 14 dans le cas de notre carbone. Or, comme pour les électrons en plus, un atome ne peut rester longtemps avec des neutrons en trop. Il lui faut revenir à ce qu'il était, à tout le moins à une forme plus stable. Comment ? En émettant de l'énergie, ce qui revient pour lui à maigrir (car l'énergie et la masse, c'est à peu près pareil, a montré Albert Einstein). Sous quelle forme ? Sous la forme de rayonnements. C'est ce qu'on appelle la radioactivité, découverte en 1896 par le Français Henri Becquerel, expliquée par Marie Curie deux ans plus tard.

Ces rayonnements sont de trois types : les rayons alpha, qui sont des noyaux d'hélium (deux protons, deux neutrons) émis par un atome comportant trop de neutrons ou de protons ; les rayons bêta, générés par un atome dont le nombre de protons et de neutrons est trop différent : en son sein, un ou plusieurs neutrons se transforment en protons, ou l'inverse moyennant l'émission d'un électron, ou d'un... anti-électron (un électron « + ») ; enfin, les rayons gamma, électromagnétiques (des ondes à très haute fréquence et à très faible longueur d'onde) sont émis par un atome trop excité.

## **CHAPITRE 2**

# **DE LA FISSION**

**L**orsqu'un noyau atomique est percuté par un neutron venu d'ailleurs, en général, le choc est sans conséquence. Tout se passe bien : puisque le neutron est électriquement neutre, il s'ajoute sans heurts au noyau. Moyennant quoi il le grossit, ce qui le rend instable. La radioactivité n'est pas loin, pour rétablir l'équilibre. Pour certains isotopes, d'ailleurs, l'instabilité est si forte qu'elle est susceptible de remettre en cause l'équilibre des forces entre protons et neutrons au sein du noyau. Il suffit alors d'un rien pour briser l'édifice : un autre neutron, par exemple ! Frappant un atome d'uranium 235 (92 protons, 143 neutrons), isotope de l'uranium naturel (238, 92 protons, 146 neutrons), le neutron en dissocie le noyau en deux entités, deux « nucléides » très radioactifs (un

atome de krypton, un autre de baryum, ou bien un de strontium et un autre de xénon) plus quelques neutrons libres qui, à leur tour, sont prêts à frapper d'autres atomes...

Dans la réaction, une quantité extraordinaire d'énergie est libérée, addition de celle qui, auparavant, était « contenue » dans la liaison forte existant entre protons et neutrons, et de l'énergie cinétique (la vitesse, en gros) des deux nucléides produits. À l'échelle de l'infiniment petit où cela se passe, cette énergie se disperse sous forme de chaleur. À masse égale ou à volume égal, et toutes proportions gardées, elle est des millions de fois supérieure à celle dégagée par une réaction chimique entre deux atomes, et un millier de fois supérieure à celle libérée par la combustion du charbon : 1 g d'uranium 235 « vaut » 2 t de fioul ou 3 t de charbon. Si bien qu'une centrale d'un millier de mégawattheures (MWh) de puissance brûle chaque année une centaine de tonnes d'uranium enrichi. Une centrale à charbon de même puissance consomme 12 millions de tonnes de houille...

Tous les isotopes ne peuvent réagir de la sorte. Seuls quelques-uns sont qualifiés de « fissiles ». Il y a l'uranium (235 et 233) et le plutonium (239 et 241), qui sont les combustibles de l'industrie nucléaire, mais aussi les bien moins connus américium (241) et neptunium (237). Seul l'uranium 235 existe à l'état naturel, mais en quantités ridicules. Quelques très rares atomes sont capables de « fissionner » tout

## Du même auteur

- OGM, le vrai du faux*, Delachaux et Niestlé, 2013
- Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur l'eau*, Guide visuel, Hatier, 2012
- La Dictature du carbone*, Fayard, 2011
- Les Nouvelles Pollutions invisibles*, Delachaux et Niestlé, 2011
- La Biodiversité, c'est la vie !*, avec Denis Cheissoux, Hoëbeke, 2010
- La Fabrique de nos peurs*, François Bourin, 2010
- Quelle France en 2030 ?*, Armand Colin, 2009
- Plus de poisson à la criée. Menaces sur les réserves mondiales*, Delachaux et Niestlé, 2008
- Une brève histoire du climat*, L'Œil neuf, 2008
- Le Dico du monde marin*, La Martinière Jeunesse, 2008
- La Pêche expliquée aux enfants*, La Martinière Jeunesse, 2008
- La nature, combien ça coûte ?*, Delachaux et Niestlé, 2007
- Atlas du réchauffement climatique* (3<sup>e</sup> éd.), Autrement, 2007
- Une brève histoire du climat*, L'Œil neuf, 2007
- France marine, 5 500 kilomètres de côtes*, National Geographic, 2003.

## CHARTRE Delachaux et Niestlé

- ❶ L'éditeur nature de référence depuis 1885.
- ❷ Le fonds éditorial le plus complet en langue française avec **plus de 250 ouvrages** consacrés à la nature et à l'environnement.
- ❸ Des auteurs **scientifiques et naturalistes reconnus**.
- ❹ Les **meilleurs illustrateurs naturalistes**, pour la précision et le réalisme.
- ❺ Des ouvrages spécifiquement adaptés à l'utilisation sur le terrain.
- ❻ Des **contenus actualisés** régulièrement pour relayer les avancées scientifiques les plus récentes.
- ❼ Une **démarche éco-responsable** pour la conception et la fabrication de nos ouvrages.
- ❽ Une **approche pédagogique** qui sensibilise les plus jeunes à l'écologie.
- ❾ Une réflexion qui éclaire les grands débats sur l'environnement (biodiversité, changement climatique, écosystèmes).
- ❿ Une implication aux côtés de tous ceux qui œuvrent en faveur de la **protection de l'environnement** et de la conservation de la biodiversité.

🔍 Retrouvez le détail de la Charte sur : [www.delachauxetniestle.com](http://www.delachauxetniestle.com)

ACHEVÉ D'IMPRIMER EN OCTOBRE 2013  
SUR LES PRESSES DE NORMANDIE ROTO S.A.S. À LONRAI  
N° D'IMPRESSION : 111816  
IMPRIMÉ EN FRANCE