

L'énergie nucléaire

Nuclear energy

SMAIL DJOUHRI^(*)

SMAIL DJOUHRI: L'ENERGIE NUCLEAIRE

Résumé :

Cette contribution, bien que centrée sur l'énergie nucléaire et aussi modeste soit-elle s'inscrit dans cette logique de débat planétaire : Produire l'énergie en quantité et qualité suffisante pose un défi mondial qui entraîne un énorme investissement. Cet investissement correspond à des choix des moyens et des choix de société en rapport avec le modèle énergétique le plus parfait possible qui offre la sécurité de l'offre, la propreté et l'abondance et surtout des coûts rationnels d'exploitation.

Le débat, loin d'être confiné dans des proportions nationales, se mondialise de plus en plus au regard notamment de l'indivisibilité de la planète par rapport aux dégradations massives de l'environnement par l'emploi excessive des énergies fossiles.

L'objectif de recherche consiste à explorer la filière énergétique nucléaire, et essayer de la connaître et de la comprendre pour voir dans quelle mesure elle pourrait constituer un levier pour accéder à un nouveau modèle énergétique et réussir l'entreprise de transition énergétique, autrement dit, le passage vers un modèle énergétique propre et renouvelable.

Abstract:

This contribution is part of a lively debate pertaining the production of sufficient quantities and qualities of energy resources, as a global challenge that requires tremendous amounts of investment and financial resources. Although such investment depends heavily on a society's choices, preferences and priorities, an energy model that ensures a plausible, persistent, abundant and clean sources of energy at reasonable costs is aspired by all societies.

This debate is no longer related to national considerations alone. Indeed, it has become of a global dimension given the fact that environment problems are global in nature, including climate change, environmental degradation, and natural disasters that have been deepening the problem of scarcity of natural resources. A scarcity that is mainly attributed to population growth and its accompanying increase of consumption of fossil fuels along with harmful methods of extractions.

This research paper seeks to highlight the nuclear energy sector and the extent of its contribution as an alternative source of energy. In other words, how nuclear power can constitute a significant pillar of a new energy model that relies more on clean and renewable energy.

^(*)– Maitre de Conférences A, Faculté des Sciences Politiques et Relations Internationales, Université d'Alger3.

Mots clés : Energie- Energie propre, Energie nucléaire, Stratégie énergétique, Sécurité énergétique.

Keywords: Energy; Clean energy; Nuclear energy; Energy security; Energy policy.

Introduction :

Au commencement, l'énergie était alors fournie par la force humaine et la force animale, par l'eau (la force hydrique) et le bois comme combustible (la chaleur du feu). La révolution industrielle qui est avant tout une révolution dans les affaires énergétiques, provoque une augmentation considérable de la demande et, donc, de la production industrielle qui se diversifie. Dès 1861, le charbon devient la source première d'énergie, supplantant le bois. Il conserve cette prédominance jusqu'au lendemain de la seconde guerre mondiale. Au XX^e siècle, la diversification des sources d'énergie s'accélère avec l'avènement du pétrole, qui devient dès lors, la source d'énergie principale après 1945 avec l'électricité.

L'énergie abondante et accessible fournie par le pétrole et le gaz ont boosté la consommation mondiale et le monde est devenu de plus en plus énergivore ⁽¹⁾. Cependant, les deux chocs pétroliers de 1973 et de 1980 ont freiné cette consommation qui se situait en 1980 autour de 6913 Millions de tonnes équivalent pétrole (MTEP), soit 23% d'augmentation en 7 ans, pour ensuite connaître à partir de 1986 une ascension fulgurante pour atteindre 8331 MTEP en 1998.

La cartographie de la consommation mondiale révèle que les pays industrialisés de l'Organisation de Coopération et de

FILE ISSUE :

**GLOBAL
ENERGY
SECURITY**

¹ - La consommation énergétique mondiale a été multipliée par 13,9 depuis 1900, alors que la population mondiale n'a été multipliée que par 4,7. Le monde a consommé 1060 millions de tonnes équivalent pétrole (MTEP) en 1914, un volume qui a progressé lentement jusqu'en 1939 ; la consommation s'est alors brutalement accélérée au lendemain de la seconde guerre mondiale pour atteindre 5597 MTEP en 1973, soit une augmentation de 42% en 59 ans.

développement économiques (OCDE), représentent 52% de la consommation mondiale ; l'Amérique du Nord, consomme à elle seule 27% de l'énergie mondiale à la fin des années 1990. Les pays d'Asie en développement affichent un niveau de consommation en augmentation constante depuis 1990, soit 20,7% de l'énergie planétaire. La Communauté des Etats indépendants (CEI) et d'Europe centrale représentent quant à elle 14,9% de la consommation totale. L'Amérique latine et l'Afrique restent de modestes consommateurs avec respectivement 5,6% et 2,8%. En 1997, la consommation des pays industrialisés a connu une majoration de 2,5%. L'énergie étant devenue bon marché et les prix du pétrole notamment ont connu une baisse remarquable atteignant même en 1998 les 11 dollars le baril.

Cependant, le rythme de consommation effréné et la focalisation sur une source d'énergie unique : les hydrocarbures fossiles dont les réserves sont limitées et qui provoques des effets de dégradations notables sur l'écosystème, va contribuer à alimenter un nouveau discours sur la nécessité de rechercher de nouvelles sources d'énergie pour pallier d'une part à la déficience programmée du pétrole et d'autre part sécuriser l'approvisionnement en énergie tout en recherchant l'abondance, la sûreté et la propreté.

Dés lors, le discours sur les énergies de substitution suscite, bien entendu, deux aspects qu'il vaudrait mieux séparer. D'une part, il s'agit de problèmes sociopolitiques concernant la légitimité des besoins, les taux de croissance à prévoir pour aller jusqu'au changement du mode de vie et de type de société, en vue de modérer la consommation et même la réduire drastiquement. D'autre part, ce sont des discussions techniques sur les meilleures sources d'énergie à adopter, leurs avantages et leur inconvénient, dans le cadre spécifique des pays concernés. Produire l'énergie en quantité et qualité suffisante pose un défi mondial qui entraîne un énorme investissement. Cet investissement correspond à des choix des moyens et des choix de société en rapport avec le modèle énergétique le plus parfait possible qui offre la sécurité de l'offre, la propreté et l'abondance et surtout des coûts rationnels d'exploitation.

Tous les pays du monde sont attentifs à ce grand débat sur la stratégie énergétique à adopter pour assurer la relève du pétrole et

garantir au mieux l'indépendance et la sécurité énergétiques. Le débat, loin d'être confiné dans des proportions nationales, se mondialise de plus en plus au regard notamment de l'indivisibilité de la planète par rapport aux dégradations massives de l'environnement par l'emploi excessive des énergies fossiles. Cette contribution, bien que centrée sur l'énergie nucléaire et aussi modeste soit-elle s'inscrit dans cette logique de débat planétaire. L'objectif de recherche consiste à explorer la filière énergétique nucléaire, et essayer de la connaître et de la comprendre pour voir dans quelle mesure elle pourrait constituer un levier pour accéder à un nouveau modèle énergétique et réussir l'entreprise de transition énergétique, autrement dit, le passage vers un modèle énergétique propre et renouvelable.

I- Connaître et comprendre l'énergie nucléaire

De toutes les énergies aujourd'hui exploitable, l'énergie nucléaire est probablement la seule à mériter pleinement la qualification de nouvelle. Bien que les transmutations artificielles d'éléments auxquelles elle fait appel aient, depuis des siècles, fait rêver les alchimistes, les premières n'ont été obtenues qu'en 1919, date à laquelle Rutherford changea en oxygène des atomes d'azote en les bombardant avec des noyaux d'hélium. Dans les années 30, les scientifiques ont découvert qu'il était possible de produire des quantités fabuleuses d'énergie en cassant les atomes d'un minéral rare, l'uranium. Mais il fallut attendre 1942 avant de voir Fermi produire de tels phénomènes à une échelle microscopique, dans le premier réacteur nucléaire.

1)- Réactions nucléaires : un processus de recherche scientifique et technique

De toutes les énergies aujourd'hui exploitable, l'énergie nucléaire est probablement la seule à mériter pleinement la qualification de nouvelle. Bien que les transmutations artificielles d'éléments auxquelles elle fait appel aient, depuis des siècles, fait rêver les alchimistes, les premières n'ont été obtenues qu'en 1919, date à laquelle

Rutherford changea en oxygène des atomes d'azote en les bombardant avec des noyaux d'hélium. Dans les années 30, les scientifiques ont découvert qu'il était possible de produire des quantités fabuleuses d'énergie en cassant les atomes d'un minéral rare, l'uranium. Mais il fallut attendre 1942 avant de voir Fermi produire de tels phénomènes à une échelle microscopique, dans le premier réacteur nucléaire.

Pour apprécier la portée de ces découvertes, il est nécessaire de rappeler brièvement quelques notions fondamentales. Les atomes, constituants de toute matière, sont formés d'un noyau, dont la charge électrique est un multiple Z d'une charge élémentaire positive et qui est entouré d'un nuage de Z électrons de charge négative. Les propriétés chimiques de l'élément dépendent essentiellement du nombre Z , appelé numéro atomique. Les réactions chimiques, comme la combustion du charbon ou du pétrole, mettent en jeu les forces électriques entre les électrons et le noyau, modifient la forme et la densité du nuage électronique et correspondent à des variations d'énergie de quelques électrons-volts par atome. Elles laissent les noyaux inchangés.

Jusqu'à ce qu'on découvre la radioactivité en 1896, on considérait les atomes, plus exactement les noyaux, comme des entités inchangées. On sait maintenant qu'ils sont formés de nucléons qui se divisent en deux espèces de masse égales : le neutron de charge électrique nulle et le proton de charge électrique positive. Il s'agit de ce qu'on appelle communément les isotopes qui désignent les différents rapports entre les neutrons et les protons.

L'uranium, combustible naturel pour produire l'énergie nucléaire possède ainsi deux isotopes principaux : l'uranium 238, avec 92 protons et 146 neutrons et l'uranium 235, avec 92 protons et 143 neutrons en proportions relatives de 99,27% et 0,73% ⁽²⁾. En réalité, les isotopes de l'uranium ne sont pas stables : leur noyau se transforme spontanément en un noyau d'une autre espèce, avec émission d'une particule chargée électriquement : c'est la radioactivité naturelle.

² - **L'énergie**, ouvrage collectif, éditions Bordas, Paris, 1981, p.14.

En dehors de ces isotopes principaux que l'on trouve à l'état naturel, chaque élément possède des isotopes instables que l'on peut créer artificiellement en bombardant des noyaux convenables par des projectiles tels que des neutrons ou des protons. Il s'agit de la radioactivité artificielle, découverte en 1934 par Irène Curie et Frédéric Joliot. Ce bombardement serait à l'origine des phénomènes de fusion et de fission nucléaires qui libèrent l'énergie nucléaire.

2)- Fusion et fission nucléaires

Certains noyaux atomiques lourds, lorsqu'ils sont percutés par un neutron, se cassent en deux noyaux moyens en émettant des neutrons. Cette réaction dite de fission induit un dégagement d'énergie considérable équivalent à une perte globale de masse suivant la relation $E=mc^2$. Les neutrons émis peuvent alors percuter d'autres noyaux lourds, lesquels se cassent à leur tour, initiant ainsi une réaction en chaîne, explosives dans les bombes nucléaires et contrôlée dans les réacteurs industriels pour la production de l'énergie de fissions à des fins civiles. Bombes et réacteurs contiennent une masse critique de combustible fissile, dans laquelle la réaction en chaîne s'initie et s'entretient spontanément (le combustible employé est de l'uranium 235 ou du plutonium 239) ⁽³⁾. Il faut noter que pour obtenir la fission des atomes lourds, étant donnée la grandeur de leur charge électrique, il n'est possible d'utiliser que des projectiles lourds et à charge électrique neutre, c'est-à-dire des neutrons.

En plus de la fission, on peut tout aussi obtenir de l'énergie par fusion en associant deux noyaux légers, qu'il faut rapprocher suffisamment pour que les forces nucléaires de liaisons rentrent en jeu et vaincre auparavant les forces électriques répulsives. Même avec des noyaux portant la charge la plus faible, il faut leur donner des vitesses correspondant à des températures de plusieurs dizaines de millions de degrés. L'action des neutrons sur les noyaux pour produire l'énergie nucléaire par fission ou par fusion, en quantités industrielles, destinée à des emplois civile ou militaire, suppose la mise en place de toute une

³ - **Encyclopédie Larousse**, éditions Larousse, 1999, p.360.

infrastructure technoscientifique d'un niveau de complexité que seuls certains pays industrialisés peuvent parfaitement maîtriser.

3)- Les centrales nucléaires et les réacteurs nucléaires

C'est des centrales à vapeur productrices d'énergies électrique, dans lesquelles la source primaire d'énergie calorifique est un réacteur nucléaire. Ces réacteurs utilisent pour la plupart de l'uranium 235, sont tous actuellement des réacteurs à fission dans lesquels des atomes d'uranium ou de plutonium se cassent en deux éléments de masses atomiques moyennes avec émission concomitante de neutrons rapides dont le ralentissement ultérieur produira la chaleur (un gramme d'uranium enrichi produit autant de chaleur que 300 Kg de charbon). Les neutrons émis doivent être ralentis par un modérateur afin d'augmenter la probabilité de leur capture par d'autres atomes d'uranium dont ils provoquent alors la fission. En effet, les premiers réacteurs construits notamment aux Etats-Unis, étaient destinés d'abord à produire du plutonium à usage militaire, utilisant comme combustible, l'uranium naturel. Ces réacteurs de première génération sont de plus en plus déclassés au profit de réacteurs modernisés pour produire plus d'énergie et plus de sécurité.

Les réacteurs modernes utilisent le même fluide pour extraire la chaleur du réacteur et pour jouer le rôle de modérateur. Il arrive que l'eau lourde de modération permette d'utiliser directement de l'uranium naturel ne contenant que 0,7% d'uranium 235. Dans la grande majorité des cas, cette eau est maintenue sous forte pression : elle ne se vaporise pas et circule en circuit fermé sur un échangeur-vaporisateur où s'élabore la vapeur énergétique, qui n'est pas radioactive.

Dans toutes les centrales du monde à l'exception des centrales nucléaires de première génération à l'instar de Tchernobyl, la partie nucléaire de la centrale (réacteur, circuit d'eau primaire, échangeur-vaporisateur échangeur : appareil destiné à réchauffer ou à refroidir un fluide au moyen d'un autre fluide circulant à une température différente) est placé dans une enceinte de confinement en béton fortement armé, donc totalement séparé de la partie énergétique non radioactive. Cette partie est analogue à celle d'une centrale thermique

classique, sans être identique car les réacteurs actuels sont incapables de produire de la vapeur aux mêmes caractéristiques élevées de température et de pression que les chaudières à combustibles. Ainsi, une succession de génération de réacteurs ont été mis en place pour remplacer les plus archaïques. Il y a eu des réacteurs à neutrons lents, puis les réacteurs à neutrons rapides et les surgénérateurs.

Le renouvellement des réacteurs a pour objectif d'améliorer constamment le rendement électrique. On agit sur la réactivité du cœur au moyen de barreaux mobiles absorbeurs de neutrons ou en introduisant de l'acide borique dans l'eau du circuit primaire. Cependant le principe de base du fonctionnement d'un réacteur s'apparente à une chaudière sophistiquée dont la chaleur peut-être utilisée à l'état ou pour produire l'énergie mécanique à l'aide d'une turbine. Bien entendu, ceci exige un personnel hautement qualifié et des dispositifs de protection fiables et complexes.

Encore faut-il à la base de cette architecture complexe disposer d'un ancrage consistant en matière de recherche fondamentale, la seule à même qui autorisera le cumul de connaissances dans le champ de recherche nucléaire pour une potentielle reconversion en applications technologique : un réseau d'instituts, de centre de recherches nucléaires appliquées, des laboratoires spécialisés. Il doit être mis en place et dédié exclusivement pour étudier le comportement de l'atome, comprendre le mécanisme de fission, intermède incontournable à sa maîtrise pour la production de l'énergie à des fins civiles et\ ou militaires. Cela commence par la mise en place d'un tissu de centrales nucléaires et des réacteurs nucléaires pour contrôler la filière de l'énergie d'origine atomique.

II- Les applications civilo-militaires de l'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire est une énergie duale, c'est-à-dire civilo-militaire, autrement dit, elle se prête à des applications civiles et militaires. En réalité, entre le taux d'enrichissement civil et militaire, **il existe un différentiel de quantité et non de qualité**. Le différentiel se rapporte à un degré d'enrichissement de l'uranium ou tout autre

combustible. Un taux qui ne dépasse pas les 20% ne peut être destiné qu'à des fins pacifiques. Par contre, un taux d'enrichissement à 90% pourra produire l'eau lourde pour la fabrication d'une bombe atomique à fission nucléaire.

1) - Les dividendes militaro-stratégiques de l'énergie nucléaire

En dépit de l'arsenal juridique mis en place pour interdire, non pas l'arme nucléaire en elle-même, mais plutôt de sa prolifération, personne n'est en mesure de nier l'importance stratégique de l'arme nucléaire couplée bien évidemment à ses vecteurs de lancement. Et ce n'est pas les Pays Doté d'Armes Nucléaires (PDAN), selon le concept consacré par le TNP depuis 1968 qui pourront prouver le contraire. Ces pays disposent d'un arsenal nucléaire et entendent le conserver car il représente un outil de dissuasion qui garantirait la préservation de leurs intérêts vitaux contre tout formes d'agressions. Cette discrimination qui consiste à valoriser l'arme nucléaire chez soi et chercher par divers verrous mis savamment en place, à en interdire l'accès aux autres, prouvent que l'atome militaire reste hautement stratégique et porteur de dividendes lourds.

En effet, en matière de sanctuarisation défensive, l'atome militaire peut octroyer à son propriétaire un pouvoir dissuasif déterminant capable à lui seul de décourager toute agression militaire massive. Cela, va produire des effets structurants et sur la stratégie militaire, en la recentrant essentiellement sur la fonction de dissuasion nucléaire et également, sur le système militaire en le réorientant vers des missions autres que la guerre avec ce que cela suppose comme modularité et polyvalence d'emploi.

D'abord, l'arme nucléaire est un instrument de dissuasion non conventionnelle. Un territoire couvert par l'atome militaire ne peut faire l'objet d'une entreprise d'agression émanant d'une autre entité étatique. L'ampleur des dommages résultant d'une montée aux extrêmes et d'une riposte nucléaire seraient inacceptables pour tout candidat agresseur. Dès lors, l'arme nucléaire serait une arme de non emploi, elle sert

beaucoup plus à exercer une dissuasion stratégique qui consiste, par une communication psychologique, à amener ce candidat agresseur à renoncer volontairement à tout projet d'agression. La défense serait dès lors, une forme d'emploi virtuel de l'arme atomique pour décourager tout projet d'agression de manière à forcer l'agresseur psychologiquement au renoncement ⁽⁴⁾.

La posture stratégique défensive entretient donc un rapport étroit avec la notion de dissuasion. La défense efficace consiste à démontrer par l'importance des moyens mobilisés, y compris non conventionnel, par la résolution qu'affiche le décideur politique, que l'adversaire devra, pour réussir dans son entreprise d'agression, engager des moyens considérables, bien supérieurs aux bénéfices qu'il compte récolter de son action. Le nucléaire militaire permet de construire l'invulnérabilité du territoire sur le **déni de l'enjeu et l'improductivité de l'agression**.

En effet, la dissuasion nucléaire si chère aux pays dotés d'armes nucléaires reste le mode stratégique qui consiste à capitaliser le potentiel de riposte nucléaire tout en souhaitant ne pas être obligé à l'utiliser. La stratégie de dissuasion serait donc la négation de la stratégie d'action. Le recours à cette dernière traduirait une situation d'échec de la dissuasion en tant que stratégie douce (soft).

La doctrine de dissuasion nucléaire se fonde essentiellement sur l'existence **d'un risque prohibitif** et la faible espérance de gain. Ceci explique en partie pourquoi la dissuasion classique, contrairement à la dissuasion nucléaire, reste instable et éphémère sauf si on est capable d'afficher une supériorité indiscutable en matière de système de forces et systèmes d'armes et cela d'une manière constante et indéfectible.

La dissuasion nucléaire est un mode préventif de la stratégie d'interdiction qui se donne pour but de détourner un candidat agresseur d'agir militairement en le menaçant de représailles nucléaires calculées de telle sorte que leurs effets physiques probables constituent, à ses

⁴ - François Géré, **Dictionnaire de la pensée stratégique**, Editions Larousse-Bordas, Paris, 2000, p. 71.

yeux, un risque inacceptable eu égard aux finalités politiques motivant son initiative ⁽⁵⁾. Il s'agit de produire un effet psychologique sur le politique adverse. Mais l'effet dissuasif se veut radical : effet d'inhibition sur la volonté hostile dont les velléités d'agir doivent être bloquées avant l'amorçage de l'action d'agression. Par conséquent, la possession d'une arme nucléaire et de ses vecteurs de lancement ⁽⁶⁾ effacerait de facto tout le spectre des menaces qui pèsent sur les intérêts vitaux de tout Etat qui s'estime menacé dans son existence et sa survie.

En effet, l'arme nucléaire, qui autoriserait le passage d'une dissuasion conventionnelle problématique vers une dissuasion nucléaire indéfectible et contrairement aux autres armes fabriquées auparavant, n'est pas une arme militaire de bataille ⁽⁷⁾. Il s'agit certes d'une innovation technico-militaire de rupture, mais dont la finalité reste, aussi paradoxale que cela puisse paraître, justement le non-emploi. Ainsi, ce type d'arme détenu actuellement par un cercle restreint de pays dotés d'armes nucléaires, se conjugue uniquement au mode dissuasif. Autrement dit, cette arme à caractère stratégique est porteuse d'une charge psyco-communicationnelle « négative », car destinée à interdire qu'une volonté politique hostile décide de s'en prendre à ce qui s'apparente au strictement vital d'un autre pays.

Un duel de volontés contradictoire s'installe entre les protagonistes : pour l'agresseur, accepter le risque, parce qu'il l'estime non prohibitif ou non crédible, ou le refuser et s'abstenir ; pour le dissuadeur, il s'agit de décider ou non l'exécution de sa menace affichée quand il estime sans équivoque sa survie compromise, réagir ou capituler.

⁵ - Gérard CHALIAND et Arnaud BLIN, Dictionnaire de stratégie militaire, Editions Perrin, 1998, p.181.

⁶ - Il est évident que l'arme nucléaire n'a aucune plus-value militaire sans les vecteurs balistiques de propulsion.

⁷ - Cette doctrine de non-emploi connaît actuellement en Occident un fléchissement vers une doctrine d'emploi tactique, c'est-à-dire un emploi contre des cibles sélectionnées rendu possible par la précision des vecteurs sans induire pour autant de dommages collatéraux.

Toutefois, sous couvert de satisfaire les conditions de crédibilité et de détermination, la dissuasion est toujours opérante. Cette affirmation sans équivoque s'assoit sur des postulats de base qui renseignent sur le comportement d'un éventuel agresseur. Le premier est qu'il soit **convaincu par notre détermination** à lui occasionner des dommages irréversibles sans commune mesure avec les gains qu'il espère retirer de son entreprise d'agression. Le second renvoie justement au présumé **de rationalité** qui doit guider son action et qui le dissuaderait d'entreprendre toute action qui s'apparenterait à un pari redoutable, voire suicidaire. Tout acteur ou décideur politique est un calculateur en puissance, et de ce fait, l'évaluation des gains que peut générer une agression militaire lourde et les pertes induites par une riposte nucléaire produiraient inmanquablement un effet d'abstention.

Dans ce cas de figure, la dissuasion aurait pleinement joué et se transformerait par effet de cumul, en un ressort essentiel pour prévenir la guerre et conforterait la paix et la stabilité des Etats. La seule détention de l'arme nucléaire par un pays pacifique suffirait à adresser un signal politique fort que tous les antagonistes potentiels vont systématiquement décrypter.

Ces atouts qui autorisent chaque pays maîtrisant le cycle d'enrichissement du combustible atomique à des fins militaires sont particulièrement recherchés par les pays qui s'estiment vulnérables à des atteintes graves à leur existence qu'entités politiques autonomes. Ceci explique les verrous d'interdiction d'ordre juridique, technologique et même coercitifs, mis en place par les grandes puissances pour d'une part, priver les autres d'accéder à l'énergie nucléaire à caractère militaire et d'autre part pouvoir conserver ce qu'ils interdisent aux autres : c'est-à-dire un arsenal de dissuasion nucléaire militaire.

2)- Les applications civiles de l'énergie nucléaire

L'application majeure de l'énergie nucléaire reste foncièrement militaire. En effet, dès la découverte de l'énergie non conventionnelle dégagée par la fission de l'atome lourd, l'homme a d'abord pensé à en

faire un usage militaire. L'équipe de scientifiques dirigée par Oppenheimer dans les laboratoires de Los Alamos en Californie ont reçu pour mission de concevoir, fabriquer et expérimenter un engin militaire de type nucléaire. C'est la mission que le groupe a menée avec succès et qui a abouti à la mise en œuvre d'une bombe stratégique qui a, à elle seule, mis fin au second conflit mondial.

Les applications civiles, une fois satisfait le besoin militaire, sont venues par défaut ou en complément. L'énergie nucléaire ne peut servir juste à dissuader et annuler en quelque sorte la guerre clausewitzienne. Elle peut tout autant produire une énergie abondante et propre (1 tonne d'uranium naturel fournit la même quantité d'électricité que 9000 tonnes de pétrole), indispensable à l'humanité pour répondre aux besoins énergétiques sans cesse croissants. Un réacteur à eau pressurisé (REP) peut fournir en continu, l'équivalent de 900 mégawatts électriques, produisant ainsi une énergie thermique (la chaleur) estimée à 2800 MW thermiques. Elle correspond à celle qui est fournie par la combustion d'une tonne de fioul toutes les 15 secondes. Si l'électricité correspondante était fournie par une centrale fonctionnant au fioul, la pollution dégagée serait supérieure à celle émanant de 10.000 camions, roulant en permanence et à vive allure ⁽⁸⁾.

Toutefois, il faut expliquer que la production de l'énergie nucléaire à des fins civiles s'apparente plus à un processus technique de contrôle de la fission pour la maintenir dans des proportions qui répondent aux besoins d'énergie civile. En effet, l'uranium empilé, sous forme de pastille d'oxyde, dans un certain nombre de barres de combustibles de 3,7 mètres de hauteur et de 1 cm de diamètre remplit facilement son office : il se fissionne. Ce faisant, il dégage de la chaleur. Certains des atomes percutés à la bonne vitesse par des neutrons issus de fissions antérieures, se coupe en deux éléments principaux, appelés produits de fission et émettent à leur tour, deux ou trois neutrons. La somme des masses de ces fragments et des neutrons libérés étant inférieure à la masse du noyau initial, il y a défaut de masse, donc

⁸ - Général Etienne Copel, Le nécessaire et l'inacceptable, éditions Balland, 1991, P.62.

libération d'énergie conformément à la fameuse formule d'Einstein : $E=mc^2$ ⁹.

La réaction se poursuit, car les neutrons émis vont percuter d'autres noyaux d'uranium, créer d'autres fissions, elles-mêmes génératrices d'autres neutrons. C'est le principe de la réaction en chaîne valable pour les applications civiles et militaires. **Cependant, dans le domaine civil, il y a un calibrage dans le processus de production thermique, et contrairement à l'atome militaire, la réaction ne s'emballe pas car les concepteurs des centrales nucléaires civiles ont prévu d'absorber l'excès de neutrons.** Pour cela, ils ont installé dans le cœur des produits dit « neutrophages » qui ont la caractéristique d'absorber facilement l'excédent de neutrons sans se fissionner.

En dépit du risque nucléaire qui suppose un gros investissement en matière de sûreté nucléaire et qu'on va développer plus loin, l'énergie nucléaire a une **contribution essentielle** à apporter à la satisfaction des besoins humains essentiels et au développement durable : dans les domaines de la santé, de l'industrie, de l'agriculture, de l'accès à l'eau, notamment le dessalement de l'eau de mer pour atténuer le stress hydrique et à la production de l'énergie électrique.

De plus, le combustible nucléaire produit une énergie qui n'émet pas de gaz à effet de serre. Dans un contexte de lutte contre le réchauffement climatique, l'énergie nucléaire constitue une des solutions pour respecter les engagements pris par différents Etats, de réduire leurs émissions de CO₂ (¹⁰). En effet, la théorie de l'effet de serre favorise l'adoption d'un modèle énergétique à base de nucléaire. Dans une serre, les rayons du soleil pénètrent facilement à travers les vitres et viennent

⁹ - lorsqu'un corps perd une masse, il se produit un dégagement d'énergie égal au produit de la masse perdue.

¹⁰ - Aujourd'hui **64 réacteurs nucléaires sont en construction** dans le monde, dont près des deux tiers en Asie. Il existe actuellement 435 réacteurs nucléaires dans le monde qui fournissent 15 % de l'électricité. Pour plus d'informations : <http://nucleaire.cea.fr/fr/environn...>

chauffer le sol. Cependant, cette chaleur reste, pour l'essentiel, piégée à l'intérieur de la serre augmentant ainsi la température interne. Le phénomène est généralisable à l'ensemble de la planète. La terre reçoit des calories du soleil qu'elle propage sous forme de chaleur qu'elle renvoie vers l'espace, tout en gardant une partie grâce à un effet de serre, ce qui permet de garder une température clémente, idéale pour la prolifération de toutes les formes de vie et éviter la glaciation et le refroidissement.

Ainsi, l'effet de serre serait un phénomène tout à fait naturel, seulement son accentuation va dérégler tout l'écosystème de la planète. L'activité de l'homme en général et la surconsommation d'énergies à fort potentiel de pollution, vont produire des gaz à molécules lourdes comme le méthane, les composés fluo-carbonés (CFC), responsable du trou constaté dans la couche d'ozone, les oxydes d'azote et surtout le gaz carbonique (CO₂). Ce dernier, joue un rôle particulièrement important dans l'effet de serre : l'augmentation de sa teneur dans l'atmosphère se traduit par une croissance de la température à la surface de la terre. En effet, l'analyse de la composition atmosphérique des millénaires passés confirme pleinement le lien de causalité entre production excessive de CO₂ et réchauffement planétaire.

D'après les scientifiques, la température à la surface de la terre a augmenté de 0,6 degré depuis le début de l'ère industrielle. Ce réchauffement est confirmé par le recul des glaciers sur toute la surface du globe, l'accroissement de la dérive des icebergs et de la vital de fragmentation des banquises. Cela pourrait dans un proche avenir induire un accroissement substantiel des niveaux des mers et des océans et constituer un risque d'inondation des terres basses. Par effet d'enchaînement, cela réduirait l'espace vital de l'activité de l'homme et provoquerait des exodes massifs des populations et induire conséquemment des tensions, voire des conflits violents.

Dés lors, si l'homme ne changera pas de modèle énergétique, la fonte des glaciers se poursuivra, couplée à la dilatation des océans, il en résultera une élévation du niveau des mers de 30 à 60 cm par rapport au

niveau actuel à la fin du siècle présent. La remontée des eaux submergera les terres basses comme le Bangladesh, la Hollande, les Deltas des grands fleuves (Nil, Niger...), et de nombreux atolls et îles situés au niveau actuel de la mer. De plus, les cyclones qui se forment au niveau des eaux chaudes seraient plus fréquents. On peut, en outre s'attendre à une plus grande aridification du Sud de l'Europe et du pourtour méditerranéen. En revanche, des pluies diluviennes seront enregistrées dans les zones tropicales.

Dans tous les cas de figure, l'inégalité entre le Nord et le Sud devrait s'approfondir notamment les pays périphériques qui sont les moins producteurs de CO₂ et qui en pâtiront plus de ce dérèglement climatique car ils sont moins préparés à s'adapter et trouver des réponses à ce défi écologique. La solution structurelle consiste pour l'homme à changer de comportement au travers l'adoption d'un nouveau modèle de consommation énergétique. L'énergie nucléaire présente à cet égard une option alternative sérieuse et fiable car elle est propre et ne dégage pas de CO₂ dans l'atmosphère.

Il s'agit donc d'une énergie compatible qui de ce fait doit-être systématiquement recherchée au regard du syndrome de la dégradation de l'environnement induit par le phénomène d'effet de serre et le réchauffement de la planète, la montée des eaux et le dérèglement climatique qui se traduit par la multiplication des risques majeurs d'ordres naturelle et écologique. En 1997, à la conférence mondiale de Kyoto sur les changements climatiques, les grands pays industrialisés ont décidé de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, ce qui renforce la position des partisans du nucléaire civil, les centrales nucléaires ne rejetant aucun composant de ce type.

En outre, ce qui renforce l'attractivité de l'énergie nucléaire et sa compétitivité, le fait que les énergies fossiles dégagent des gaz nocifs lors de leur combustion, ils sont donc hautement polluants et peuvent provoquer des effets déstabilisants irréversibles à l'écosystème. De plus, les réserves sont fongibles et sont fatalement appelés un jour, une fois les réserves taries, à disparaître. Par ailleurs, les énergies

renouvelables ont pour source les forces naturelles notamment la lumière du soleil. En effet, la majeure partie de l'énergie de la planète provient directement de la lumière et de la chaleur du soleil. Il y a aussi le mouvement de l'eau sous forme de vague, de marée et de rivières, celle du vent contient également de l'énergie qui peut faire tourner les turbines pour produire de l'électricité. L'énergie géothermique par contre fait appel à la chaleur provenant des entrailles de la terre.

Ces énergies renouvelables ont pour avantage de durer aussi longtemps que le soleil brillera, que le vent soufflera et qu'il y aura des vagues et des rivières. Ces énergies propres, c'est-à-dire non polluantes ne dégrade pas l'environnement et offrent des garanties de sécurité. Cependant, la construction des centrales entraîne des coûts prohibitifs et peut s'avérer inaccessible pour tous et peut donc creuser davantage les inégalités pour la consommation de l'énergie.

Un autre facteur peut rendre l'énergie d'origine nucléaire comme une énergie d'avenir. Il renvoie à la pénurie ou les couts prohibitifs des autres sources d'énergie. En effet, la surconsommation de l'énergie est une réalité incontestable. La production globale n'a cessé d'augmenter depuis 1945, du fait de découverte de nouveaux gisements pétrolifères. L'idée d'une pénurie d'énergie durant le XXI^e siècle est invalidé par l'ampleur des réserves prouvées, autrement dit, celles qu'on estime économiquement et techniquement exploitables qui permettent la satisfaction des besoins sans cesse grandissant de l'humanité durant ce siècle. Selon les estimations, elles sont de 45 ans de consommation pour le pétrole, 250 ans pour le charbon, 57 ans pour le gaz naturel, 60 ans pour l'uranium. On estime qu'en 2020, le charbon entrera pour 34% dans l'approvisionnement énergétique mondiale, le pétrole et le gaz naturel pour 38%, l'hydraulique pour 5%, le nucléaire pour 12%, et les autres formes d'énergie, dites nouvelles pour 36%, mais il ne s'agit là que de projection prévisionnistes qui n'ont qu'une valeur indicative ⁽¹¹⁾.

¹¹ - Bilan énergétique, in Encyclopédie Larousse, éditions Larousse 1999, p. 91

La fongibilité des énergies fossiles, couplée à leur fort potentiel de pollution à l'origine prouvée des dérèglements climatiques et les cascades d'aléas naturels conséquemment à l'accentuation du phénomène d'effet de serre favorise le passage vers un nouvel modèle énergétique alternatif pour se substituer au modèle basée sur les hydrocarbures fossiles. La question reste de configurer ce nouvel modèle et le construire sur la base d'une constellation de sources d'énergies renouvelables et non renouvelables. Au sein de ce bouquet énergétique, il y a lieu de définir la place et le poids de l'énergie nucléaire et sa contribution à la mise en œuvre d'un modèle alternatif qui pourrait coupler entre fiabilité, propreté et durabilité.

Par conséquent, la communauté internationale doit donc s'efforcer de faire partager ou démocratiser le bénéfice des utilisations civiles de l'atome civil, dont la cartographie actuelle est pour l'essentiel focalisée dans l'hémisphère nord de la planète, privant le reste de l'humanité de cette source d'énergie propre et rentable qui pourra apporter énormément de solutions aux problèmes de développement dans les pays en voie de développement.

Seulement, cette énergie propre, et plus qu'une quelconque autre source d'énergie et qu'elle soit appliquée dans le domaine civil ou militaire est porteuse d'un fort potentiel de risque, qui mal maîtriser pourrait invalider les atouts de cette énergie non polluante et entraîner des conséquences graves sur l'homme et l'environnement.

III : les contraintes majeures d'ordre technique de l'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire, bien qu'elle présente une alternative fiable aux énergies fossiles, reste tout de même porteuse de risques réels et induit des charges qu'il faudrait correctement assumer pour prévenir les catastrophes nucléaires. Parmi ces contraintes, gérer les déchets nucléaires liquides ou solides et leur apporter des réponses sûres et pérennes.

1- Les déchets radioactifs

Le déchet, par définition, désigne « tout résidu d'un processus de production, de transformation, d'utilisation de toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon »... ⁽¹²⁾, et qui, de ce fait ne peut-être récupérer ou recycler pour lui donner une seconde vie.

Toutes les industries produisent des quantités de déchets considérables, qui sont déposés dans des décharges réglementées, soit à l'état brut, soit après des traitements spécifiques destinés à en réduire le volume et la nocivité ou à les recycler. Les déchets industriels les plus « gérables », sont les déchets solides, peu ou prou solubles. En revanche, d'autres types de déchets industriels dangereux sont impérativement orientés vers des décharges adaptées. Une activité industrielle de retraitement s'est développé avec, pour objectif, la destruction de la majeure partie de ces déchets, ainsi que leur désintoxication, de façon à rendre plus facile le stockage des résidus. Cependant, les combustibles nucléaires irradiés qui, après épuisement, posent les problèmes les plus sérieux en la matière.

Les déchets nucléaires sont généralement produits par les réacteurs nucléaires, les usines de retraitement de combustibles irradiés, les installations d'extraction et de concentration de minerai d'uranium, des usines de fabrication d'éléments combustibles et les centres d'études, les hôpitaux et d'autres industries. Les déchets peuvent être solides ou liquides. Pour classer les premiers, on prend en compte la période radioactive des radioéléments qu'ils contiennent, période qui conditionnent la durée de leur toxicité et la nature des rayonnements émis ainsi que le niveau de leur radioactivité. Ainsi, on distingue les déchets nucléaires de courte durée de vie (moins de 30 ans) et longue durée de vie quand la période de toxicité radioactive dépasse le seuil de cette période.

¹² - Centre National de la Recherche Scientifique, **Aspects du droit de l'énergie atomique**, éditions CNRS, 1965, p.152.

Dès lors, la période radioactive est un élément important dans la classification des déchets radioactifs. En ce qui concerne les déchets nucléaires produits dans les différentes installations nucléaires, elles se répartissent en deux catégories : liquide et solides.

En effet, la production d'électricité par le biais de l'énergie nucléaire produit des déchets dont le volume est faible mais dont la radioactivité peut représenter une menace pour l'environnement et les êtres vivants et cela pour des périodes qui peuvent s'étaler sur des siècles. C'est pourquoi les déchets radioactifs issus des activités nucléaires doivent faire l'objet d'une gestion rigoureuse et transparente, adaptés au type de déchets concernés. Le cycle de prise en charge des déchets nucléaires commence par la phase de récupération de ces résidus radioactifs après l'emploi du combustible nucléaire, notamment au niveau des centrales nucléaires. Cela suppose un conditionnement dans des contenants hermétiques et hautement résistant à toutes formes de choc physique ou autres vibrations majeures durant le transport. La seconde phase consiste justement à acheminer ces déchets toxiques vers les centres d'enfouissement technique. Cela suppose la mise en place et l'application de tout un protocole de sécurité contraignant pour les acheminer dans les meilleures conditions de sûreté vers les zones de confinement.

Dés lors, il s'agit de stocker ces résidus radioactifs dans des fosses souterraines pouvant atteindre des centaines de mètres de profondeur. La construction de sarcophages en béton armé pour définitivement isoler ces produits nocifs et prévenir toutes infiltrations des eaux de la nappe phréatique ou exfiltrations vers l'extérieur du sarcophage. En dépit de ces précautions, le risque d'exfiltration reste probable sur des périodes longues et par l'effet de l'érosion et des eaux. Par conséquent, un système de contrôle et de suivi périodique doit être mis en place pour interdire toute propagation de la radioactivité et la pollution de la terre et des eaux. Ces mesures de protection et de confinement supposent des investissements lourds et des coûts exorbitants en plus d'une maîtrise technologique parfaite et une veille permanente.

2- Les risques induits par la radioactivité

En plus des déchets radioactifs, l'énergie nucléaire est productrice de radioactivité ambiante, qui mal maîtrisée pourrait s'avérer hautement nocive pour la santé publique. En effet, toute source radioactive émet des rayonnements qui peuvent induire des irradiations aux corps vivants qui en sont exposés. Il s'agit d'une irradiation externe. La distance entre le corps et la source radioactive peut augmenter ou diminuer la densité des irradiations. La disposition d'écran de protection pour diminuer, voire supprimer l'irradiation est obligatoire, à condition que ces isolateurs soient adaptés à l'intensité de l'irradiation. La période d'exposition joue également un rôle important en la matière.

Les effets pathologiques de l'irradiation seront encore plus importants en cas de contamination de l'air par une source de radiation. En effet, des éléments radioactifs peuvent être rejetés accidentellement dans l'air extérieur. Ils sont transportés au gré des vents, souvent très loin du lieu d'émission initiale. En respirant cet air irradié, nous absorbons certaines des particules radioactives véhiculées par l'air, il s'agit d'une inhalation d'éléments radioactifs qui peut provoquer des maladies chroniques notamment au niveau de l'appareil de respiration. En parallèle, une certaine quantité de particules radioactives véhiculée par l'air se dépose sur le sol, sur les végétaux, dans l'eau, ce qui provoque la contamination de l'environnement. La consommation de fruits, légumes ou autres produits de consommation sur lesquels sont déposées ces particules radioactives peut favoriser l'apparition de maladies radio-induites.

Les particules radioactives inhalées ou ingérées circulent dans l'organisme et vont se fixer temporairement sur certains organes du corps, ce qui provoque une contamination interne de l'organisme. Ces éléments radioactifs véhiculés par l'air ambiant peuvent tout aussi se déposer sur la peau ou traverser l'épiderme par une déchirure de la peau et pénétrer ainsi dans l'organisme. Il s'agit d'une autre voie de pénétration possible pour occasionner une contamination radioactive interne. Le radioélément fixé dans les organes internes peut faire l'objet d'une élimination biologique par le métabolisme après une certaine

période qui varie selon l'état de santé et le système immunitaire du sujet contaminé. En tout état de cause, les effets de radiation peuvent disposer d'assez de délais pour nuire au bon fonctionnement des organes internes de l'organisme.

3- Les conséquences pathologiques des irradiations internes :

En attente de leur élimination biologique progressive à travers les rejets solides ou liquides de l'organisme ⁽¹³⁾, les éléments radioactifs qui ont colonisé certains organes internes ou circulent dans le sang continuent évidemment d'émettre des radiations, et ce type de radiation interne (dont la source est interne) est particulièrement nocif comparé aux effets de la radiation externe. Le plutonium à titre indicatif peut s'avérer dans un environnement extérieur, pratiquement inoffensif, car il serait incapable de perforer la couche de peau morte qui recouvre l'épiderme. En revanche, installé à l'intérieur de l'organisme, sans aucun écran protecteur, il va irradier directement les cellules des tissus dans lesquels il s'est fixé (os, poumons...).

En tout état de cause, que la source radioactive soit interne ou externe à l'organisme, fixée sur un ou plusieurs organes, elle continue d'émettre des radiations qui vont irradier les tissus des organes internes. En effet, l'interaction des rayonnements avec le milieu irradié se traduit par un transfert d'énergie du rayonnement au matériau irradié. Ce transfert d'énergie va générer tout une chaîne de phénomènes, dont la première étape est la création d'ionisations et d'excitations d'atomes et qui, s'agissant de tissus d'organismes vivants, aboutira à des lésions tissulaires et des effets pathologiques lourds ⁽¹⁴⁾.

L'action biologique de la radioactivité au sein de l'organisme peut se décliner d'abord sous forme d'interactions physiques, suivis de

¹³ - Ces rejets du corps peuvent servir de révélateurs d'une contamination radiologique interne et cela au travers la mesure du taux de radioactivité.

¹⁴ - D.J. GAMBINI et R. GRANIER, Manuel pratique de radioprotection, éditions Médicales Internationales, Paris 1992, p.56.

réactions chimiques qui provoquent des lésions moléculaires. Si les molécules altérées sont des éléments importants d'une cellule vivante, cela peut provoquer une perturbation fonctionnelle de la cellule. Parmi les dommages que peut ainsi subir une cellule, la détérioration de l'ADN, support du patrimoine héréditaire, serait le dommage le plus grave. En cas de non réparation, il en résulte une cellule modifiée avec des caractéristiques cancérigènes qui, a conservé tout de même intact son pouvoir de reproduction. L'information génétique peut ainsi être modifiée et cette modification devient transmissible par hérédité.

Dans l'hypothèse où beaucoup de cellules d'un tissu ou d'un organe sont atteintes, le fonctionnement de celui-ci peut-être irréversiblement détruit, d'où l'apparition en stade terminal des maladies cancéreuses. Cependant, les effets induits par l'altération structurelle des cellules qui occasionnent des pathologies graves sur l'homme ne sont pas homogènes. Ils varient selon les organes ou les tissus irradiés car la radiosensibilité varie en fonction de la nature des tissus. Ainsi, la date d'apparition de l'effet peut-être plus ou moins rapprochée ; quelques effets sont quasi immédiats ou précoces (quelques jours ou semaines). D'autres par contre sont différés et peuvent survenir après plusieurs années comme la leucémie, ou plusieurs dizaines d'années comme les cancers ou plusieurs générations comme les maladies génétiquement transmissibles ou les déformations congénitales.

Cependant, les effets cancérogènes seraient le centre des préoccupations des chercheurs en matière de maladies radio-induites. Ils résulteraient du cumul d'altérations de gènes mal ou non réparées, survenant les uns indépendamment des autres et à des moments différents, suite à l'action redondante (répétée) d'agents radioactifs ayant provoqué une contamination endogène. Un tel mécanisme permet de comprendre en particulier le temps de latence important pouvant s'écouler entre l'irradiation et l'apparition des premiers symptômes du cancer. Il est en général entre de 5 à 7 ans pour les leucémies et

supérieur à 10 ans pour les autres tumeurs cancéreuses, pouvant même atteindre 40 ans pour certains types de cancers (¹⁵).

4- Mise en évidence du risque cancérogène

Bien que l'effet cancérogène des rayonnements soit connu depuis longtemps, la connaissance du phénomène reste cependant limitée à deux origines :

- l'expérimentation sur des organismes animaliers qui reste néanmoins problématique au regard de la limitation des genres animalier qui se prête à ces expériences (des mammifères, notamment des souris). Par ailleurs, la transposition des résultats à l'homme reste aléatoire dès lors que les radiosensibilités sont nettement différentes. L'expérimentation animale permet seulement de fournir des indications sur l'action cancérogène des rayonnements.

- les enquêtes épidémiologiques, tirent une bonne partie de leur substance du suivi de personnes irradiées suite aux explosions nucléaires d'Hiroshima et de Nagasaki. L'observation à ce jour dépasse le demi-siècle et se poursuit sur les personnes encore en vie. Cependant, cette population était exposée en majorité à un rayonnement brutal, délivré à fort débit de dose, une situation qui diffère totalement de l'exposition à faible dose sur une période longue.

Dans les deux cas, des obstacles sérieux inhibent l'effort de recherche en la matière : le temps de latence long pour l'apparition des pathologies cancéreuses suppose des périodes de suivi et d'observation longues et incertaines. D'autre part, pour apprécier le risque de radio-cancers, il va falloir mener des études comparatives entre des échantillons de population exposée aux radiations et une catégorie de population témoin, partageant pratiquement les mêmes conditions à l'exception de la radiation. Dès lors, pour aboutir à des conclusions statistiquement valables, il faudrait astreindre ces deux échantillons d'étude à des périodes de suivi plus ou moins longues. Il s'agit de chercher un taux de prévalence d'un type de cancer radio-induit tel

¹⁵ - Y. CHELET, L'énergie nucléaire, éditions Du Seuil, Paris 1961, p.141.

qu'on pourrait prouver un lien de causalité incontestable entre l'apparition de la maladie et l'exposition aux rayonnements (¹⁶).

En tout état de cause, la recherche a d'ores et déjà identifié les facteurs influençant la fréquence des cancers radio-induits :

- La dose et le débit de dose constituent les facteurs principaux dans l'apparition des maladies radio-induites. Cela va servir pour élaborer les dispositifs de radioprotection et la fixation des normes au-delà desquelles le risque de maladie serait hautement probable.
- La nature des rayonnements : les observateurs confirment bien qu'à des doses absorbées égales, les neutrons sont plus nocifs que les rayons X et Gamma ;
- La partie du corps et la nature des tissus irradiés conditionnent les types de cancers observés avec leur temps de latence ;
- Le sexe : la radiosensibilité semble plus importante chez la femme par rapport à l'homme ;
- L'âge : les enfants et les personnes âgées sont plus radiosensibles que les jeunes adultes.

Les effets pathologiques des rayonnements peuvent affecter le nombre et la structure des chromosomes ou simplement les gènes sans altération de la morphologie des chromosomes.

Conclusion

Pour conclure, comparons rapidement les avantages et les inconvénients de l'énergie nucléaire à ceux des autres sources. Du point de vue économique, le prix du Kilowattheure nucléaire le place bien avant le pétrole et en meilleure position que le charbon. La part relativement faible (33%) du prix du combustible dans ce coût permet un prix marginal assez bas susceptible de favoriser des applications intéressantes comme le chauffage domestique avec le courant de nuit. Enfin, on peut estimer pour un pays comme la France, le choix du

¹⁶- Pour mettre en évidence un excès de leucémie de 5%, il faudrait suivre un échantillon d'au moins 100.000 personnes.

nucléaire comme modèle énergétique dominant permet d'économiser annuellement environ 30 milliards d'Euros.

En ce qui concerne les nuisances et les risques, l'énergie nucléaire se place à peu près comme le gaz, en bien meilleure position que le pétrole ou le charbon, quoi qu'en pense une partie de l'opinion publique angoissée par l'invisibilité des radiations ionisantes et les longues périodes de latence des risques qu'elles comportent.

Avec les surgénérateurs, les réserves sont considérables et dépassent largement celles du charbon. Elles permettent d'atteindre une époque éloignée où les problèmes énergétiques se poseront en termes bien différents de ceux d'aujourd'hui. Avec l'énergie solaire, mais dans des conditions économiques et techniques beaucoup plus favorables, l'énergie nucléaire est la seule à pouvoir assurer à beaucoup de pays une indépendance énergétique totale contribuant ainsi à atténuer les tensions sur les autres sources d'énergie fossiles. C'est aussi l'énergie la plus facile à stocker. Beaucoup de matière grise et d'argent ont été investis dans ce secteur et au moment où il est permis d'en espérer quelques dividendes et des retours d'investissement, ce ne serait pas très raisonnable d'abandonner cette filière sous prétexte qu'elle serait à fort risque.

En effet, quelques désavantages viennent cependant assombrir le tableau. Les uns sont d'ordre psychologique : le souvenir d'Hiroshima et de Nagasaki planera longtemps sur tout ce qui est nucléaire. La complexité des bases scientifiques jointe à celle des installations désigne l'énergie nucléaire comme une cible de choix aux contestataires d'une société technico-industrielle qui n'est pas sans défauts. C'est aussi une énergie hautement concentrée qui ne se prête pas comme le charbon ou le pétrole à une utilisation à petite échelle, qu'il s'agisse de son transport ou de l'alimentation de petites chaudières.

Elle est aussi d'une technique difficile qui exige un personnel d'exploitation d'une grande conscience professionnelle et ayant reçu une formation approfondie. Il faut aussi que, malgré l'absence depuis des années d'accidents nucléaires, d'assurer en permanence un niveau

de veille et de vigilance accru pour s'astreindre aux règles de sûreté et respecter scrupuleusement les normes et les prescriptions, gardiennes de la sécurité des populations.

Le temps et loin où, en 1945, un savant atomiste très estimable écrivait que « la quasi-gratuité de l'énergie atomique... abolira toute lutte pour l'obtention de denrées consommables » et que « l'atome réglera la question sociale et par lui l'homme ne connaîtra plus la dure loi de la lutte pour la vie ». Sans revenir à ces utopies, transposées aujourd'hui dans d'autres secteurs, la valeur de l'enjeu est telle que, malgré des risques inévitables mais faibles et en l'absence d'autres solutions réalistes, il faut continuer à tenir le pari de l'énergie nucléaire, ou alors modifier profondément notre mode de vie.

Bibliographie :

- Centre National de la Recherche Scientifique, **Aspects du droit de l'énergie atomique**, éditions. CNRS, 1965, p.152.
- Centre National de la Recherche Scientifique, **Aspects du droit de l'énergie atomique**, éditions CNRS, 1965
- CHALIAND (Gérard) et BLIN (Arnaud), **Dictionnaire de stratégie militaire**, Editions Perrin, 1998, p.181.
- CHELET Y., L'énergie nucléaire, éditions Du Seuil, Paris 1961, p.141.
- CHEVALIER Jean-Marie, **Les nouveaux défis de l'énergie, Climat-Economie-Géopolitique**, Editions Economica, Paris, 2009.
- GAMBINI (D.J.) et GRANIER (R.), **Manuel pratique de radioprotection**, éditions Médicales Internationales, Paris 1992.
- GERE (François), **Dictionnaire de la pensée stratégique**, Editions Larousse-Bordas, Paris, 2000, p. 71.
- Le GUELTE (Georges), **Terrorisme nucléaire, risque majeur, fantasme ou épouvantail ?** éditions PUF, Paris, 2003
- **L'énergie**, ouvrage collectif, éditions Bordas, Paris, 1981, p.14.
- Encyclopédie, **Bilan énergétique**, éditions Larousse. Paris 1999, p. 91
- COPEL (Général Etienne), **Le nécessaire et l'inacceptable**, éditions Balland, 1991, p.62. sur le site: <http://nucleaire.cea.fr/fr/environn>.
- DU CASTEL (Viviane), « Les problématiques énergétiques : enjeux de déstabilisation ? L'exemple du nucléaire, in Revue Internationale d'Intelligence Economique, 2010, P.2, disponible au site : <https://www.cairn.info>. Date de la visite 20/04/2018.