

**Aide-mémoire
sur**

L'énergie nucléaire

**Les spécialistes
parlent**

Edité par l'OSIN
Office suisse d'information
pour l'énergie nucléaire
1000 Lausanne 20

Sommaire

Energie - Croissance et dépendance	3
Réserves - Combien de temps dureront-elles ?	8
Economiser - Une affaire qui concerne avant tout chacun de nous	13
Energies complémentaires - Possibilités et limites	16
Atteintes à l'environnement - Comparaison des agents énergétiques	22
Radioactivité - Une atteinte à la vie ?	25
Sécurité - Pas de technologie sans risque	29
Le plutonium - Substance diabolique ou source d'énergie de valeur ?	34
Les déchets - Des risques pour plusieurs générations ?	37
Appendice	42

Energie :

croissance et dépendance

- Trois raisons essentielles expliquent l'accroissement de la consommation énergétique mondiale :
 - la continuation de la croissance économique dans les pays industrialisés ;
 - l'accroissement de la consommation moyenne par tête d'habitant dans les pays en voie de développement ;
 - l'accroissement de la population mondiale.¹
- La puissance moyenne installée atteint actuellement environ 2 kilowatts par habitant de notre planète. Elle atteint 11-15 kilowatts aux Etats-Unis et au Canada, 3 à 7 kilowatts en Europe occidentale (CH : 3,6 kilowatts). Les pays en voie de développement comprenant 70 % de la population mondiale se contentent d'une moyenne de 0,2 kilowatt par tête d'habitant. Il ne serait guère réaliste d'imaginer que ce déséquilibre puisse se perpétuer :¹
- On s'interroge sur l'opportunité d'utiliser la production énergétique comme instrument de contrôle économique et social. La possibilité existe, mais susciterait une multitude de problèmes nouveaux. Elle affecterait l'ensemble de notre économie, le marché du travail et tout l'édifice social. Certaines exigences ne pourraient

plus être satisfaites. Il en résulterait de profondes tensions.²

- Je ne crois pas à la « croissance zéro » (...). Et je ne crois pas davantage que l'on pourrait réaliser cette « croissance zéro » en restreignant l'offre d'énergie (...). Je suis syndicaliste. Je sais qui doit payer les zéros en économie (...). A ceux qui me demandent si l'on peut prendre la responsabilité de construire des centrales nucléaires, je leur demande s'ils veulent prendre la responsabilité de ne pas en construire.⁴
- La percée économique (pour obtenir une nette amélioration du niveau de vie de l'ensemble de la population) était et reste tributaire d'une production énergétique croissante. Cela découle très clairement du développement de la consommation d'énergie en Suisse depuis 1910. Jusqu'en 1973, cette croissance s'est multipliée par 7 1/2.³
- Si nous voulons éviter une aggravation importante de notre niveau de vie, le produit social brut (PSB) devra conserver un certain taux de croissance. A partir de 1948, les taux de croissance de l'énergie primaire ont toujours été supérieurs à ceux du PSB réel, même pendant les années de récession 1973-1975 avec le recul du PSB.³
- L'OCDE compte, d'ici à 1985, avec un taux de croissance annuelle de la consommation d'énergie primaire de 3,4 à 4,8 %, la CEE avec 3 à 3,8 % et la RFA avec 3,2 %.

Les pays membres de l'OCDE et de la CEE envisagent de ramener la part du pétrole à moins de 50 % de la consommation d'énergie primaire pour 1985 déjà. Même la RFA désire réduire sa part de pétrole de 55 % en 1973 (CH- 79 %) à 44 % d'ici 1985, en augmentant l'apport de l'énergie nucléaire de 1 à 15 % et celui du gaz de 10 à 18 %.³

- La caractéristique essentielle du développement de l'après-guerre dans notre pays réside dans la dépendance croissante à l'égard de l'importation d'énergie. Alors que notre approvisionnement reposait en 1945 encore à raison de 65 % sur notre propre production primaire (et 35 % sur l'importation de charbon des pays voisins), notre dépendance du pétrole avait passé en 1974 à 72 % de la consommation. 55 % de la consommation d'énergie en 1973 étaient fournis par le mazout pour le chauffage des locaux ($\frac{5}{6}$) et de l'eau ($\frac{1}{6}$). Les carburants représentaient 24 %. Ces chiffres démontrent clairement que les processus de substitution devraient être engagés en premier lieu pour les huiles de chauffage.³
- Il ressort d'études de la Conférence mondiale de l'énergie et de l'OCDE que la consommation mondiale continuera de croître malgré les mesures d'économie et que le pétrole ne sera plus en mesure de couvrir comme jusqu'ici les besoins supplémentaires à lui seul. On estime plutôt que la production pétrolière atteindra son point culminant entre 1985 et 1995, avant de diminuer, lentement mais sûrement.¹

- Les matières premières que nous utilisons pour la production d'énergie sont d'autre part essentielles pour la fabrication d'un grand nombre d'autres produits dont l'importance sera de plus en plus grande à l'avenir. Il suffit de penser aux produits pharmaceutiques, à la biotechnique, à l'industrie alimentaire et aux matières plastiques. Il apparaît aujourd'hui que nous avons traité les combustibles fossiles à la légère et que ce gaspillage se poursuit. ⁴
- Une grande partie de l'opinion publique estime que la crise de l'énergie de 1973-1974 est surmontée. La perspective d'une nouvelle crise semble écartée du fait de l'abondance de pétrole, de la baisse des prix de l'essence et de l'huile et de l'attitude « raisonnable » des pays producteurs. Il en résulte que la population n'accepterait sans doute guère de mesures contraignantes pour une utilisation rationnelle de l'énergie. Des campagnes d'information et de motivation de l'opinion publique sont la première condition d'un usage rationnel de l'énergie. ⁵
- Si les pays industriels ne renforcent pas sensiblement leur politique tendant à la réduction de leur dépendance à l'égard du pétrole, il en résulterait — comme le démontrent une série d'études internationales — une nouvelle crise de l'énergie dans les années huitante qui aurait de graves répercussions économiques et politiques. ⁵
- Le fait que les pays producteurs de pétrole construisent eux-mêmes de plus

en plus de centrales nucléaires devrait nous convaincre que l'épuisement à terme des ressources de combustibles fossiles n'est pas une vue de l'esprit et qu'ils s'y préparent eux aussi. ⁴

- 1 *Krafft Pierre, président du Comité national suisse de la Conférence mondiale de l'énergie, Zurich : « Possibilités et limites des sources énergétiques conventionnelles dans le bilan énergétique futur » ; journée d'information « Energie nucléaire et les énergies complémentaires », Zurich, mai 1978.*
- 2 *Hunziker Bruno, conseiller d'Etat, directeur du Département de la santé publique et de la section de l'économie énergétique du canton d'Argovie, membre de la Commission fédérale pour une conception globale de l'énergie : « Die Energieversorgung aus der Sicht des Politikers » ; « Energieversorgung », Aargauer Tagblatt AG, Aarau, 1975.*
- 3 *Abegg Karl : « Wohin führt unser Weg ? », questions et réponses sur la croissance et l'énergie, Brown, Boveri & Cie, Baden.*
- 4 *Ritschard Willi, conseiller fédéral : « Energiepolitische Tagesfragen », exposé devant la Société zurichoise d'économie publique, février 1976 ; discours au Conseil national, le 18 avril 1978.*
- 5 *Schmid H. L., directeur de l'état-major de la Commission fédérale pour une conception globale de l'énergie, président du groupe d'experts de la GEK pour les mesures d'économie d'énergie et président du sous-groupe pour les économies d'énergie de l'Agence internationale de l'énergie, Berne : « Die Grenzen des Energiesparens » ; Journée d'information « Energie nucléaire et les énergies complémentaires », Zurich, mai 1978.*

Réserves: combien de temps dureront-elles?

Des études approfondies auxquelles se sont associés les producteurs de pétrole permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Le pétrole peut satisfaire les besoins supplémentaires en énergie grâce à une production accrue pendant les dix prochaines années encore.
- Après cette phase d'accroissement, la production ralentira. A la fin du siècle, on ne pourra pas extraire davantage de pétrole qu'aujourd'hui. ¹
- L'Agence internationale de l'énergie estime que les pays industriels occidentaux, s'ils poursuivent leur politique énergétique actuelle, importeront en 1985 de 31 à 36 millions de barils par jour contre 24 millions actuellement. S'y ajoutent les besoins des autres pays importateurs et des pays mêmes de l'OPEP, besoins estimés à 11-13 millions de barils. On atteint donc un total de 42 à 49 millions de barils. Or, la capacité maximale de production des pays de l'OPEP est estimée à 44 millions de barils, un total de 35 millions de barils paraissant toutefois plus proche de la réalité. ²
- 29 sociétés (dont tous les gros distributeurs de pétrole) ont répondu à un ques-

tionnaire de la Conférence mondiale de l'énergie visant à déterminer les quantités de pétrole encore susceptibles d'être extraites. La majorité des réponses gravite autour de 240 milliards de tonnes. Les estimations optimistes plafonnent vers 500 milliards de tonnes, les chiffres les plus bas vers 175 milliards de tonnes. A titre comparatif, rappelons que la production annuelle mondiale atteint actuellement 3 milliards de tonnes. ¹

- Les réserves de charbon disponibles et susceptibles d'être extraites par les techniques classiques sont estimées aujourd'hui à 600 milliards de tonnes d'équivalent charbon, ce qui correspond aux deux tiers de l'ensemble des réserves de combustibles fossiles. Théoriquement, les réserves de charbon devraient suffire pour plusieurs siècles. Toutefois, l'accès aux gisements, les coûts d'extraction et les inconvénients écologiques du charbon limitent considérablement son exploitation. ¹
- Sur la base des réserves connues et des estimations concernant l'extension des réseaux de transport, la production de gaz naturel atteindra son point culminant vers l'an 2000, soit environ vingt à trente ans après le pétrole. ¹
- Une nouvelle étude de l'OCDE consacrée à l'uranium estime les réserves et les stocks mondiaux d'uranium (pays socialistes non compris) à 4,3 millions de tonnes dans la catégorie des coûts d'extraction de 130 dollars par kilo au maximum. Les réserves présumées atteignent égale-

ment 4 à 5 millions de tonnes. L'utilisation de ces ressources dans les réacteurs actuels à eau légère correspondrait environ à la valeur de 200 milliards de tonnes d'équivalent charbon *. Compte tenu d'un marché mondial de l'uranium reposant sur la libre concurrence, ces réserves seraient suffisantes pour alimenter toutes les centrales nucléaires prévues pour les vingt ou trente prochaines années pendant toute leur durée d'activité.⁷

- Un seul gramme d'uranium 235 libère en cours de fission une quantité de chaleur correspondant à la combustion de 2 1/2 à 3 tonnes de houille. Cette comparaison met en lumière les particularités de l'énergie nucléaire. Des quantités infimes de combustible recèlent comparativement une énergie utile considérablement plus importante.⁶
- La production d'électricité qui dépend (en Suisse) à 75 % des forces hydrauliques — donc des conditions atmosphériques — est encore sujette, malheureusement, à d'importantes fluctuations. La seule différence entre un hiver pluvieux et un hiver sec peut être égale à la production hivernale d'une centrale nucléaire de 1000 mégawatts. C'est pourquoi il faut construire des centrales électriques pour couvrir les besoins de la Suisse en hiver. Cette nécessité explique les excédents produits en été et qui donnent parfois l'impression que nous produisons trop d'électricité.⁴

* Ce chiffre est de l'ordre de grandeur des réserves actuelles de pétrole et de gaz naturel.

- Nous sommes contraints d'élaborer les possibilités les plus favorables pour l'avenir prévisible, c'est-à-dire pour dix ou vingt ans. Il faut, en outre, tenir compte des connaissances scientifiques, des moyens technologiques et financiers, et de la situation politique mondiale. Les conséquences des différentes solutions doivent être clairement présentées. Le choix sera essentiellement politique, car l'énergie joue un rôle fondamental dans l'existence et dans la survie de nos sociétés.³

- Seule, l'énergie nucléaire, grâce à l'état avancé de son développement, permet une substitution rapide et économique du pétrole et du gaz naturel.⁵

1 *Krafft Pierre, président du Comité national suisse de la Conférence mondiale de l'énergie, Zurich : « Possibilités et limites des sources énergétiques conventionnelles dans le bilan énergétique futur » ; journée d'information « Energie nucléaire et les énergies complémentaires », Zurich, mai 1978.*

2 *von Tschanner Benedikt, ministre, Division du commerce du DFEP : « L'Agence internationale de l'énergie et la Suisse », exposé lors de l'assemblée générale de la Fédération suisse des consommateurs d'énergie de l'industrie et de l'économie, Berne, juin 1977.*

3 *Krafft Pierre, président du Comité national suisse de la Conférence mondiale de l'énergie, Zurich : « Considérations sur la situation énergétique mondiale », exposé lors de l'assemblée générale de la Fédération suisse des consommateurs d'énergie, Zurich, mars 1975.*

- 4 *Ritschard Willi, conseiller fédéral : « Questions d'actualité sur la politique énergétique », exposé devant la Société zurichoise d'économie publique, février 1976.*
- 5 *Oesterwind D., Voss A., centre de recherches de l'usine nucléaire de Jülich : « Avons-nous besoin d'énergie nucléaire ? », séminaire, Jülich, mars 1977.*
- 6 *Merz E., centre de recherches de l'usine nucléaire de Jülich ; séminaire, Jülich, mars 1977.*
- 7 *Beckhurts K.H., centre de recherches de l'usine nucléaire de Jülich : « La contribution possible de l'énergie nucléaire à l'approvisionnement énergétique futur » ; journée d'information « Energie nucléaire et les énergies complémentaires », Zurich, mai 1978.*

Economiser: une affaire qui concerne avant tout chacun de nous

La majorité de la population mondiale est pauvre. Elle ne voit pas de raison de renoncer au bien-être matériel acquis par les pays industriels. Les minorités favorisées, d'autre part, n'envisagent pas de se priver d'une richesse plus grande encore. Il n'y a donc que très peu de gens disposés à restreindre volontairement leurs besoins. Seule une infime minorité du peuple suisse serait prête à renoncer à l'automobile.¹

- En ce qui concerne les économies, toute une série de mesures pourraient être décidées afin d'améliorer la gestion individuelle de l'énergie : prescriptions sur les températures maximales dans les bâtiments publics ; prescriptions en ce qui concerne l'isolation, l'entretien des installations de chauffage et de conditionnement de l'air ; rénovation des équipements de chauffage démodés, etc. Ces dispositions combinées avec d'autres mesures d'économie permettraient de réduire la consommation globale d'énergie de 8 % d'ici l'an 2000 (ce qui correspond à la valeur énergétique de 2 millions de tonnes de pétrole).²
- Il est inconcevable, dans les démocraties occidentales, que l'Etat, sauf en cas d'ur-

gence, distingue les besoins pouvant être satisfaits de ceux auxquels il faut renoncer. Les pouvoirs publics ne peuvent qu'exercer une action éducative : informer, encourager une consommation saine et raisonnable, entraver la consommation exagérée et malsaine. ¹

- Les obstacles à la réalisation d'une politique de restriction sont considérables, car une telle politique implique une modification radicale de la conception de la vie et de notre attitude envers la consommation et l'économie. Les deux obstacles principaux sont :
 - le manque de discernement de la population quant à la nécessité de restrictions,
 - les conflits d'une telle politique avec des objectifs nationaux. ¹
- Une crise d'approvisionnement ne pourra être évitée que si l'ensemble des pays industriels multiplie leurs efforts pour s'affranchir de la dépendance du pétrole. Concrètement, il s'agit d'économiser davantage et de substituer d'autres énergies au pétrole. Pour atteindre cet objectif à moyen terme, il faut à la fois économiser et substituer. Il serait illusoire d'imaginer que les seules économies d'énergie permettraient de résoudre les problèmes de l'approvisionnement énergétique. Tout comme il serait vain de compter seulement sur la substitution. ¹
- L'économie d'énergie concerne moins les pouvoirs publics que chaque consommateur à titre individuel. En fin de compte,

c'est bien le consommateur qui, par son comportement, fixe les limites des économies d'énergie. Cela dit, l'Etat doit lui aussi s'occuper d'économies d'énergie et leur donner une importance au moins égale à l'approvisionnement, s'il veut conduire une politique énergétique digne de ce nom.¹

- 1 *Schmid H. L., directeur de l'état-major de la Commission fédérale pour une conception globale de l'énergie, président du groupe d'experts de la GEK pour les mesures d'économie de l'énergie et président du sous-groupe pour les économies d'énergie de l'Agence internationale de l'énergie, Berne : « Les limites des économies d'énergie », journée d'information « Energie nucléaire et les énergies complémentaires », Zurich, mai 1978.*
- 2 *Kohn Michael, président de la Commission fédérale pour une conception globale de l'énergie : « Fragments d'une conception globale de l'énergie », exposé présenté au Congrès du Parti radical-démocratique suisse, Fribourg, avril 1977.*

Energies complémentaires : possibilités et limites

Tout développement technologique important doit franchir quatre paliers successifs :

1. la possibilité de réalisation scientifique (physique) ;
2. la réalisation technique et industrielle ;
3. l'application économique et commerciale ;
4. l'adhésion de l'opinion publique. ¹

● Il est un autre aspect dont il faut tenir compte : les délais nécessaires au développement et à l'application de technologies nouvelles. Ces périodes atteignent en général trente à quarante ans, comme on l'a vu pour l'énergie nucléaire. Le premier réacteur fut mis en activité par Enrico Fermi en 1942. Aujourd'hui, soit trente-six ans plus tard, l'énergie nucléaire ne participe qu'à raison de 2 % à la couverture des besoins énergétiques globaux. ¹

● Bien que des progrès aient été réalisés au cours des dernières années, la fusion nucléaire n'a pas encore franchi le cap de la réalisation scientifique et physique. Il est donc très aléatoire de faire des estimations relatives aux premières applications technologiques à grande échelle. ¹

● Une étude scientifique révèle que le rayonnement solaire sur la Terre est

20 000 fois supérieur aux besoins annuels en énergie du monde entier. De son côté, le rapport intermédiaire de la Commission fédérale pour une conception globale de l'énergie affirme que les nouvelles énergies — essentiellement le solaire — ne pourraient couvrir que 0,5 % environ des besoins suisses en 1985. La différence est énorme. Qui a raison ? Les deux affirmations sont justifiées. Dans le premier cas, il s'agit d'un potentiel qui pourra être visé, mais jamais réalisé. Compte tenu des conditions de lieu, de temps, techniques et économiques, les prévisions de la GEK peuvent être considérées comme étant plutôt optimistes, du fait qu'elles indiquent la contribution effective à la couverture de nos besoins énergétiques, et non pas seulement le potentiel. ²

- L'évolution des coûts et la solution des problèmes de transport et d'accumulation détermineront dans quelle mesure l'énergie solaire pourra contribuer à l'approvisionnement énergétique. Les effets écologiques de l'utilisation de l'énergie solaire semblent moins graves que ceux des autres agents énergétiques. Ils n'ont toutefois pas encore été analysés complètement. ¹
- La Suisse jouit en moyenne de 1500 à 1800 heures d'ensoleillement par année. Des pays comme l'Arabie saoudite en ont environ deux fois plus. Cette simple comparaison démontre que l'énergie solaire trouvera des applications plus profitables dans ces zones méridionales que chez nous. ²

- Des études ont démontré que 200 000 à 400 000 unités d'habitat se prêteraient en Suisse à la mise en place de systèmes solaires pour le chauffage de l'eau. Ces équipements permettraient de couvrir 2 à 3 % des besoins énergétiques globaux du pays estimés pour 1985. Encore faut-il préciser que ces estimations sont potentielles et qu'elles ne tiennent pas compte des limitations éventuelles de toutes sortes.²
- Qu'en est-il du chauffage des locaux ? Le chauffage partiel d'immeubles grâce à l'énergie solaire implique l'installation de 20 à 30 m² de collecteurs par unité d'habitat. Le chauffage de l'eau en exige 6 à 15 m². Il est peu probable que tous les 200 000 à 400 000 logements prêts à accueillir des systèmes pour l'eau chaude puissent être équipés de surfaces de collecteurs deux à trois fois plus grandes destinées au chauffage des locaux.²
- L'intensité énergétique du soleil, c'est-à-dire l'énergie transmise par unité de surface sur la Terre, n'atteint qu'une moyenne de 160 watts par mètre carré, calculée sur toute l'année et la surface du globe. Une centrale nucléaire de 1000 MW occupant une surface de 250 x 250 mètres produit une énergie moyenne de 40 000 watts par mètre carré, soit 250 fois plus. C'est ainsi qu'apparaît un problème spécifique à l'utilisation de l'énergie solaire : celui des besoins de gigantesques surfaces de captage.¹
- L'énergie éolienne n'entre en ligne de compte qu'aux conditions suivantes :

- Elle ne peut être produite que dans des sites isolés, ce qui pose le problème des coûts de transport.
- Le vent doit souffler de façon constante.
- Les besoins en énergie ne peuvent excéder une certaine dimension, afin de pouvoir se satisfaire d'hélices de taille relativement réduite.³
- Un générateur éolien produisant une puissance électrique d'un mégawatt devrait être équipé d'un rotor de 100 mètres de diamètre fixé sur un mât de taille équivalente. On peut mesurer les limites de cette technologie si l'on sait qu'il faut environ 1300 de ces immenses générateurs pour remplacer un seul bloc de centrale électrique moderne.⁴
- En Suisse, la bio-énergie ne peut actuellement contribuer que très modestement à l'approvisionnement énergétique. Il s'agit essentiellement du bois de chauffage qui pourrait couvrir 5 % des besoins d'énergie primaire.⁷
- Sous réserve de conditions optimales, soit l'existence d'un nombre suffisant de têtes de bétail et à l'exclusion des coûts de ramassage et d'élimination des déchets, on peut envisager l'aménagement d'installations de biogaz dans des exploitations agricoles.⁷
- L'exploitation de la géothermie est possible aujourd'hui déjà. Toutefois, elle n'est pas encore en mesure de concurrencer les autres sources d'énergie. Le domaine d'application de la géothermie le plus

favorable en Suisse réside dans le chauffage des locaux situés dans des zones habitées qui se prêtent au chauffage à distance. Son utilisation pour produire de l'énergie motrice n'est en revanche pas pour demain. Jusqu'à nouvel avis, la géothermie ne peut supporter qu'une infime partie de l'approvisionnement énergétique de la Suisse et ce, dans des délais très limités. ⁵

- Le flux énergétique de la géothermie est environ cinq mille fois moindre que celui de l'énergie solaire. Le potentiel énergétique des marées est encore dix fois plus réduit. L'exploitation de ces agents énergétiques est limitée localement et pour des raisons écologiques. Ils ne pourront donc guère assurer une part sensible des besoins énergétiques globaux. ⁶

-
- 1 Oesterwind D., Voss A., centre de recherches de l'usine nucléaire de Jülich : *Avons-nous besoin d'énergie nucléaire ?*, séminaire Jülich, mars 1977.
 - 2 Müller Riccardo E., président de la Commission fédérale pour l'utilisation de l'énergie solaire, Office fédéral de l'économie énergétique, Berne : *« Les limites de l'énergie solaire »*, Journée d'information « Energie nucléaire et les énergies complémentaires », Zurich, mai 1978.
 - 3 Speiser Ambros, professeur, directeur de la section de recherches de Brown, Boveri & Cie et membre de la Commission fédérale pour une conception globale de l'énergie : *« L'approvisionnement énergétique »*, Aargauer Tagblatt, Aarau, 1975.

- 4 « *Bild der Wissenschaft* », numéro spécial « *Les centrales nucléaires - Devons-nous nous en accommoder ?* » ; « *Energie pour demain* » ; article de la rédaction (éditeur : prof. Heinz Haber).
- 5 Hännly J., directeur, recherche et développement, Sulzer S. A., Winterthour : « *Limites de la production d'énergie géothermique en Suisse* » ; journée d'information « *Energie nucléaire et les énergies complémentaires* », Zurich, mai 1978.
- 6 Fornallaz Pierre, prof. EPFZ, président de l'Association suisse pour l'énergie solaire, Zurich : « *Conditions et possibilités d'utilisation de l'énergie solaire* » ; journée d'information « *Energie nucléaire et les énergies complémentaires* », Zurich, mai 1978.
- 7 Lüthi Johannes, directeur chez Sulzer S. A., Winterthour : « *Limites de la bio-énergie* » ; journée d'information « *Energie nucléaire et les énergies complémentaires* », Zurich, mai 1978.

Atteintes à l'environnement: comparaison des agents énergétiques

Toute exploitation intensive d'agents énergétiques primaires provoque des effets secondaires négatifs. ¹

- Dans nos sociétés industrielles, la consommation énergétique moyenne d'un individu totalise 700 000 kilowattheures au cours de son existence. S'il fallait couvrir ces besoins avec du charbon, il faudrait extraire, transporter et brûler 3 millions de tonnes de houille. La combustion d'une quantité équivalente de pétrole libérerait 200 à 600 tonnes de gaz carbonique et 2 à 4 tonnes de soufre dans l'atmosphère. La quantité équivalente de déchets hautement radioactifs issus d'une usine de retraitement atteint en tout et pour tout 2 litres. ²
- Il n'est pas possible de parler des énergies fossiles et de la réactivation du charbon sans aborder les problèmes d'atteinte à l'environnement qui en découlent. La nature a mis des millions d'années pour constituer ces réserves de combustibles. On peut dès lors se demander si leur utilisation en l'espace de quelques siècles

n'est pas de nature à porter atteinte à l'équilibre de notre environnement.³

- Les processus de combustion sont inévitablement liés à l'atmosphère qu'ils chargent de matières nocives pour la santé. Aux Etats-Unis seulement, les quantités suivantes sont émises chaque année : 75 millions de tonnes d'oxyde de carbone, 27 millions de tonnes d'oxyde de soufre, 20 millions de tonnes d'hydrocarbures, 13 millions de tonnes d'oxydes nitriques et 111 millions de tonnes de poussières. Les dommages provoqués par ces matières sont évalués à 13 milliards de dollars par année.⁴
- L'utilisation des combustibles et des carburants tout comme le déboisement de notre planète, ont contribué à une sensible augmentation du taux de gaz carbonique dans l'atmosphère. Il est un fait que la concentration de CO₂ ne se résorbe que très lentement au-dessus des mers et des forêts et qu'il s'agit peut-être d'un phénomène irréversible. Chaque année, environ 5 milliards de tonnes de CO₂ sont disséminées dans l'atmosphère. Le reflux est estimé à 2,7 milliards de tonnes, de sorte que l'accumulation annuelle de gaz carbonique est supérieure à 2 milliards de tonnes. Il en découle des conséquences sur la nature desquelles les spécialistes s'interrogent encore.³
- Le bilan serait incomplet si l'on n'y incluait pas le coût de la protection technique de l'environnement. Les frais supplémentaires pour une centrale électrique de 1000 mégawatts résultant des nouvel-

les prescriptions américaines pour la protection de l'environnement se présentent ainsi : 36 % pour une centrale au fuel, 28 % pour une centrale au charbon, alors que l'augmentation pour les centrales au gaz et les centrales nucléaires n'atteignent que 5 %.⁵

- 1 Oesterwind D., Voss A., centre de recherches de l'usine nucléaire de Jülich : « Avons-nous besoin d'énergie nucléaire ? », séminaire Jülich, mars 1977.
- 2 Marcus F.R., secrétaire du Comité nordique de coordination pour l'énergie nucléaire, Copenhague : « L'élimination des déchets nucléaires » ; journée d'information « La sécurité des centrales nucléaires », Zurich, novembre 1974.
- 3 Krafft Pierre, président du Comité national suisse de la Conférence mondiale de l'énergie, Zurich : « Possibilités et limites des sources énergétiques conventionnelles dans le bilan énergétique futur », journée d'information « Energie nucléaire et les énergies complémentaires », Zurich, mai 1978.
- 4 Grümm H., professeur, directeur de l'Institut pour les techniques de réacteurs, Société d'étude autrichienne pour l'énergie atomique, Vienne : « Production d'énergie et environnement » ; Economie nucléaire - technique nucléaire : « L'énergie nucléaire menace-t-elle l'environnement ? »
- 5 Krafft Pierre, président du Comité national suisse de la Conférence mondiale de l'énergie, Zurich : « Considérations à propos de la situation énergétique mondiale » ; exposé lors de l'assemblée générale de la Fédération suisse des consommateurs d'énergie, Zurich, mars 1975.

Radioactivité: une atteinte à la vie?

Il est faux de prétendre que l'irradiation naturelle et celle provoquée par des radio-isotopes ne peuvent être comparées. L'effet des radiations sur la matière, y compris les tissus vivants, repose sur l'interaction des rayons et de la matière. Cette interaction est soumise à des lois purement physiques et il est donc indifférent qu'il s'agisse d'isotopes naturels ou artificiels.¹

- L'irradiation naturelle constitue un critère de référence fondamental, tant sur le plan qualitatif que quantitatif, contrairement à ce que l'on entend dire parfois. La vie s'est développée sur la terre au cours de millions d'années sous l'effet de cette irradiation naturelle. Celle-ci ne peut être par conséquent en aucune manière considérée comme néfaste. Si tel était le cas, les détériorations cellulaires classiques, à commencer par le cancer, devraient être beaucoup plus fréquentes dans les régions suisses soumises à un rayonnement plus intensif, éventualité que de multiples expériences permettent d'écarter. Signalons, d'autre part, que tout organisme biologique susceptible d'être endommagé par l'irradiation naturelle aurait disparu de la terre de façon naturelle depuis des millions d'années.¹
- L'augmentation de l'irradiation du fait d'une centrale nucléaire, de moins d'un

millirem par an, ne présente pas le moindre risque pour l'embryon humain. Il faut tenir compte ici du fait que les quatre premières semaines de développement du fœtus constituent la phase la plus délicate et que, pendant cette période, l'embryon ne reçoit qu'une dose de 0,1 millirem. Un séjour de quatre semaines à une altitude de 1000 mètres implique pour la future mère citadine un risque bien supérieur étant donné que le seul rayonnement radioactif cosmique lui impose une dose additionnelle de 1,1 millirem.¹

- Des recherches réalisées en plusieurs endroits sur un grand nombre de personnes ont démontré qu'une irradiation supplémentaire de 2000 millirem au maximum par année ne provoque aucun dommage décelable sur l'organisme. On ne peut certes pas déduire de ces chiffres que de telles irradiations ne présentent aucun inconvénient. Mais leur effet est tellement réduit qu'il disparaît en tous cas vis-à-vis d'autres facteurs telles les habitudes de vie et les structures sociales, et échappe ainsi aux fluctuations statistiques.¹
- Un usage modéré de la radiographie à des fins thérapeutiques exclut en principe tout dommage somatique ou génétique. Si une dose de 100 millirem déjà présentait un risque important, comme on l'entend dire parfois, alors l'emploi des rayons X dans la médecine provoquerait de très graves atteintes à la santé des personnes radiographiées. Or, tel n'est pas le cas.¹
- Un mot à propos du risque de cancer : Une estimation évoque pour l'an 2000

l'éventualité de 100 fois plus d'énergie nucléaire qu'en 1970 aux Etats-Unis pour une population de 300 millions d'habitants. Il en résulterait au maximum 10 cas de cancer contre 486 000 cancers se développant normalement. Encore faut-il préciser que cette estimation, réalisée par des instances officielles, part de l'éventualité la plus pessimiste.²

- Des recherches ont été réalisées en Suisse afin de déterminer la fréquence des cancers en relation avec l'irradiation naturelle. A cet effet, on a divisé le pays en trois zones. Dans la zone I, l'irradiation naturelle était inférieure à 120 millirem par année. Dans la zone II, elle atteignait de 120 à 180 millirem, alors qu'elle variait de 180 à 250 millirem dans la zone III. Or, on a enregistré des taux de cancer plus élevés dans les zones I et II que dans la zone III.³
- En résumé, on peut affirmer que les centrales nucléaires fonctionnant normalement ne présentent pas de risque pour les populations. Cette certitude est partagée par le Conseil scientifique de la Chambre médicale d'Allemagne fédérale qui a diffusé le témoignage suivant : « L'irradiation des populations des suites du fonctionnement normal de centrales nucléaires ne présente qu'un risque tout à fait négligeable, de sorte que l'on ne peut parler de danger, ni pour l'individu, ni du point de vue de la santé publique. »⁴
- Si l'on pouvait mesurer les effets de toutes les substances et activités nocives pour l'environnement et la santé de l'hom-

me avec autant de précision que la radioactivité et si l'on y opposait les mêmes mesures de prévention qu'aux centrales nucléaires, nul doute alors que les problèmes de l'environnement n'auraient pas l'ampleur qu'on leur attribue aujourd'hui.⁵

- 1 *Feldmann A., Institut de botanique et de microbiologie du centre de recherches nucléaires de Jülich : « L'énergie nucléaire et les risques d'irradiation » ; séminaire Jülich, mars 1977.*
- 2 *Kiefer H., professeur, département de la protection contre l'irradiation et de la sécurité, centre de recherches nucléaires, Karlsruhe : « Habiter près d'une centrale nucléaire ? »*
- 3 *Renter H. R., Hengelhaupt M., journée d'information : « L'irradiation de la population du fait de l'utilisation par la médecine de rayons ionisants », Berne, mars 1973.*
- 4 *Conseil scientifique de la Chambre médicale allemande : prise de position concernant « la menace des centrales nucléaires », octobre 1975.*
- 5 *Grümm H., professeur, directeur de l'Institut pour la technique des réacteurs, Société d'études autrichienne pour l'énergie nucléaire, Vienne : « Production d'énergie et environnement » ; Economie nucléaire - technique nucléaire : « L'énergie nucléaire menace-t-elle l'environnement ? »*

Sécurité: pas de technologie sans risque

Dans l'avenir immédiat, nous ne pourrons pas nous passer de l'énergie nucléaire pour résoudre nos problèmes énergétiques. Cela n'a d'ailleurs rien d'inquiétant. L'énergie nucléaire présente un bilan de sécurité qui n'a pas son pareil. Son application a été exempte des expériences souvent douloureuses propres aux débuts de toute nouvelle technologie. Les taux de sécurité élevés sont le fruit de travaux préalables de recherches et de développement menés avec un sens aigu des responsabilités à l'égard des hommes et de l'environnement. ¹

- La sécurité absolue n'existe dans aucun domaine technique. En ce qui concerne les centrales nucléaires, les multiples mesures de prévention ramènent l'éventualité de perturbations à une valeur infime. ²
- On détermine les perturbations susceptibles d'entraîner des conséquences graves pour le personnel de la centrale et pour l'environnement. Puis, afin d'éviter ces perturbations, on met en place des installations de sécurité (par exemple des systèmes de refroidissement d'urgence) qui interrompent le fonctionnement de la centrale. Les facteurs de perturbation

sont donc pris en compte comme s'ils allaient se produire à coup sûr.³

- Mais on ne se contente pas de limiter les répercussions des incidents par des équipements de sécurité. On veille encore à multiplier ces installations de manière à assurer leur fonctionnement même en cas d'extension de la perturbation. On parle alors d'un dimensionnement « redondant ».³
- Les opposants affirment volontiers qu'un réacteur de 1000 mégawatts contient autant de produits fissiles après une année de fonctionnement que 1000 bombes « Hiroshima ». Cette comparaison a pour objectif de créer une étroite corrélation entre la bombe atomique et un réacteur nucléaire, ce qui est totalement faux. L'effet dévastateur de la bombe repose presque exclusivement sur l'onde produite par l'explosion et par l'énorme développement de chaleur. Les effets radioactifs ne se manifestent qu'ultérieurement. L'explosion « atomique » d'un réacteur est exclue par des raisons physiques.³
- Ce n'est que lors des tout premiers stades de la technologie nucléaire que des hommes ont subi des lésions provenant de radiations. Ces accidents se sont produits exclusivement dans des installations militaires ou de recherches.⁴
- Toute centrale nucléaire est, d'autre part, à l'abri de tentatives de sabotage. La disposition des bâtiments et les contrôles rigoureux prescrits par la réglementation concernant les radiations excluent l'accès

de personnes non autorisées dans le bâtiment des réacteurs. En outre, des mesures spéciales au niveau de la construction et de l'organisation sont prises contre le sabotage. Le dimensionnement « redondant », c'est-à-dire multiple, des principaux équipements de sécurité garantit l'intégrité de la centrale et de ses environs, même en cas de destruction de l'un des équipements.

Il est infiniment regrettable que les risques, réels ou simplement soupçonnés, attribués aux centrales nucléaires soient dramatisés au-delà de toute mesure. On imagine de formidables catastrophes qui, dans le pire des cas ne pourraient se concrétiser qu'une seule fois en plusieurs millions d'années. Par contre, les risques inhérents à d'autres sources d'énergie sont tout simplement ignorés. Il suffit d'imaginer l'émotion indescriptible qu'entraînerait la mort d'un employé d'une centrale nucléaire sous l'effet des radiations. Un tel accident compromettrait gravement le développement ultérieur de l'énergie nucléaire. Les risques que présente l'énergie nucléaire sont exagérés à outrance par rapport aux autres formes d'énergie.⁵

- Les risques inhérents à la civilisation et à la nature sont de 500 à 10 000 fois plus élevés que ceux présentés par 100 centrales nucléaires. Seule l'éventualité extrême d'une chute de météorite présente des taux de risques comparables.³

L'exploitation de 100 centrales nucléaires de 1000 mégawatts chacune présente incomparablement moins de risque qu'une catastrophe naturelle ou d'autres acci-

dents dus à l'activité humaine. Une étude prospective réalisée aux Etats-Unis est à cet égard très révélatrice. On a imaginé une population de 15 millions d'individus vivant en 1980 dans un rayon de 32 kilomètres autour d'une centrale nucléaire. Cette population aurait à déplorer chaque année les pertes suivantes :

- 4200 victimes d'accidents de la circulation,
- 560 victimes d'incendies,
- 8 victimes de la foudre.

On compterait en revanche seulement 0,3 victime par année du fait de l'exploitation pacifique de l'énergie nucléaire.⁶

- J'avoue ne pas pouvoir associer aux centrales nucléaires les dangers de l'Etat policier si volontiers dénoncés par certains auteurs. La nécessité de surveiller les réacteurs pourrait, le cas échéant, entraîner une relative augmentation des effectifs de police. Mais le fait de renoncer aux centrales nucléaires ne pourrait guère éliminer la méfiance et la crainte inspirées par les adversaires en politique intérieure, crainte qui serait la raison essentielle de la mise en place d'un régime policier. D'autre part, les terroristes disposent d'autres objectifs possibles que les centrales nucléaires. Il faut distinguer le problème du terrorisme et de l'Etat policier d'une part, et celui des centrales nucléaires d'autre part. Vouloir lier ces deux problèmes diminue leur clarté.⁷

- 1 *Hunziker Bruno, conseiller d'Etat, chef du Département de la santé publique et de la section de l'économie énergétique du canton d'Argovie, membre de la Commission fédérale pour une conception globale de l'énergie : « L'approvisionnement énergétique du point de vue du politicien » ; « L'approvisionnement énergétique », Aargauer Tagblatt, Aarau, 1975.*
- 2 *Grupe H., Koelzer W. : « Questions et réponses à propos de l'énergie nucléaire », Bonn, janvier 1975.*
- 3 *Borsch P., groupe de travail « Information sur l'énergie nucléaire », Münch E., centre de recherches de l'usine nucléaire de Jülich : « La sécurité des centrales nucléaires » ; séminaire Jülich, mars 1977.*
- 4 *Publication spéciale « Centrales nucléaires - Devons-nous nous en accommoder ? », « Contrôle des radiations - Sécurité pour l'homme » ; article de la rédaction (édité par le prof. Heinz Haber).*
- 5 *Kiefer H., professeur, directeur du Département pour la protection contre les radiations et pour la sécurité : « Habiter près d'une centrale nucléaire ? » publié par « Bild der Wissenschaft (édité par le prof. Heinz Haber).*
- 6 *Winkler Walter, professeur, directeur de la HTL Brugg-Windisch : « L'approvisionnement énergétique aujourd'hui » ; « L'approvisionnement énergétique », Aargauer Tagblatt, Aarau, 1975.*
- 7 *Beckurts K. H., direction du centre de recherches de l'usine nucléaire de Jülich : « La contribution possible de l'énergie nucléaire à l'approvisionnement énergétique futur » ; journée d'information « Energie nucléaire et les alternatives », Zurich, mai 1978.*

Le plutonium: substance diabolique ou source d'énergie de valeur?

Les trente-cinq années durant lesquelles l'homme a manipulé du plutonium sont marquées par une amélioration constante des mesures de protection contre cette substance hautement toxique. Près de 30 000 personnes de toutes les professions ont appris à manier le plutonium avec sécurité, et on estime à plus de 10 000 celles d'entre elles qui, travaillant dans des laboratoires, ont traité plus d'un kilo de plutonium. Elles ont réuni au total quelque 250 000 années d'expérience. ¹

- Ce sont les explosions des bombes atomiques de New Mexico et de Nagasaki qui ont libéré pour la première fois du plutonium en quantité importante. Les quantités de P 239 dispersées jusqu'à l'arrêt des expériences atomiques dans l'atmosphère sont estimées à 5-10 tonnes. 95 % de ce plutonium s'est depuis lors déposé sur la terre, sans inconvénient pour l'humanité. ²
- De tous les accès possibles du plutonium au corps humain, seule la respiration doit être prise en considération, étant donné qu'une quantité importante de fine pous-

sière d'oxyde de plutonium peut provoquer la destruction des tissus pulmonaires ou entraîner la formation de cancers si elle s'y trouve en petite quantité. Bien qu'aucune atteinte à la santé de l'homme du fait du plutonium n'ait encore pu être établie, des expériences réalisées sur des animaux ont démontré que la présence d'un milligramme de plutonium dans les poumons provoque la mort de la victime au bout d'une année, si aucun traitement n'est appliqué. Contrairement aux substances toxiques issues des champignons (par exemple l'aflatoxine), dont des concentrations cent fois plus réduites tuent l'homme à coup sûr, le plutonium n'est ni un poison direct, ni rapide car il augmente simplement la probabilité du cancer des poumons, comme c'est le cas pour la cigarette. ¹

- Aucun décès imputable à la toxicité du plutonium n'est connu à ce jour. Des contrôles très stricts effectués sur 25 Américains qui ont ingurgité — il y a plus de trente ans pour certains d'entre eux — des concentrations de plutonium dix fois supérieures aux quantités tolérées n'ont révélé aucune altération de santé. Des recherches réalisées en Grande-Bretagne et en Union soviétique ont confirmé ces résultats. ²
- La fabrication d'armes nucléaires contenant du plutonium et les connaissances nécessaires à cet effet ne sont mentionnées que par des sources dont la compétence est ancienne ou non démontrée. Etant donné que personne ne peut sou-

haïter la diffusion de directives précises, avec mention des difficultés techniques à surmonter, il faudra se résoudre à laisser circuler les bruits selon lesquels la fabrication d'une bombe atomique est à la portée du premier venu. Les spécialistes compétents et les autorités compétentes savent parfaitement que cette rumeur est totalement infondée.²

- 1 *Stoll W., directeur technique ALKEM, Hanau : « Etat actuel de la technique et l'économie future du plutonium » ; journées d'information « Retraitement, plutonium et stockage définitif », Regensdorf, juin 1977.*
- 2 *Stoll W., directeur technique ALKEM, Hanau : « La sécurité du plutonium » ; journée d'information « La sécurité des centrales nucléaires », Zurich, novembre 1974.*

Les déchets: des risques pour plusieurs générations?

Toutes les phases de l'élimination des déchets radioactifs sont maîtrisées sur le plan technique. Pour la Suisse, il s'agit désormais essentiellement de créer des dépôts qui répondent aux plus hautes exigences de sécurité pour toutes les générations futures. Les difficultés existant dans ce domaine sont en premier lieu de nature politique.¹

- Toutes les centrales nucléaires ainsi que l'EIR offrent une capacité d'entreposage des déchets suffisants pour un minimum de dix ans. Ces dépôts peuvent être agrandis si besoin est. Plusieurs années d'entreposage des déchets faiblement et moyennement radioactifs dans les sites de dépôts des centrales nucléaires de Beznau et Mühleberg ont démontré que cette méthode peut être appliquée à long terme en cas de nécessité, jusqu'à la mise en place d'un site de stockage définitif pour tous les déchets de Suisse.¹
- La très forte activité du combustible irradié décroît rapidement après son retrait du réacteur. Les substances à courte durée de vie se désintègrent rapidement, si bien que l'activité et la chaleur propre tombent au bout d'un an à 1/300 de leur valeur initiale. Ce « refroidissement » con-

tinue rapidement au cours des dix à vingt années suivantes.²

- Découverte à Oklo, au Gabon, pays d'Afrique centrale, une mine d'uranium à ciel ouvert s'est révélée être un réacteur naturel dans lequel se sont produits, il y a 1,8 milliard d'années, les mêmes phénomènes que dans les réacteurs modernes à eau légère. La découverte d'Oklo présente un grand intérêt pour les géologues qui s'occupent du stockage définitif des déchets radioactifs. Au total, près de 10 tonnes de matières fissiles et 1 tonne de plutonium ont été formées dans ce réacteur. Malgré la faible étanchéité des roches, ces matières fissiles n'ont progressé que de quelques millimètres au cours de deux milliards d'années. La nature a donc réussi à stocker de manière sûre des déchets hautement radioactifs pendant une période considérée comme longue, même dans l'échelle géologique.³
- Au cours d'expériences réalisées au Canada, 25 cylindres de verre contenant des déchets hautement radioactifs ont été stockés pendant quinze années dans une circulation d'eau. Les mesures permanentes ont démontré que seulement 2% du strontium 90 vitrifié se sont dispersés dans l'eau. Au terme des deux premières années, la concentration du strontium parvenue à la surface des réservoirs n'atteignait pas même les taux tolérés dans l'eau potable par l'ordonnance suisse en matière de protection contre les radiations. Les substances radioactives progressent si lentement dans les eaux souterraines que la concentration tolérée pour l'eau

potable n'a jamais été approchée dans le fleuve qui coule tout près de là. Cette expérience a été conçue comme étant la réplique d'une « catastrophe » organisée à l'échelle 1 : 1 s'abattant sur un site de stockage de déchets hautement radioactifs, avec pénétration d'eau pendant le stockage.¹

- Une centrale nucléaire de 1000 mégawatts produit chaque année environ 3 mètres cubes de déchets hautement radioactifs vitrifiés, ce qui correspond à 15 cylindres de 3 mètres de long et 30 centimètres de diamètre chacun. L'injection de tels cylindres dans de profondes cavités de forage (par exemple 1500 m.) est aujourd'hui techniquement réalisable. L'espace de stockage disponible dans une telle cavité, haute de 250 mètres, atteint 23 mètres cubes. Un seul de ces trous de forage pourra donc accueillir 80 cylindres, ce qui correspond à la production annuelle des déchets hautement radioactifs de plusieurs réacteurs d'une capacité totale de 5300 mégawatts (Mühleberg et Beznau totalisent 1000 mégawatts).³

Chaque centrale de 1000 mégawatts produit par an environ 2 à 3 mètres cubes de déchets hautement radioactifs. L'insignifiance de ces quantités est illustrée par la comparaison suivante : si toute l'électricité de la Suisse était issue de centrales nucléaires, il en résulterait par habitant et par an environ 3 centimètres cubes de déchets hautement radioactifs.¹

- Des recherches détaillées menées à l'étranger ont démontré que les risques découlant de l'élimination de tous les dé-

chets des centrales nucléaires dans des formations géologiques appropriées sont négligeables par rapport aux autres risques auxquels est soumis l'être humain.¹

- Des mines de sel, par exemple, sont restées stables depuis près de cent millions d'années. A titre comparatif, le temps durant lequel les blocs de verre hautement radioactifs devraient être stockés de manière sûre, atteint environ mille ans. Après cela, la toxicité des déchets est plus réduite que celle des minerais d'uranium utilisés pour la fabrication des éléments combustibles. Après ce laps de temps, les déchets ne sont pas plus dangereux que d'autres matériaux contenus dans la terre, tels le mercure, le plomb ou le cadmium.⁴
- La totalité des coûts de l'élimination des déchets faiblement, moyennement et hautement radioactifs issus des centrales nucléaires représente environ 5 à 10 % des frais de production d'énergie (soit 0,2 - 0,4 centime par kilowatt-heure). Ces coûts sont inclus dans l'estimation du prix de l'énergie provenant des centrales nucléaires. Leur part très réduite ne compromettrait d'aucune manière la rentabilité de l'énergie nucléaire, même si une solution d'élimination coûteuse était adoptée.¹

1 Zünd H., sous-directeur à Motor-Colombus, section technique nucléaire, Baden : « L'élimination des déchets radioactifs en Suisse » ; journée d'information « Retraitement, plutonium et stockage définitif », Regensdorf, juin 1977.

- 2 *Marcus F. R., secrétaire du Comité nordique de coordination pour l'énergie nucléaire, Copenhague : « L'élimination des déchets radioactifs » ; journée d'information « La sécurité des centrales nucléaires », Zurich, novembre 1974.*
- 3 *Beck Rudolf, géologue, Kehrsatz/BE : « Possibilités d'élimination des déchets radioactifs du point de vue du géologue », février 1977.*
- 4 *Beckurts K. H., centre de recherches de l'usine nucléaire de Jülich : « La contribution possible de l'énergie nucléaire à l'approvisionnement énergétique futur » ; journée d'information « Energie nucléaire et les énergies complémentaires », Zurich, mai 1978.*

Appendice

BIBLIOGRAPHIE

Les informations contenues dans la présente brochure ont été tirées des ouvrages suivants (extraits) :

- *An assesment of Accident Risks in US commercial Nuclear Power Plants ; Wash 1400 (1975).*
- *Aurand K. et al. : Die natürliche Strahlenexposition des Menschen. Grundlage zur Beurteilung des Strahlenrisikos. Stuttgart : Editions Georg Thieme.*
- *Bacq, Z. M. : Grundlagen der Strahlenbiologie. Stuttgart. Editions Georg Thieme, 1958.*
- *BEIR-Report : The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Report of the advisory committee on the biological effects of ionizing radiations. Division of medical sciences. Nat. Research Council Washington, D.C. 20006, novembre 1972.*
- *Birkhofer, A. et al. : Reactor Safety in the Federal Republic of Germany. 4^e Conférence de Genève 1971, acte N^o 364.*
- *Blomeke, J. O. et al. : Projections of radioactive Waste, ORNL - TM - 3965.*
- *Böck, H. : Kernkraftwerke und Kindersterblichkeit. Naturw. Rundschau, 1974, pp. 411-415.*
- *Bohn, Th., Österwind, D. : Zukünftige Energiebedarfsdeckung und die Bedeutung der nicht-fossilen und nichtnuklearen Primärenergieträger, étude AGF-ASA, Francfort, 1976.*
- *Bonka, H. : Auslegung und Fertigung von Reaktordruckgefäßen für Leichtwasserreaktoren. Energie und Technik. 23^e année, 1971, pp. 272-277.*

- *Bonka, H. : Das natürliche Risiko ; Strahlenbelastung in der Bundesrepublik Deutschland. Bild der Wissenschaft. Juin 1976, publication N° 6.*
- *Büker, H. et al. : Kernenergie und Umwelt ; étude commandée par le Ministère fédéral pour la recherche et la technologie. Centre de recherches nucléaires Jülich, Jül-929-HT-WT. 1973.*
- *Bulletin SEV/VSE (7.2.76), Rapport du Comité national suisse de la Conférence mondiale de l'énergie sur les conceptions énergétiques à l'étranger.*
- *Burnet, F. Mc. : Mutation, somatische Mutation und Krankheit beim Menschen. Naturwissenschaftliche Rundschau, 1976, pp. 305-311.*
- *Casarett, A. P. : Radiation Biology, Prentice Hall, inc. Londres, 1968.*
- *Coggle, J. E. : Biological Effects of Radiation. The Eykeham Science Series no 14, Londres et Winchester, 1971.*
- *« Convention on the Prevention of Marine Pollution », Londres, 1972.*
- *La contribution de l'énergie solaire à l'approvisionnement énergétique actuel et futur. Service d'information ASSA, 2/78, Österr. Gesellschaft für Sonnenenergie und Weltraumfragen Sarl, Vienne.*
- *Dertinger, H. et Jung, H. : Molekulare Strahlenbiologie, Berlin-Heidelberg : Editions Springer, 1969.*
- *Die künftige Energienachfrage und deren Deckung ; 3^e alinéa : Das Angebot von Energierohstoffen - Hannover : Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1976).*
- *Dressler, E. et al. : Ergebnisse einer Zuverlässigkeitsanalyse bei Verwendung unterschiedlicher Ausfalldaten. Atomwirtschaft, tome 20, 1975, pp. 294-295.*

- « *Elimination des déchets radioactifs dans la technologie nucléaire* », symposium des 19 et 20 janvier 1976 à Mayence.
- *Fliedner, T. M. et autres : Zellbiologische Grundlagen des Lebens eines Organismus im Strahlenfeld. Atomwirtschaft, 1976, pp. 292-297.*
- *Fritz-Niggli, H. : Strahlengefährdung - Strahlenschutz, Editions Huber, Berlin - Stuttgart - Vienne, 1975.*
- *Godke, H. W. et al. : Trans. A. Nucl. Soc. 12, 450 (1969).*
- *Grüm, H. : Le bilan de sécurité des réacteurs, inf., Berne, p. 60.*
- *Häfele, W. : Bulletin IAEA 16 (1974), p. 11.*
- *Häfele, W., Holdren, J. P., Kessler, G., Kulcinski, G. L. : Fusion and Fast Breeder Reactors, IIASA-Report RR-77-8 (novembre 1976, révisé en juin 1977).*
- *Hug, O. : Strahlenschäden und Strahlenschutz, Atomwirtschaft, 1971, p. 294.*
- *Hug, O. : Exigences en matière de sécurité des réacteurs du point de vue de la biologie des radiations ; aspects somatiques ; journée d'information sur la sécurité des centrales nucléaires, Zurich, 1974. Zurich : ASPEA, 1974.*
- *Jäckli, H. : « Concept pour le dépôt de déchets radioactifs dans les formations géologiques en Suisse », février 1976.*
- *JCAE 1, p. 810 und Sel. Mat., p. 32 Rohrmann, F. A. et al. : Industrial Emissions of Carbon Dioxide in the United States. Science 156, No 3777, p. 931 (1967).*
- *De Jongh, K.-H. : Schutz von Kernkraftwerken gegen äussere Einflüsse : Flugzeugabsturz, Druckwellen, Erdbeben. TUE. Bd. 16, 1975, pp. 41-44.*
- *Jordan, H. S. : Distribution of Plutonium Proc. of Environmental Plutonium Symp. LA 4756, août 1971, pp. 21-24.*

- Lindackers, K.H. et al.: *Kernenergie Nutzen und Risiko*, Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1970.
- Mayinger, F.: *Maîtrise des accidents dus à la perte des moyens de refroidissement et problèmes du refroidissement d'urgence ; journée d'étude de l'ASPEA sur la sécurité des centrales nucléaires*, nov. 1974, Zurich.
- McMaster, R.C.: *Nondestructive Testing in Nuclear Power Industry. Conf. on Nondestructive Testing in the nuclear Power Industry*, Sept. 23-25, 1974. TANSO 19, (suppl. 2), p. 1.
- Märkl-Stoll: *Rückführung von Plutonium in thermischen Reaktoren*, AtW Nr. 6, juin 1972, pp. 306-312.
- Merrit, W.F.: *IAEA-AM 207/98 (1976)*.
- *Possibilités d'utilisation de l'énergie solaire en Suisse ; production de chaleur ; publications de la GEK, étude N° 8, EDMZ, 1976.*
- Niehans, F.: *Langzeitaspekte der Umweltbelastung durch Energieerzeugung : CO₂ und H₃*. Centre de recherches nucléaires Jülich, Jül-1165, février 1975.
- Niehans, F., Voss, A.: *Modellsimulation zur Analyse der weltweiten Energieprobleme. Die Kälte ; 28^e année, 1975, cahiers 3 et 4.*
- *Neue Technik 9/75 NUCLEX, H. Mandel : « Die Bedeutung der Kernenergie für die künftige Entwicklung der Energieversorgung in der Bundesrepublik Deutschland ».*
- *Nuclear Engineering International, June 74, p. 445.*
- *Panel on Plutonium-handling, IEAE, oct. 72.*
- Pellerin, P.: *Reparaturmechanismen von Strahlenschäden, Atomwirtschaft, 1975, pp. 617-620.*
- Rasmussen, N.: *Probabilités et conséquences de graves accidents de réacteurs », Atomwirtschaft, N° 6/1976, pp. 286-292.*

- « *Report on Objectives, Concepts and Strategies for the Management of Radioactive Waste* », OECD/NEA, avril 1977, Paris.
- *Richmond, Ch. R. : Health effects of Plutonium, conférence AIF-Meeting, oct. 1974.*
- *Rippon, S. : The Rasmussen study on reactor safety. Nuclear Engineering International, décembre 1974.*
- *Schulz, E. H. : Vorkommnisse und Strahlenunfälle in kerntechnischen Anlagen, Munich (1966).*
- *Seipel, H. et autres : Ergebnisse der deutschen Reaktorsicherheitsforschung, Atomwirtschaft, N° 6/1976, pp. 302-306.*
- *Singer, S. F. : Human Energy Production as a Process in the Biosphere. Sc. Am., p. 175 (sept. 1970).*
- *Smidt, D. : Verminderung des Restrisikos in Druckwasserreaktor-Kernkraftwerken, Atomwirtschaft, N° 5/1976, pp. 253-259.*
- *Solar Energy Research at the Mechanical Engineering Department ; The Royal Scientific Society, Amman, Jordanie, décembre 1977.*
- « *L'énergie solaire et la politique énergétique suisse* », discours du conseiller fédéral *Willi Ritschard, Schönbühl, le 29 août 1977.*
- *Starr, C. et al. : Public Health Risks of Thermal Power Plants ; UCLA-ENG-7242 ; May 1972 and Nuclear News, Bd. 15, N° 10, oct. 1972.*
- « *Status of Commercial Nuclear High Level Waste Disposal* », EPRI NP-44-SR en septembre 1976, Paolo Alto, Californie, USA.
- *Streffler, D. : Strahlen-Biochemie ; Heidelberger Taschenbücher, Bd. 59/60, Berlin : éditions Springer, 1969.*
- *Stünkel, D. et al. : Stand und Entwicklung der Reaktordruckgefäße, Atomwirtschaft, Bd. 19, 1974, p. 530-536.*

- Sütterlin, L. : *Über die Gefährdung von Kernkraftwerken durch äussere Einwirkungen*, TUE, Bd. 16, 1975, pp. 38-40.
- Terrill, J. G. et al. : *Environmental Aspects of Nuclear and Conventional Power Plants*. Sel. Mat., pp. 185 ss.
USAEC-Staff : *Air Pollution in Perspective* ; Sel. Mat., pp. 135 ss.
- *Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants* ; WASH-740, U.S. Atomic Energy Commission, mars 1957.
- *United Nations, Report : Scientific Committee on the effects of Atomic Radiation ; Ionizing Radiation : Levels and Effects. I : Levels* UN 1972, N.Y.
- *United Nations Report : Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : Ionizing Radiation : Levels and Effects. II : Effects* UN, 1972, N.Y.
- *Utilisation de l'énergie solaire pour la production de l'électricité dans les Alpes ; série de publications de la Commission fédérale de la conception globale de l'énergie, étude N° 7*, EDMZ-Berne, 1976.
- *Uranium Resources, Production and Demand : A joint report by the OECD and Nuclear Energy Agency*, Paris : OCDE, 1977.
- Voss, A. : *Ungenutzte umweltfreundliche Energiequellen ? Elektrizitätswirtschaft*, 73^e année, 1974, N° 2.
- Wick, O. S. : *Plutonium-Handbook, a guide to the Technology* (1967).
- *World Energy Supplies, 1969-1972*, United Nations, Statistical Papers, Series J, N° 17, 1974.
- *Rapport intermédiaire de la Commission fédérale pour une conception globale de l'énergie (GEK)*, EDMZ-Berne, mai 1976.