

Annalen  
van  
de Belgische Vereniging  
voor  
Stralingsbescherming

---

---

VOL. 11, N° 4

1986

Driemaandelijkse  
periodiek

Périodique  
trimestriel

---

---

Annales  
de  
l'Association Belge  
de  
Radioprotection

Hoofdredacteur

Dr M.H.FAES  
Fazantendreef, 13  
2850 Keerbergen

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART  
14, rue Juliette Wytsmannstraat,  
1050 Bruxelles - Brussel

Secrétaire de rédaction

Publikatie van teksten in de Annalen  
gebeurt onder volledige verantwoorde-  
lijkheid van de auteurs

Les textes publiés dans les Annales  
le sont sous l'entière responsabilité  
des auteurs.

Nadruk, zelfs gedeeltelijk uit deze  
teksten, mag enkel met schriftelijk  
toestemming van de auteurs en van de  
Redactie.

Toute reproduction, même partielle,  
ne se fera qu'avec l'autorisation  
écrite des auteurs et de la Rédaction.

## INHOUD

Dit nummer bevat de teksten van de uiteenzettingen gedaan op 21.03.86 ter gelegenheid van een vergadering van de B.V.S. gewijd aan :  
**RADIOPROTECTIE EN NUCLEAIRE OORLOG.**

## SOMMAIRE

Ce numéro contient les textes des exposés présentés le 21 mars 1986 lors d'une réunion organisée par l'A.B.R. consacrée à :  
**RADIOPROTECTION ET GUERRE NUCLEAIRE.**

- <b>J.M. CORDIER</b>	
Introduction - Introductie	245 - 248
- <b>G. DONNET</b>	
Les effets des explosions nucleaires	249 - 260
- <b>R. ROUSSEAU</b>	
Les retombées radioactives	261 - 272
- <b>M. ERRERA</b>	
Les effets de la guerre nucléaire sur l'homme et les populations - leur prévention	273 - 302
- <b>A. BERGER</b>	
Les conséquences potentielles d'une guerre nucléaire généralisée sur le climat	303 - 316
- <b>R. KIRCHMANN</b>	
Conséquences potentielles d'une guerre nucléaire sur les écosystèmes et l'agriculture	317 - 340
- <b>P. LERCH</b>	
Principes d'organisation et modalités d'application de la radioprotection de la population en Suisse	341 - 354

## I N T R O D U C T I O N

Mesdames,  
Messieurs,  
Chers Collègues,

J'ai le plaisir de vous accueillir à la première réunion de cette année. Cette journée illustre la volonté du Bureau de s'intéresser à des sujets d'actualité plus larges que les problèmes classiques de radioprotection et d'ouvrir les activités de l'Association à un public averti allant au-delà des membres de notre Société.

Le thème de la guerre nucléaire fait en effet l'objet de discussions internationales largement répercutées par les médias. Il donne lieu à une efflorescence de débats illustrés selon les circonstances de documents d'actualité journalistique ou plus souvent encore d'oeuvres de science fiction.

Notre propos a été, en mettant sur pied cette réunion, de faire la part de la science et celle de la fiction dans les idées propagées parmi le grand public. Et ce d'autant plus que les spécialistes civils en radioprotection se devaient d'avoir sur le sujet une opinion documentée.

Aussi avons-nous demandé aux orateurs que nous avons le plaisir d'accueillir à notre tribune de centrer leurs exposés sur les éléments factuels et de souligner les hypothèses qui sous-tendent les modèles présentés.

Le programme que vous avez reçu illustre également notre souci de couvrir largement la question : description des armes et caractéristiques des explosions, effets de la guerre nucléaire sur l'homme et son environnement, principes d'organisation et modalités d'application de la protection de la population en Suisse, pays qui a à son actif des réalisations très concrètes en la matière.

Mais nous avons écarté volontairement la question de la prévention de la guerre nucléaire elle-même. Il s'agit là en effet d'un cas particulier de la prévention des tensions, des conflits et des guerres traditionnelles qui sort du champ de réflexion de notre Association.

Je terminerai en remerciant les nombreux participants, les orateurs et les Autorités qui nous ont apporté leur appui.

Dr J. M. C O R D I E R  
Président de l'Association  
Belge de Radioprotection.

**I N T R O D U K T I E**

Dames,  
Heren,  
Geachte Kollega's,

Ik heb het genoegen U te mogen verwelkomen op deze eerste vergadering van 1986. Deze dag bewijst de wil van het Bureau zich bezig te houden met aktuele onderwerpen die verder reiken dan de klassieke problemen van de stralingsbescherming, en daarbij de aktiviteiten van de Vereniging open te stellen voor een ingelicht publiek en niet enkel voor leden van onze Vereniging.

Het thema "kernoorlog" wordt inderdaad op internationaal vlak druk besproken en vindt een brede repercutie via de media. Inderdaad een toenemend aantal debatten handelt over dit onderwerp en deze worden alnaargelang de omstandigheden geïllustreerd met aktuele journalistieke dokumenten of meer nog met beelden uit de science fiction.

Deze vergadering werd georganiseerd met de bedoeling een onderscheid te maken tussen het wetenschappelijk en fictie gedeelte in de ideeën die rond gaan bij het grote publiek, en ook om de civile specialisten in de stralingsbescherming een gedokumenteerde opinie over dit onderwerp te bezorgen.

Daarom vroegen wij dan ook aan de sprekers, die wij hier verwelkomen, hun uiteenzettingen te axeren op de feitelijke elementen en de hypothesen te benadrukken die aan de basis liggen van de voorgestelde modellen.

Het programma dat U allen ontving, illustreert onze bezorgdheid dit onderwerp ruim te behandelen : beschrijving van de wapens en karakteristieken van de ontploffingen, effecten van de kernoorlog op de mens en zijn omgeving, principes van organisatie en toepassingsmodaliteiten van de bescherming van de bevolking b.v. in Zwitserland, land dat ter zake konkrete verwezenlijkingen op zijn actief heeft.

Beslist spreken wij hier niet over de voorkoming van deze kernoorlogen. Dit hoort bij de preventie van de spanningen, conflicten en traditionele oorlogen, onderwerpen die niet opgenomen zijn in de doelstellingen van de Vereniging.

Graag wil ik tenslotte nog de talrijke deelnemers, de sprekers en de Autoriteiten, danken voor de steun die ze ons verleenden.

Dr J. M. C O R D I E R,  
Voorzitter van de Belgische  
Vereniging voor  
Stralingsbescherming.

LES EFFETS DES EXPLOSIONS NUCLEAIRES

DONNET G., Major,  
Bureau d'étude NBC  
de l'Etat-Major de la Force Terrestre  
Ecole du Génie  
Rue de Dave  
5100 - JAMBES (NAMUR)

Résumé : Le 6 août 1945 est une date historique, celle du premier emploi d'une bombe nucléaire. L'article expose les effets de cette bombe (onde de choc, rayonnement thermique et rayonnement radioactif), les causes et la répartition des décès et des blessures et l'évolution des armes nucléaires : armes à fusion, miniaturisation, armes à radiations renforcées. L'attention est attirée sur un effet particulier : l'impulsion électromagnétique.

1. Le 6 août 1945, à huit heures quinze, un B29 de l'US Air Force largua au-dessus de la ville d'Hiroshima une bombe nucléaire qui explosa à une altitude de 580 mètres. Ce matin-là, ce fut littéralement la fin du monde pour cette ville japonaise de 250.000 habitants dont en quelques instants, plus de la moitié furent tués ou blessés.  
Cette date du 6 août 45 est une des plus importantes de l'histoire du monde et Hiroshima est devenue le triste symbole de la puissance de destruction quasi infinie de l'homme. En UN instant, UN avion détruisit UNE ville avec UNE bombe; la nature et l'ampleur extraordinaire des effets de cette arme nouvelle donnèrent à la guerre une autre dimension. Il est intéressant de regarder ce qui s'est passé pour comprendre les modes d'actions d'un engin nucléaire.

2. Hiroshima est souvent pris comme référence mais les comparaisons doivent tenir compte des conditions qui existaient dans la ville au moment de l'explosion, conditions qui ne pouvaient être plus défavorables : il faisait beau et clair, il y avait beaucoup de monde dehors en vêtements légers, les nombreuses constructions en bois ont favorisé la propagation des incendies.

Pour de multiples raisons le nombre exact des victimes a été difficile à déterminer. Les valeurs approximatives données correspondent aux décès comptés en novembre 45, soit à la fin du quatrième mois après l'événement; on retient un total effrayant de 68.000 morts et 78.000 blessés soit 144.000 victimes sur 256.000 habitants. Une répartition géographique de ces victimes a été faite en traçant trois cercles (avec le point zéro comme centre) de un, deux et demi et cinq kilomètres de rayon. Dans un rayon de 1 km, sur une population de 31.000 personnes, 27.000 sont mortes; dans la couronne de 1 à 2,5 km, sur 145.000 personnes, 30.000 sont mortes et 53.000 ont été blessées; dans la couronne de 2,5 à 5 km, sur 8.000 habitants, il y a eu 2.000 morts et 20.000 blessés.

Dans le cercle d'un kilomètre, chacun des effets spécifiques (souffle, chaleur, radioactivité) de l'explosion nucléaire était suffisant pour provoquer la mort. On estime cependant que plus de la moitié des décès ont été causés par les brûlures: pire encore, parmi les morts du premier jour, deux tiers étaient gravement brûlés. Ces chiffres montrent à suffisance l'importance de la composante "rayonnement thermique" mais il faut se souvenir que les conditions étaient particulièrement favorables.

Les brûlures semblent donc avoir constitué les causes principales de décès et il a été assez difficile de déterminer la part, dans ces causes, des autres facteurs : fractures, plaies, chocs, contusions, irradiation. Pour ce dernier facteur, on estime qu'environ trente pour cent des morts avaient reçu une dose létale; beaucoup de décès à long terme sont dus à l'irradiation.

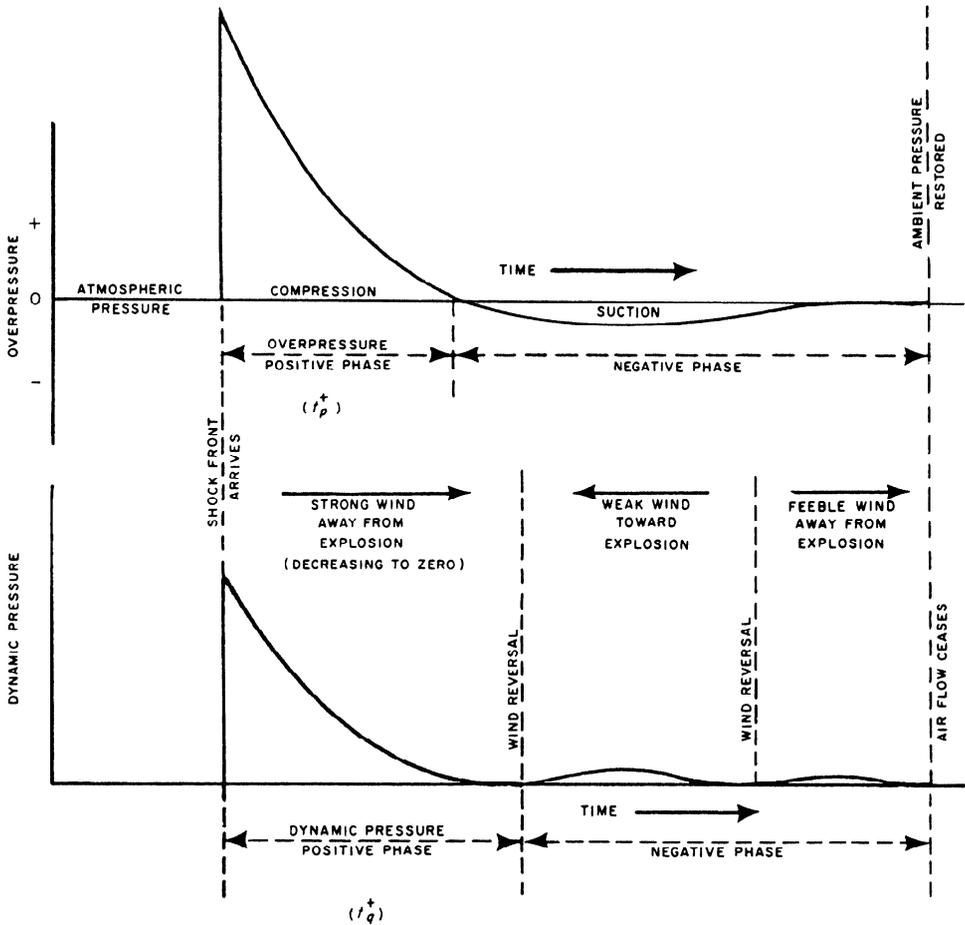
On a pu observer également que le nombre, la nature et l'importance des blessures (ou des maladies) allaient souvent de pair avec la gravité des dommages subis par les bâtiments.

Dans ce domaine, il convient de signaler l'importance des vitres comme cause de blessures; c'est à ce point important que les Américains en ont fait une rubrique particulière dans l'analyse des dégâts. Par exemple,

des fragments de verre de 10 grammes, ayant acquis une vitesse de 55 m/sec peuvent produire de sérieuses blessures à la peau; pour une puissance comme celle utilisée à Hiroshima, cet effet peut encore être atteint à 5 km du point zéro.

3. Hiroshima a donc été détruite par l'action combinée du souffle, de la chaleur et de la radioactivité. Chacun de ces phénomènes sera passé en revue.
4. L'explosion libère une énorme quantité d'énergie, en un temps très court, dans une petite quantité de matière. Cette matière est portée à une température comparable à celle du centre du soleil (c'est-à-dire plusieurs dizaines de millions de degrés) et convertie à l'état gazeux. Une boule de feu se développe à l'intérieur de laquelle les pressions sont énormes. L'expansion des gaz de la boule de feu produit une onde de choc qui se déplace à très grande vitesse. A mesure que l'onde s'éloigne de l'explosion cette vitesse diminue jusqu'à celle de la propagation du son dans l'air. L'onde de choc engendre deux phénomènes principaux : la surpression et la pression dynamique qui peuvent être représentés, pour un endroit donné par les courbes suivantes :

(voir dessin page suivante)



On voit que la surpression augmente brusquement sur le fond de l'onde et diminue ensuite progressivement pour revenir à la pression atmosphérique ambiante après une phase négative. L'évolution de la pression dynamique correspond à des vents violents qui changent de direction après le passage de la surpression en phase négative.

On peut donc comparer l'onde de choc à un mur d'air comprimé se déplaçant à grande vitesse. Les quatre valeurs caractéristiques du phénomène sont la surpression de crête, la durée de la phase positive de la surpression, la surpression dynamique de crête et la vitesse du vent. Ces valeurs dépendent de la puissance et de la hauteur de l'explosion, de la distance à laquelle se trouve l'endroit considéré et de la nature de la surface du sol. Par exemple, à Hiroshima, pour une puissance de 12 kilotonnes (environ) et une hauteur d'explosion de 580 mètres, à une distance de 1 kilo-

mètre, ces valeurs étaient les suivantes : surpression de crête : 12 psi (0,8 kg/cm<sup>2</sup>), durée de la phase positive : 0,7 secondes, pression dynamique de crête : 2 psi (0,1 kg/cm<sup>2</sup>), vitesse du vent : 300 mph.

L'allure du phénomène permet de comprendre la nature des dégâts; il y a deux agents principaux de destruction : la surpression prolongée qui englobe et écrase, le vent de tempête qui disloque et déplace. On conçoit donc aisément qu'une construction légère mais bien ancrée dans le sol puisse être écrasée sans être déplacée ou qu'une construction solide mal ancrée dans le sol puisse être déplacée sans être écrasée.

Les dégâts causés par le souffle dépendent donc non seulement des valeurs de l'onde de choc mais aussi des caractéristiques des matériels considérés (nature, volume, forme, poids, etc ...). Il existe des tableaux et des règles à calcul qui permettent une analyse (une prévision) rapide des dégâts.

Pour réduire le nombre des paramètres, on ne considère que trois niveaux de dégâts. Par exemple, une maison ordinaire en briques aurait subi des dégâts sévères à 1.500 mètres et des dégâts modérés à 2.000 mètres du point zéro à Hiroshima.

5. Passons au deuxième phénomène : le rayonnement thermique. Au moment de l'explosion, la quantité énorme d'énergie libérée provoque des températures non moins énormes, de plusieurs dizaines de millions de degrés. En conséquence, une grande partie de l'énergie est libérée sous forme de rayonnements électromagnétiques de courte longueur d'onde, initialement dans la région des rayons X du spectre. Ces rayons sont absorbés par l'air ambiant qui est ainsi porté à haute température et constitue la boule de feu; cette dernière émet des rayons ultra-violet, visibles et infrarouges : c'est le rayonnement thermique.

La durée de l'émission varie avec la puissance; à Hiroshima, elle fut d'environ une seconde. La portée du rayonnement est fortement influencée par les conditions atmosphériques exprimées par la "visibilité"; on l'a dit plus haut, à Hiroshima, la visibilité était exceptionnellement bonne.

La quantité d'énergie reçue par un "objectif" dépend de la puissance et de la hauteur de l'explosion, de la distance à laquelle se trouve cet objectif et des conditions atmosphériques.

Pour donner une idée des températures obtenues, on pense qu'à l'aplomb de l'explosion d'Hiroshima (au point zéro) on a pu atteindre 4.000 degrés centigrades. Mais c'est la quantité de chaleur absorbée qui détermine la gravité des dégâts; ainsi, à titre d'exemple, on a découvert à 1 kilomètre du point zéro, sur des tuiles des boursouflures qui n'ont pu être reproduites qu'avec des températures de 1.800 degrés pendant 4 secondes; ce qui correspondrait à une quantité de chaleur de 45 calories par cm<sup>2</sup>. La réaction des matériaux, c'est-à-dire leur possibilité de s'enflammer dépend de leur nature, de leur épaisseur et de leur humidité. Comme pour les dégâts dus à l'onde de choc on a déterminé les niveaux thermiques amenant l'ignition des différents types de matériaux; des tableaux et des règles à calcul permettent de déterminer ces niveaux en fonction de la distance et de la puissance, pour une analyse prévisionnelle des dégâts.

L'effet thermique le plus impressionnant est bien sur l'incendie. A Hiroshima, ce fut comme si on avait jeté mille tonnes de bombes incendiaires sur la ville, elle fut complètement ravagée par le feu dans un rayon de 2 kilomètres. L'incendie fut allumé de plusieurs façons : ignition de papier, de rideaux, de brindilles, courts-circuits électriques, conduites de gaz crevées, foyers renversés. Les coupe-feu naturels (rivières, jardins, avenues) ne purent jouer leur rôle étant donné que l'incendie fut allumé partout à la fois. Les services des pompiers furent pour la plupart neutralisés et la lutte contre le feu, au cours des premières heures fut impossible.

Un phénomène très particulier commença environ 20 minutes après l'explosion : la tempête de feu. Un vent assez violent se leva à la périphérie de la zone et souffla vers le centre; cela dura environ six heures. La vitesse de ce vent, trois heures après l'explosion fut estimée à 70 kilomètres par heure. Cette tempête de feu fut accompagnée de pluies sporadiques dues à la condensation de l'humidité quand les particules ascendantes atteignaient des couches plus froides.

Le vent centripète limita curieusement l'extension de l'incendie à un cercle assez régulier dont le rayon correspondait à la distance d'ignition. Les dizaines de milliers de brûlés furent victimes soit des incendies soit des rayonnements directs (flash-burns). Dans ces derniers cas,

des brûlures du premier degré furent observées jusqu'à des distances de 4.500 mètres.

Il y eut peu de brûlures rétiniennes; l'effet direct sur les yeux se manifeste surtout par un éblouissement prolongé.

6. L'émission de rayonnements radioactifs est vraiment spécifique aux armes nucléaires. Nous ne considérons dans cet exposé que la radioactivité initiale (il n'y a pas eu de fallout à Hiroshima). Cette radioactivité initiale est généralement définie comme le rayonnement émis par la boule de feu et le nuage radioactif dans la minute qui suit l'explosion. Il comprend les neutrons et les gammas émis par le phénomène de fission et les gammas émis par les produits de fission dans le nuage. Les rayonnements alpha et bêta ne sont pas considérés à cause de leur faible portée. La limite de temps est due au fait que la portée des gammas est au maximum de deux miles et qu'il faut environ une minute au nuage pour atteindre cette altitude.
- Suivant leur origine, on considère les gammas instantanés et les gammas différés. Les premiers sont produits par la fission proprement dite et l'interaction des neutrons avec les matériaux de la bombe; ils sont émis en temps extrêmement court, de l'ordre de la microseconde et constituent 1 % du flux gamma initial. Les seconds sont produits par l'interaction des neutrons avec les constituants de l'atmosphère et par la décroissance des produits de fission dont l'activité est énorme dans les premières secondes.
- Il est intéressant de considérer la durée réelle du phénomène; elle est surtout fonction de la puissance; pour l'explosion d'Hiroshima, 60 % de la dose initiale gamma ont été reçus au cours de la première seconde: cette durée s'allonge avec l'augmentation de la puissance. La quantité de rayonnement gamma, à un endroit donné est surtout fonction de la puissance de l'explosion et de la distance par rapport à l'explosion. A Hiroshima, à 1 km, la dose à l'air libre était d'environ 2.000 rads, à 2 km, d'environ 30 rads. A ce rayonnement gamma s'ajoutent les neutrons émis au cours du processus de fission, pratiquement instantanément. La portée et les doses de cette partie de la radioactivité initiale sont du même ordre de grandeur que celles des gammas.

Pour donner une idée de l'effet global (gammas plus neutrons) disons qu'une dose létale de l'ordre de 500 rems a pu être reçue à 1,3 km du point zéro.

Les effets biologiques sont connus; d'autres le sont peut-être moins : la détérioration des pellicules photographiques et de certains composants des systèmes électroniques (radios, radars, dispositifs de guidage, ordinateurs, etc). La nature et l'importance des dommages dépendent des caractéristiques des circuits; ils peuvent être temporaires ou définitifs. Les effets temporaires résultent de l'ionisation créée par les gammas tandis que les effets définitifs résultent du déplacement de molécules par rapport à leur position normale dans la structure des matériaux, déplacement dus aux neutrons rapides. Les composants les plus sensibles semblent être les semi-conducteurs.

7. L'explosion d'Hiroshima a été un événement capital dans l'histoire des armements : on avait réuni dans un seul engin la quintessence de l'explosif, de l'incendiaire et du rayon de la mort; on disposait d'une arme pratiquement absolue, imparable; l'épée, d'un seul coup, dépassait de loin le bouclier.

Mais ce n'était pas suffisant, il fallait plus encore. Et les recherches sur la fission ont permis de développer des possibilités de destruction extraordinaires.

Ces possibilités peuvent être mises en évidence en les comparant à celles de l'explosion d'Hiroshima.

La comparaison nécessite d'abord une définition de la puissance; elle est basée sur la comparaison avec un explosif classique : le TNT, la comparaison des énergies libérées. Ainsi 1.000 tonnes de TNT (une kilotonne - un KT) libèrent  $10^{12}$  calories (ou  $1,6 \cdot 10^6$  kilowatt-heure) comme la fission de 2 onces (57 grammes) de matière fissile. La comparaison s'arrête là parce que même l'onde de choc qui est le seul phénomène commun aux deux types d'explosion est vraiment très différente en intensité et en durée, dans chacun des cas. L'explosion d'Hiroshima a été estimée d'une puissance de 12 KT; la fusion de l'hydrogène a permis d'obtenir des puissances fabuleuses, équivalentes à plusieurs millions de tonnes de TNT, des engins mégatonniques (MT). Cette augmentation de puissance n'a pas changé la nature des effets mais en a amplifié les caractéristiques.

Pour se donner une idée, une comparaison des principales caractéristiques des trois effets a été établie entre l'explosion d'Hiroshima (12 KT) et deux explosions de 1 et 10 MT (mégatonnes).

Pour l'onde de choc nous considérons la surpression de crête correspondant à la destruction de maisons ordinaires en briques, soit 3,6 psi. (pounds/square inch). La comparaison porte sur les distances auxquelles se produit cette surpression (rayon de dégât), le temps d'arrivée et la durée de la phase positive.

Caractéristiques	12 KT	1 MT	10 MT
Distance (en km)	2	9	19
Arrivée (en secondes)	6	26	55
Durée (en secondes)	0,8	3,5	7

L'allongement considérable de la durée de la surpression augmente les possibilités de dommage pour la même surpression de crête; ceci renforce encore la différence avec le TNT pour lequel la durée de la pression dynamique qui est la cause des dégâts est de l'ordre du centième de seconde.

Pour le rayonnement thermique nous considérons trois aspects : la durée d'émission de 80 % de l'énergie, la distance maximale à laquelle se produisent des brûlures du premier degré, la distance maximale à laquelle se produit l'ignition d'un papier journal.

Caractéristiques	12 KT	1 MT	10 MT
Durée (en secondes)	1	8	10
Brûlures (en km)	2	13	32
Ignition (en km)	2	13	32

Pour le rayonnement radioactif, la comparaison porte sur la distance à laquelle serait reçue une dose globale gamma-neutrons de 500 rem.

Caractéristiques	12 KT	1 MT	10 MT
Distance (en km)	1,3	2,5	4

On peut retenir que l'explosion d'une très grande puissance (10 MT) décuple le rayon des dégâts provoqués à Hiroshima (20 km pour 10 MT contre 2 km pour 12 KT), que c'est l'augmentation de l'effet thermique qui est la plus spectaculaire (32 km pour 10 MT contre 2 km pour 12 KT) et que la portée des rayonnements nucléaires maintient cet effet dans des limites assez courtes.

8. Pour des raisons tactiques évidentes les chercheurs ont essayé d'adapter les possibilités extraordinaires de l'arme nucléaire aux besoins de la défense; les progrès des diverses technologies nécessaires ont permis la mise au point d'armes nucléaires miniaturisées, de puissances "subkilotonniques". D'autre part, le 6 août 81 (encore un 6 août! ) le Président Reagan a pris la décision de produire 1180 armes à radiations renforcées, mieux connues sous le nom de bombe à neutrons (380 pour les missiles Lance et 800 obus d'artillerie de 8 pouces).

Techniquement l'arme à radiations renforcées est une petite bombe à hydrogène dont la configuration permet une optimisation de la réaction de fusion par rapport à réaction de fission (qui sert d'allumeur); on obtient ainsi que 80 % de l'énergie libérée par la fission le soit sous la forme de neutrons rapides. Mais les autres effets ne sont pas éliminés pour autant. Le but recherché est de limiter ce qu'on appelle les effets collatéraux, c'est-à-dire les effets indésirables, par exemple, si l'on veut détruire une unité de chars, en évitant de détruire le village voisin. Les neutrons ont aussi l'avantage de percer le blindage des chars et de mettre le personnel hors combat; il semble n'y avoir pas de parade actuellement !

Pour donner encore quelques chiffres, une arme à neutrons de 1 KT aurait le même effet radiations qu'une arme à fission de 10 KT (plus de 10.000 rad à 700 m) avec un rayon de destruction urbaine ramené à 400 m (contre 1200 pour une 10 KT).

9. Il me semble important d'attirer l'attention sur un effet particulier qui pourrait être terriblement important : l'impulsion électromagnétique (EMP en anglais).

Le rayonnement gamma crée, par collisions avec les molécules d'air rencontrées, une zone ionisée le flux d'électrons et d'ions ainsi créé irradie à son tour une énergie électromagnétique sous forme d'une impulsion de très courte durée (de l'ordre de la micro seconde L'énergie libérée est considérable et couvre un grand nombre de fréquences.

L'EMP est particulièrement important pour des explosions de grande puissance à grande altitude. Ainsi pour une explosion de 10 MT à une altitude de 200 km la région ionisée ressemble à une énorme crêpe de 70 km d'épaisseur et 1100 km de rayon.

L'impulsion électromagnétique générée par cette crêpe serait comme un gigantesque coup de foudre lançant dans les conduites électriques et les antennes des courants de l'ordre de 100.000 volts et de 10.000 ampères. On imagine aisément les dégâts dans les systèmes de communication, les alimentations en énergie électrique, les systèmes de conduite de tir, les ordinateurs, etc.

L'altitude de cette explosion fait que les autres effets ne seraient pas sensibles à la surface de la terre. Si bien qu'un jour, sans autre effets, on pourrait neutraliser tout un continent.

10. Nous avons donc médité un peu sur Hiroshima et ses 140.000 victimes. Dans l'avalanche de chiffres que le sujet impliquerait il convient peut-être de retenir :

- qu'une bombe considérée maintenant comme un petit engin tactique a pulvérisé et brûlé une ville comme Bruges;
- que la possibilité existe de lancer des engins d'une puissance telle qu'ils peuvent provoquer des brûlures et des incendies dans un rayon de plus de 30 km. (un diamètre de + 60 km !);
- que la possibilité existe d'utiliser l'arme nucléaire à dose homéopathiques (toutes proportions gardées) pour contenir une invasion blindée.

#### Bibliographie essentielle.

THE EFFECTS OF NUCLEAR WEAPONS.  
Edition GLASSTONE et DOLAN  
MARS 1977.

## SAMENVATTING.

De datum van 6 augustus 1945 staat voortaan in de geschiedenis als de dag van het eerste gebruik van het atoomwapen. In dit artikel worden beschreven : de uitwerkingen van dit wapen (schokgolf, thermische en radioactieve straling), de oorzaken en verdeling van overlijdens en verwondingen alsook de evolutie van de kernwapens naar fusiewapens, miniaturisatie en wapens met geïntensifieerde straling. Het aandacht wordt gevestigd op een bijzondere uitwerking namelijk het electromagnetisch impuls.

## ABSTRACT.

The day of 6 August 1945 became a historical date with the first use of the atomic bomb. In this paper are described : the effects of this weapon (shockwave, thermal and radioactive radiation), the causes and repartition of deaths and injuries and also the evolution of nuclear weapons towards fusion weapons, miniaturisation and weapons with reinforced radiation. The attention is drawn on a peculiar effect : the electromagnetic impulse.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 11, n° 4 (1986).

### LES RETOMBÉES RADIOACTIVES.

R. ROUSSEAU, Colonel d'aviation (Rés)

(Ancien commandant du Wing Météorologique  
de la Force aérienne)

Rue E. Masoin, 41, b. n° 3  
1190 Bruxelles.

#### RESUME.

Les retombées radioactives qui interviendraient après une (ou plusieurs) explosion nucléaire poseraient d'énormes problèmes aux habitants d'une zone géographique très étendue.

Les poussières radioactives engendrées par l'explosion peuvent atteindre une très grande altitude ; elles se déplacent avec le vent et, compte tenu de leur faible vitesse de chute, elles peuvent atteindre le sol à de très grandes distances du lieu de l'explosion.

Le taux de décroissance de la radioactivité est faible ; de ce fait, la période durant laquelle cette radioactivité resterait dangereuse peut être très longue.

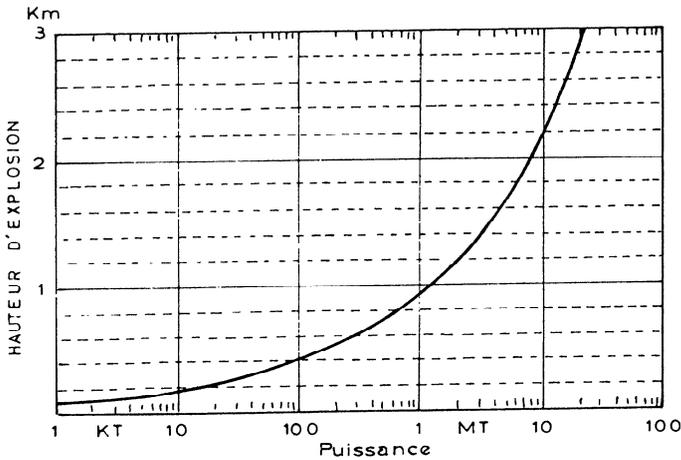
I. Les radiations résiduelles sont définies arbitrairement comme étant celles émises plus d'une minute après l'explosion. A ce moment, les radiations initiales ( $\gamma$  & neutrons) sont terminées et ce qui reste consiste principalement en produits de fission dans les débris de l'arme, en uranium et en plutonium qui ont échappé à la fission et en toute activité induite dans les débris de l'arme, le sol et tous les matériaux arrachés de la surface de la terre par l'explosion.

Le bilan de ces différentes sources d'activité résiduelle dépend de la nature de l'arme (Fission; Fission-Fusion; F-F-F), du rapport entre la puissance dégagée par les deux processus, de la hauteur de l'explosion et de la nature du sol.

Si l'explosion a lieu assez haut dans l'atmosphère, la vaporisation d'éléments en provenance de la surface de la terre n'intervient pas et les retombées radioactives sont très faibles voire inexistantes.

Dans ce cas, les produits radioactifs de l'explosion sont vaporisés et transportés suffisamment haut dans l'atmosphère pour permettre une décroissance significative de l'activité des isotopes à courte durée de vie compte tenu du fait qu'ils descendent très lentement.

La figure de la page suivante montre la limite à partir de laquelle des retombées radioactives interviendraient en fonction de la hauteur et de la puissance de l'explosion.



Des retombées radioactives auraient lieu pour toute explosion intervenant dans la partie du graphique située sous la courbe.

Notons que les deux explosions d'HIROSHIMA et NAGASAKI eurent lieu à une hauteur suffisante pour ne pas entraîner de retombées radioactives significatives.

2. Cet article ne traitera pas des radiations résiduelles autour du lieu de l'explosion (Point Zéro:PZ) étant donné les dégâts considérables dus aux effets initiaux de l'explosion. Toutefois, ces radiations sont très importantes, elles empêchent l'entrée dans cette zone pendant une très longue période.

Les neutrons rapides libérés par l'explosion et qui atteignent la surface induisent une radioactivité dans certains éléments constitutifs du sol. Les principaux, formés en quantité significative, sont: le sodium 24 (demi-vie 15 Hr), le manganèse 56 (2,6 Hr), le silicium 31 (2,6 Hr), l'aluminium 28 (2,3 min) et le carbone 14 (5760 ans mais pas de radiations  $\gamma$ ).

Ces éléments se retrouveront donc dans les retombées. Toutefois, il n'est pas possible de prévoir exactement tous les éléments qui peuvent être présents dans ces retombées étant donné la variabilité de la composition du sol et de tout ce qui peut se trouver en surface (constructions et ce qu'elles contiennent).

Les radiations  $\gamma$  provenant de ces éléments seront nettement plus faibles que les radiations initiales;elles produisent néanmoins des radiations résiduelles même s'il n'y a pas de retombées.

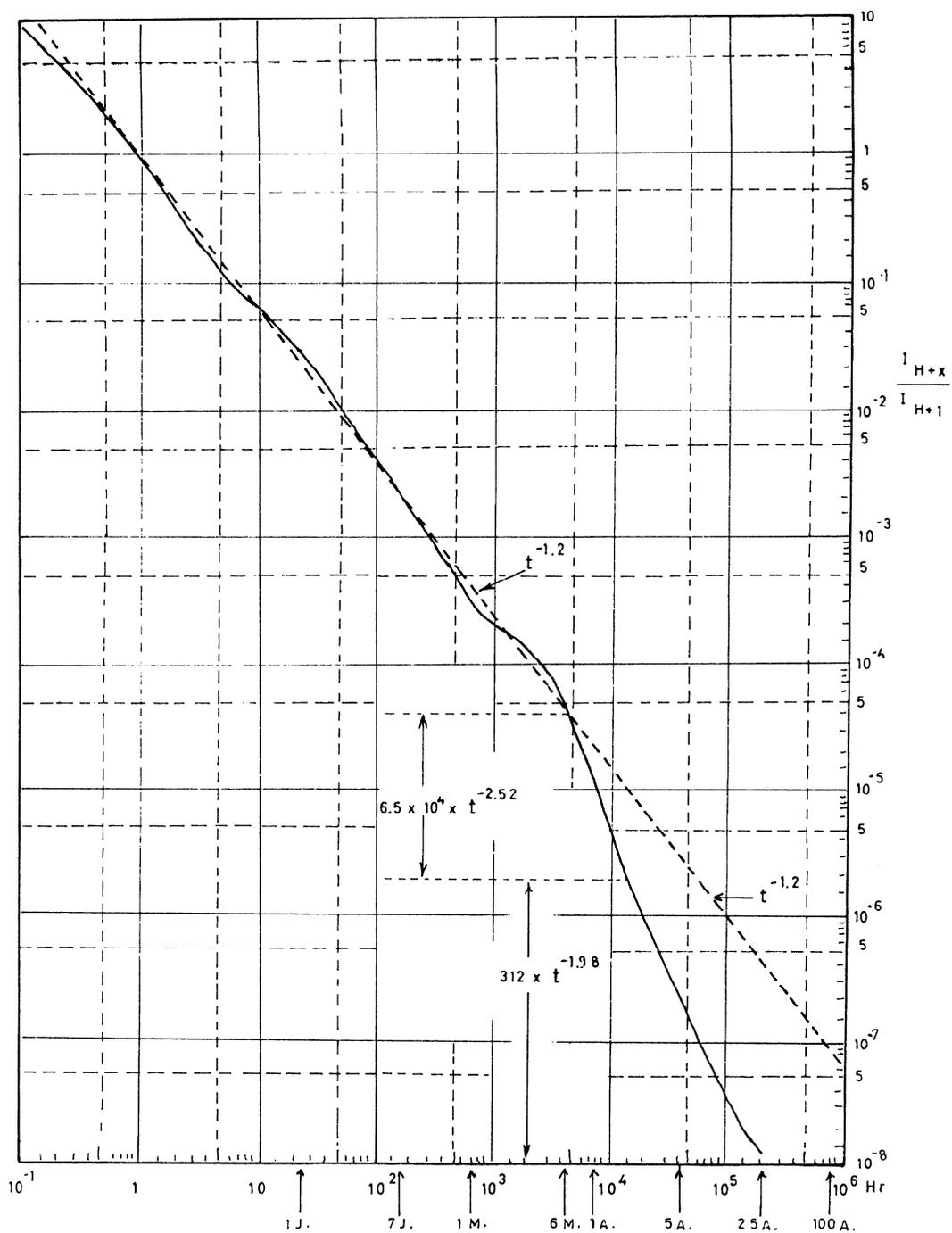
3. Les retombées radioactives,c'est-à-dire les particules et les poussières radioactives qui tombent du nuage formé par l'explosion, ont été divisées arbitrairement en deux catégories : les retombées initiales intervenant durant les premières 24 heures et celles qui atteignent le sol après le premier jour.Il n'y a évidemment pas de séparation précise à la fin des premières 24 heures.

Les retombées dues à une explosion en surface,sous la surface ou encore dans l'air près du sol,entraînent une contamination radioactive sur de grandes surfaces avec une intensité telle qu'elle représente un danger biologique immédiat.Les retombées qui interviennent après le premier jour sont constituées de très petites particules invisibles en faible concentration mais qui intéressent une partie considérable de la surface de la terre.

Compte tenu du temps de séjour dans l'atmosphère,les radiations sont fortement atténuées et ne posent généralement pas de problème immédiat pour la santé;elles peuvent cependant présenter un danger à plus longue échéance (effets cancérigènes et génétiques).

4. Les retombées initiales consistent en particules,de dimensions très variables,contaminées par les produits de fission et les résidus radioactifs de l'arme.Pour chaque kilotonne, $3.10^{23}$  atomes de produits de fission sont formés.Ils consistent en 300 isotopes de 36 éléments différents.La radioactivité totale,une minute après l'explosion (c-à-d au moment où l'on considère que commencent les radiations résiduelles),est d'environ  $3.10^{10}$  Ci par KT;une heure plus tard,elle descend à  $5.10^8$  Ci par KT;elle diminue ensuite durant les six premiers mois selon la loi empirique  $I_{H+I} \cdot T^{-1,2}$ .Au-delà de six mois,cette loi se modifie légèrement comme indiqué sur le graphique de la page suivante.

Une loi arithmétique donne approximativement les mêmes résultats: l'activité décroît d'un facteur 10 pour une augmentation du temps d'un facteur 7 (en effet, $7^{1,2}$  vaut approximativement 10).



Décroissance naturelle de la radioactivité  
 en cas de retombées radioactives

5. L'activité radioactive commence en un endroit au moment où les premières particules en provenance du nuage formé par l'explosion arrivent au sol. Elle augmente très rapidement jusqu'au moment où les retombées cessent; elle diminue ensuite selon la loi dont il vient d'être question.

Le graphique de la page suivante donne un exemple d'évolution de la radioactivité en un endroit situé à 40 Km du lieu d'explosion d'une arme de 50 KT, le vent résultant étant de 36 Km/Hr.

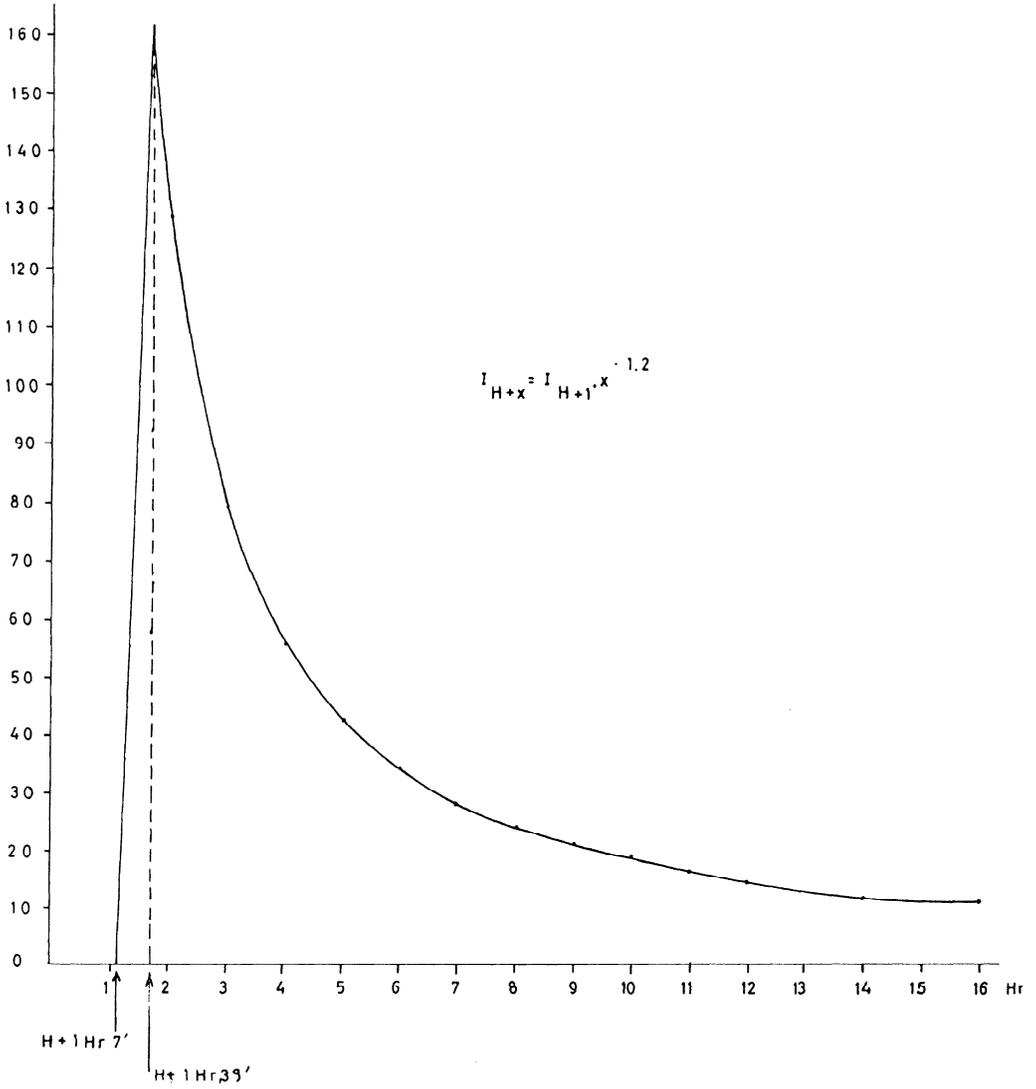
Les retombées commencent à H + 1Hr 7 min et se terminent à H + 1Hr 39min; à ce moment, le débit de dose atteint 160 Rad/Hr. La radioactivité décroît ensuite naturellement selon la loi  $t^{-1,2}$ . On peut calculer que, dans ce cas, la radioactivité serait de 7 Rad/Hr après 24 Hr, de 3 Rad/Hr après 48 Hr et de 1 Rad/Hr après 96 Hr. Elle atteindrait 1 mRad/Hr après 1506 jours (plus de 4 ans) et 1 mRad/24 Hr après 21288 jours (plus de 58 ans).

6. La distribution horizontale des retombées dépend de plusieurs facteurs, notamment de la direction, de la vitesse et de la variabilité du vent aux différentes altitudes et de l'éventualité d'un certain "nettoyage" par la pluie ou les averses en certains endroits.

Diverses méthodes ont été mises au point pour tenter de prévoir la répartition des retombées radioactives en fonction de la puissance de l'arme, de la direction et de la vitesse du vent.

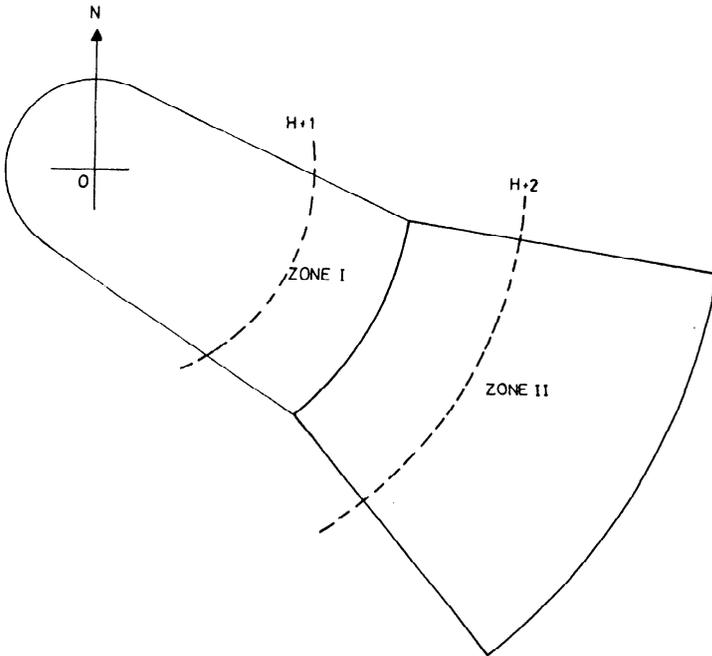
Une de ces méthodes (communément appelée méthode du cigare) permet le tracé d'une ellipse donnant le débit de dose à différents moments après l'explosion. Par exemple, pour un débit de dose de 1 Rad/Hr le grand axe de l'ellipse serait de 532 Km et le petit axe de 50 Km pour une arme de 100 KT; ces axes seraient respectivement de 1500 et 150 Km pour une arme de 1 MT.

Toutefois, certaines expériences françaises et américaines ont montré qu'un tel schéma théorique est parfois loin de la réalité. Elles ont mis en évidence l'impossibilité d'une prévision précise de la distribution horizontale du débit de dose.



Evolution de la radioactivité en cas de  
retombées radioactives

7. Une autre méthode, utilisée par les pays occidentaux, consiste à déterminer une région dans laquelle les populations doivent être alertées le plus rapidement possible après une explosion.



Cette région (dont un exemple est donné ci-dessus) s'obtient à partir du lieu de l'explosion, de la puissance de l'arme (qui détermine la hauteur de la base et du sommet du nuage), la direction et la vitesse du vent aux différentes altitudes.

La longueur de la zone I (ou de la zone II) est donnée par l'expression empirique:

$$Z_I = 1,164 \times Y^{0,473} \times V_E^{0,506}$$

où  $Z_I$  est la longueur de la zone I en Km

$Y$  la puissance de l'arme en KT

$V_E$  la vitesse du vent effectif en Km/Hr

On estime que le risque encouru par des personnes exposées et non protégées dans ces différentes zones serait:

- dans la zone I : 150 Rads en moins de 4 heures.
- dans la zone II : 50 Rads en moins de 4 heures  
150 Rads en moins de 24 heures.
- en-dehors de ces deux zones : moins de 50 Rads en 24 heures  
moins de 150 Rads pour une durée illimitée.

8. Quelle que soit la méthode utilisée, elle est toujours basée sur des vents observés un certain temps avant l'explosion ou sur des vents prévus aux différentes altitudes. Il ne faut pas perdre de vue que la précision (qu'il s'agisse de vents observés ou de vents prévus) diminue à mesure que l'altitude augmente; la tranche qui nous intéresse ici s'étend de 12 à 30 Km selon la puissance de l'explosion c'est-à-dire celle où l'on a le moins d'expérience puisqu'elle se trouve au-dessus de la couche atmosphérique utilisée par l'aviation.

D'autre part, ces méthodes ne tiennent pas compte des modifications de l'atmosphère qui interviendraient du fait de l'explosion; elles sont peut-être peu importantes s'il s'agit d'une seule explosion mais qu'en serait-il si plusieurs explosions intervenaient quasi simultanément? Si les problèmes de quantité de poussières et de radioactivité ont été étudiés, y compris les modifications de la couche d'ozone, il ne semble pas que les modifications éventuelles de la mécanique de l'atmosphère aient été étudiés. De toute manière, le problème n'est pas simple compte tenu des nombreuses hypothèses possibles.

En réalité, le meilleur moyen consisterait à utiliser un réseau d'observation de la radioactivité et de rassembler ces données de manière rapide dans un centre de manière à pouvoir établir une carte de radioactivité, d'en suivre les modifications, d'en prévoir les conséquences quant à l'évolution future et de prendre les mesures qui s'imposent.

9. La dose totale absorbée durant une certaine période de séjour dans une zone contaminée par les retombées radioactives s'obtient aisément si l'on connaît le débit de dose à  $H + I$ . Le graphique de la page suivante permet le calcul de la dose totale en fonction de l'heure d'entrée dans la zone contaminée, du temps de séjour dans cette zone et de l'intensité à  $H + I$ .

Ce graphique peut être utilisé dans tous les sens; connaissant trois des variables, on trouve la quatrième. Par exemple, si l'on ne peut dépasser une certaine dose totale pour un temps de séjour déterminé, on peut trouver l'heure à laquelle on peut entrer dans la zone contaminée.

10. Tout ce qui précède concerne les retombées qui interviennent les premières 24 heures après l'explosion. Après ce délai, les retombées sont dues à de très fines particules (diamètre de quelques micromètres ou moins) qui descendent très lentement dans l'atmosphère.

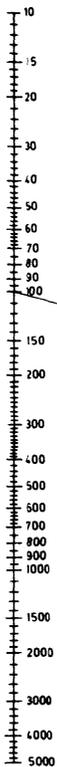
En conséquence, elles restent en suspension dans l'atmosphère durant de très longues périodes (plusieurs mois et peut-être plusieurs années) et peuvent être transportées sur de très grandes distances.

Ces particules contiennent principalement du Strontium 90 (demi-vie 27,7 ans) et du Césium 137 (demi-vie 30,5 ans). La distribution de ces retombées sur la surface de la terre n'est pas prévisible. Il est presque certain que l'ensemble du globe terrestre risque d'être contaminé de cette manière surtout lorsqu'on tient compte du potentiel nucléaire existant actuellement.

-----

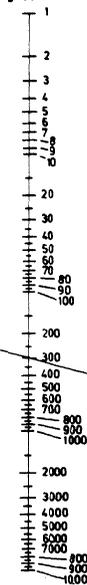
TOTAL DOSE

(D)



DOSE RATE

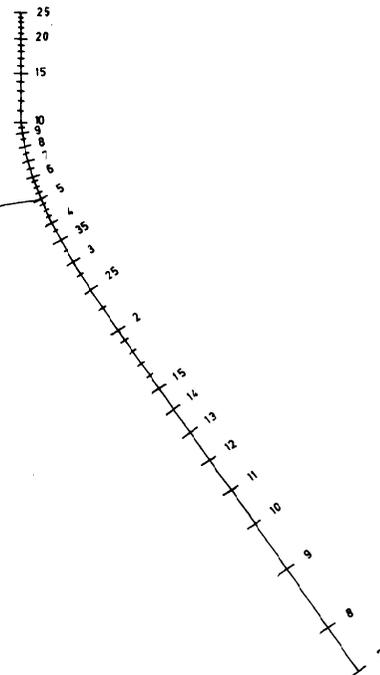
[ H + 1



INDEX



ENTRY TIME ( $T_e$ )  
(hours after burst)



STAY TIME ( $T_s$ )  
(hours)



SAMENVATTING.

De radioactieve neerslagen die zouden plaats hebben na een of meerdere nucleaire ontploffingen zouden enorme problemen stellen voor de bewoners van een zeer uitgestrekt geografisch gebied.

De radioactieve stofdeeltjes die bij de ontploffing tot stand komen kunnen een zeer grote hoogte bereiken ; zij verplaatsen zich met de wind en gezien hun geringe daalsnelheid, kunnen zij op de grond terecht komen op zeer grote afstanden van de plaats van de ontploffing.

De afnamegraad van de radioactiviteit is gering ; daardoor kan de radioactiviteit gevaarlijk blijven gedurende een zeer lange periode.

ABSTRACT.

After one or more atomic explosions the fall out would create a serious threat for the inhabitants of a large geographical zone.

The radioactive dust can reach a very high altitude and since it has a rather small downward velocity it can reach the soil at great distances from the explosion.

The radioactive decay is rather small and as a consequence, the period where fall out remains dangerous can be very long.

**LES EFFETS DE LA GUERRE NUCLEAIRE SUR L'HOMME ET LES POPULATIONS -  
LEUR PREVENTION.**

M. ERRERA,

Professeur émérite à l'U.L.B.  
Président de l'AMPGN (\*)

Avenue de la Sapinière, 47,  
1180 Bruxelles.

RESUME.

Les estimations des effets d'une guerre nucléaire sont basées sur les données enregistrées après Hiroshima et Nagasaki. Les effets immédiats par souffle, brûlure ou radiations peuvent tuer jusqu'à quelques semaines après l'explosion. Parmi les conséquences tardives de la "maladie des rayons", on distingue les effets génétiques, ceux sur le fœtus et divers cancers, mais on ne peut passer sous silence les effets psychosociaux observés, immédiatement et souvent de manière permanente, ni l'état de dénuement total en personnel et moyens où ont dû opérer les rares hôpitaux restés utilisables.

La course aux armements a conduit à un tel nombre d'armes atomiques et à un degré de complexité de leurs moyens de commande tels qu'il n'est plus possible d'exclure un déclenchement accidentel ou non voulu d'une guerre atomique d'autant plus qu'en période de crise une série de facteurs humains réduisent considérablement l'éventualité des réactions de conciliation. Seules la prévention par l'information correcte et la recherche d'une véritable détente internationale et d'actions de coopération entre toutes les nations peuvent sauvegarder nos civilisations.

Les menaces d'une guerre nucléaire éventuelle qui pèsent sur l'humanité, nécessitent de la part du corps médical une prise de conscience, nécessaire car le seul remède efficace pour les populations est la Prévention.

Il est donc légitime de se demander quelles pourraient être les conséquences d'un conflit généralisé et pourquoi le corps médical serait impuissant d'y faire face.

La médecine préventive s'est toujours basée sur des hypothèses pessimistes afin de mieux prévoir toutes les mesures à prendre et de diminuer les risques imprévus, même si leur probabilité est faible, c'est pourquoi la plupart des scénarios considèrent comme improbable qu'une guerre nucléaire puisse rester limitée.

Les seules données objectives sur lesquelles il soit possible de se fonder une opinion est d'essayer d'extrapoler à partir des conséquences connues des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki en août 1945.

I. EFFETS IMMEDIATS DES BOMBARDEMENTS D'HIROSHIMA ET DE NAGASAKI.

Dans les Tableaux 1 et les Figures 1 et 2, sont reprises les données concernant les victimes d'Hiroshima et Nagasaki.

(\*) Association Médicale pour la Prévention de la Guerre Nucléaire associée à l'IPPNW (International Physicians for the Prevention of Nuclear War) à Boston.

Pour les explosions aériennes comme ce fut le cas au Japon en 1945 (à env. 500 m d'altitude), les victimes meurent essentiellement des conséquences de l'onde de choc (près de 50 pc. de l'énergie totale libérée) et de l'onde thermique (près de 35 pc. de l'énergie) qui peut atteindre plusieurs milliers de degrés et, provoque des brûlures du 3<sup>e</sup> degré jusqu'à 1 Km : ce sont les brûlures primaires. Mais les brûlures peuvent aussi résulter des incendies que ces températures peuvent allumer dans un très vaste rayon. Les radiations ne rendent compte que de 15 pc. de l'énergie libérée dont 1/3 de radiations immédiates et 2/3 de radiations dissipées sous forme de retombées. En cas d'explosion au sol, ces dernières sont importantes ; leur dispersion dépend des conditions météorologiques, la vitesse et la direction du vent, par exemple.

La configuration du terrain peut modifier la proportion des victimes : par exemple, les collines de Nagasaki et la plus grande dispersion des habitants peuvent expliquer leur nombre relativement moins grand.

Pour Hiroshima, on estime respectivement à 35 pc., 50 pc. et 15 pc., le nombre des tués par les traumatismes classiques, les brûlures et le rayonnement. Les blessés se répartissent dans des proportions légèrement différentes (40 pc., 35 pc. et 25 pc.) (OMS, p. 63).

Il est évident aussi, qu'en fonction de l'heure (habitants chez eux ou au travail et plus ou moins près d'un objectif, les conditions atmosphériques, la saison, etc ...), les effets pourront être différents et sont de ce fait très difficiles à prévoir pour chacun des cas que l'on peut envisager. Et bien entendu, les victimes subissent pour la grande majorité un ensemble d'effets combinés et il est difficile de déterminer lequel aura été la cause première des décès.

Si la grande majorité des victimes d'Hiroshima et Nagasaki sont mortes des grands traumatismes et des brûlures, la maladie des rayons, à peu près inconnue, a compliqué le travail des médecins restés valides parce qu'ils étaient totalement incapables d'en prévoir l'évolution et ne connaissaient pas les soins à donner. Il paraît d'ailleurs étonnant, dans un pays comme le nôtre où les "cibles" ne manquent pas, que les programmes de nos facultés de médecine ne comportent que de bien maigres notions de radiobiologie et de médecine nucléaire.

L'éclair lumineux produit par l'explosion provoque des lésions oculaires, par exemple des brûlures irréversibles de la rétine et même à

50 Km, il peut y avoir des cas de cécité temporaires; d'autre part, des nombreux cas de cataracte sont apparus dans les mois (pour les cas les plus graves) ou dans les années qui ont suivi les bombardements. L'onde de choc peut disloquer les corps, altérer les poumons ou provoquer des ruptures de tympan et divers troubles de l'ouïe. En plus de l'écroulement des bâtiments, il faut compter sur l'éclat des vitres qui occasionnent d'innombrables petites lésions fastidieuses à soigner.

#### Situation des hôpitaux

A Hiroshima et Nagasaki, la plupart des hôpitaux qui étaient situés au centre de la ville ont été détruits, ce qui explique les difficultés qu'il y a eu à organiser les services de santé. Les 2/3 des personnes présentes auraient dû être examinées et soignées immédiatement, mais n'ont pu l'être que lorsque les secours ont pu s'organiser dans les jours qui ont suivi. (Tableau 2).

A Hiroshima trois hôpitaux situés à plus de 3 Km de l'hypocentre bien qu'endommagés ont pu recevoir des blessés. D'après le rapport de l'OMS, entre le 10 avril et le 5 octobre 1945, 10586 blessés ont été hébergés dans les locaux restés disponibles et plus de 210.000 ont reçu des soins ambulatoires. Mais comme dit ce rapport, il s'agissait d'avantage de réconfort prodigués aux victimes que de soins réels. L'eau qui était rare, "permettait d'apporter aux mourants un peu de réconfort",

Les brûlés auraient dû disposer chacun de 10 à 20 litres d'eau par jour et chaque survivant, de quelques litres. Médicaments et matériel ont dû être apportés de l'extérieur.

A Nagasaki, l'Hôpital universitaire (75 % des lits totaux de la ville) était situé à 600 m de l'hypocentre et a été totalement détruit. Des 580 étudiants en médecine présents, 414 ont été tués.

## II. LA MALADIE DES RAYONS

Ce qui a frappé les premiers arrivés à Hiroshima et Nagasaki après les bombardements, a été l'état de prostration des victimes, leur totale absence de volonté de réagir devant un cataclysme d'une telle ampleur. L'effet de rayonnement a probablement contribué (pour une part difficile à déterminer) à cette apathie générale. On sait que le système nerveux central est gravement perturbé aux fortes doses des rayons, on ne sait que peu de choses sur la manière dont des doses moindres peuvent affecter les capacités de réagir dans des circonstances inattendues et dramatiques. Selon la dose reçue, certaines symptomatologies dominent (Tableaux 3 et 4). La forme nerveuse, au-delà de 10 Gy résulte d'une altération générale du système nerveux que l'on peut attribuer notamment à une modification des échanges ioniques au travers des membranes neuronales, mais dont les modalités sont encore mal connues.

La forme gastro intestinale s'observe pour les doses de 4 à 10 Gy. Elle résulte de la destruction des cellules germinatives qui remplacent tous les quelques jours l'épithélium digestif. Les villosités dénudées, il s'ensuit une perte de l'absorption d'eau notamment - qui entraîne une diarrhée abondante et déshydrate l'individu. La barrière de protection naturelle aux bactéries et virus disparaît et ouvre la voie aux infections. En absence de soins intensifs immédiats, transfusion, antibiotiques, chambre stérile, ... la pronostic est sombre.

La forme médullaire entre 1.5 et 4 Gy est due à la mort des cellules blastiques de la moëlle osseuse. Il y a une diminution rapide du nombre des lymphocytes et ensuite des neutrophiles, ce qui déprime les fonctions immunologiques au bout de quelques jours et favorise également les infections ; une diminution plus lente mais importante du taux des plaquettes sanguines suit peu après, ce qui entraîne des hémorragies intestinales et cutanées et provoque l'anémie (Fig.3).

La mort, dans le cas de syndrome médullaire est plus tardive, souvent au bout de 3 semaines ou même d'avantage. Le traitement qui s'imposerait est le même que dans le cas du syndrome gastro intestinal. Les greffes de moëlle osseuse que l'on devrait pratiquer serviraient essentiellement à assurer la reprise de l'hématopoïèse propre du sujet atteint.

Les Tableaux 3 et 4 résument la symptomatologie.

Dans la zone des doses inférieures à 1.5 Gy, la survie est quasi assurée

mais néanmoins les malaises et nausées chez certains suggèrent une altération nerveuse ; la lymphocytopénie pourrait réduire la résistance des victimes aux infections.

### Effets psychosociaux

On n'a probablement pas assez insisté sur les effets psychosociaux observés au Japon chez les personnes exposées et qui ont survécu aux bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki. Leur comportement pouvait se caractériser par une stupeur et une "vacuité" mentale résultant de la prise de conscience du chaos qui régnait alors, de la crainte de mourrir et de l'insolubilité des problèmes auxquels elles étaient confrontées.

Un autre facteur important a été la destruction des familles dont 80 pc. des responsables (père par exemple), avaient été touchés, ce qui a fortement ralenti la réadaptation sociale de ceux qui restaient (OMS, p. 75 et 76).

A plus long terme, les "Hibakucha" (survivants des bombardements), ont conservé ce sentiments d'appartenir à un groupe humain unique, chez qui la vie a perdu de son sens, après la perte d'enfants et d'autres êtres auxquels ils étaient attachés, ou par la crainte d'effets tardifs qui les poursuivra pendant toute leur vie, comme par exemple, celle de procréer des enfants anormaux ou de développer un cancer.

### III. EFFETS A LONG TERME

En dehors des conséquences des traumatismes classiques (brûlures, fractures, troubles oculaires...), on devrait s'attendre à un certain nombre d'effets tardifs de l'irradiation due aux explosions.

En 1946, fut créée l'Atomic Bomb Casualty Commission (ABCC) bientôt secondée par l'Institut National de la Santé japonais (JNIH) qui ont été chargés d'étudier les effets somatiques et génétiques tardifs. Mais au début, l'échantillonnage des populations étudiées manquait d'ampleur et ce n'est qu'en 1950 qu'une enquête nationale plus rigoureuse a été entreprise sur une sélection de 285000 sujets dans les deux villes. Une étude des causes de mortalité a été pratiquée sur 109000 personnes dont 20000 environ ont fait l'objet d'études cliniques poussées. Des observations ont été réalisées sur 2600 enfants exposés in utero et sur 54000 enfants également, dont la moitié sont nés de parents dont au moins l'un des deux avait été exposé (enfant de la 1ère génération), et dont l'autre moitié a été prise comme témoin. Ces données ont été discutées par une série d'organismes comme l'ONU, l'Académie des Sciences des USA, la Commission internationale de protection contre les radiations (ICRP). Depuis 1975, les recherches confiées à l'ABCC et au JNIH ont été réorganisées par les USA et le Japon, sous l'autorité de la Radiation Effects Research Foundation (RERF) (OMS, p. 103).

#### Effets génétiques

Dans les populations normales où des études épidémiologiques sont poursuivies, sur  $10^6$  enfants viables, 105000 sont affectés de maladies héréditaires. Quinze mille de celles-ci (1.5 % des naissances) sont transmises de manière strictement mendélienne, le reste dépend de plusieurs facteurs et possède, en outre, des causes non héréditaires (hormonales, mode de vie ...) qui font que la transmission d'une génération à l'autre n'est pas strictement mendélienne.

Le "fond" naturel de ces maladies est donc très élevé et il n'est pas tout à fait surprenant qu'aucun accroissement significatif n'ait été observé parmi les 27000 enfants susceptibles d'en avoir été victimes. Aucune malformation congénitale à caractère héréditaire, aucun test clinique habituel positif, aucune anomalie dans les propriétés des protéines étudiées par électrophorèse à haute résolution. Aucune grosse anomalie chez le fœtus provenant d'interruptions de grossesses.

Les données radiobiologiques permettant de prévoir l'effet de l'irradiation sur l'hérédité humaine reposent essentiellement sur des études faites chez l'animal et qui concernent certains défauts héréditaires comparables à ceux de l'homme ou sur des estimations des doses qu'il faudrait pour doubler la fréquence des affections strictement mendéliennes. Ces estimations suggèrent qu'il faudrait de 1 à 2 Sv pour doubler cette fréquence et les observations faites à Hiroshima et Nagasaki sont compatibles avec ces estimations (Pochin, 1983).

#### Effets de l'irradiation in utero d'enfants nés après les bombardements

On estime dans nos sociétés, qu'environ 60 enfants sur mille naissent avec une affection congénitale : 6 pc. de celles-ci sont due à un défaut dans un ou plusieurs gènes ; 50 pc. à des causes complexes, 5 pc. à des anomalies de chromosomes, 6 pc. à des facteurs d'environnement y compris de facteurs matériels. Trente pour cent n'ont pas de causes connues (Unscear 1986).

Certaines données de tératologie humaine résultent de l'examen d'enfants nés de mères qui avaient subi des examens radiographiques pendant leur grossesse, pour diagnostiquer la présence de jumeaux ou d'anomalies pelviennes. A l'époque de ces examens, on n'en mesurait pas les dangers et peu de données dosimétriques existent. Des défauts parfois très graves ont été notés : anomalies du système nerveux central (anencéphalie, hydrocéphalie, microcéphalie, anophtalmie) ou des défauts du système osseux (polydactylie notamment), ou du système digestif (sténose pylorique).

Ces types d'anomalies ont également été observées chez la souris et le rat et chacune d'elle résulte d'une irradiation in utero à un moment bien précis du développement de l'embryon. Toutefois, les effets des radiations ionisantes sur l'oeuf fécondé ou durant les premiers stades de divisions qui précèdent son implantation dans l'utérus ont une allure de tout ou rien : l'embryon meurt ou bien il survit apparemment normal. Aucune donnée précise pour ce stade n'existe chez l'Homme.

Les anomalies tératologiques constatées après les bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki ont été évaluées par rapport à une population japonaise comparable non exposée ou se trouvant loin de l'hypocentre de l'explosion.

Parmi les enfants irradiés in utero à Hiroshima ou à Nagasaki, on a observé :

- un certain retard de croissance chez le fœtus et l'enfant
- des mensurations crâniennes en-dessous de la moyenne, accompagnées souvent d'arriération mentale (Tableau 5).
- il n'a pas été observé d'incidence accrue significative de tumeurs solides ni de leucémie après la naissance.
- mortalité néonatale et infantile accrue chez les plus irradiés.

TABLEAU 5

Arriération chez les enfants exposés in utero à Hiroshima et à Nagasaki

Doses* moyennes au fœtus (Gy)	Semaines de gestation lors de l'exposition											
	<u>0 - 7</u>			<u>8 - 15</u>			<u>16 - 25</u>			<u>&gt; 26</u>		
	Nb	Arr	%	Nb	Arr	%	Nb	Arr	%	Nb	Arr	%
0	156	1	0.6	253	1	0.4	324	3	0.9	352	4	1.1
0.04	42	0	0.0	64	2	3.1	94	2	2.1	92	0	0.0
0.23	19	0	0.0	48	3	6.3	49	1	2.0	53	0	0.0
0.72	2	0	0.0	11	4	36.4	14	2	14.3	7	0	0.0
1.31	1	0	0.0	7	5	62.5	4	3	66.6	3	0	25.0
2.74	0	0		1	0		2	1		1	1	
TOTAL	64	0	-	131	14		163	9		156	1	

Nb = nombre d'enfants    Arr = arriérés

\* = il s'agit des doses réestimées depuis 1965 en tenant compte notamment des facteurs faisant écran aux femmes irradiées (d'après Unsear 1986).

- Ce tableau suggère que l'effet est proportionnel à la dose, mais il n'y a pas de corrélation absolue entre arriération mentale et diamètre crânien réduit. Il est possible, par exemple, que l'inhibition de croissance de neurones puisse être compensée par de la neuroglie sans que cela n'affecte les mensurations. Par contre, il existe un parallélisme entre l'existence des symptômes de maladies des rayons chez la mère avec l'arriération de l'enfant. Il faut ajouter que l'arriération mentale enregistrée concerne seulement des cas graves d'enfants incapables de soutenir une conversation normale ou d'apprendre à compter.

- Chez l'homme, la prolifération et la migration des neurones sont déjà très avancées à la 16<sup>e</sup> semaine, tandis que la synaptogénèse qui se produit plus tard semble moins sensible à l'irradiation ( Unscear, 1986).

D'après Otake et Schull (1984), il pourrait y avoir une synergie entre malnutrition et effets des radiations, car même chez les non irradiés, il y a un taux assez élevé d'arriération (+ 1 %) par rapport à la population japonaise.

Une étude non publiée des mêmes auteurs, analyse les résultats de tests d'intelligence en fonction des doses reçues in utero. Les courbes dose effets seraient linéaires quadratique entre les 18<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup> semaines et linéaires entre les 16<sup>e</sup> et 25<sup>e</sup> semaines ( Unscear 1986).

Aucun accroissement de la fréquence de leucémies ni de tumeurs solides n'a été constaté chez les enfants irradiés pendant leur gestation, mais la proportion de leucémies dans une population témoin est élevée par rapport à ce qui a été trouvé ailleurs au Japon.

Dans la pratique médicale, abandonnée actuellement, certains auteurs avaient constaté un accroissement de leucémies et de tumeurs solides (Coggle 1983), et une dose de 10 mGy données à une femme pendant les premières semaines de grossesse, pourrait entraîner un cancer pour 1000 naissances, alors qu'on constate deux fois moins de cas chez des enfants de moins de dix ans, non exposés. Mais, d'autres observations ne mentionnent aucune augmentation de cancer après irradiation in utero (Unscear, 1986).

### Induction de cancer

Depuis le début du siècle, on sait que les radiations ionisantes sont cancérigènes et il est naturel qu'on ait tenté de dénombrer les cas de cancers que l'on peut attribuer à une irradiation subie à Hiroshima ou Nagasaki.

Parmi les 85000 personnes décédées entre 1950 et 1978, il y aurait eu 400 à 500 cas de cancers supplémentaires par rapport à une population japonaise comparable. La fréquence de leucémies est de l'ordre de 1 % chez ceux qui ont reçu les doses les plus importantes (>3 Gy) (Fig.5) ; elle serait d'environ 4 % pour les tumeurs solides ce qui porte de 22 à 26 % la fréquence des morts par ce type de cancers. Ces proportions sont compatibles avec les données épidémiologiques humaines pour des cancers survenus après les irradiations thérapeutiques, par exemple, pour les leucémies consécutives aux irradiations de malades souffrant de spondylite ankylosante. Les leucémies, sauf les lymphoïdes chroniques qui ne sont pas induites, ont commencé à apparaître 3 ans après les bombardements (Fig.5), et ont atteint une fréquence maximum en 1951-1952. Ensuite, une décroissance lente encore perceptible à l'heure actuelle chez des enfants irradiés. Chez les personnes adultes au moment de l'irradiation, le temps de latence est nettement plus long que pour les enfants, mais d'autant plus court que l'irradiation est intense. Les leucémies aiguës sont environ deux fois plus fréquentes que les chroniques. Le profil en fonction du temps diffère entre Hiroshima où on continue à en dénombrer et Nagasaki où il n'y a plus eu de cas excédentaires depuis les années 1970. Des observations concernant l'excédent de lymphomes malins ou d'aplasie médullaire ne semblent pas statistiquement concluantes, tandis qu'un accroissement des myélomes multiples paraît exister.

Les cancers solides sont représentés dans la Figure 6 qui montre un excès de cancers de diverses parties du tube digestif, de cancers du poumon, mais aussi de la thyroïde et peut être des voies urinaires. Il ne semble pas y avoir d'accroissement de la fréquence de cancers du sein, du rectum, de tumeurs intracrâniennes - mais il est évidemment nécessaires de continuer à suivre toutes les formes de tumeurs. Il est très difficile de donner des chiffres absolus pour chaque type de cas, chacune des personnes concernées n'ayant pu être suivie ; les

observations les plus fiables l'ont été sur des groupes qui ont accepté de se faire examiner de manière répétée. Ici également, le taux de cancers spontanés est élevé ; c'est pourquoi beaucoup de données sont exprimées comme accroissement de risque dû à certaines doses d'irradiation. Les relations entre dose reçue et effet cancérigène est difficile à établir mais aux doses faibles (par exemple, < 2Gy) on ne peut exclure une relation linéaire, tandis qu'aux doses fortes (> 5Gy) les sujets risquent fort en cas de guerre nucléaire de succomber à d'autres traumatismes.

Anomalies de chromosomes :

Les observations sur les chromosomes de lymphocytes ont montré qu'il y avait un accroissement significatif d'aberrations essentiellement du type échanges symétriques et motifs anormaux de certaines bandes, y compris chez des sujets irradiés in utero. Ces anomalies peuvent persister pendant plusieurs décennies, mais on n'a pas trouvé de pathologie qui pourrait leur être associée.

Vieillesse précoce :

On n'a pas constaté de mortalité prématurée sauf dans le cas de cancers. Comme nous l'avons dit plus haut, un accroissement net de la proportion de cataractes semble n'apparaître que si l'irradiation a dépassé un certain seuil. Le temps de latence semble diminuer avec la dose et les cataractes sont apparues plusieurs mois ou années après les bombardements.

#### IV. PROJECTIONS POUR UNE GUERRE NUCLEAIRE EVENTUELLE

Dans le contexte du monde actuel dans lequel les arsenaux nucléaires continuent à s'enrichir et à se perfectionner, médecins et stratèges sont confrontés avec la nécessité de prévoir quelle serait l'ampleur pour l'humanité de la catastrophe que serait un conflit nucléaire. Il faut évidemment tenir compte de plusieurs facteurs :

- 1) de l'armement nucléaire disponible actuellement (Fig.7.).
- 2) des cibles militaires et civiles envisagées, de la densité des populations dans leur proximité, des moyens médicaux qui resteraient encore disponibles.
- 3) et malheureusement, de facteurs humains totalement imprévisibles

Les cibles sont essentiellement les noeuds de communication, les centrales énergétiques éventuellement nucléaires, les dépôts d'armement, les états majors, les villes, etc ...

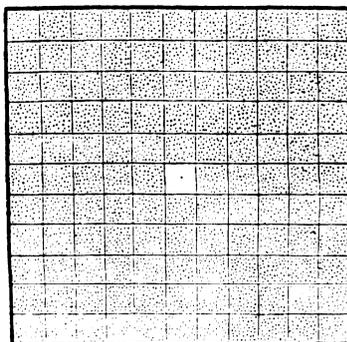
Il faut évidemment tenir compte des populations et du terrain , des conditions atmosphériques probables pour estimer les conséquences. Les "facteurs humains" ne permettent pas d'envisager des scénarios "limités", car rien ne permet de prévoir le comportement d'un chef d'état acculé à une défaite "conventionnelle". La limitation de l'utilisation d'armes nucléaires à celles appelées tactiques est peu probable, et il ne faut en tout cas pas oublier que si leur puissance peut éventuellement être mille fois moindre qu'à Hiroshima (+ 10 tonnes de TNT), certaines armes tactiques atteignent 10 Kt.

Le rapport de l'OMS estime le nombre de victimes qu'il y aurait si une mégatonne était larguée à environ 500 m d'altitude sur le Parlement de Londres, un jour de semaine du mois d'août. Il y aurait de l'ordre de 1.770.000 tués et presque autant de blessés dont environ 50 pc. d'irradiés du fait des retombées. Une bombe de cette puissance larguée à cette altitude provoquerait des retombées, alors qu'il y en aurait peu si l'explosion avait lieu à 2500 m, mais il y aurait sensiblement le même nombre de tués et de blessés. Ceux atteints de traumatismes dus à l'onde de choc seraient doublés; le nombre de brûlés serait augmenté également

mais dans des proportions moins importantes.

Ce scénario donne des chiffres assez comparables à une simulation de l'OTAN (exercices "square leg") où 11 mégatonnes sont larguées sur 5 cibles plus ou moins périphériques de Londres ; ici la proportion de brûlés graves serait considérablement accrue (de 4 à 20 fois) si la population était "dans la rue" au moment des bombardements.

Figure 7



Le point isolé du carré central correspond au total de la puissance des bombes utilisées pendant la 2<sup>e</sup> guerre mondiale, soit 3 mégatonnes. L'ensemble des autres points correspond à la puissance des bombes nucléaires disponibles sur la planète en octobre 1983, soit 18000 mégatonnes, plus de 4 tonnes par habitant de la planète. Les points inclus dans deux carrés suffisent pour détruire toutes les capitales et villes moyennes de la planète. (D'après une affiche du Collectif de Scientifiques pour le désarmement nucléaire - Paris).

D'autres scénarios comme celui d'Ambio (1982) ont étudié l'impact d'un affrontement nucléaire entre l'OTAN et les forces du Pacte de Varsovie. Si on se limite à un peu plus de 80 cibles situées dans chacune des deux Allemagnes recevant 20 Kt, on arrive à une probabilité

de 10 millions de tués et autant de blessés graves ; la répartition des victimes pouvant varier considérablement suivant la densité de la population autour des cibles atteintes (Coggle et Lindop, 1982). Concernant les ressources médicales disponibles, il est difficile de transposer directement d'Hiroshima et Nagasaki à des villes construites différemment comme en Europe, en URSS ou aux USA. Un scénario concernant Londres suppose qu'il pourrait rester 24000 lits d'hôpitaux utilisables sur les 60000 existant pour lesquels il y aurait de l'ordre de 5000 médecins valides sur les 11500 qui existent en temps normal. Il devrait se passer entre 7 et 17 jours pour que toutes les victimes soient examinées et en travaillant 18 heures par jour, on ne pourrait consacrer à chacun d'eux que 20 minutes dans des conditions où toute l'infrastructure (eau, gaz, électricité) serait vraisemblablement anéantie, et où les médicaments seraient épuisés (cité dans Résibois et Joffroy, 1983). Autant dire que lors d'un conflit un peu étendu, la médecine que l'on pourrait pratiquer serait celle du Moyen-Age, ou au mieux, celle des guerres napoléoniennes.

Beaucoup d'incertitudes restent.

Beaucoup d'entre elles ont été cernées par Rotblat dans une étude rapportée lors du 1<sup>er</sup> Symposium Régional de l'IPPNW à Bruxelles en novembre 1985. Les incendies dans les grandes villes s'allumeraient avec 100 % de probabilité dans un rayon de 8 Km pour des bombes de 1 mégatonne. Même avec une probabilité moindre, les incendies finiraient de proche en proche par englober une région entière. Elles tueraient par la chaleur, le CO<sub>2</sub> et le CO dégagés, par la perte d'O<sub>2</sub>, et la formation d'autres éléments toxiques, qui feraient des victimes même dans les abris. A Bruxelles, par exemple, la ville entière pourrait flamber et chacun périrait.

L'effet du rayonnement est également encore mal connu sur la survie de l'homme. La mortalité en fonction de la dose est une sigmoïde dont la pente est très forte, ce qui rend l'estimation de la mortalité peu précise. Une estimation de la dose qui aurait tué 50 pc. des personnes exposées au bout de 60 jours (LD 50/60) a été donnée par Coggle qui l'estime à 3 ou 3.5 Gy, mais il en discute l'imprécision, notamment en ce qui concerne les jeunes enfants chez qui elle pourrait être plus basse. Rotblat évalue les données recueillies à Hiroshima et estime que 1.5 Gy pourraient déjà tuer 50 pc. des victimes, car elles étaient mal nourries, et souvent souffraient de brûlures.

Il existe une synergie nette quand l'irradiation est combinée à des brûlures. Des chiens exposés à 1 Gy survivent tous ; on peut les soumettre à des brûlures du 2<sup>e</sup> degré de manière à n'en tuer que 12 pc. ; mais les deux traitements combinés en tuent 73%. Si ces mêmes chiens sont traités à la pénicilline, il n'en meurt que 14 pc. (Rotblat, 1986).

La malnutrition peut également affecter la survie des irradiés, il en est de même pour d'autres "stress" auxquels seraient soumises les victimes (résultant de la désorganisation sociale, du dénuement).

A plus long terme également, les inconnues concernant les retombées radioactives sont considérables. Il a généralement été admis pour des engins de l'ordre d'une mégatonne que le fall out atteindrait la stratosphère et serait largement réparti avant de redescendre lentement, ce qui réduirait les risques d'irradiation  $\gamma$ . La répartition dans la troposphère augmenterait considérablement pour des bombes de l'ordre de 100 Kt, comme on en utiliserait actuellement. Dans ce cas, les retombées seraient de type intermédiaire et elles pourraient décupler les doses ou d'avantage et augmenter de manière difficilement prévisible les effets génétiques, l'induction de malformations par irradiation des enfants in utero, les tumeurs et les leucémies. Ces effets des retombées seraient encore accrus si des centrales nucléaires (ou des silos d'ogives nucléaires) étaient touchées. Il est étonnant de constater comme le dit Rotblat que plus on apprend à comprendre les effets des armes nucléaires, plus on découvre de nouvelles données. Elles ont un caractère commun - elles vont toutes dans le sens du pire (Rotblat, 1986).

#### V. FACTEURS HUMAINS INTERVENANT DANS LE DECLENCHEMENT DES GUERRES.

Il s'agit de facteurs concernant les populations dans leur ensemble et de facteurs individuels. Le corps médical doit prendre conscience de ces facteurs, il est capable de les comprendre et de les expliquer et de les faire connaître.

1° Tout d'abord, il est évident que le cerveau humain n'a pas changé depuis des centaines ou des milliers d'années et n'a pas suivi les progrès de la technologie.

2° D'autre part il est naturel que l'homme commette des erreurs ; dès les premiers jours, la plupart des guerres ne se déroulent pas comme

les stratèges l'avaient prévu (par exemple 1870, 1914, 1940, en tous cas dans l'un des deux camps!).

3° Souvent l'homme est incapable d'apprécier certaines grandeurs : les milliards de francs de déficit d'un budget, les mégatonnes accumulées dans le monde. Les individus se sentent également moins concernés par un événement qui se passe ou pourrait se passer loin d'eux dans l'espace ou dans le temps. Une guerre nucléaire paraît peu probable, dans le contexte politique actuel et on se soucie trop peu de ce qui pourrait arriver demain ou après-demain. On ne perçoit généralement pas qu'une guerre conventionnelle pourrait déboucher sur l'utilisation d'armes tactiques, puis stratégiques. Encore une fois, la dimension du cataclysme que cela représenterait est "inimaginable". En 1945, n'a-t-il pas fallu voir rentrer les premiers rescapés pour croire aux chambres à gaz ?

4° Il y a aussi le problème de la "perception de l'ennemi" qui peut être largement subjectif. Elle résulte souvent d'une méconnaissance de l'adversaire dont les aspects négatifs peuvent être amplifiés par les médias et services de propagandes.

5° Les circonstances dans lesquelles se trouvent certains responsables peuvent jouer un rôle clé dans un système de défense complexe, et favoriser des erreurs. Les servants de silos ou de sous-marins nucléaires, de stations de repérage ou d'observation de l'ennemi, sont souvent soumis à un travail monotone qui favorise l'inattention. On est parfois obligé de les réformer pour alcoolisme ou usage de drogues. Des signaux ou informations pourraient être non enregistrés, déformés ou encore non transmis comme ce fut, semble-t-il, le cas dans la tragédie de la navette Challenger. Il y a déjà eu des erreurs "d'aiguillage d'informations" au cours d'un exercice militaire dont la bande magnétique a alimenté accidentellement un ordinateur du North American Aerospace Defense Command (NORAD), en 1979. Celle-ci indiquait le lancement des missiles soviétiques. Pendant les six minutes qui ont précédé la découverte de l'erreur, des bombardiers nucléaires étaient prêts au décollage et les préparatifs préliminaires de larguage commencés. Une deuxième fausse alerte eut lieu en juin 1980, causée par le défaut d'un ordinateur. De nombreux cas ont été décrits (Britten 1983, Pabst et al., 1984, Hellman, 1986).

6° Du point de vue de ceux qui jouent un rôle clé dans les processus de contrôle, de transmission des informations ou de décision, l'état de stress où ils peuvent se trouver en période de crise peut altérer leur efficacité intellectuelle.

La pression émotive, l'arrivée d'informations pêle-mêle de plus en plus nombreuses et dont il s'agit de trier l'important de l'accessoire, a pour effet de dépasser le niveau de stimulation cérébral et de réduire son efficacité jusqu'à la "paralysie mentale", ceci empêche de prendre la décision qu'il convient (M. Frankenhaeuser, 1985).

Plus le niveau de stress augmente, plus l'attention se réduit et tend à se concentrer sur un petit nombre de stimuli. Ceci diminue les capacités d'adaptation du cerveau aux situations nouvelles et empêche souvent de réévaluer les conclusions auxquelles on était arrivé avant la crise. L'erreur devient alors normale, d'autant plus que le sujet stressé est âgé, ce qui est souvent le cas aux postes de commande.

#### IV. CONCLUSIONS

Les stratèges sont pour la plupart d'accord pour dire qu'une guerre nucléaire ne devrait jamais être engagée et ne peut être gagnée. Le corps médical peut ajouter qu'au cas où elle serait déclenchée, il serait tout à fait impuissant pour porter secours aux victimes. Il porte une responsabilité nouvelle vis-à-vis des hommes dont il s'est engagé à protéger la santé. Mais, dans ce contexte, c'est de l'Humanité dans son ensemble qu'il s'agit. Certaines épidémies de bien moindre ampleur, le SIDA par exemple, le préoccupent bien d'avantage que celle que constituerait un conflit nucléaire. La presse médicale parle à juste titre du SIDA dans pratiquement tous ses numéros. Il est exceptionnel qu'elle se préoccupe des problèmes médicaux qui se posent en cas de guerre nucléaire. Dans ce cas, la prévention est la seule arme dont la médecine dispose et à laquelle chaque médecin peut et doit contribuer en informant le public, comme il le fait naturellement quand il juge nécessaire de prescrire un régime alimentaire ou un vaccin.

Figure 1

Relation entre la proportion des victimes et des tués et la distance

---

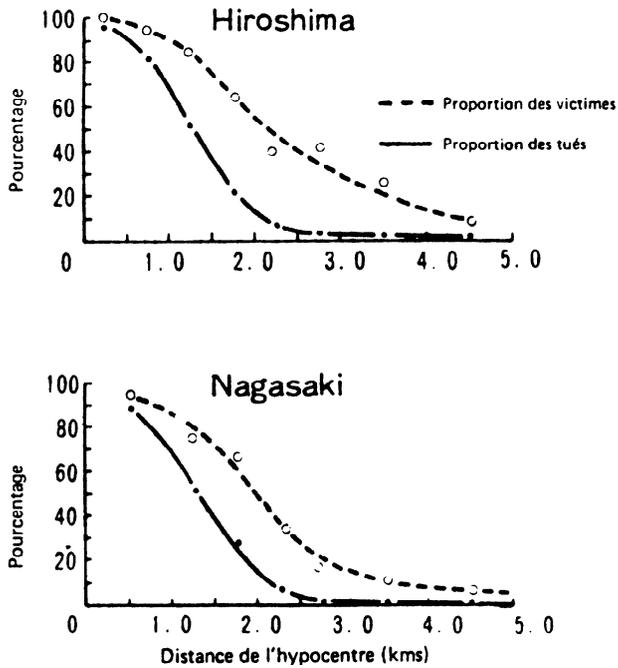
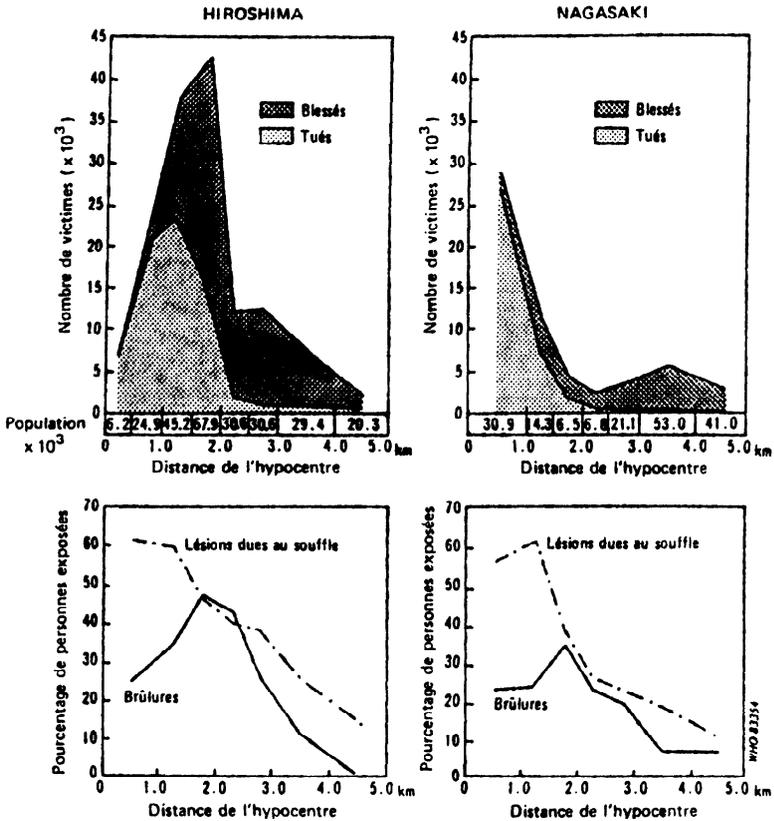


Figure 2

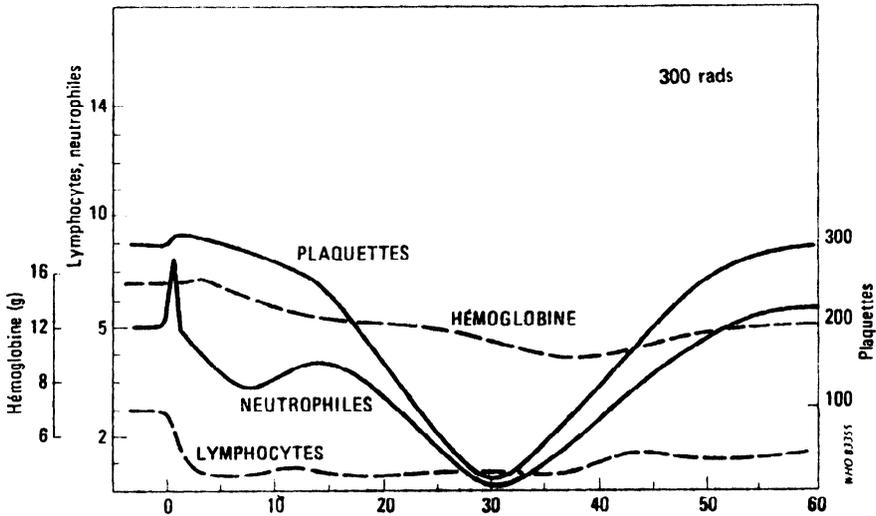
Estimation des victimes civiles et proportion des blessures dues au souffle et brûlures.



Okhita T. (1975). (dans OMS, p. 84).

Figure 3

Numération leucocytaire en fonction du nombre de jours écoulés après une exposition à 300 RAD (3 Gy)



L'effondrement du nombre des lymphocytes, l'accumulation des cadavres et des déchets, la propagation des mouches et d'autres insectes créent des conditions favorables à la pullulation de microorganismes et à la propagation de maladies infectieuses (Salmonelloses, shygelloses, dysenteries, hépatites, typhoïde ...). Toutefois, en 1945, les observations n'ont pas fait état d'un accroissement significatif de la pathologie infectieuse - mais il est impossible d'affirmer que dans d'autres circonstances il en serait de même.

(OMS, p. 86)

Figure 4

Incidence annuelle de la leucémie par dose de rayonnement et par ville, 1950-71.

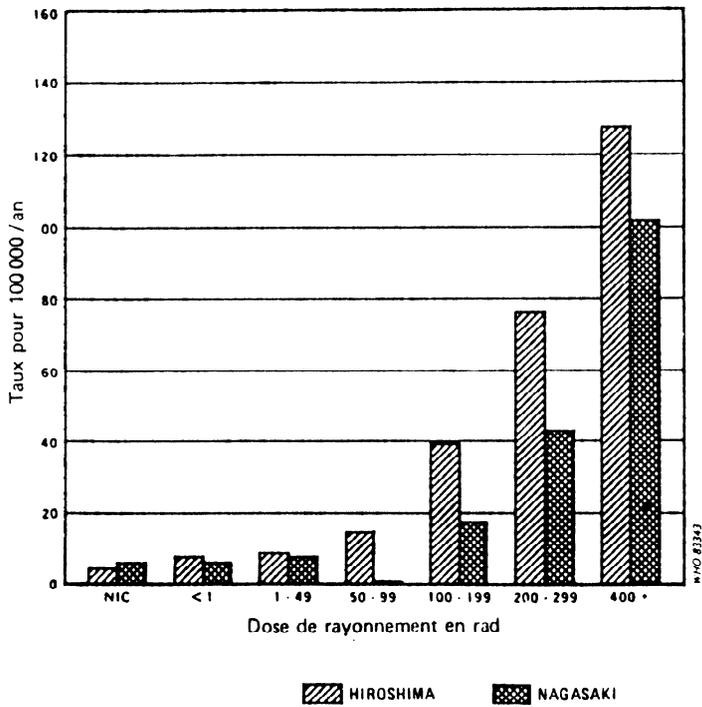
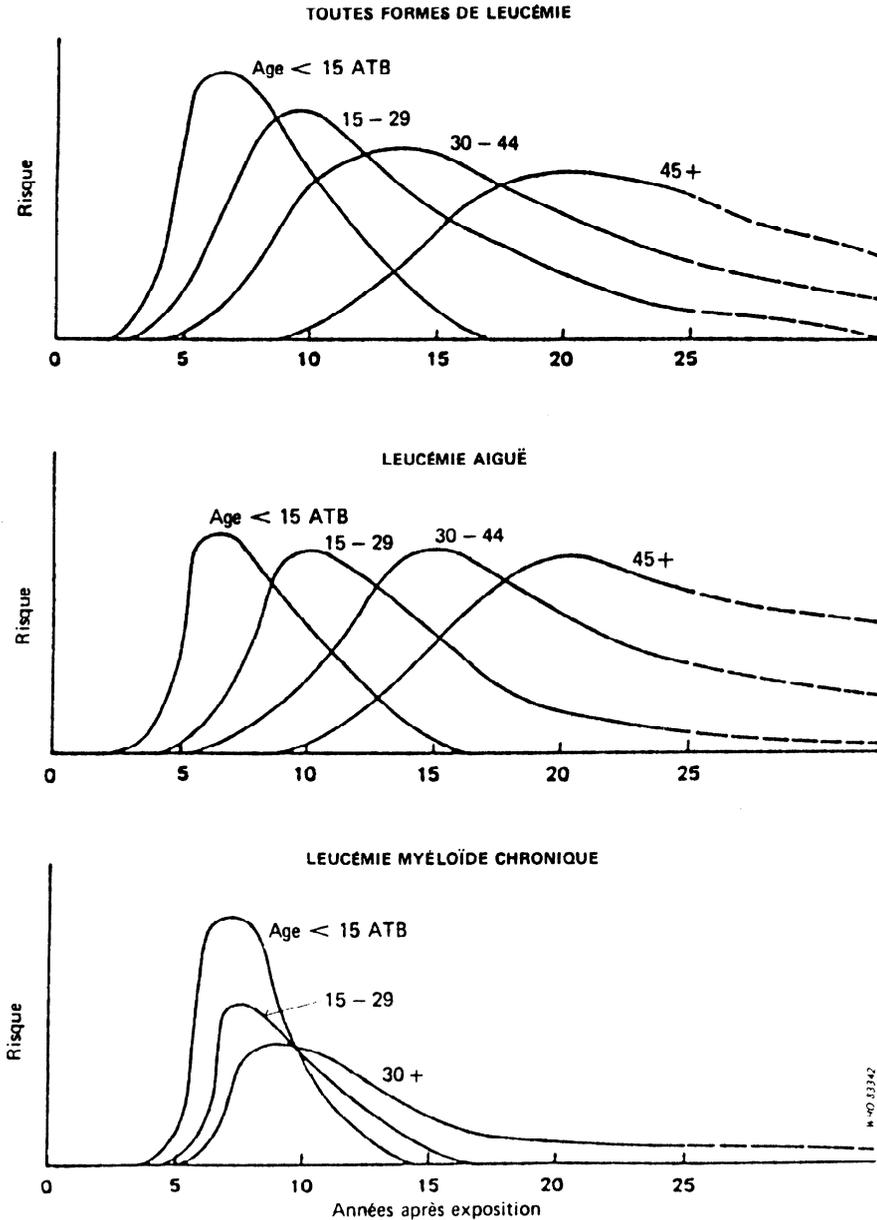


Figure 5

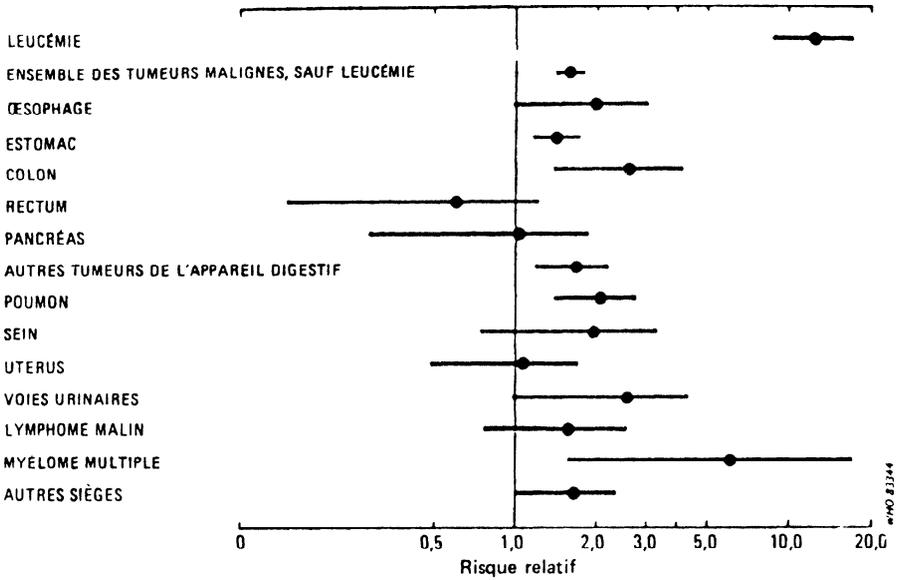
Représentation schématique de l'influence de l'âge lors des bombardements sur l'effet leucémogène des rayonnements.



d'après OMS - 1982 p. 121.

Figure 6

Risque relatif et intervalle de confiance à 90 % pour des cancers spécifiques, 1950-78 chez les personnes exposées à plus de 2 Gy.



D'après H. Kato et Schull, 1982 - OMS 1982.

Voir aussi Tubiana, 1982.

TABLEAU 1

Victimes civiles à Hiroshima et Nagasaki

	Population civile (1)	Calibre	Morts le 1è jour	Morts après le 1è jour (2)	Blessés le 1è jour	Blessés qui ont survécus	Indemnes (3)
Hiroshima 6.8.1945	255.000 (?)	13 kT	45.000 64.000 (+ 25 %)	19.000	91.000 (+ 35 %)	72.000	119.000 (+ 46 %)
Nagasaki 9.8. 1945	175.000	22 kT	22.000 39.000 (+ 22 %)	17.000	42.000 (+ 24 %)	25.000	110.000 (60 %)

Entre parenthèses : proportion des victimes civiles

(1) Les populations totales présentes sont difficiles à estimer du fait de nombreux militaires (43000?) et travailleurs, dont beaucoup de coréens (20000?) dont le recensement est resté imprécis. L'étude de l'OMS signale qu'à Hiroshima 350000 personnes auraient été présentes et qu'il pourrait y avoir eu de 90000 à 120000 morts tandis qu'à Nagasaki, il y aurait eu 270000 "victimes" (personnes présentes?). En 1950, le recensement général japonais faisait état de 158597 survivants à Hiroshima et 124901 à Nagasaki. La manière de présenter les données diffère sensiblement d'un texte à l'autre.

(2) La plupart des morts tardives (soit + 90 pc.), sont survenues au cours des 3 premières semaines.

(3) Le terme "indemne" est évidemment euphémique parce que dans une ville rasée en quelques secondes et complètement désorganisées, chaque individu est choqué par la brutalité des faits, la perte des parents ou d'amis et par la nécessité de réapprendre à vivre dans un endroit qui a perdu toute structure sociale ou matérielle.

(D'après Okhita 1982 et OMS, p. 63 et 90).

Voir aussi Errera, 1982.

TABLEAU 2

Personnels médicaux tués ou blessés à Hiroshima

<u>Profession</u>	<u>Nombre total</u>	<u>Nombre de victimes</u>	<u>Pourcentage de victimes</u>
Médecins	298	270	91
Dentistes	152	132	87
Pharmaciens	140	112	80
Infirmières	1780	1650	93
Total :	2370	2164	91

( OMS, p. 82)

TABLEAU 3

Les différentes formes de la maladie des rayons

50	survie impossible	Forme nerveuse Coma, convulsions et mort en quelques heures
30 20		Forme nerveuse Somnolence, confusion, coma Mort en quelques jours.
14 12 10 9 8 7 6 5	survie peu probable	Forme gastro-intestinale. 1er jour : malaise, nausées et vomissements 1ère - 2ème semaines : fièvre, diarrhée intense et sanglante 3ème semaine : si survie, forme médullaire
4		50 % de mortalité chez les jeunes adultes
3 2	survie probable	Forme médullaire. 1er jour : malaises, nausées et vomissements 2ème et 3ème semaines : fièvre, saignements sous-cutanés, ulcères dans la bouche. Si plus de 300 rads, chute de cheveux
1		30 jours : maximum d'insuffisance des cellules sanguines
Gy	survie certaine	Forme sub-clinique. Pas de symptôme ou seulement malaise et nausées Chute transitoire du nombre des lymphocytes du sang.

Ordonnées : doses en Gy  
(Résisois et Joffroy, 1983)

TABLEAU 4

Symptômes cliniques chez les survivants des bombardements atomiques (xxx), (xx), (x), (+) : sévérité décroissante des signes cliniques. Ohkita, T. D'après Chivian et al., p. 84.

Degré de gravité	1 <sup>è</sup> semaine	2 <sup>è</sup> semaine	3 <sup>è</sup> semaine	Taux de mortalité et moment du décès
Très grave (groupe I) 4.5 à 6 Gy et +	Nausées et vomissements (xxx) Fièvre, apathie, délire, diarrhée (xxx) ulcérations oropharyngées (x)	Fièvre (xx) amaigrissement leucopénie (xxx) anémie hémorragies (+) spontanées Epilation (+)		100 % 1 <sup>è</sup> et 2 <sup>è</sup> semaine
Grave (groupe II) 3 à 4.5 Gy	Nausées et vomissements (xx) Anorexie Fatigue	Fièvre (xx) Leucopénie (x) Anémie (+)	Anorexie amaigrissement fièvre, diarrhée épilation (xxx) Lésions oropharyngées (xxx) Hémorragies spontanées (xxx) Leucopénie (xxx) Anémie (xx)	50 % , 3 <sup>è</sup> à 6 <sup>è</sup> semaine
Moyennement grave (groupe III) 2 à 3 Gy	Syndrome gastro-intestinal (xx)	Leucopénie (x)	Anorexie Amaigrissement fièvre, diarrhée épilation (+) xx Lésions oropharyngées (+) xx Hémorragies (+) xx Leucopénie (xx) Anémie (x)	< 10 % 6 <sup>è</sup> semaine ou après
Léger (groupe IV)	Syndrome gastro-intestinal (+)	Leucopénie (x)	Fièvre (+) Epilation (+) Lésions oropharyngées (+) Hémorragies (+) Leucopénie	0

REFERENCES

- Britten St. The invisible event : war by miscalculation.  
The Renard Press, London , 1983.
- Coggle, J.E. Biological effects of Radiation.  
Taylor and Francis, London, 1983.
- Coggle, J.E. et Lindop, P.J. - AMBIO, 1982, 11, 106.
- Frankenhaeuser, M. in Nuclear war by mistake, 1985, p. 42.  
Spänberg Tryckerier AS Stockholm.
- Kato, H. et Schull, W.J. Radiat. Res. 90, (1982), 395-432.
- Errera, M. Effets à court terme d'explosions nucléaires.  
Bull. Acad. Méd. Belg. 137, 560-568 (1982).
- Hellman, S.V. in Nuclear war by mistake 1985, p. 10.  
Spänberg Tryckerier AS Stockholm.
- Okhita, T. in Last Aid - The medical dimension of nuclear war 1982-p.85.  
Ed. par E. et S. Chivian, R.J. Lifton, J.E. Mack, W.H.  
Freeman and Cy, San Francisco, 1982.
- Okhita, T. J. Rad. Res (Tokyo), 1985, 16, suppl. 49-66.
- OMS Effets de la guerre nucléaire sur la santé et les services  
de santé.  
Document A 36/12, 1983.
- Otake, M. and Schull, W.J. Brit. J. Radiol. 57 (1984), 409-414.
- Pochin, Sir.E. Nuclear Radiations : risks and benefits.  
Clarendon Press, Oxford, 1983.
- Rotblat, J. Proc. IPPNW 1st Erop. regional symp.  
International Physicians for the Prevention of Nuclear War  
Report, 4, (1), 1986, p. 10.
- Pabst, D.W., Dely, A., Krieger, D., Aldrikge, R.C. and Morrison, D.C.  
Accidental Nuclear War : the growing period. Peace Research  
Reviews (Canada), 9, 4 et 5, 1984.
- Résibois, A. et Joffroy, A.\* Armes nucléaires, les médecins désarmés.  
Assoc. Medic. pour la Prévention de la Guerre Nucléaire  
Ed. 1982.

Tubiana, M. Guerre atomique, Risques à Long Terme.

Académie Royale de Belgique, 1982.

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) U.N. Publications, N.Y., 1982.

UNSCEAR U.N. Publications , N.Y. - paraîtra en automne 1986.

SAMENVATTING.

De evaluatie van de effecten van een kernoorlog berust op de waarnemingen opgedaan in Hiroshima en Nagasaki. De onmiddellijke effecten door luchtstroom, verbranding of bestraling kunnen dodelijk zijn tot enkele weken na de ontploffing. Onder de latere gevolgen van de stralingsziekte vindt men de genetische effecten, diegene op de foetus en verschillende soorten kanker, maar ook de psychosociale effecten die onmiddelijk optreden en vaak blijvend zijn en de absolute ontoereikendheid van personeel en middelen waarmede de zeldzame overblijvende hospitalen moeten werken.

De wapenwedloop heeft als gevolg een groot aantal kernwapens met zodanig gesofistikeerde besturing dat men een kernoorlog per ongeval of misverstand niet kan uitschakelen : tijdens een internationale crisis wordt door een reeks menselijke factoren de mogelijkheid tot een verzoening sterk verminderd.

Enkel de preventie door correcte informatie, het zoeken naar een werkelijke internationale ontspanning en de samenwerking onder de verschillende naties kunnen onze beschaving sparen.

SUMMARY.

Estimates of the effects of a nuclear war are based on data collected after Hiroshima and Nagasaki. Immediate effects by blast, heat or radiations can kill for several weeks after the explosion. Among late consequences of radiation sickness one distinguishes genetic effects, those on developing fetuses and various cancers. But one cannot dismiss immediate psychosocial effects which can last permanently nor the terrible lack of personnel and of means with which the rare remaining hospitals had at their disposal.

The arms race has led to such a number of atomic weapons and to such a sophistication of their commands that one cannot exclude a nuclear war by accident or misunderstanding ; during an international crisis a series of human factors considerably reduce the possibilities for conciliation. Prevention by correct information and the search for detente and cooperation between all nations are the only mean of safeguarding our civilisations.

**LES CONSEQUENCES POTENTIELLES D'UNE GUERRE NUCLEAIRE GENERALISEE SUR LE CLIMAT**

par A. BERGER

U.C.L.

Institut d'Astronomie et de Géophysique G. Lemaître

2 Chemin du Cyclotron

1348 Louvain-la-Neuve

## RESUME

Dans un conflit nucléaire généralisé, après avoir subi les effets directs de l'onde de choc, de la chaleur et de la radioactivité liés aux explosions elles-mêmes, les survivants seraient alors soumis aux effets à plus long terme (jusqu'à un an et plus) de la nuit et de l'hiver nucléaires liés aux nuages de poussières et de fumée issus des explosions et des incendies subséquents, des retombées radioactives liées à la chute lente des poussières et de la suie emmagasinées dans la haute atmosphère, de l'augmentation de l'intensité du rayonnement ultraviolet au sol (dû à la destruction d'une partie de la couche d'ozone dans la stratosphère) et de l'augmentation des gaz toxiques dans l'atmosphère liée principalement aux incendies des milieux urbanisés. Ces conséquences, la désolation et la désorganisation totale de la société, qui succéderaient à un conflit nucléaire généralisé, diminueraient considérablement l'efficacité des protections suggérées actuellement contre une telle guerre.

## HISTORIQUE

Dès le début des années 80, scientifiques et hommes politiques se posèrent la question de savoir si on avait suffisamment étudié les conséquences à long terme d'un conflit nucléaire généralisé pour l'air, l'eau, la terre et tous les systèmes naturels dont la vie dépend. Même si dans l'esprit de l'auteur le

défi du XXI<sup>e</sup> siècle réside essentiellement dans la préservation par l'Homme de son environnement pour sa propre survie et la paix dans le monde, il n'empêche que l'étude des effets climatiques et biologiques d'un conflit nucléaire généralisé reste plus qu'un exercice académique. Il permet de se rendre compte de la complexité des phénomènes et des réactions en chaîne qui rendent probablement vaine toute tentative de protection, en dehors de celle d'éviter la guerre elle-même.

Les situations engendrées par une guerre atomique sont tellement extrêmes que les résultats présentés ici ne peuvent être considérés que comme indicatifs et sont loin d'être définitifs.

Ces résultats sont cependant suffisamment alarmants et concordants entre eux (tant en Union Soviétique qu'aux Etats-Unis) que pour avoir amené les membres de l'Académie Nationale des Sciences des USA à voter une résolution sans précédent en avril 1983 (sans précédent en ceci qu'elle déroge à la prudence assez caractéristique de cette institution dès qu'un sujet est susceptible de donner lieu à une controverse politique). De plus, ils suscitèrent une Conférence sur le Monde après une Guerre Nucléaire qui s'ouvrit à Washington D.C. le 31 octobre 1983 et qui réunit plus de 500 participants. Au cours de celle-ci, pour la première fois, la communication par satellite allait permettre de réunir en direct à la télévision deux groupes de savants, l'un à Moscou et l'autre aux Etats-Unis, pour un fructueux échange d'informations scientifiques.

Notons pour terminer qu'une étude de l'Académie Nationale des Sciences des Etats-Unis (1) et une autre du Comité Scientifique de l'Environnement (SCOPE) du Conseil International des Sociétés Scientifiques, consacrée aux "Conséquences d'une Guerre Nucléaire sur l'Environnement" (2) viennent d'être éditées.

## INTRODUCTION

Rien que les effets immédiats d'une guerre nucléaire généralisée (\*) seraient déjà désastreux : le nombre de décès dus aux seuls effets thermique, du souffle et de la radioactivité des retombées locales serait de 130 à 270 millions pour les USA et l'URSS et d'environ un milliard pour le monde entier, sans compter le milliard d'individus qui requerraient des soins médicaux importants.

Mais les survivants auraient-ils plus de chance ? A peine, car ils devraient faire face à des changements globaux qui affecteraient même les régions non impliquées dans le conflit et ce, pendant plusieurs mois voire plus d'une année. La nuit nucléaire, l'hiver nucléaire et les modifications peut-être irréversibles dans la structure chimique de l'atmosphère achèveraient en effet de bouleverser profondément les conditions de vie sur terre et sur mer.

Telles sont les conclusions auxquelles plusieurs équipes de chercheurs sont arrivés en 1983 en simulant les effets climatiques (c'est-à-dire à long terme) d'une guerre nucléaire. Après un conflit nucléaire généralisé mettant en jeu une puissance d'explosion équivalente à quelque 5.000 à 10.000 Mt - un demi million à un million de fois la puissance de la bombe d'Hiroshima - le ciel serait obscurci par des centaines de millions de tonnes de poussières atteignant la stratosphère et par des nuages de fumée et de suie résultant d'innombrables incendies déclanchés par les explosions. Été comme hiver, les résultats des premiers modèles (3) montrèrent que les températures seraient inférieures à -25°C en Europe et que le climat belge aurait des relents d'époque pléni-glaciaire qui ne s'estomperaient qu'après un an environ. La lumière solaire serait aussi réduite à quelques pour cent de sa valeur actuelle pendant plusieurs semaines et la nuit nucléaire ne prendrait fin qu'après plusieurs mois, voire une année dans le cas du scénario le plus destructeur (10.000 Mt).

---

(\*) de 5.000 Mt aux latitudes moyennes de l'hémisphère nord ; Mt = mégatonnes ou million de tonnes équivalent TNT (trinitrotoluène).

Après cette période de crépuscule glaciaire, le rayonnement ultra-violet au sol serait si intense que tous les êtres vivants ayant réchappés au froid et à l'obscurité seraient soumis à un rayonnement solaire extrêmement nocif pendant plusieurs années. Que dire des effets psychologiques, des effets sur les plans biologique et médical, de la destruction des structures agraires et industrielles, de la désorganisation totale de la Société et des bouleversements socio-économiques qui tous rendent plus pessimistes encore les conséquences à long terme d'une guerre nucléaire généralisée.

#### SCENARIO DE CONFLIT NUCLEAIRE

Un inventaire de l'arsenal nucléaire mondial montre que l'armement nucléaire totalisait, en 1982, 50.000 têtes nucléaires d'une puissance explosive totale de 12.000 à 14.000 Mt. Ceci représente environ un million de bombes d'Hiroshima et à peu près 3 tonnes de TNT pour chacun des 4 milliards d'habitants sur Terre (\*). Officiellement, cet armement est entre les mains de 5 nations dont les 2 super-puissances (USA et URSS) se partagent la plus grande partie.

---

(\*) L'arme nucléaire de base est la bombe à fission, appelée Bombe A. Une énergie énorme y est produite en un millionième de seconde environ par la fission de matériaux lourds, tels les isotopes 235 de l'uranium et 239 du plutonium. La bombe qui détruisit Nagasaki contenait 8 kg de plutonium et avait une puissance d'explosion de 22 kt (22.000 tonnes équivalent TNT), celle qui détruisit Hiroshima utilisa 60 kg d'uranium pour développer une puissance de 12,5 kt.

L'étape suivante fut la bombe H, appelée thermo-nucléaire, où l'énergie est obtenue en portant, grâce à une bombe A d'amorce, la température du matériau de fusion à quelque 100 millions de degrés. Les isotopes lourds de l'hydrogène, le deutérium et le tritium, fusionnent alors pour former l'hélium en libérant une énergie considérable et des neutrons. Ce type de bombe permet d'atteindre et de dépasser des puissances d'explosion de centaines de kilotonnes.

A partir de ce potentiel nucléaire, des scénarios d'utilisation possible de ces armes peuvent être développés. Bien que ceux-ci soient complexes et largement controversés quant à leur vraisemblance, le principe de tels scénarios n'est pas nouveau et date de 1975, année où l'Académie Nationale des Sciences aux USA a analysé l'ensemble des effets d'une guerre nucléaire généralisée sur la biosphère et les écosystèmes terrestres et aquatiques. Toutefois aucun compte n'y était tenu des effets à long terme qui mettent en jeu les propriétés optiques et radiatives

- (i) des poussières soulevées et injectées dans l'atmosphère jusqu'à des altitudes de 15 km et provenant de la pulvérisation du sol aux points d'impact des bombes;
- (ii) des fumées dégagées par les incendies allumés par les boules de feu nucléaires.

Ces deux facteurs, selon les résultats récents, joueraient un rôle primordial dans la survie des espèces humaine, animale et végétale après l'explosion nucléaire, en entraînant une perte substantielle de lumière et d'énergie solaires conduisant immédiatement à la désespérante nuit nucléaire suivie, après quelques jours, du non moins redoutable hiver nucléaire.

Sans entrer dans les détails de la construction de ces scénarios, disons qu'ils nécessitent l'utilisation de 3 sous-modèles : un modèle de guerre nucléaire, un modèle de circulation et de microphysique du nuage nucléaire et un modèle climatique. Le scénario de guerre nucléaire devra spécifier le type, la taille et le nombre de bombes, l'altitude des explosions et leur localisation, principalement en ce qui concerne le type même de cibles visées, et finalement la fraction résultante de matières fissiles libérées. De là, on pourra déduire les quantités de poussière de différents types, de fumée et de suie, de  $\text{NO}_x$  et de radioactivité, injectées à différents niveaux dans l'atmosphère. Les modèles de circulation générale et de physique des nuages permettront de décrire l'évolution spatio-temporelle des concentrations au sein du nuage nucléaire. La modélisation des interactions complexes au sein du système climatique et particulièrement des processus radiatifs, convectifs et chimiques conduira à la connaissance des flux énergétiques et

donc de la distribution de la température au dessus des océans et des continents.

#### FROID ET TENEBRES

Les premiers modèles utilisés par le groupe TTAPS (des initiales des auteurs de l'article (3)) pour estimer les effets à long terme d'une guerre nucléaire étaient unidimensionnels. Ils étudiaient uniquement la structure verticale de l'atmosphère. A partir des propriétés optiques des particules (qui dépendent surtout de leur forme, de leur diamètre et de leur composition), ces modèles calculèrent les rayonnements absorbés et réémis au niveau de la surface terrestre et de l'atmosphère et les températures de l'air en fonction de l'altitude et du temps. Des calculs séparés furent effectués pour les continents et les océans pour rendre compte des différences de capacités calorifiques des deux milieux.

Pour le scénario de 5 000 mégatonnes, la lumière au sol serait réduite au départ à 2% de sa valeur actuelle, un quart de cet effet étant dû à la poussière en suspension dans la stratosphère et les trois quarts aux fumées localisées dans la troposphère. Au bout d'un mois, la lumière au sol n'atteindrait encore que 13% de la valeur actuelle. Ce ne serait qu'après deux ou trois mois que, une bonne partie de la suie ayant précipité au sol, seule la poussière dans la stratosphère serait encore responsable de la majeure partie de l'atténuation de la lumière solaire. Dans le cas du scénario le plus sévère de 10.000 mégatonnes, la lumière solaire resterait en dessous du minimum requis pour la photosynthèse pendant près de 40 jours en moyenne sur tout l'hémisphère nord. Dans ces conditions, bien des végétaux qui n'auraient pas été détruits par l'onde de choc, la chaleur ou l'incendie finiraient donc par mourir dans la nuit nucléaire. La disparition des végétaux verts priverait de nourriture les êtres humains et les animaux qui auraient eu la "chance" de survivre. Dans de telles conditions, il est probable que même dans les régions tropicales et dans l'hémisphère sud, la productivité des écosystèmes naturels et des cultures serait sérieusement diminuée.

La conséquence la plus spectaculaire de cet écran de poussières et de fumées serait bien sûr l'installation d'un climat hivernal glaciaire et cela même en plein été d'où l'appellation hiver nucléaire). Ainsi dans le scénario de base, la température au-dessus des continents atteindrait  $-20^{\circ}\text{C}$  en une vingtaine de jours et ne redeviendrait positive qu'après environ 3 mois. Ce modèle garde aujourd'hui une grande valeur historique car c'est lui qui a montré le premier l'importance considérable d'une guerre nucléaire sur le climat terrestre et surtout qui a quantifié les effets climatiques à long terme.

Mais le modèle TTAPS était seulement fondé sur l'évolution de la structure verticale de l'atmosphère; il ne tenait pas compte du fait que le système climatique est tridimensionnel. De ce fait, il ne donnait qu'un ordre de grandeur des impacts globaux sans pouvoir prévoir ni les effets à court terme, ni les effets locaux. Le scénario qu'il proposait dépendait pour beaucoup de la manière dont les panaches de fumées et de poussières allaient être dispersés. Et cela même si à moyen terme on pouvait prévoir que des mécanismes atmosphériques tels que la diffusion turbulente horizontale ou le cisaillement vertical du vent ajoutés à la prolongation des incendies eux-mêmes finiraient par créer un nuage plus ou moins homogène tout autour de la Terre. C'est dans ce contexte que les premiers modèles tridimensionnels furent appliqués permettant pour la première fois de tenir compte non seulement de la complexité des processus atmosphériques le long de la verticale, mais aussi de la circulation générale. Une étude de la propagation des fumées et des poussières devenait donc possible et les impacts locaux allaient pouvoir être simulés.

#### DES MODELES A TROIS DIMENSIONS

La grande nouveauté des premiers modèles tridimensionnels ou modèles de seconde génération était qu'ils prenaient en compte l'effet des fumées sur la circulation atmosphérique. Aujourd'hui les modèles dits de troisième génération sont encore plus réalistes et tiennent compte en plus de la dispersion des fumées par le vent.

Les simulations de Thompson (4) montrent que l'absorption de l'énergie solaire par le nuage de fumées le réchauffe suffisamment après 5 jours pour lui permettre une ascension jusqu'à 10 ou 20 km d'altitude ainsi que son déplacement vers l'équateur. Ainsi après dix jours, le sud du panache de fumées a déjà atteint la latitude de 20°S. Une coupe verticale réalisée le vingtième jour de la simulation montre que la quantité de fumées dans l'atmosphère est maximale au-dessus de l'Arctique, mais qu'il existe toujours un déplacement important des fumées vers l'hémisphère sud, dans la stratosphère, avec une extension jusque 40°S.

Les simulations de S. Thompson mettent en évidence un autre résultat important; en effet l'ascension du nuage et le changement dans le profil vertical de température conduisent rapidement à un affaissement de la tropopause (limite séparant la troposphère de la stratosphère) qui se retrouve à 5 km d'altitude dans les latitudes moyennes de l'hémisphère nord et vers 9 à 10 km dans les tropiques. De ce fait, la majeure partie de la fumée, au lieu de se trouver dans la troposphère, se trouve dans la stratosphère qui est caractérisée par une grande stabilité et où les précipitations sont absentes. La fumée, qui a donc peu de chance d'être entraînée vers le sol, va résider plus longtemps en altitude. Cet allongement du temps de résidence des fumées dans la stratosphère entraîne un refroidissement prolongé de la surface et des effets climatiques bien plus importants dans l'hémisphère sud.

D'autre part, la simulation faite en juillet montre que, juste avant l'apparition des fumées, les températures négatives dans l'hémisphère nord étaient confinées seulement dans les régions proches de l'océan Arctique, alors que 15 jours après l'explosion des températures glaciales couvrent largement l'Europe, l'Asie et l'Amérique du Nord. Au bout d'une vingtaine de jours, les fumées se sont répandues à travers les tropiques et provoquent un refroidissement appréciable (entre 5 et 15°C), bien que non glacial, au Proche Orient, en Afrique Orientale et au nord de l'Amérique du Sud.

Contrairement à ce qui se passe pour une attaque déclenchée en juillet, une guerre nucléaire qui prendrait naissance en janvier semble avoir des effets moins importants sur le climat. Cette différence provient du faible rayonnement solaire en hiver comparé à celui d'été dans les latitudes tempé-

rées et polaires. Ainsi en janvier, même après 30 jours, les fumées sont loin d'atteindre les latitudes et l'altitude dont nous avons parlé précédemment : elles restent confinées dans la troposphère où elles se diluent dans l'atmosphère. En fait, seules les régions subtropicales pourraient connaître une baisse de température dommageable.

Jusqu'à présent, dans les modèles climatiques, il n'existait pas de simulations des précipitations. Or on a vu à quel point elles jouent un rôle fondamental dans le nettoyage de l'atmosphère. Cette lacune vient tout récemment d'être comblée par le modèle de Malone et collaborateurs (5). Le nouveau modèle qu'ils ont mis au point confirme l'affaissement de la tropopause et donc la séparation du nuage de fumées, qui se retrouve rapidement en grande partie dans la nouvelle stratosphère. Il confirme d'autre part l'existence de zones de précipitations confinées dans les seuls deux premiers kilomètres, sauf à l'équateur où la zone de précipitations actives atteint encore cinq kilomètres. Il résulte de tout cela une baisse importante de la température de l'air en surface au-dessus des continents de l'hémisphère nord, à la fois pour les scénarios d'été et d'hiver. D'après ce dernier modèle, les températures y atteignent leur minimum, une à deux semaines après le début de l'injection de fumées (avec une diminution de 15 à 25°C pour le cas de juillet et de 5 à 15°C pour le cas de janvier); le refroidissement se poursuit alors pendant plusieurs semaines dans l'hémisphère nord dans le cas d'une attaque en juillet (après 40 jours, il atteint encore 5 à 15°C), ce qui n'est pas le cas pour une attaque en hiver où un lessivage plus efficace de l'atmosphère permet un retour plus rapide à des conditions normales.

Tous les scénarios dont il vient d'être question correspondent à un conflit mettant en jeu une puissance explosive de 5.000 mégatonnes et propulsant environ 180 millions de tonnes de fumées dans l'atmosphère. Que se passerait-il dans l'hypothèse d'une guerre de plus faible puissance qui n'injecterait, par exemple, que 60 millions de tonnes de fumées dans l'atmosphère (1/3 du scénario de base) ? Les résultats montrent que le refroidissement serait nettement moins important, de l'ordre de 14° dans les latitudes comprises entre 30 et 60°N et seulement de 4° pour les latitudes entre 0 et 30°N. A l'opposé, un scénario de 540 mégatonnes de fumées ne conduirait, après une dizaine de jours, qu'à un refroidissement de 26°C dans nos latitudes continentales assez

comparable à celui de 23°C du scénario de base de 180 mégatonnes de fumées. Ce peu de différence illustre le degré de saturation auquel arrivent les effets climatiques. A partir d'une certaine puissance explosive, la rigueur de l'hiver nucléaire n'augmente pratiquement plus. Toutefois, les conséquences seraient beaucoup plus dramatiques pour les régions hors cibles et les tropiques enregistreraient un refroidissement approchant les 20°C. Il est intéressant de noter que, été comme hiver, l'ascension du nuage due à son échauffement par absorption du rayonnement solaire diminue de manière appréciable avec la masse de fumées injectée, ce qui conduit alors à un lessivage plus efficace par les précipitations : pour des masses de fumées respectivement égales à 5, 20, 60 et 170 mégatonnes, les fractions restantes s'élèvent le quarantième jour de la simulation en juillet respectivement à 7, 22, 35 et 36%.

#### DE L'HIVER A L'AUTOMNE NUCLEAIRE

Il existe encore beaucoup d'incertitudes par exemple sur le type, la quantité et la distribution des fumées et des poussières ou sur les propriétés optiques, physiques et chimiques de ces aérosols ou encore sur le couplage entre la microphysique et l'échauffement du nuage, d'une part, et la dynamique atmosphérique et les précipitations, d'autre part. Ainsi, S. Schneider et S. Thompson (6) ont récemment exposé les résultats obtenus au NCAR à partir d'un modèle qui simule la coagulation des particules, le lessivage par les précipitations et l'impact du changement de dimensions des particules sur le transfert radiatif : le refroidissement de l'hémisphère nord pour un scénario de 180 mégatonnes de fumées n'atteint plus que 12°C, 3°C de moins que dans leur modèle antérieur où la microphysique des particules n'était pas considérée. De plus, il semble que l'inclusion d'une couche de poussières dans la stratosphère tende à freiner l'auto-convection du nuage de fumées par atténuation de l'absorption du rayonnement solaire, que l'inclusion des effets d'absorption dans l'infrarouge réduise le refroidissement d'un tiers et que les phénomènes à moyenne altitude fassent apparaître une couche de brouillard côtier empêchant tout refroidissement extrême sur les continents. Si l'on ajoute qu'au Lawrence Livermore National Laboratory, C. Bing vient de suggérer que, dans un conflit de moyenne importance, l'injection de 60 mégatonnes de fumées serait plus vraisemblable que les 180 des scénarios habituels, on s'aperçoit que

l'hiver nucléaire pourrait peut-être bientôt faire place à l'automne nucléaire. Toutefois, il faut préciser que les hypothèses de distribution verticale des fumées dans le modèle de Thompson et Schneider ne correspondent pas à celles préconisées par le rapport de l'Académie Nationale des Sciences (1) et qu'elles favorisent un lessivage plus rapide de l'atmosphère et un effet de serre plus important, deux phénomènes qui tentent à réchauffer la surface de la Terre, ce qui expliquerait ainsi un automne nucléaire artificiellement induit et donc irréaliste.

#### CONCLUSIONS

L'analyse détaillée de ces résultats récents montrent donc que les hypothèses des modèles utilisés sont probablement trop optimistes et que finalement il semble bien que les conclusions que l'on peut tirer de l'ensemble des scénarios sont accablantes pour l'avenir de l'après-guerre nucléaire, particulièrement pour les scénarios injectant quelque 60 mégatonnes de fumées ou plus en été. Quel que soit le modèle utilisé, la Terre dans son ensemble ne semble pas pouvoir échapper à l'hiver nucléaire. Dans les 48 heures qui suivront une telle attaque nucléaire, des nuages de poussières et de fumées seront dispersés tout autour de la Terre de manière irrégulière. Quelques semaines plus tard, le bilan énergétique du système surface-atmosphère sera profondément altéré, l'effet de serre aura disparu. L'atmosphère dans son ensemble sera très stable, très froide en surface, très chaude en altitude. L'absence de mouvements de convection entraînera une forte diminution des précipitations. Les continents seront très froids, les océans relativement chauds, ce qui développera de nouveaux types de circulation atmosphérique encore inconnus.

Les conséquences pour l'Homme, le monde animal et le règne végétal demeurent donc suffisamment alarmantes pour que les études soient poursuivies dans le cadre d'un programme de recherche multidisciplinaire et international, en vue d'affiner les modèles climatiques et de mieux estimer les impacts des changements du climat issus d'un conflit nucléaire sur l'environnement global.

## NE PAS FINIR COMME LES DINOSAURES

La gamme des conséquences atmosphériques, climatiques et radiologiques potentiellement catastrophiques auxquelles on aboutit, quels que soient les scénarios et les modèles utilisés par les Américains ou les Soviétiques, justifie que l'on prenne au sérieux la possibilité de développement d'un tel hiver nucléaire à la suite d'une attaque atomique généralisée. Les biologistes s'accordent, en effet, pour reconnaître que les impacts sur la biosphère seraient destructeurs à un degré jusqu'à présent insoupçonné et ils n'excluent pas que les effets biologiques à long terme d'une guerre nucléaire puissent entraîner la disparition d'espèces vivantes de la planète. Connaîtrons-nous le même destin que celui des dinosaures et de 80% des autres espèces vivantes qui se sont peut-être éteintes à la fin du Crétacé, il y a 65 millions d'années, à la suite possible d'une injection massive de poussières dans l'atmosphère ?

Finalement, cette recherche sur les effets atmosphériques, climatiques et biologiques globaux d'une guerre nucléaire généralisée, montre clairement qu'il n'y a pas de vainqueur dans un tel conflit, ce qui constitue certainement la plus sûre des armes de dissuasion.

Il existe une possibilité réelle que les simulations climatiques contribuent de façon vitale à réduire la menace d'une telle guerre. Les scientifiques ont montré que potentiellement cet objectif pouvait être atteint car quel pays prendrait le risque de s'auto-détruire ? C'est aux hommes politiques de leur donner les moyens matériels de poursuivre les recherches afin de diminuer progressivement les marges d'incertitude.

## REFERENCES

- (1) National Research Council (NRC), 1985. The Effects on the Atmosphere of a Major Nuclear Exchange. National Academy Press, Washington D.C.
- (2) SCOPE (Special Committee on Problems of the Environment), 1986. Environmental Consequences of Nuclear War, 2 vols., SCOPE Ser., vol. 28, John Wiley, New York.

- (3) Turco R.P., Toon O.B., Ackerman T.P., Pollack J.B., Sagan C., 1983. Nuclear winter : global consequences of multiple nuclear explosions. Science 222 (4630), pp. 1283-1292.
- (4) Thompson S.L., 1985. Global interactive transport simulations of nuclear war smoke. Nature 317, pp.35.
- (5) Malone R.C., Auer L.H., Glatzmaier G.A., Woods M.C., and Toon O.B., 1985. Influence of solar heating and precipitation scavenging on the simulated lifetime of post-nuclear war smoke. Science 230, pp. 317.
- (6) Thompson S.L., and S.H. Schneider, 1986. Nuclear winter reappraised. Foreign Affairs, 64(5), pp. 981-1005.

Pour plus de détails et pour les graphiques, consulter :

- Berger A., 1985. Les conséquences climatiques d'une guerre atomique : les ténèbres et l'hiver nucléaire. Ciel et Terre 101, pp. 37-48, (ou encore "Hiver nucléaire ou les conséquences climatiques d'un conflit nucléaire généralisé", Revue des Questions Scientifiques, 1984, vol. 155, pp. 461-493.
- Berger A., 1986. L'hiver Nucléaire. La Recherche 179, pp. 880-890.
- Berger A., 1986. Nuclear winter, or nuclear fall ? EOS, vol. 67 n°32, pp. 617-621.

SAMENVATTING.

In een veralgemeend kernconflict zullen diegenen die de rechtstreekse effecten van een ontploffing, nl. de schokgolf, de warmte en de straling overleven, blootstaan aan de effecten op lange termijn (een jaar en meer) van de nucleaire nacht en nucleaire winter. Deze effecten zijn de mogelijke gevolgen van blootstelling aan de stof- en rookwolken vanuit de ontploffingen en daaropvolgende branden, aan de radioactieve neerslag van langzaam neerkomende stofdeeltjes en roet vanuit de hogere atmosfeer, aan de verhoogde UV straling op aarde (door gedeeltelijke destructie van de ozonlaag in de stratosfeer) en aan de stijging van toxische gassen in de atmosfeer als gevolg van brand in stedelijke milieu's. De gevolgen, algemene desolatie en desorganisatie van de maatschappij zouden de doeltreffendheid van de op heden voorgestelde beschermingsmaatregelen sterk minderen.

ABSTRACT.

In a generalized nuclear conflict those who survive the direct effects s.a. shockwave, heat and radiation, will be exposed to long term effects (one year or more) of the nuclear night or nuclear winter. These long term effects are the consequence of exposure to dust and smoke particles arising from explosions and consecutive fires, to radioactive fall out, i.e. dust and soot from the high atmosphere, to a higher intensity of U.V. rays on earth (following the destruction of a part of the ozon layer in the stratosphere) and to the increased toxic gases in the atmosphere as a consequence of fires in urban zones. These consequences, total desolation and disorganization of society, would considerably reduce the efficiency of the to date suggested protective measures.

**CONSEQUENCES POTENTIELLES D'UNE GUERRE NUCLEAIRE  
SUR LES ECOSYSTEMES ET L'AGRICULTURE**

Kirchmann R.J.C.

Division des Programmes Nucléaires, CEN/SCK, Mol

Résumé

Après un bref rappel de l'origine et du développement de l'étude effectuée par le groupe SCOPE-ENUWAR, la communication examine les répercussions sur les écosystèmes et l'agriculture des changements probables de l'intensité lumineuse, de la température, des précipitations, de la chimie de l'atmosphère, des rayonnements ultra-violet et des radiations ionisantes engendrés par une guerre nucléaire à grande échelle. Les vulnérabilités agricoles et écologiques aux perturbations climatiques portent à croire que les effets indirects seront probablement beaucoup plus lourds de conséquences pour les populations du globe que les effets directs des détonations mêmes.

1. INTRODUCTION

L'exposé que j'ai l'honneur de vous présenter, est basé sur l'étude effectuée par le groupe SCOPE-ENUWAR dans le but d'examiner et d'évaluer l'état des connaissances sur les conséquences possibles pour l'environnement d'un conflit nucléaire majeur.

Cette étude trouve son origine dans la résolution adoptée lors de la Ve Assemblée générale de SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment) organisée à Ottawa en juin 1982. Considérant que le risque de guerre nucléaire éclipse tous les autres risques pour l'humanité et son habitat, la résolution recommandait que le Comité Exécutif considère les actions à entreprendre par SCOPE. Peu de temps après, en septembre 1982, le Conseil International des Unions Scientifiques (ICSU) adopta, à l'unanimité, en Assemblée Générale, une résolution dans laquelle il pressait son Bureau Exécutif de mettre sur pied un comité spécial afin d'étudier les effets d'une guerre nucléaire et de préparer un rapport à large distribution qui serait non-émotionnel, apolitique, digne de foi et

de compréhension aisée. SCOPE fut invité à entreprendre cette tâche en raison de son expérience dans la conduite réussie d'études interdisciplinaires. C'est ainsi qu'un Comité Directeur pour l'étude SCOPE-ENUWAR (Environmental Effects of Nuclear War) fut établi en juin 1983, avec pour responsabilité : la sélection des participants aux Ateliers et groupes d'étude, l'élaboration du rapport final et aider à sa diffusion par le biais des Académies nationales et de leurs Unions Scientifiques respectives.

Le rapport peut être considéré comme la première tentative d'un groupe scientifique international (près de 300 scientifiques venant de plus de 30 pays) de rassembler les connaissances et les interrogations concernant les effets possibles d'une guerre nucléaire sur l'environnement global.

Ce rapport final a été présenté lors de l'Assemblée Générale SCOPE tenue en septembre dernier à Washington D.C. Ce rapport comprend 2 volumes : le premier (1) concerne les aspects physiques de l'impact d'une guerre nucléaire sur l'environnement, le second volume (2) traite des effets écologiques et agricoles.

Ce dernier rapport, sur lequel est basé mon exposé, présente les résultats d'un effort de coopération internationale de la part de 200 scientifiques environ appartenant à des domaines d'expertise extrêmement divers ; les analyses biologiques SCOPE-ENUWAR sont le fruit d'un consensus parmi ces experts.

La complexité et la diversité des écosystèmes ainsi que leur réponse fonctionnelle aux stress de l'environnement font qu'il est virtuellement impossible pour une personne spécialisée dans un domaine, ou même dans plusieurs, de prédire les effets écologiques d'une guerre nucléaire sans restreindre les considérations à une situation spécifique et en incluant beaucoup de suppositions. Par conséquent, l'évaluation des impacts sur l'environnement d'une guerre nucléaire requiert la coopération de nombreux spécialistes.

Ceux-ci ont tenté de répondre aux questions les plus courantes que l'on peut se poser lorsqu'on essaye d'évaluer les conséquences pour l'environnement naturel et les populations d'une guerre nucléaire à grande échelle. Pourquoi étudier de tels problèmes ? Les conséquences d'effets directs ne sont-elles pas déjà assez mauvaises ? Pourquoi s'inquiéter des écosystèmes naturels et des habitants des nations non-combattantes alors que des centaines de millions d'êtres humains mourraient immédiatement ou peu de temps après ? N'y-a-t-il pas trop d'incertitudes dans les conséquences climatiques, rendant prématuré l'examen des conséquences pour les systèmes biologiques ?

Pourquoi, en effet ? La réponse est trouvée au point final de telles analyses c'est-à-dire les impacts sur les êtres humains et la société. La prémisse est que les conséquences pour la population humaine du globe constituent précisément le point de focalisation ultime ; tout le reste constitue plutôt des étapes intermédiaires pour faire une telle évaluation. Prédire qu'il ferait obscur à midi et que des températures sibériennes régneraient ne suffit pas pour dépeindre les effets totaux d'une guerre nucléaire : les hommes ne mourraient simplement pas d'une réduction de la lumière du soleil durant quelques semaines et la population humaine du monde ne serait pas probablement fortement réduite par un froid intense.

Les analyses montrent en effet que si des perturbations climatiques globales devaient se produire après une guerre nucléaire, les effets sur les systèmes agricoles et écologiques qui supportent la population humaine de la terre conduiraient probablement indirectement à la perte de centaines de millions ou même de milliards de vies humaines. Une conclusion majeure du travail des experts sur la vulnérabilité des systèmes humains et naturels est que le mécanisme le plus probable entraînant les conséquences les plus graves pour les hommes à la suite d'une guerre nucléaire n'est pas l'onde de choc, ni le pulse thermique, ni le rayonnement direct, ni même les retombées : mais une famine massive.

Cette conclusion inattendue ne résulte pas de l'analyse des effets spécifiques d'une guerre nucléaire hypothétique spécifiée. Une telle approche n'était pas possible ou désirable, à cause des grandes

incertitudes dans les analyses physiques et les scénarios de guerre nucléaire. En effet, il y aura toujours des incertitudes dans les projections physiques, d'une part parce que les systèmes atmosphériques globaux sont si complexes qu'ils ne peuvent jamais être parfaitement prédits, d'autre part parce que beaucoup de variables des évaluations du climat ne peuvent pas être mesurées à leur échelle appropriée, et parce que l'expérimentation à l'échelle globale n'est pas possible. De plus, le scénario exact d'une guerre nucléaire ne pourrait seulement être défini que s'il se produisait, et non dans quelque spéculation de pré-guerre. Différer les évaluations biologiques jusqu'à ce que les incertitudes physiques soient résolues, signifie alors ne jamais les faire. Mais il est déjà clair que les perturbations climatiques induites par une guerre nucléaire sont une conséquence plausible d'une telle guerre.

C'est pourquoi les analyses présentées dans le rapport SCOPE-ENUWAR sont centrées sur la caractérisation de la vulnérabilité des systèmes biologiques et humains aux types et gammes de perturbations qui pourraient résulter d'une guerre nucléaire à grande échelle. Par exemple, en examinant l'état actuel et la durée potentielle des approvisionnements alimentaires globaux, nous pouvons caractériser la vulnérabilité de la population humaine à des interruptions des systèmes de production et de distribution des aliments à l'échelle planétaire. Quoique les experts ne prédisent pas qu'une élimination à l'échelle globale de ces systèmes résulterait nécessairement d'une guerre nucléaire à grande échelle, il apparaît que les hommes ont le pouvoir, par une guerre nucléaire, de rompre les systèmes agricoles et écologiques sur une échelle sans précédent en étendue ou en intensité.

## 2. REPONSES BIOLOGIQUES AUX EFFETS CLIMATIQUES

Nous commençons à réaliser que la durée de changements climatiques de quelques degrés est plus importante, dans certaines limites, que de savoir quelle serait la chute extrême de la température initiale. La rapidité avec laquelle les températures chuteraient et la nature de leur répartition temporelle peut être aussi important que le niveau inférieur de leur chute. Nous devons cependant souligner que des excursions de température extrême

pour des périodes tout-à-fait limitées peuvent être extrêmement dommageables si elles se produisent dans certaines régions ou pendant la saison de croissance active de la végétation. La durée de ces températures extrêmes est plus importante pour les écosystèmes qui ne sont pas adaptés ou habitués à subir de telles températures extrêmes (Fig.1). La réduction potentielle des précipitations pendant la phase chronique qui suivrait une guerre nucléaire, apparaît être biologiquement plus importante pour beaucoup de systèmes que la perte de lumière solaire incidente pendant la période aiguë. Le degré de l'hétérogénéité spatiale et temporelle des effets climatiques requiert indubitablement plus d'études. Différents problèmes-clés pour diverses régions ont été identifiés par les analyses biologiques ; par exemple : les systèmes agricoles australiens sont les plus vulnérables aux changements de précipitations ; les écosystèmes pélagiques marins sont les plus vulnérables aux diminutions prolongées d'éclairement ; beaucoup de systèmes agricoles et d'écosystèmes tropicaux sont les plus vulnérables aux baisses de températures.

Les réponses biologiques peuvent avoir une répercussion directe sur les processus physiques mêmes. Par exemple, des changements dans les systèmes biologiques sur une grande échelle affecteraient probablement l'albédo à la surface. La possibilité de la création de grandes superficies de biomasse morte debout, résultant des impacts induits par la baisse de température sur les forêts tropicales, conduit à envisager des feux massifs s'étendant sur des périodes de plusieurs années, prolongeant potentiellement les effets climatiques ; des feux similaires peuvent s'ensuivre à partir des forêts de conifères tués par les retombées locales, et par les prairies, forêts et autres écosystèmes sujets à une précipitation réduite. En outre, des processus de nature biologique affectent ou contrôlent beaucoup de processus atmosphériques, par exemple : via les changements dans la production et les réservoirs de  $\text{CO}_2$ , les changements dans les taux d'évapotranspiration et les cycles globaux d'autres gaz atmosphériques. L'enregistrement biologique peut être instructif pour évaluer les événements catastrophiques antérieurs, particulièrement ceux qui ont concerné des périodes de basses températures, durant des semaines, mois ou années avec des gelées se produisant durant la saison de croissance. De tels analogues climatiques, incluant l'âge glaciaire et les événements volcaniques ont été inadéquatement étudiés jusqu'à présent. Et les

interactions homme-écologie, telles que la désertification résultant d'une surexploitation des ressources, peuvent étendre les effets climatiques dans le temps et dans l'espace.

## 2.1. Exemples de vulnérabilité de quelques systèmes écologiques importants

### 2.1.1. Effets potentiels sur les écosystèmes forestiers des régions tempérées

Ces écosystèmes comprennent les forêts de conifères et de feuillus qui sont installées dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord. Ces écosystèmes sont caractérisés par une diversité des espèces et une productivité relativement élevée (Fig.2.).

Il est à souligner que ces forêts sont localisées dans les bandes de latitude où se situerait probablement la guerre nucléaire elle-même ; d'où ces systèmes pourraient subir les changements climatiques les plus intenses.

Les effets possibles dûs à une réduction drastique en température et en lumière seront moindres en hiver qu'en été car les arbres seraient en état de dormance, de plus une couverture de neige pourrait protéger les organes végétaux souterrains. Des niveaux réduits de lumière n'affecteraient pas beaucoup les conifères et pas du tout les plantes à feuilles caduques en raison du faible taux de photosynthèse en hiver.

Une réponse climatique possible, à une guerre déclenchée en été, serait l'occurrence de températures très basses se développant rapidement dans les latitudes où serait située la zone des combats. Un gel soudain produirait la chute généralisée du feuillage et en cas de la prolongation du gel pendant deux ou trois mois beaucoup de bourgeons seraient tués ainsi que la partie supérieure de toutes les plantes herbacées. Des pertes significatives d'éléments nutritifs pourraient se produire dans les forêts à haute mortalité d'arbres, à la suite d'une absorption réduite ; cet effet pourrait être particulièrement marqué dans les régions où les précipitations resteraient normales ou augmenteraient.

Dans les années suivantes, ces mêmes forêts pourraient subir l'invasion d'insectes. Le feu pourrait aussi se développer dans ces systèmes ce qui augmenterait les stress de ces écosystèmes bien au-delà de la phase aiguë initiale, même s'il n'y a pas d'effets climatiques chroniques.

#### 2.1.2. Forêts tropicales

Le tableau synoptique (Tableau 1) montre que les écosystèmes tropicaux pourraient être très fortement affectés par les perturbations climatiques, quelle que soit l'époque de l'année où elles se produiraient.

#### 2.1.3. Prairies

L'effet principal d'une baisse de température serait un raccourcissement de la saison de croissance pour les végétaux. Une réduction de 2 à 3 mois dans la disponibilité du fourrage vert pour les herbivores aurait des conséquences sérieuses pour la production, la survie hivernale et la fécondité des animaux.

#### 2.1.4. Effets potentiels sur les écosystèmes aquatiques

##### a. Ecosystèmes marins

Il faut d'abord noter que les écosystèmes marins sont beaucoup moins connus que les écosystèmes terrestres tant par le nombre disponible de données que par la compréhension des processus fondamentaux qui les gouvernent. Ensuite, pour beaucoup de types d'écosystèmes marins, la lumière est un facteur limitant de telle sorte que des réductions dans l'insolation peuvent avoir plus d'importance pour la production primaire en milieu marin qu'en milieu terrestre. Certains écosystèmes marins sont aussi limités en éléments nutritifs donc sensibles à des altérations des processus intervenant dans les cycles, souvent rapides, de ces éléments.

Les écosystèmes océaniques sont bien protégés des changements de température qui résulteraient de perturbations climatiques consécutives à une guerre nucléaire. Il est possible que les températures près de la

surface de la mer diminuent d'un ou deux degrés mais ces faibles baisses ne se feraient pas sentir profondément dans la colonne d'eau. Les organismes vivants ne subirait pas d'effets majeurs dûs à ces changements de température.

Par contre, les réductions d'intensité lumineuse pourraient affecter, de façon significative, la productivité primaire des écosystèmes pélagiques. En effet, comme le phytoplancton se développe jusqu'à des profondeurs où l'intensité lumineuse est de 1 à 10% de celle arrivant à la surface, une réduction de 95% de l'intensité normale, durant plusieurs semaines, entraînerait l'arrêt de la croissance de la plupart des espèces d'algues, seules les espèces tolérantes à de faibles éclaircissements survivraient. Le zooplancton, qui se nourrit du phytoplancton, serait sévèrement touché ainsi que les alevins qui se nourrissent de zooplancton et qui ne possèdent pas de réserves énergétiques. Par contre les cétacés, grâce à ces réserves, pourraient survivre en attendant une reprise de la croissance des populations planctoniques après quelques mois. Les prédictions de réponses des populations de poissons sont hautement incertaines car les modèles disponibles ne sont guère adaptés à ce genre de prévision.

Les impacts sur les écosystèmes pélagiques d'une réduction potentielle chronique d'intensité lumineuse de 5 à 20% de la température de l'air de l'ordre d'un degré ne semblent pas devoir être significatifs.

#### b. Ecosystèmes eaux continentales (lacs et rivières)

Une réduction simultanée des températures et des précipitations conduirait à une réduction des quantités d'eau stockées dans les rivières et les lacs. D'autre part, les calculs indiquent que les eaux douces de l'hémisphère nord, où se produiraient les perturbations climatiques, seraient couvertes d'une épaisseur de glace variant entre 0,5 et 1,2 mètre.

### 3. EFFETS DES RADIATIONS IONISANTES ET AUTRES STRESS SUR LES ECOSYSTEMES

Que se passerait-il au cas où il n'y aurait pas de perturbations atmosphériques induites par une guerre nucléaire ? Il y aurait encore beaucoup de problèmes biologiques globaux qui requièrent une attention soigneuse (Tableau 2). Les arsenaux actuels d'armes nucléaires stratégiques sont si importants que les effets observés à Hiroshima et à Nagasaki sont tout-à-fait inadéquats comme modèles d'une guerre nucléaire moderne. Des aspects tels que les retombées immédiates, l'augmentation des UV-B, les pyrotoxines, la destruction de l'habitat, les brouillards acides, les niveaux élevés de NOx et de HCl, et ceux en CO produits par le feu, parmi beaucoup d'autres, pourraient affecter les systèmes biologiques et humains sur une échelle locale ou globale. La probabilité d'effets synergiques entre ces stress est très élevée, mais presque aucun travail n'a été réalisé dans ce domaine.

Les radiations ionisantes provenant des retombées globales ne constitueraient pas un danger significatif pour les systèmes écologiques. Cependant les retombées locales pourraient produire des niveaux d'exposition externe supérieurs aux seuils d'apparition d'effets écologiques sévères. Il est clair que les écosystèmes de conifères seraient les plus vulnérables aux dommages radiologiques. Il ne faut pas oublier le rôle de vecteurs de radionucléides que jouent les chaînes alimentaires avec comme résultat les doses d'exposition interne chez l'homme. A noter que ces doses n'ont pas été évaluées dans les analyses de SCOPE-ENUWAR. Des modèles sont néanmoins disponibles pour faire de tels calculs, cependant il n'y a pas de rapport d'étude relatif à l'estimation des niveaux de dose interne résultant des retombées locales et globales d'un conflit nucléaire majeur. Les deux points majeurs à résoudre seraient d'un part l'étendue et l'intensité de ces retombées et d'autre part les modifications de la diète alimentaire consécutives à une guerre nucléaire.

Les radiations ultra-violettes (UV-B) pourraient constituer le stress non-climatique le plus extensif dans l'espace. Cependant les impacts écologiques significatifs seraient le plus vraisemblablement limités aux écosystèmes aquatiques (réduction de production primaire).

La pollution de l'air serait plutôt localisée et ne constituerait pas un effet sur grande échelle ; cependant le risque potentiel de transport d'éléments toxiques des zones urbaines côtières vers les estuaires pourrait être important pour la consommation de substances toxiques par les hommes qui exploitent les systèmes estuariens et côtiers pour la production d'aliments.

Les incendies pourraient affecter de grandes superficies d'écosystèmes près des objectifs, surtout militaires, situés à l'écart des zones urbaines ; cependant ces systèmes sont bien adaptés au feu et des effets à long terme ne seraient pas attendus, par ailleurs, si les précipitations devaient être réduites à la suite d'une phase de perturbation chronique du climat, le risque potentiel d'incendies d'écosystèmes non adaptés au feu, tels que les forêts tropicales, pourrait être élevé et il pourrait en résulter des dommages à long terme.

#### 4. VULNERABILITE DE LA PRODUCTIVITE AGRICOLE AUX PERTURBATIONS CLIMATIQUES

Les plantes agricoles sont largement dérivées d'espèces originaires des régions tropicales ou subtropicales, espèces ayant un taux élevé de production de graines. Elles sont particulièrement sensibles à des périodes, même courtes, de basses températures, à une disponibilité insuffisante d'eau, à une insuffisance d'éléments nutritifs et à des irrégularités de leurs cycles vitaux.

Les réductions moyennes de température provoquent un raccourcissement de la période de croissance, facteur qui peut conduire à une perte totale du rendement agricole si les plantes ne peuvent pas atteindre la maturité, même si le total degré-jours est adéquat.

Les précipitations pourraient diminuer assez fortement, sur une base régionale, à la suite d'une guerre nucléaire à grande échelle, or les céréales, qui constituent la base majeure de l'alimentation, poussent dans des régions où le facteur limitant est l'eau dans les conditions climatiques normales ; les productions céréalières sont donc

particulièrement vulnérables à des réductions de précipitations. Les tableaux synthétiques 4 et 5 montrent les effets potentiels d'une guerre nucléaire déclenchée respectivement en hiver et en été, sur la productivité agricole.

#### 4.1. Vulnérabilité de l'agriculture des latitudes moyennes de l'hémisphère Nord

Les zones de l'hémisphère Nord ont une haute productivité agricole, elles fournissent une large fraction de la production de grain du monde.

Les perturbations climatiques graves et aiguës qui résulteraient d'une guerre nucléaire à grande échelle, notamment le gel et les diminutions d'intensité lumineuse, affecteraient profondément la production agricole des zones touchées, en cas de déclenchement des hostilités pendant la période de croissance des plantes, soit un créneau de six mois.

En ce qui concerne les effets chroniques, il est vraisemblable qu'une diminution de la température moyenne de 1 à 2°C raccourcirait la période de croissance tout en allongeant le temps nécessaire à la maturité des céréales.

Une réduction de 2°C affecterait environ 50% des zones de production de froment en URSS et au Canada, tandis qu'une réduction de 5°C affecterait gravement toute les régions de production de froment de l'hémisphère Nord, et la production de grain ailleurs serait très faible.

Une baisse de quelques degrés affecterait sévèrement les rendements des pommes de terre or 80% de la production totale de pommes de terre provient de l'Europe du Nord et de l'URSS.

#### 4.2. Vulnérabilité potentielle de l'agriculture tropicale

Les écosystèmes agricoles tropicaux sont vulnérables aux mêmes types de perturbations que celles qui pourraient frapper la production agricole des zones tempérées en cas de conflit nucléaire.

La plupart des plantes agricoles des régions tropicales sont très sensibles au refroidissement et sont tuées par de courtes périodes de gel.

Le riz, qui est la principale culture de nombreux pays tropicaux, est endommagé par des exposition à des températures d'environ 15°C pendant certains stades phénologiques (Tableau 2). De brèves expositions à cette température entraînent la perte d'au moins un tiers de la récolte.

Une diminution persistante de la température moyenne, durant la période de croissance, comprise entre 1 et 2°C causerait une perte totale de la production. Des réductions de précipitations pourraient poser un problème pour la production agricole dans les régions tropicales, même les plus humides, du fait de la distribution hautement saisonnière des chutes de pluie.

Les régions arides ou semi-arides seraient, évidemment, encore plus vulnérables à une diminution des précipitations.

#### 4.3. Conséquences des impacts agricoles pour la population

L'humanité est presque totalement dépendante de l'activité biologique pour son alimentation et autres besoins, or la capacité des écosystèmes naturels est très insuffisante à cet égard. En effet, sans la productivité agricole, au moins 90 à 99% de la population actuelle ne pourrait être maintenue en vie. Le problème de la disponibilité alimentaire, après un conflit nucléaire à grande échelle, est donc vital non seulement pour les survivants des pays belligérants mais aussi pour les populations des autres pays.

L'analyse a porté sur 15 pays représentatifs du point de vue des niveaux de population, des productivités agricoles et des structures économiques et sociales ; ces 15 pays totalisent 63% de la population mondiale. Une estimation des impacts alimentaires potentiels a aussi été effectuée pour 120 autres pays en utilisant des modèles simplifiés.

Les calculs des productions alimentaires, des stocks et des taux de consommation sont basés sur les équivalents énergétiques (calories).

Les résultats d'analyse indiquent clairement que, dans de nombreux pays, des taux élevés de malnutrition et de famine seraient engendrés par un guerre nucléaire majeure. La cause principale directe d'une telle pénurie alimentaire serait les perturbations climatiques et les désorganisations de la société pendant la première année d'après-guerre nucléaire. Même sans perturbations climatiques, les pays dépendant de l'importation d'aliments subiraient une pénurie car la plupart des pays ayant les niveaux de production agricole les plus élevés seraient impliqués dans le conflit. Par ailleurs, il paraît improbable que des exportations d'aliments, par ces pays sévèrement touchés, continueraient.

Cette vulnérabilité de pénurie alimentaire potentielle, du fait d'un stockage local insuffisant, est particulièrement menaçante pour l'Afrique, l'Asie et l'Amérique du Sud. Cela signifie, qu'alors que la plupart des pays de ces continents n'aient pas d'armes nucléaires et ne seraient donc pas probablement visés, les conséquences pour leurs populations d'une guerre nucléaire majeure seraient presque aussi sévères que pour celles des pays belligérants.

## 5. CONCLUSION GENERALE

La question ne devrait pas être : "Pourquoi étudier les effets biologiques ?" Mais, plutôt, "Pourquoi avons-nous attendu si longtemps ?" C'est encore plus impératif aujourd'hui puisque la nouvelle perspective d'une guerre nucléaire est qu'une telle guerre moderne engendrerait presque certainement des dévastations loin au-delà des pays combattants, en particulier, mais pas exclusivement, s'il y avait des impacts climatiques majeurs. Les vulnérabilités agricoles, écologiques et humaines aux perturbations à l'échelle globale suggèrent que les effets indirects (Fig.3.) sont probablement beaucoup plus lourds de conséquences que les effets directs (Fig.4.) des détonations mêmes, et ce sont ces effets indirects qui détermineraient ce que serait le monde d'une après-guerre nucléaire pour les survivants. Savoir à quel point l'image des conséquences

serait différente de celle, limitée, fournie par les explosions nucléaires expérimentales et les bombardements nucléaires, à relativement petite échelle sur le Japon, peut seulement être appréhendé par l'approche de la vulnérabilité des systèmes écologiques aux stress potentiels d'une guerre nucléaire moderne. Il n'est pas raisonnable d'attendre des décideurs de développer des politiques nucléaires appropriées alors qu'ils n'ont qu'une perception inadéquate et périmée des conséquences d'une guerre nucléaire. Tel est le message de l'étude SCOPE-ENUWAR.

### Références

SCOPE 28 - Environmental Consequences of Nuclear War. Vol.I. Physical and Atmospheric Effects. A.B. Pittock, T.P. Ackerman, P.J. Crutzen, M.C. MacCracken, C.S. Shapiro, R.P. Turco, Eds., John Wiley and Sons (1986).

SCOPE 28 - Environmental Consequences of Nuclear War. Vol.II. Ecological and Agricultural Effects. M.A. Harwell and T.C. Hutchinson, Eds., John Wiley and Sons (1985).

LARCHER W. and BAUER H. Physiological Plant Ecology 1 (1981) 403-437. In : Lange O.L., Nobel P.S., Osmond C.B. and Ziegler H. (Eds.), Springer Verlag, New York.

DANSEREAU P. Biogeography - An ecological perspective (1957) Ronald Press Co., New York.

Tableau 1  
 TABLEAU SYNOPTIQUE DES REPONSES DES SYSTEMES ECOLOGIQUES MAJEURS  
 AUX STRESS CLIMATIQUES (REDUCTIONS)

SYSTEMES	TEMPERATURE	LUMIERE	PRECIPITATIONS	DEBUT DE LA GUERRE
FORETS	++	+	++	été
- zone tempérée	+	+	+	hiver
- tropicales	+++	+	++	été
	+++	+	++	hiver
PRAIRIES	++	+	++	été
	+	+	+	hiver
MARINS	O	+++	O	été
	O	++	O	hiver
LACS ET	++	++	++	été
RIVIERES	+	+	+	hiver
AGRICULTURE	++++	+	+++	été

Légende : O = essentiellement pas d'effet

  + = effet faible

  ++ = effet modéré

  +++ = effet important

  ++++ = effet extrêmement important

Tableau 2

TABLEAU SYNOPTIQUE DES REPONSES DES SYSTEMES ECOLOGIQUES MAJEURS  
 AUX STRESS AUTRES QUE CLIMATIQUE  
 (guerre déclenchée en été)

SYSTEMES	RADIATIONS	RAYONNEMENT	POLLUANTS	INCENDIES
	IONISANTES	UV-B (280-320 nm)	ATMOSPH.	
Tundra/alpin	+	+	+	+
Forêts tempérées				
- caduques	++	+	++	++
- conifères	+++	+	+	++
Forêts tropicales	+	++	+	++
Prairies	+	+	+	++
Agriculture	++	+	++	+
Lacs et rivières	+	++	+	0
Estuaires	+	++	++	0
Marins	0	++	0	0

Légende : 0 = essentiellement pas d'effet

+ = effet faible

++ = effet modéré

+++ = effet important

Tableau 3

Températures critiques pour le développement du riz.

Stade de Croissance	Minimum	Maximum	Optimum
	Températures (°C)		
Germination	16 - 19	45	18 - 40
Emergence plantule	12 - 25	35	25 - 30
Enracinement	16	35	25 - 28
Elongation foliaire	7 - 12	45	31
Tallage	9 - 16	33	25 - 31
Initiation de panicule	15	-	-
Différentiation de panicule	15 - 20	30	-
Anthèse	22	35 - 36	30 - 33
Maturation	12 - 18	> 30	20 - 29

Tableau 4

## EFFETS POTENTIELS D'UNE GUERRE NUCLEAIRE SUR LA PRODUCTIVITE AGRICOLE

A. Perturbations climatiques aiguës se produisant en janvier

Zone	Cultures	Production animale
Tempérée Nord	Froment d'hiver survivrait en général	Problèmes en élevage intensif :
	Si basse t° moyenne dans période croissance = empêche développement grain sauf aux latitudes basses (Inde N, Afrique du N, Sud USA)	ruminants adultes supporteraient le froid mais les fourrages et l'eau seraient les facteurs limitants jeunes animaux périraient de stress dû au froid
	Pâtures : survie	Intensités lumineuses faibles pourraient affecter la fertilité d'animaux tels que mouton
	Semis de printemps de céréales possibles mais t° moyenne trop basse = empêche formation grains	
	Riz et p.d. terre : culture ne donnerait pas de rendement	
Tropicale	Riz, maïs, sorghum et millet seraient en danger	Animaux survivraient au froid cpdt avenir dépendrait de disponibilité de fourrage
	Patûres : sensibles au froid cpdt récupération probable	
Hémisphère Sud	Manque de prévisions climatiques claires d'où difficulté d'estimer les effets	

Tableau 5

## EFFETS POTENTIELS D'UNE GUERRE NUCLEAIRE SUR LA PRODUCTIVITE AGRICOLE

B. Perturbations climatiques aiguës se produisant en juillet

Zone	Cultures	Production animale
Tempérée Nord	Récolte céréales déjà faites (Inde, Chine, USA, Afrique Nord)	Ruminants adultes survivraient  Jeunes animaux périraient de froid
	Ailleurs (Canada, URSS, Europe W) récoltes compromises	
	Pâture détruite cpdt récupération ultérieure possible	
Tropicale	Toutes les cultures sensibles au froid	
	Effets résultant de modification régime de mousson (Inde, Indonésie)	
	Plantation de millet, sorgho et riz compromise	
Hémisphère Sud	Froid allongerait période maturité froment et maïs en Australie, Afrique Sud et Amérique Sud	Production limitée par disponibilité de fourrage pas directement affectée par les diminutions de t°
	Disponibilité en eau serait facteur limitant	

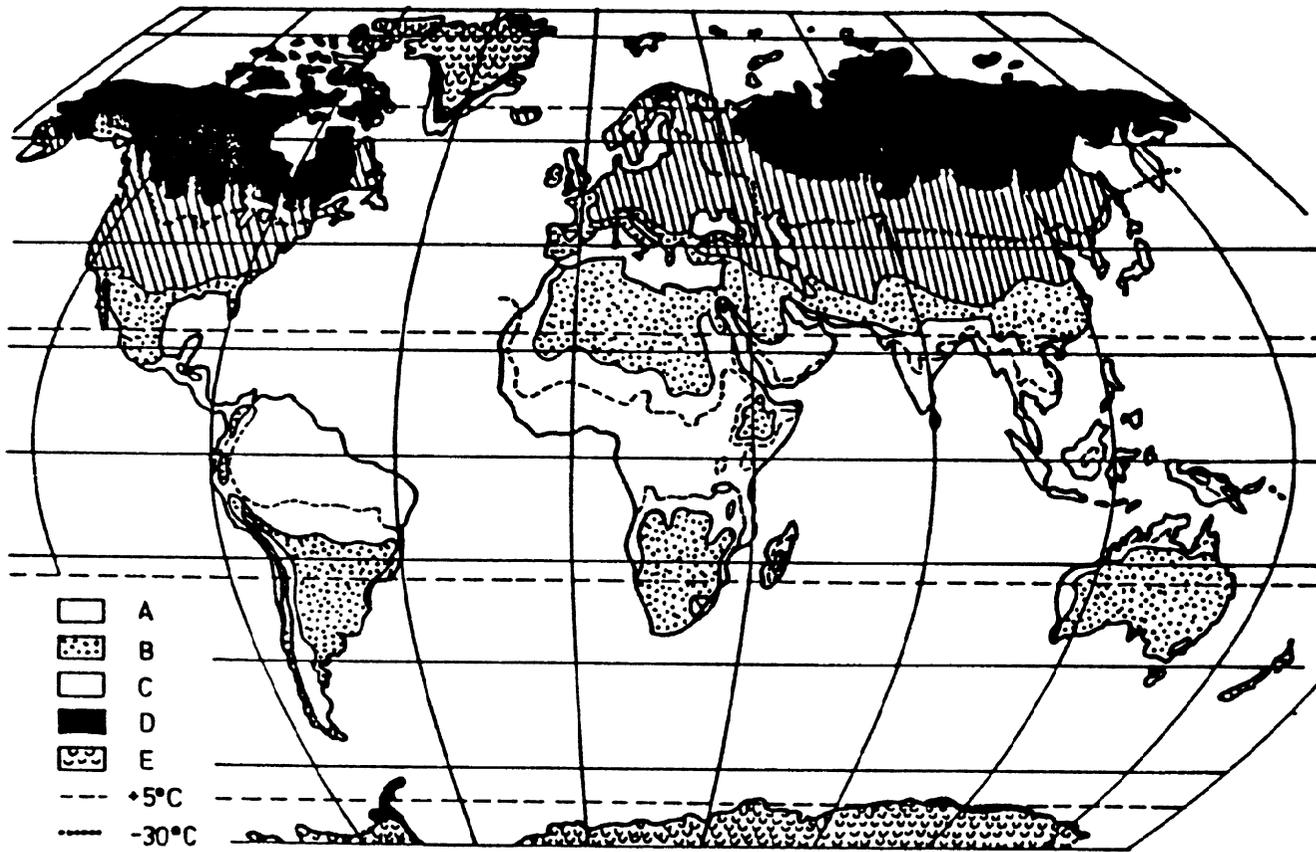


Figure 1. Map of low-temperature threshold limiting plant distribution on the Earth. A: frost-free zone; B: zone with episodic frosts down to  $-10^{\circ}\text{C}$ ; C: zone with average annual minimum between  $-10^{\circ}\text{C}$  and  $-40^{\circ}\text{C}$ ; D: zone with average annual minimum below  $-40^{\circ}\text{C}$ ; E: polar ice; - - - :  $+5^{\circ}\text{C}$  lowest temperature isotherm; - · - · :  $-30^{\circ}\text{C}$  average annual minimum isotherm. From Larcher and Bauer (1981) (3)

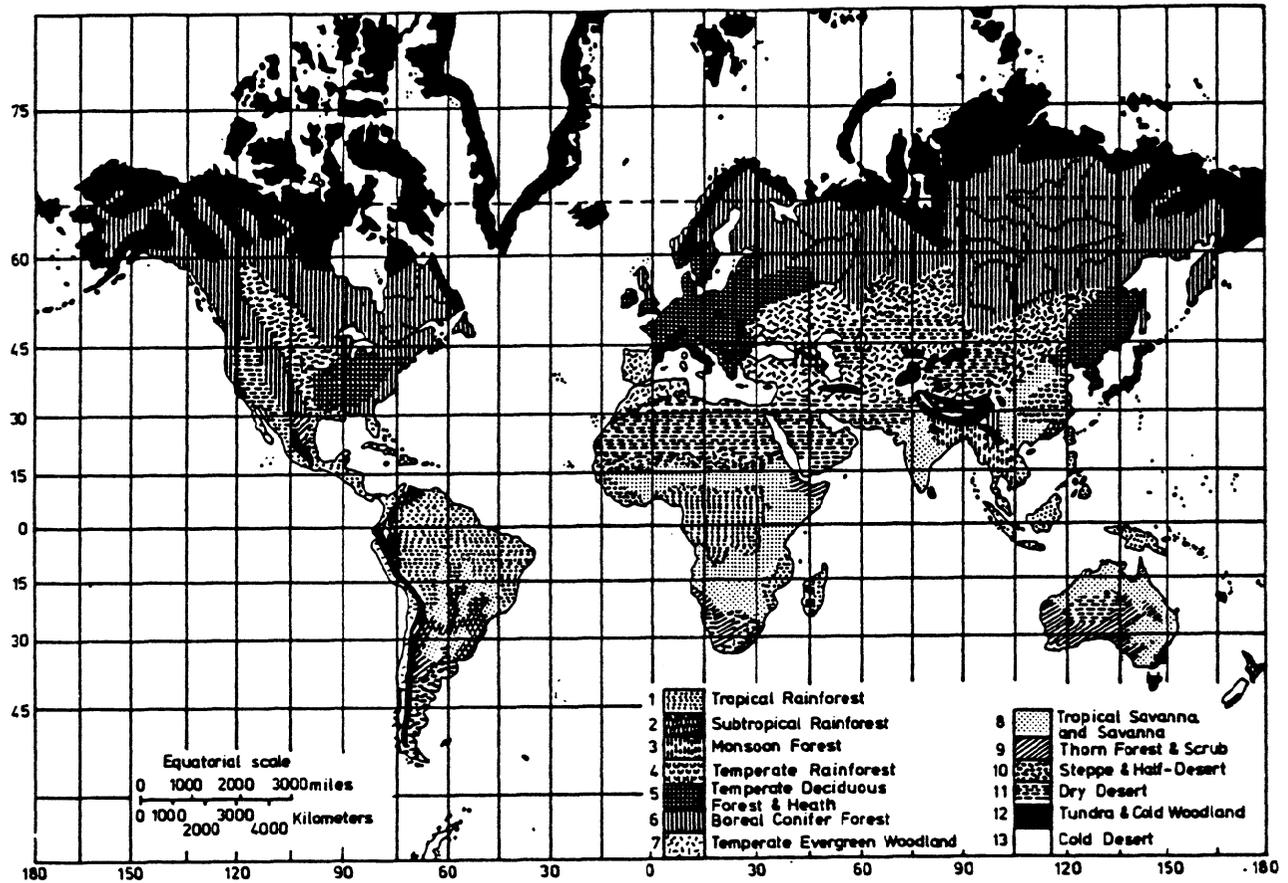


Figure 2 Terrestrial biomes of the Earth. From Dansereau (1957) (4)

Figure 3. DIRECT EFFECTS OF LARGE SCALE NUCLEAR WAR (2).

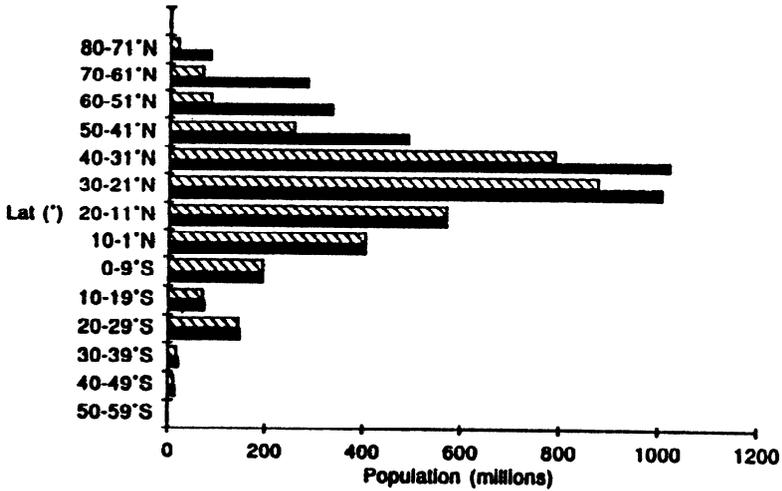
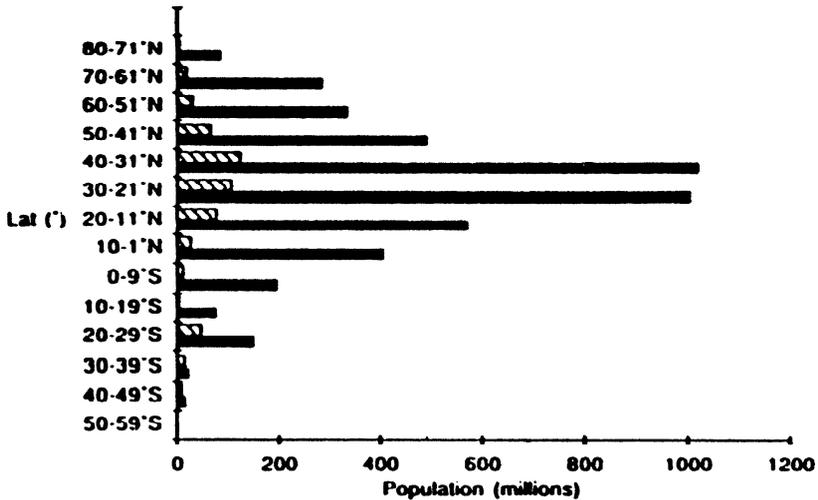


Figure 4. **Estimated deaths from starvation following a nuclear war that occurs when foodstocks are low. (2)**



SAMENVATTING.

Na een korte herinnering aan de oorsprong en de ontwikkeling van het onderzoek uitgevoerd door de groep SCOPE-ENUWAR, de mededeling onderzoekt de weerslag op de ecosystemen en de landbouw van de waarschijnlijke veranderingen van de lichtintensiteit, de temperatuur, de neerslag, de scheikunde van de atmosfeer, de U.V. stralen en de ioniserende stralen die ontstaan na een grootschalige kernoorlog. De gevoeligheid van landbouw en ecologie aan klimatische storingen laat ons denken dat de onrechtstreekse effecten waarschijnlijk zwaardere gevolgen zullen hebben voor de wereldbevolking dan de rechtstreekse effecten van de ontploffingen zelf.

ABSTRACT.

After a short reminder of the origin and development of the study made by the SCOPE-ENUWAR group the communication examines the repercussions on the ecosystems and agriculture of the probable changes in light intensity, temperature, precipitations, atmosphere chemistry, U.V. radiation and ionizing radiation brought about by a large scale nuclear war. The vulnerability of agriculture and ecology to climatic disturbances makes us believe that the indirect effects will probably have heavier consequences for the world population than the direct effects of the explosions.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 11, n° 4 (1986).

**PRINCIPES D'ORGANISATION ET MODALITES D'APPLICATION DE LA RADIOPROTECTION DE LA  
POPULATION EN SUISSE.**

P. Lerch, Institut d'Electrochimie et de Radiochimie, Ecole  
Polytechnique Fédérale, CH - 1015 Lausanne

Résumé

La volonté de défense du peuple suisse, compte tenu de la situation particulière du pays (géographique, économique et politique) se traduit par la mise en place d'une organisation de protection de la population, en cas de catastrophe nucléaire notamment. Le principe du plan d'engagement et l'organisation de l'alarme sont exposés et les moyens de contrôle de la radioactivité énumérés. La protection radiologique de la population est assurée par l'évacuation verticale pour éviter l'irradiation externe, puis par le contrôle de la diète pour éliminer la contamination interne.

Introduction

L'histoire montre que l'homme n'a jamais cessé d'être en prise avec des événements qui exercent une menace pour la vie de communautés, de peuples, voire de civilisations entières, qu'il s'agisse de phénomènes naturels, ou provoqués par lui-même ou par ses rivaux (grandes invasions par exemple). Il est parfaitement vain de s'en lamenter, suicidaire de les ignorer, car seuls ceux qui ont eu la volonté d'y échapper ont eu des chances de survivre dans la dignité. La situation créée par un conflit moderne nucléaire n'apporte rien de vraiment nouveau. Il est donc normal qu'à la suite de 700 ans d'histoire souvent difficile, la ténacité du peuple helvète continue à faire front à la situation, en préparant les dispositions propres à y parer.

Qu'il s'agisse d'opérations militaires en Europe, utilisant des engins atomiques en quantité raisonnable\* ou d'accidents de réacteurs nucléaires, très peu probables, mais à l'éventualité desquels il faut néanmoins se préparer, le but que le radioprotectionniste doit atteindre, c'est protéger la population; cela signifie pratiquement:

---

\* Au plan politique et militaire, nous ne croyons pas aux scénarios extrêmes, préludes à l'hiver nucléaire: aucun état n'y trouverait son compte.

a) dans une première phase, protection contre l'irradiation externe due aux retombées radioactives, en la mettant à l'abri des radiations

b) dans une seconde phase, protection contre l'irradiation interne due à la contamination des aliments et de l'eau, en contrôlant la radioactivité des aliments et de l'eau.

Pour atteindre ce but, il faut se donner les moyens d'apprécier en tout temps la situation radiologique: cela comporte la mise sur pied de réseaux de mesures permanentes de doses, puis de collection d'échantillons et d'analyses de radioactivité, enfin l'établissement d'un système éprouvé de transmissions.

En possession de ces moyens, il sera alors temps de choisir les dispositions de protection les mieux adaptées à la situation:

a) pour éviter l'irradiation externe, mettre à l'abri ou évacuer la population menacée ?

b) pour réduire l'irradiation interne, modifier la diète ou utiliser les réserves alimentaires ?

#### 1. Situation particulière de la Suisse.

La Suisse est un pays d'aire réduite, pratiquement dénué de ressources naturelles, dont la population sait ne pouvoir compter que sur le travail pour assurer son bien-être; démocratie directe de conception libérale, elle tient plus que toute autre chose à sa liberté de choix et d'action. Le tableau I met face à face, d'un côté la réalité de sa situation, de l'autre la solution aux problèmes qu'elle pose, et les réactions positives sur lesquelles pourra s'appuyer sa politique de sécurité.

La structure de la Confédération Helvétique est essentiellement fédéraliste; son organisation politique est établie sur 3 niveaux:

<u>fédéral</u> :	<u>cantonal</u> :	<u>communal</u> :
1 confédération	26 états	3095 communes

les états, et même les communes, sont très jaloux de leur autonomie.

Tableau I: La situation helvétique

Diversité et exigüité du territoire	Fédéralisme: motivation, connaissance du terrain
Ressources et moyens limités	Système de milice : disponibilité habitude du service
Situation géographique centrale	Volonté populaire de défense

Dès 1973 apparaît le concept de Défense Générale, (Gesamtverteidigung), qui doit permettre de faire face aux formes modernes que peut prendre la menace contre notre sécurité nationale. Il associe étroitement les activités de défense civiles et militaires afin de gagner en efficacité, dans une économie obligée de moyens, comme le montre le tableau II:

Tableau II: Concept d'une défense générale

<u>Domaine civil</u>	<u>Domaine militaire</u>
Protection civile* (au niveau communal, cantonal et fédéral)	Armée de campagne*
Défense nationale économique*	Service territorial* (niveau régional et cantonal)
Information et défense psychologique	

---

Défense Générale

\* Service de milice où les professionnels ne représentent qu'une petite minorité.

La conduite des opérations en cas de crise implique donc une collaboration étroite entre l'Armée, la Protection Civile et la Défense Nationale économique, coordination des intérêts civils et militaires qu'il est indispensable de préparer soigneusement et d'exercer en temps de paix. Le concept de défense générale prévoit la création de services coordonnés dans de nombreux domaines, comme la santé, l'approvisionnement, les transports, les transmissions. C'est ainsi qu'a été créé le Service de Protection AC coordonné (tableau III).

Tableau III: Service de protection AC coordonné

Principe: La conduite des opérations dans le domaine AC est intégrée à tous les échelons: Confédération, Cantons ou Communes, dans les états-majors de conduite.

Indispensable collaboration entre l'Armée, la Protection Civile et la Défense Nationale économique; coordination des intérêts civils et militaires, déjà préparée en temps de paix.

Ainsi le SPAC au niveau cantonal par exemple, doit régler la collaboration entre:

- . pour le contrôle de l'irradiation externe: SPAC de la Protection Civile, de l'Armée et postes d'alerte atomique de la Commission Fédérale de la Surveillance de la Radiativité
- . Pour le contrôle de la contamination: Laboratoire Cantonal, Laboratoire AC de l'Arrondissement Territorial (armée) et et d'autres partenaires extérieurs.

2. L'organisation de l'alarme et le plan d'engagement

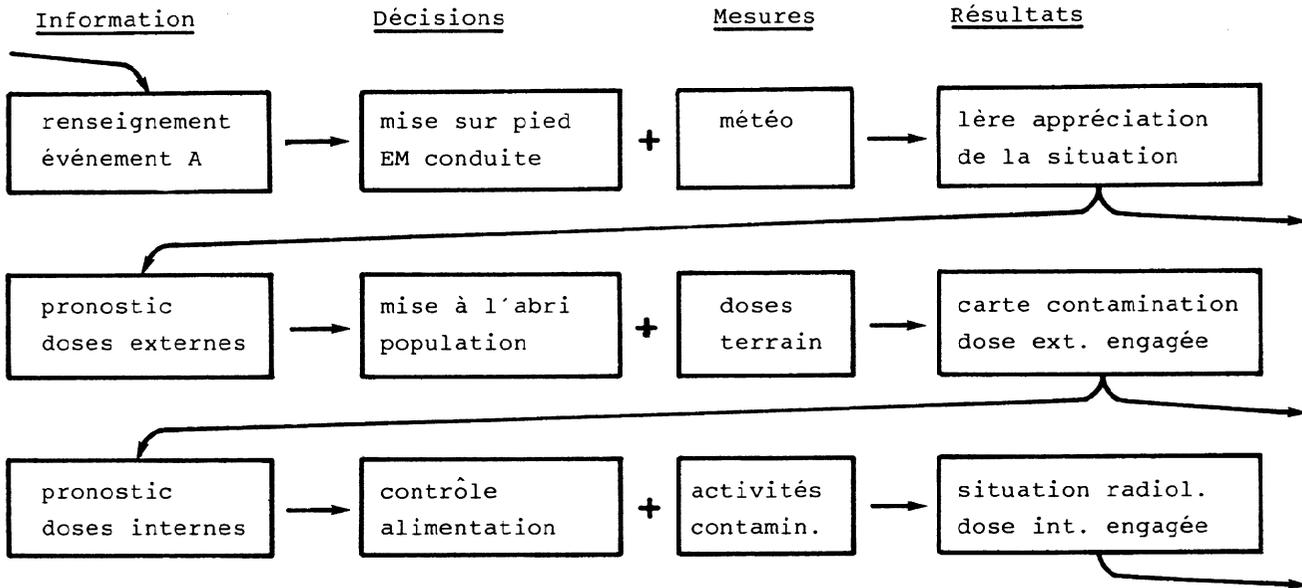
L'organisation de l'alarme atomique repose sur une ordonnance fédérale qui en fixe les bases légales et établit la chronologie des principaux objectifs:

1. Constatation de la radioactivité, alerte de la population
2. Mesures, analyse de la situation, décisions
3. Propositions éventuelles de mesures de protection.

L'exécution des mesures à prendre est l'affaire des autorités: Conseil Fédéral, Gouvernements cantonaux, Municipalités. Elle rappelle que les moyens civils et militaires à disposition doivent être coordonnés et engagés rationnellement dans l'organisation d'alarme.

Le principe du plan d'engagement lors d'un événement A est donné au tableau IV. La collection des renseignements sur l'événement A et les informations météorologiques doivent permettre à l'état-major de conduite d'établir une première appréciation de la situation dans le délai le plus court, si possible avant que l'événement produise ses effets dans

Tableau IV: Principe du plan d'engagement lors d'un événement A



le pays. Suivant le pronostic, la population peut être mise à l'abri ; un plan de mesure de doses externes sur le terrain est établi, afin d'être à même de dresser la carte de contamination réelle et de calculer la dose externe engagée. A son tour, le pronostic de la contamination de la population, va permettre de décider du contrôle de l'alimentation, et dès les activités mesurées, de connaître la situation radiologique et de calculer la dose interne engagée.

L'importance primordiale des données météorologiques a conduit à fixer le poste d'alarme centrale à l'Institut Suisse de Météorologie à Zürich: en temps normal, ce dispositif est en mesure de recevoir et de transmettre des messages en permanence; c'est lui qui reçoit les renseignements qui provoqueront le déclenchement de l'alarme et qui procède aussitôt à la mise sur pied des états-majors de conduite aux différents niveaux. Le groupe d'engagement de la Commission Fédérale de protection AC, et la fraction de l'EM de l'armée qui lui correspond, occupent en temps de crise cette centrale où continuent à converger tous les renseignements AC.

La mesure du taux de la radioactivité en temps normal est effectuée par:

- a) 6 postes de préalerte, situés à la périphérie du pays, équipés d'une station automatique de mesure de l'air en permanence.
- b) 111 postes d'alerte, opérationnels en 1 heure, répartis sur toute l'étendue du territoire, équipés de débitmètres  $\gamma$ .
- c) 51 postes permanents, équipés d'une sonde GM interrogée toutes les 10 minutes, constituent le réseau NADAM en voie de réalisation; ce système complète les stations météorologiques et utilise ses moyens de communication.
- d) 4 véhicules de mesure et de prélèvements, opérationnels en moins d'une heure sont à même de renforcer les dispositifs précités.

En cas de crise, les organismes locaux de la protection civile peuvent mettre en jeu quelques 3000 détecteurs équipés de débitmètres  $\gamma$ , dont on admet que 10% seraient déjà opérationnels

en quelques heures; un autre contingent peut être mis à disposition par l'armée.

Le contrôle de la contamination radioactive d'échantillons d'eau, de sol, de végétaux, de lait et d'autres denrées alimentaires est suivi régulièrement en temps normal par:

- a) plusieurs laboratoires universitaires de physique ou de chimie spécialisés
- b) des laboratoires cantonaux d'analyse des denrées alimentaires.

Ce travail est organisé et contrôlé par la Commission Fédérale de surveillance de la radioactivité, qui établit chaque année un rapport ad hoc au Conseil Fédéral.

En temps de crise avec événement A, cette activité est étendue avec la mise sur pied de 30 laboratoires A du service territorial de l'armée, qui viennent renforcer les laboratoires cantonaux. Ces ensembles travaillent alors dans les abris protégés contre la contamination.

L'extension de la zone impliquée à la suite d'accidents nucléaires ou avec des substances radioactives va déterminer quelles instances seront responsables de la conduite des opérations. Le tableau V définit le degré de menace, qui dépend notamment de cette extension, et montre quels état-majors seront chargés de diriger l'engagement. Cette organisation, qui ménage l'esprit fédéraliste, a déjà montré sa haute efficacité.

En effet, les état-majors cantonaux de défense, qui regroupent personnalités politiques et spécialistes d'une région, sont bien exercés à ce genre d'activité; ils sont non seulement maintenus opérationnels par de fréquents exercices ou autres séances de travail, mais sont amenés à intervenir dans différentes circonstances non-atomiques, telles que graves pollutions, accidents de transport étendus ou catastrophes naturelles.

Tableau V: Degré de menace du danger A

	<u>Situation</u>	<u>Conduite des opérations</u>
1. danger localisé	Accident avec matières radio-actives (entreprises, transport)	Communes
2. danger régional	Accident dans une centrale nucléaire	Cantons
3. danger national	Evènement A dans un pays limitrophe ou en Suisse	Confédération

### 3. Dispositions de radioprotection à l'égard de la population

#### 3.1 Introduction

Le tableau VI énumère un certain nombre de dispositions générales de radioprotection, et examine leur applicabilité au cours du temps qui suit l'événement. Il envisage 3 phases successives: le court terme avec ses mesures d'urgence, une période intermédiaire, et enfin les dispositions à prendre à long terme.

L'occupation d'abris, comme les opérations de délimitation et d'isolement du territoire contaminé, sont considérées comme les plus efficaces, surtout au début; à moyen terme, les problèmes liés à l'alimentation jouent un rôle principal.

Les mesures préventives de prophylaxie radiologique, et conservatives de décontamination des personnes, comme les traitements médicaux des irradiés sont placés en second rang. Enfin, les autres genres de disposition ont une bien moindre importance, en particulier l'évacuation de la zone contaminée.

Tableau VI: Applicabilité des mesures de radioprotection

	Phase initiale (heures)	Phase intermédiaire (jours-semaines)	Phase finale (mois- années)
Occupation d'abris	+++	++	-
Prophylaxie radiologique	++	+	-
Méthodes de protection individuelle	+	+	-
Contrôle de l'accès à la zone contaminée	+++	++	+
Décontamination des personnes	++	++	+
Evacuation de la zone contaminée	+	+	-
Détournement de l'eau et des denrées alimentaires	+	+++	++
Traitements médicaux	-	++	+
Décontamination de la zone contaminée	-	+	+

## 3.2 Phase I: protection contre l'irradiation (externe)

Les mesures de protection envisagées dépendent du pronostic de la dose externe et sont énumérées au tableau VII.

Tableau VII: Niveau d'action pour l'irradiation-externe

Dose accumulée (pronostiquée ou engagée)	Mesures de protection élémentaires pour la population
< 1 rem	pas de dispositions
1 à 5 rem	éviter le séjour <u>inutile</u> en zone active-fermer les fenêtres - détourner la circulation
5 à 10 rem	séjour à l' <u>intérieur</u> des habitations - décontamination sommaire
10 à 25 rem	séjour dans les <u>abris</u> - travaux urgents autorisés dans les habitations
> 25 rem	séjour <u>permanent</u> dans les abris - évacuation ultérieure éventuelle

La mesure dominante est l'évacuation verticale, dans les abris souterrains; toutefois, elle n'intervient que pour des doses importantes, une solution intermédiaire, avec possi-

bilité de séjours hors abris pour s'acquitter de tâches urgentes, est prévue pour les doses intermédiaires.

Le principe contre l'irradiation externe par mise à l'abri de la population peut s'énoncer: une place protégée pour chaque habitant. L'organisation est affaire de la protection civile: elle veille à ce que dans chaque commune, des constructions doivent être érigées, afin de satisfaire au principe de base. Des normes fixent les épaisseurs des dalles et parois; la ventilation artificielle est la règle, munie de filtres pour arrêter les toxiques chimiques et les poussières radioactives; L'étanchéité est maintenue grâce à la construction de sas d'entrée. L'aire et le volume sont respectivement  $1\text{m}^2$  et  $2,5\text{m}^3$  par personne; l'abri est aménagé pour permettre une survie de 2 à 3 semaines, pendant lesquelles la radioactivité à l'extérieur peut décroître jusqu'à un niveau acceptable. Parmi les équipements à ne pas négliger citons notamment: un réservoir d'eau de capacité suffisante, une génératrice de courant électrique, une antenne extérieure pour capter les messages radiophoniques. L'abri doit contenir du matériel et outillage de premier secours, les réserves alimentaires, du matériel sanitaire ainsi qu'un minimum d'équipements personnels (vêtements, articles de toilette, sans oublier les jeux pour occuper les résidents obligés).

En temps normal, il est indispensable d'initier la population à cette opération survie: préparation psychologique, exercices d'occupation préventive, constitution et entretien des réserves alimentaires,...

L'occupation d'abri est un concept général, qui ne concerne pas que les personnes occupées dans leur propre habitation, ou dans leur lieu de résidence. C'est ainsi que les enfants des écoles devront être renvoyés à la maison; sauf établissement directement utiles en temps de crise, il en sera de même des employés et ouvriers. Le bétail des exploitations agricoles devra regagner l'étable (après traite). Seules les personnes mobilisées (armée, protection civile, EM de crise et services publics indispensables) ne gagneront pas les abris communaux ou privés.

3.3 Phase II: protection contre la contamination radioactive. Les dispositions à édicter dépendent du pronostic de la dose interne, en principe, le seuil au-dessus duquel ces mesures sont imposées est 0,5 rem.

Le ravitaillement devrait, dans un premier temps, utiliser les réserves propres de secours que doit posséder tout citoyen averti et conséquent: lait en poudre, conserves alimentaires, denrées à longue durée de conservation (légumes secs, riz, fruits, farine...); les surgelés posent un problème, puisque leur bonne conservation suppose un service électrique sans longue interruption. Le tableau VIII montre, à titre indicatif, quelles sont les provisions de ménage qui doivent être constituées et entretenues en temps normal:

Tableau VIII: Réserves alimentaires (provisions de ménage)

Principe : Chaque ménage a le devoir de constituer une réserve alimentaire de base, pour les premiers jours de crise, avant la mise en place des services de rationnement

Aliments solides : minima par personne: 2 kg de sucre  
2 kg de riz  
2 kg de graisse ou huile

Il faut compter environ 7 kg d'aliments par semaine.

A conserver au sec, au frais, à l'obscurité, sous emballages datés, des contrôles périodiques sont nécessaires.

Aliments liquides : Réserve primordiale: Eau minérale (ou berlingots d'eau, jus de fruits ou de légumes).  
Il faut compter environ 14 l de liquide par semaine.

Les autorités doivent mettre hors circuit les produits frais contaminés (lait, légumes, fruits,...); des réserves de produits alimentaires non contaminés pourraient servir à les remplacer, le cas échéant. Les laboratoires de contrôle auront pour tâche d'analyser la contamination, de trier les denrées afin de permettre leur utilisation immédiate, ou éventuellement différée, ou d'en interdire définitivement la consommation.

Une diète de crise peut être instituée et le rationnement décrété, toutes choses planifiées en temps normal par les organismes responsables de la défense économique.

La question du lait revêt une importance particulière; en effet, dans la diète occidentale, lait et ses sous-produits représentent la principale source de contamination radioactive. Le lait est la base de l'alimentation des enfants; ceux-ci constituent donc le groupe d'individus le plus menacé par la radioactivité. Par ailleurs, le lait frais et les produits à base de lait frais ont une courte durée de conservation; c'est pourquoi il faut prévoir des réserves protégées suffisantes de fourrage et d'eau.

Lorsque ces réserves sont épuisées, l'affouragement vert étant contaminé, le contrôle du lait deviendra obligatoire: le lait trop contaminé pour être directement consommé sera transformé; des instructions spéciales seront données aux laiteries pour sa mise en valeur.

Toutes ces mesures devront faire l'objet d'information détaillée à la population.

#### 4. Conclusion

Dans l'éventualité d'un conflit nucléaire en Europe, même si le territoire national est épargné par les troupes des belligérants, le risque d'irradiation de la population peut être très élevé.

Cependant, par une réaction rapide et bien préparée, grâce à la coordination des moyens telle que permet l'organisation d'une défense générale, et notamment d'un service AC coordonné, la population peut être protégée dans une mesure significative.

SAMENVATTING.

De paraatheid tot zelfverdediging van het Zwitsers volk, rekening gehouden met de bijzondere situatie van het land op geografisch, economisch en politiek vlak, uit zich in de verwezenlijking van een organisatie voor bescherming van de bevolking o.m. in geval van kernexplosie. De basis van het uitvoeringsplan, de organisatie bij alarm en de middelen tot controle van de radioactiviteit worden uiteengezet. De stralingsbescherming van de bevolking wordt verzekerd door "verticale" evacuatie om de uitwendige bestraling te beperken en door de controle van de voeding om inwendige besmetting tegen te gaan.

ABSTRACT.

The will of the Swiss population to defend itself, according to the peculiar situation of the country (geographical, economical and political), appears in the elaboration of an organization for the protection of people in case a.o. of a nuclear explosion. The principle of the engagement plan, the organization of alarm and the ways for control of the radioactivity are described. Radiological protection of the population is effected by "vertical" evacuation for reduction of the external exposure and control of food for minimizing internal contamination.