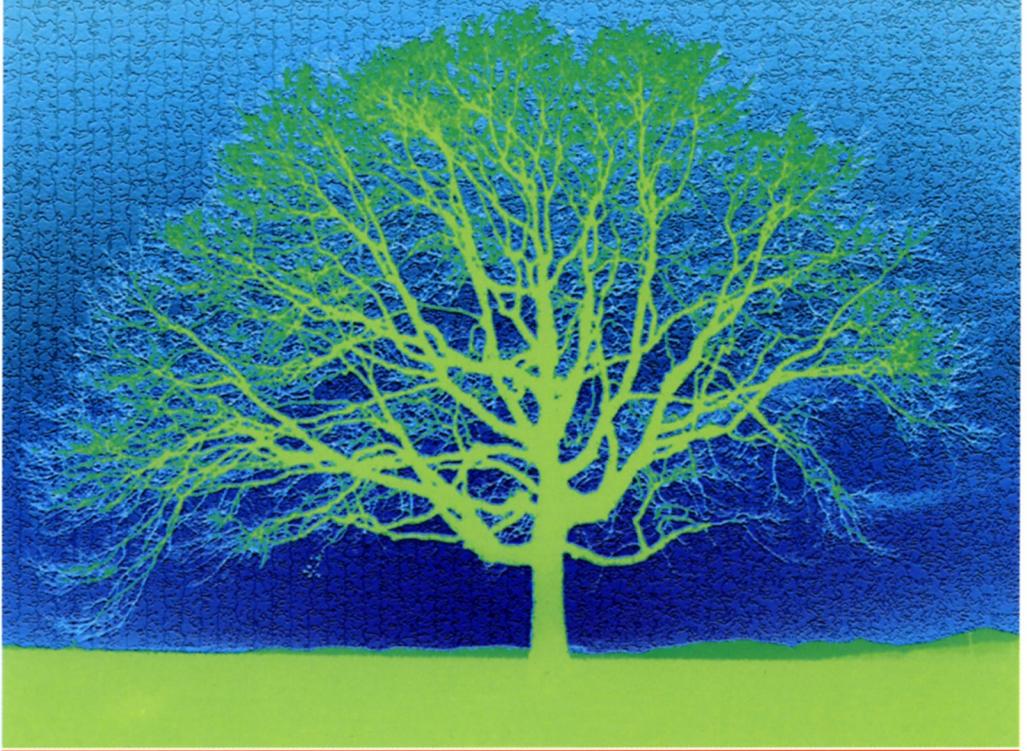


L'ATOME ÉCOLOGIQUE

Bernard WIESENFELD



Extrait de la publication

L'ATOME ÉCOLOGIQUE

Bernard WIESENFELD



7, avenue du Hoggar
Parc d'Activités de Courtabœuf, B.P. 112
91944 Les Ulis cedex A, France

Nota bene

Tous les tableaux ou figures reproduits dans cet ouvrage émanent de documents de l'OCDE, de l'AIEA, d'EDF et/ou du CEA. Tous droits réservés.

ISBN : 2-86883-320-9

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 1998

Avant-propos

Le titre de cet ouvrage peut étonner... Mais c'est à dessein : je suis persuadé que l'énergie nucléaire est un facteur capital du développement harmonieux de notre société, pas seulement en raison de son efficacité qui n'est guère à prouver, mais aussi parce qu'elle respecte l'environnement.

Je sais que les détracteurs seront nombreux et il m'arrive encore d'être étonné par les arguments techniques ou économiques avancés par ceux qui se disent anti-nucléaires...

Ce qui n'est pas une raison, en tant que citoyen, pour baisser les bras sur le terrain de l'information, ou, encore moins, pour s'enfermer, au nom de l'expertise, dans une superbe condescendance...

Cependant, comme le débat médiatique n'est pas toujours favorable — loin s'en faut — à l'expression de points de vue vraiment contradictoires, il m'a semblé utile de fixer quelques données par écrit, de tenter de les rendre intelligibles par le plus grand nombre, et de contribuer ainsi à une meilleure compréhension de la problématique.

C'est donc, à partir d'un mouvement d'humeur, un livre de vulgarisation destiné, je le souhaite, à favoriser un débat ouvert, rationnel et documenté.

Bernard Wiesenfeld
janvier 1998

Préface

La parution d'un livre sur l'énergie nucléaire est un évènement trop rare pour qu'il passe inaperçu ; l'annonce de ce livre attirera d'autant plus mon attention que l'auteur est l'un de mes anciens étudiants au D.E.A de physique des réacteurs nucléaires à Saclay. Par sa formation, Bernard Wiesenfeld est donc un spécialiste de ces questions ; l'expérience universitaire et professionnelle qu'il a accumulée par la suite — au CEA durant sa thèse de doctorat, à Technicatome, à Framatome, puis comme consultant sur les problèmes de faisabilité technique et économique concernant le nucléaire — a élargi son champ de vision par rapport aux équations que je lui ai enseignées !

Ce livre en témoigne.

En cette fin du XX^e siècle, l'« honnête homme » ne peut plus ignorer les principes des réacteurs nucléaires, les atouts de cette forme d'énergie, ni les risques associés : risque d'accident de réacteur, risque de dissémination de produits radioactifs, problèmes de conditionnement des déchets — sans parler des risques de prolifération des armes nucléaires. Ce livre développe tous ces thèmes, en particulier l'aspect « sûreté ». L'auteur les présente clairement, objectivement, sans masquer ses choix personnels, mais sans forcer le lecteur à le suivre dans toutes ses conclusions. On a là un dossier technique complet, bien construit, à la portée du non-spécialiste.

Des inquiétudes de plus en plus vives se manifestent aujourd'hui dans notre société : gaspillage des richesses que la nature a mises à notre disposition, pollution dramatique de notre environnement. Les choix qui ont été faits devront peut-être être remis en cause : en France, par exemple, le « tout nucléaire », la construction... puis l'abandon de Superphénix, le recyclage du plutonium... Dans quelques années, nos centrales nucléaires existantes arriveront en fin de vie : faudra-t-il privilégier d'autres sources d'énergies ? Mais lesquelles ? Préférera-t-on rebâtir des centrales nucléaires ? Mais de quel type ? Voilà des questions sur lesquelles chacun aura à se déterminer. Il vaut mieux que cela se fasse sur des arguments rationnels et réfléchis ! C'est pourquoi il est important que chacun puisse disposer des informations nécessaires. Saluons donc ce livre qui, sans aucun doute, contribuera à cette indispensable information.

Paul REUSS

Professeur à l'Institut national des sciences et techniques nucléaires

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	III
PRÉFACE	V
INTRODUCTION	
LE XX^e SIÈCLE OU L'ÈRE NUCLÉAIRE	1

PREMIÈRE PARTIE LE CHOIX D'UNE FILIÈRE



Chapitre 1

NOTIONS DE PHYSIQUE DU NEUTRON **11**

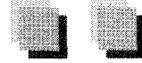
Structure de la matière	11
Défaut de masse et énergie nucléaire	12
Fission et fusion exothermiques	14
Réactions nucléaires	16
Section efficace et flux neutronique	23
Réaction en chaîne	26
Contre-réactions de réactivité	29
Neutrons retardés	31
Calcul de cœur	32
Masse critique	33

Chapitre 2

CLASSIFICATION DES FILIÈRES **37**

Centrale thermique et centrale nucléaire	37
Choix des ingrédients d'un réacteur nucléaire	40
Le parc électronucléaire français	44
Description de la filière REP	46
Description de la filière RBMK	52
Description de la filière RNR	56
Principe du réacteur à neutrons rapides	60

DEUXIÈME PARTIE SÛRETÉ ET ACCIDENTS NUCLÉAIRES



Chapitre 3

NOTIONS DE RADIOACTIVITÉ 69

Particules émises	70
Radioprotection	73
Radioactivité dans le cycle du combustible	89
Le réacteur fossile d'Oklo	94

Chapitre 4

CRITÈRES DE SÛRETÉ ET ORGANISATION 97

Approche déterministe	98
Approche probabiliste	109
Accidents complémentaires	116
Sûreté intrinsèque	118
Sécurité nucléaire	123
Organisation de la sécurité nucléaire en France	125
Organisation de la sûreté aux États-Unis	131
Les institutions internationales	134

Chapitre 5

LA SÛRETÉ DES FILIÈRES NUCLÉAIRES 135

Sûreté du REP	135
Sûreté du RBMK	136
Sûreté du RNR	138

Chapitre 6

LES ACCIDENTS NUCLÉAIRES 145

TMI et son enseignement 146

Tchernobyl et son enseignement 153

Chapitre 7

L'ÉLIMINATION DES DÉCHETS 163

Classification des déchets radioactifs 163

Les déchets produits par la fission nucléaire dans un REP 165

Déchets à forte activité et à vie longue 167

Le stockage géologique 169

Le démantèlement 176

TROISIÈME PARTIE

**LES RISQUES
DE PROLIFÉRATION NUCLÉAIRE**

Chapitre 8

L'AFFAIRE TAMMUZ 181

La France et l'Irak négocient 182

De Tammuz à la bombe 184

Chapitre 9

LE DÉMANTÈLEMENT DES ARMES NUCLÉAIRES 197

L'option MOX aux États-Unis 198

Avantages de l'option MOX 201

L'élimination du plutonium militaire
dans la Fédération de Russie 202

QUATRIÈME PARTIE

APPROCHE POLITICO-ÉCONOMIQUE

Chapitre 10

LA PROBLÉMATIQUE NUCLÉAIRE **205**

La crise pétrolière de 1973 et ses conséquences	205
Le nucléaire controversé	207
A-t-on encore besoin de l'énergie nucléaire ?	209
Superphénix sur la sellette	213
Les réacteurs nucléaires au service de l'environnement	218
Les incidences économiques locales de l'implantation d'une centrale nucléaire	227
L'électronucléaire à l'étranger	228
Quelles sont les chances d'une reprise mondiale ?	237

CONCLUSION

QUEL AVENIR POUR L'ATOME ÉCOLOGIQUE ? **239****ANNEXES** **245**

A1. Accidents	245
A2. Références	247
A3. Définitions	249
A4. Sigles et symboles	257

Introduction

LE XX^e SIÈCLE OU L'ÈRE NUCLÉAIRE

*La science a fait de nous des dieux
avant même que nous méritions d'être des hommes.*

Jean Rostand

Lorsqu'elles évoqueront le XX^e siècle, les générations futures le qualifieront sans nul doute d'ère nucléaire.

En effet, bien que l'existence de l'atome fût soupçonnée dès l'antiquité, les étapes qui permirent de le mettre en évidence, puis d'exploiter les propriétés énergétiques de son noyau marquent fortement notre siècle :

- 1905 EINSTEIN établit l'équivalence entre la masse et l'énergie.
- 1913 BOHR propose le 1^{er} modèle théorique de l'atome.
- 1932 CHADWICK découvre l'existence du neutron.
- 1938 HAHN et STRASSMANN découvrent la fission des atomes lourds.
- 1939 JOLIOT-CURIE démontre la possibilité d'entretenir une réaction en chaîne par la fission de l'uranium.
- 1942 FERMI fait diverger la 1^{re} pile atomique à Chicago.
- 1945 Explosion de la 1^{re} bombe expérimentale à fission (bombe A) à Alamogordo (EU).
- 1951 1^{re} production d'électricité nucléaire (100 kWe) à Arco (EU).
1952 Explosion de la 1^{re} bombe expérimentale à fusion (bombe H) à Bikini (EU).
- 1956 Mise en service de G1, la 1^{re} centrale nucléaire française (5 MWe) à Marcoule.
- 1974 Mise en service de PHENIX, 1^{er} surgénérateur français (250 MWe) à Marcoule.
- 1991 1^{er} dégagement de puissance (2 MW pendant 2 secondes) par fusion thermonucléaire contrôlée dans le TOKAMAK « JET »(*) de Culham (GB).

En cette fin du XX^e siècle, l'atome, qui symbolise le « pire » pour les uns et le « meilleur » pour les autres, représente pour tous une réalité incontournable.

Côté civil, plus de 400 réacteurs en fonctionnement fournissent 17 % de la production mondiale d'électricité.

Deux accidents spectaculaires ont entamé la confiance du public aux alentours des années 80 : Three Mile Island aux États-Unis et Tchernobyl en ex-URSS. Durant ces mêmes années, le paysage

(*) JET : Joint European Torus

économique s'est profondément transformé et la politique nucléaire a dû s'adapter aux changements.

Côté militaire, l'homme dispose d'une puissance largement suffisante pour désintégrer la planète. Depuis Hiroshima, le spectre du conflit nucléaire entretient la logique de paix par la terreur au prix d'un contrôle strict de la prolifération de l'arme atomique et de la mise en place, par les pays qui en sont détenteurs, d'une politique de dissuasion.

Mais pourrions-nous empêcher éternellement la progression des puissances en voie d'accession à la bombe ?

L'avenir de l'industrie électronucléaire est tributaire de 2 facteurs principaux qui sont la confiance du public, notamment au niveau de la sûreté nucléaire et du stockage des déchets, et la justification économique.

La confiance du public dépend en premier lieu de la qualité de son information. Aussi, l'un des objectifs de cet ouvrage est-il d'informer ou plus exactement de ré-informer sur la problématique nucléaire un public exposé en permanence à un flux d'informations souvent contradictoires.

Les thèmes abordés ne sont pas traités exhaustivement mais sont vus à travers l'expérience de l'auteur acquise dans les différentes fonctions qu'il a occupées dans la Recherche et l'industrie nucléaire. L'objectif est donc de dégager l'essentiel à partir d'un témoignage personnel.

Le parc mondial des centrales nucléaires est analysé du point de vue de la sûreté et de la rentabilité économique afin de tenter de répondre aux principales interrogations sur l'avenir de l'atome civil :

- Y-a-t-il des réacteurs dangereux et d'autres sûrs ?
- Faut-il poursuivre la filière des réacteurs à neutrons rapides ?
- Le nucléaire est-il propre ?
- Quelles sont les solutions acceptables au problème du stockage des déchets ?
- La société peut-elle se passer de l'industrie électronucléaire ?
- Doit-on vendre des centrales nucléaires aux pays en voie de développement ?

Les applications militaires ne sont pas abordées, afin d'éviter une trop grande dispersion, hormis les risques de prolifération nucléaire.

L'ouvrage se divise en 4 parties :

- ◆ 1^{re} partie : Le choix d'une filière.
- ◆ 2^e partie : Sûreté et accidents nucléaires.
- ◆ 3^e partie : Les risques de prolifération nucléaire.
- ◆ 4^e partie : Approche politico-économique.

Afin de comprendre le fonctionnement d'un réacteur nucléaire, les concepts de sûreté et les analyses d'accidents, il est nécessaire de posséder des connaissances de base en physique nucléaire. Une présentation de physique du neutron ciblant un public large est donc faite au chapitre 1, qui exclut notamment l'usage de formules mathématiques ou de démonstrations compliquées. Les informations données sont suffisantes pour comprendre la suite de l'ouvrage, qui se veut autoportant. Sont définis dans ce chapitre les réactions nucléaires, la réaction en chaîne, le pilotage d'un réacteur, le calcul d'un cœur, la conception d'une bombe atomique...

Une classification des principales filières est ensuite donnée (Chap. 2) à partir des caractéristiques des 3 composants principaux du cœur (le combustible, le réfrigérant et le modérateur), puis 3 filières sont détaillées étant donné leur importance dans le débat sur la sûreté, à savoir :

- ◆ Le réacteur PWR (ou REP en France).
- ◆ Le réacteur RNR (description de SUPERPHENIX et principe de surgénération).
- ◆ Le réacteur RBMK (réacteur du type TCHERNOBYL).

La deuxième partie, qui traite de la sûreté et des analyses d'accidents, est le noyau de l'ouvrage dans la mesure où elle donne les critères de sûreté adoptés pour les principales filières ainsi que les moyens utilisés pour garantir le respect de ces critères. Elle se situe donc au cœur du débat relatif à l'acceptation par le public de la technologie nucléaire.

Un chapitre entier est au préalable consacré à la radioactivité (rayonnement, contamination, critères et risques radiologiques), dont la connaissance est nécessaire à la compréhension des risques encourus par l'exploitation des réacteurs nucléaires.

Il se termine par la présentation du réacteur fossile d'Oklo (Gabon) qui a fonctionné naturellement il y a près de deux milliards d'années, bien avant l'apparition de l'homme.

Les centrales REP exploitées en France relèvent d'une philosophie de sûreté d'origine américaine fondée sur le principe déterministe de « défense en profondeur » qui, bien que différent, s'apparente au principe de « défense par les barrières de confinement » utilisé à l'origine en France.

Les conséquences limitées de l'accident de Three Mile Island (TMI) eu égard à la conjonction malheureuse de défaillances multiples, tant humaines que matérielles, démontrent l'excellente qualité du concept de sûreté américain. Il n'en va pas de même du réacteur RBMK soviétique...

L'approche déterministe permet de prévoir tous les accidents plausibles sans devoir pour autant en connaître avec précision les scénarios.

L'approche probabiliste, quant à elle, donne une évaluation quantitative des risques associés à l'exploitation des centrales nucléaires et intervient en complément de l'approche déterministe qui préside à la conception des réacteurs français actuels.

Elle permet notamment de déceler d'éventuels points faibles sur des composants importants pour la sûreté, et d'y remédier. C'est en outre cette approche qui permet de comparer les risques engendrés par l'industrie nucléaire avec ceux des autres activités de l'homme ou des catastrophes naturelles.

Le chapitre sur les critères de sûreté se termine par la description d'un réacteur, développé et commercialisé par un groupe suédois, qui respecte les critères de la sûreté intrinsèque. Selon ce concept, les systèmes qui interviennent pour lutter contre les accidents remplissent leur fonction grâce aux seules lois de la nature...

Le chapitre suivant traite de la sûreté des 3 filières REP, RBMK et RNR.

Les accidents de TMI et de TCHERNOBYL sont décrits et un point est fait sur l'enseignement par retour d'expérience que les ingénieurs en ont tiré afin d'améliorer la qualité des centrales existantes. Pour terminer cette deuxième partie relative à la sûreté, un chapitre est consacré au stockage des déchets nucléaires.

Un point est fait sur les travaux de construction des laboratoires souterrains qui permettront de tester l'aptitude de certaines formations géologiques à confiner la radioactivité sur le très long terme.

Le devenir des déchets radioactifs de vie longue est sans doute le problème le plus délicat posé par l'utilisation de l'électricité nucléaire car il doit être traité dans une perspective de plusieurs centaines de milliers d'années pendant lesquelles les substances radioactives que nous léguerons aux civilisations futures devront être entreposées de façon sûre.

Les risques de prolifération nucléaire constituent le thème de la 3^e partie de l'ouvrage.

La frontière entre le nucléaire civil et le nucléaire militaire n'est pas facile à établir.

Les cœurs des centrales électronucléaires fabriquent tous du plutonium en fonctionnement, qu'il est théoriquement possible de détourner à des fins militaires.

Certaines filières électronucléaires se sont développées pour leur capacité à produire du plutonium de très bonne qualité. C'est le cas

notamment de la filière française à Uranium Naturel-Graphite-Gaz (UNGG) et de la filière soviétique à Uranium Enrichi-Graphite-Eau (RBMK).

En outre, certains réacteurs destinés à la Recherche fonctionnent avec un uranium très enrichi et là encore, des détournements militaires sont possibles.

La question se pose notamment lors de l'exportation du nucléaire civil vers un pays non-détenteur de l'arme atomique car il n'existe aucun moyen rigoureux de neutraliser le risque de détournement. La vente par la France à l'Irak du réacteur Tammuz en est une bonne illustration.

Le cheminement de la négociation entre la France et l'Irak est brièvement rappelé, en particulier l'obstination du client à vouloir investir dans une solution « proliférante » et son refus de la solution « Caramel » proposée par la France.

Une description est ensuite faite des 2 réacteurs du contrat, Tammuz 1 et Tammuz 2, et des explications sont données sur la manière de transformer simplement ce type de réacteur pour assurer une production de plutonium de qualité militaire suffisante à la confection d'une bombe atomique par an.

Un paragraphe est consacré aux contrôles de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) où ses forces et ses faiblesses sont mises en balance.

La dernière partie de l'ouvrage propose une approche politico-économique en partant de la première crise pétrolière de 1973. Vingt ans après, les données économiques ont changé et la problématique nucléaire doit être repensée. Il n'y a pas de menace immédiate de pénurie d'uranium et la faible croissance des besoins en énergie atténue l'intérêt du plutonium. Dans ce contexte, la filière à neutrons rapides a-t-elle encore sa place ?

Un point est également fait sur l'électronucléaire à l'étranger, notamment aux États-Unis et au Japon, afin de situer la France dans son environnement concurrentiel.

Enfin, la conclusion de l'ouvrage situe, à la lumière de l'information acquise dans le corps de l'ouvrage, l'industrie nucléaire par rapport aux lois de l'écologie que toute société dite civilisée devrait, selon l'auteur, s'efforcer de respecter.

Première partie

LE CHOIX D'UNE FILIÈRE



Un monde plus profond que l'astre, c'est l'atome.

Victor Hugo

© EDP Sciences 1998

Impression JOUVE, 18, rue Saint-Denis, 75001 PARIS
Dépôt légal : février 1998

L'ATOME ÉCOLOGIQUE

On peut être un ardent défenseur du nucléaire civil lorsqu'on est aussi préoccupé par l'environnement et le développement harmonieux de notre société.

Voilà, en substance, le propos de **Bernard Wiesenfeld** dont la carrière d'ingénieur et de consultant le conduit à s'exprimer depuis des années sur ce thème.

Cette fois cependant, ce n'est pas aux experts qu'il s'adresse, mais au grand public auquel il souhaite apporter des informations aussi objectives que possible sur les technologies nucléaires et leurs enjeux. Et ce vaste panorama ne va pas sans interrogations et prises de position courageuses si nécessaire (affaire Tammuz, Superphénix)...

Un livre au ton vif qui ne manquera pas de susciter discussions et débats ! L'auteur, qui milite pour la défense de l'écologie scientifique, les appelle volontiers, souhaitant toutefois qu'une information juste et précise soit au cœur de ceux-ci.



Bernard WIESENFELD est docteur en physique nucléaire.

Après avoir travaillé au CEA, à **TECHNICATOME** et à **FRAMATOME**, il a créé et dirige aujourd'hui une société d'études et de conseil dont l'activité intègre les aspects techniques, économiques et prospectifs de l'énergie nucléaire.

