



Assemblée générale

Distr.  
GENERALE

A/43/351  
5 mai 1988  
FRANCAIS  
ORIGINAL : ANGLAIS

Quarante-troisième session  
Point 67 g) de la liste préliminaire\*

EXAMEN DE L'APPLICATION DES RECOMMANDATIONS ET DECISIONS ADOPTEES PAR  
L'ASSEMBLEE GENERALE A SA DIXIEME SESSION EXTRAORDINAIRE : EFFETS  
CLIMATIQUES DE LA GUERRE NUCLEAIRE, Y COMPRIS L'HIVER NUCLEAIRE

Etude des effets climatiques et autres effets planétaires  
d'une guerre nucléaire

Rapport du Secrétaire général

1. Par ses résolutions 40/152 G du 16 décembre 1985 et 41/86 H du 4 décembre 1986, l'Assemblée générale a prié le Secrétaire général de procéder, avec le concours du groupe d'experts consultants qu'il aura choisis compte tenu de l'intérêt d'une large représentation géographique et de la diversité de leurs spécialisations scientifiques, à l'étude des effets climatiques et des effets physiques éventuels de la guerre nucléaire, notamment l'hiver nucléaire, en traitant, entre autres, de ses répercussions socio-économiques et en tenant compte du rapport du Secrétaire général (A/40/449 et Corr.2) et des documents à partir desquels la compilation a été établie, ainsi que de toute autre étude scientifique utile.
2. Comme suite à cette demande, le Secrétaire général a l'honneur de communiquer ci-joint à l'Assemblée générale l'étude sur les effets climatiques et autres effets planétaires de la guerre nucléaire.

\* A/43/50.

ANNEXE

Etude des effets climatiques et autres effets planétaires  
d'une guerre nucléaire

TABLE DES MATIERES

	<u>Paragraphes</u>	<u>Pages</u>
AVANT-PROPOS DU SECRETAIRE GENERAL .....		5
LETTRE D'ENVOI .....		6
PREFACE .....		9
I. APERCU GENERAL, ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSIONS .....	1 - 28	11
A. Evolution d'un nouveau sujet de préoccupation ...	1 - 10	11
B. Progrès enregistrés sur les principaux problèmes scientifiques .....	11 - 20	14
C. Enseignement et conclusions .....	21 - 28	16
II. CONSEQUENCES SUR L'ATMOSPHERE ET LE CLIMAT .....	29 - 105	18
A. Introduction .....	29 - 40	18
B. Les aspects techniques .....	41 - 93	21
1. La poussière .....	41 - 42	21
2. La combustion et les matières combustibles ..	43 - 51	22
3. Les incendies .....	52 - 55	24
4. Les émissions de fumée .....	56 - 62	24
5. Les propriétés optiques de la fumée .....	63 - 67	26
6. L'altitude atteinte par la fumée .....	68 - 71	27
7. Balayage et élimination des particules de fumée .....	72 - 74	29
8. Diminution de la lumière .....	75 - 77	30
9. Simulation numérique .....	78 - 81	30
10. Résultats des simulations numériques .....	82 - 85	32

/...

TABLE DES MATIERES (suite)

	<u>Paragraphes</u>	<u>Pages</u>
11. Analogues naturels partiels des perturbations atmosphériques causées par des explosions nucléaires .....	86 - 90	33
12. Effets à long terme .....	91 - 93	34
C. Incertitudes .....	94 - 96	35
D. Destruction de l'ozone stratosphérique .....	97 - 102	35
E. Autres effets chimiques .....	103 - 105	36
III. EFFETS SUR LES ECOSYSTEMES NATURELS ET L'AGRICULTURE	106 - 162	37
A. Introduction .....	106 - 109	37
B. Réactions biologiques générales aux perturbations climatiques .....	110 - 113	39
C. Réactions des biomes aux perturbations climatiques .....	114 - 135	40
1. Biomes de la toundra et des régions alpines	118 - 120	40
2. Forêts boréales/taïga .....	121 - 122	42
3. Forêts de conifères .....	123	42
4. Forêts d'arbres à feuilles caduques .....	124	43
5. Prairies .....	125	43
6. Déserts et semi-déserts .....	126	43
7. Biomes tropicaux .....	127 - 129	43
8. Lacs et cours d'eau .....	130 - 131	44
9. Systèmes marins .....	132 - 134	44
10. Estuaires .....	135	45
D. Effets des perturbations climatiques sur les principaux systèmes agricoles .....	136 - 144	47

/...

TABLE DES MATIERES (suite)

	<u>Paragraphes</u>	<u>Pages</u>
E. Principales cultures vivrières .....	145 - 153	47
1. Riz .....	145 -149	47
2. Blé .....	150	48
3. Maïs .....	151	49
4. Soja .....	152	49
5. Elevage .....	153	49
F. Incidences des perturbations climatiques selon les latitudes .....	154 - 155	49
G. Effets sur la production agricole .....	156 - 162	51
IV. EFFETS SUR LA SANTE ET LA VIE SOCIO-ECONOMIQUE .....	163 - 203	52
A. Introduction .....	163 - 164	52
B. L'onde de choc .....	165 - 166	52
C. La chaleur .....	167 - 169	53
D. Rayonnements .....	170 - 176	53
1. Rayonnement initial .....	170 - 171	53
2. Retombées radioactives locales .....	172 - 173	54
3. Retombées radioactives régionales et mondiales .....	174 - 176	55
E. Effets directs à l'échelle de la planète .....	177 - 179	55
F. Prise en charge médicale des survivants .....	180 - 187	56
G. Effets d'une guerre nucléaire sur les populations et les systèmes socio-économiques .....	188 - 197	58
H. Le relèvement? .....	198 - 203	60
GLOSSAIRE .....		62
BIBLIOGRAPHIE .....		70

/...

#### AVANT-PROPOS DU SECRETAIRE GENERAL

Un certain nombre de scientifiques ayant reconnu en 1982 qu'une guerre nucléaire de grande ampleur risquerait d'avoir de graves effets climatiques aux incidences mondiales, l'Assemblée générale, par sa résolution 40/152 G du 16 décembre 1985, a prié le Secrétaire général de mener une étude des effets climatiques et des effets physiques éventuels d'une guerre nucléaire, notamment l'hiver nucléaire, en traitant, entre autres, des répercussions socio-économiques d'une telle guerre. Mais, du fait de la crise financière de 1986, on a dû remettre cette étude à l'année suivante.

En 1986, par sa résolution 41/86 H du 4 décembre, l'Assemblée générale a renouvelé sa demande au Secrétaire général et lui a demandé de communiquer l'étude en temps utile à l'Assemblée pour qu'elle l'examine à sa quarante-troisième session, en 1988.

Conformément au vœu exprimé par l'Assemblée générale dans sa résolution 41/86 H, le Groupe d'experts consultants nommés par le Secrétaire général était composé de scientifiques de différents pays et appartenant à une vaste gamme de disciplines scientifiques. Certains avaient déjà participé à des recherches sur le sujet, d'autres l'abordaient pour la première fois.

Le Groupe a déclaré dans la conclusion de son rapport qu'une guerre nucléaire de grande ampleur entraînerait un risque élevé de perturbation de l'environnement mondial et que ce risque serait le plus élevé si de grandes villes et centres industriels dans l'hémisphère Nord étaient frappés au cours des mois d'été. De l'avis du Groupe, il est peu probable que, même lorsque l'on aura résolu les incertitudes scientifiques qui restent, cette conclusion soit invalidée. D'après le Groupe, l'épuisement des stocks de provisions aurait de graves effets sur la production agricole et les pays frappés comme les pays "épargnés" se trouveraient face à la perspective d'une famine généralisée. Les conséquences socio-économiques en seraient extrêmement graves.

Bien qu'apparemment robuste, la planète où nous vivons existe en état d'équilibre précaire. Pour la première fois de l'histoire de la race humaine, l'humanité agit d'une façon qui, en l'espace d'une seule génération, affecte l'environnement mondial de façon fondamentale. Les effets de la pluie acide et du déboisement sont déjà évidents. On commence seulement à reconnaître les incidences futures du réchauffement de la planète et de l'épuisement de la couche d'ozone.

La situation qui découlera d'une guerre nucléaire se trouve à l'extrémité ultime d'un éventail d'actes nocifs que la race humaine risque de s'infliger elle-même. Le rapport du Groupe sert à confirmer qu'une guerre nucléaire ne saurait être gagnée et ne doit pas être livrée. On peut également le considérer comme un argument de poids pour continuer les réductions massives d'armes nucléaires aux fins de les éliminer entièrement.

Le Secrétaire général remercie les membres du Groupe d'experts de leur rapport, qui est présenté ici à l'Assemblée générale pour examen. Il convient de noter que les observations et conclusions du présent rapport sont celles des membres du Groupe d'experts et que le Secrétaire général n'est pas en mesure de juger de tous les aspects des travaux accomplis par ce groupe.

/...

LETTRE D'ENVOI

Le 5 avril 1988

Monsieur le Secrétaire général,

J'ai l'honneur de vous faire tenir ci-joint le rapport du Groupe d'experts consultants que vous avez chargés, conformément aux dispositions du paragraphe 3 de la résolution 41/86 H de l'Assemblée générale en date du 4 décembre 1986, de faire une étude sur les effets climatiques et les effets physiques éventuels de la guerre nucléaire, notamment l'hiver nucléaire.

Les experts consultants nommés conformément à la résolution de l'Assemblée générale étaient les suivants :

Pr Sune K. D. Bergström  
Karolinska Institutet  
Nobelavdelningen  
Stockholm (Suède)

M. Gyula Bora  
Vice-Recteur de l'Université de sciences économiques  
Budapest (Hongrie)

Pr Messan K. L. Gnininvi  
Directeur du Laboratoire d'énergie solaire  
Université de Bénin  
Lomé (Togo)

Pr G. S. Golitsyn  
Institut de physique atmosphérique  
Académie soviétique des sciences  
Moscou (Union des Républiques socialistes soviétiques)

Pr Rafael Herrera  
Centro de Ecología y Ciencias Ambientales  
Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas  
Caracas (Venezuela)

Pr Mohammed Kassas  
Faculté des sciences  
Université du Caire  
Giza (Egypte)

Son Excellence  
Monsieur Javier Pérez de Cuéllar  
Secrétaire général de l'Organisation  
des Nations Unies  
New York

/...

Pr Thomas F. Malone  
St. Joseph College  
West Hartford, Connecticut (Etats-Unis d'Amérique)

Pr Henry A. Nix  
Directeur du  
Centre for Resource and Environmental Studies  
Australian National University  
Canberra (Australie)

M. D. V. Seshu  
Institut international de recherche sur le riz  
Manille (Philippines)

Pr Yasumasa Tanaka  
Faculté de droit  
Université Gakushin  
Tokyo (Japon)

Pr Ye Duzheng  
Academia Sinica  
Beijing (Chine)

Le présent rapport a été établi entre mars 1987 et avril 1988, période durant laquelle le Groupe a tenu trois réunions : la première du 23 au 27 mars 1987 à New York, la deuxième du 18 au 27 novembre 1987 à Genève, et la troisième du 28 mars au 1er avril 1988 à New York.

L'étude d'un sujet aussi complexe n'aurait pu être menée à bien dans un laps de temps si court sans le concours et l'assistance de spécialistes extérieurs. Les membres du Groupe ont tenu deux réunions de travail avec d'autres experts afin d'élargir leurs connaissances sur le sujet; ils ont jugé ces échanges extrêmement précieux. A cet égard, le Groupe tient tout spécialement à remercier les personnes suivantes : M. Thomas C. Hutchinson, de l'Université de Toronto (Canada); M. Stephen Schneider, du National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado (Etats-Unis); et Mme Joyce Penner, du Lawrence Livermore Laboratory, Livermore, Californie (Etats-Unis), qui ont participé à une journée d'étude qui a eu lieu à New York en mars 1987.

Pour la deuxième réunion de travail, des dispositions particulières avaient été prises afin de permettre aux scientifiques du groupe SCOPE-ENUWAR (Comité scientifique chargé des problèmes de l'environnement - Répercussions sur l'environnement d'une guerre nucléaire) de se réunir à Genève en novembre 1987 en même temps que le Groupe d'experts de l'ONU. Les membres de ce dernier ont pris part pendant les deux premiers jours aux débats du groupe SCOPE-ENUWAR avant de commencer leur deuxième réunion par une journée d'étude commune avec plusieurs scientifiques de l'autre groupe. Le Groupe d'experts tient à remercier tout particulièrement Sir Frederick Warner, Président du Comité directeur de SCOPE-ENUWAR, University of Essex (Royaume-Uni); M. Paul J. Crutzen, de l'Institut de chimie Max Planck de Mayence (République fédérale d'Allemagne); M. Mark A. Harwell, du Ecosystems Research Center, Cornell University, Ithaca, New York

/...

(Etats-Unis); Michael C. MacCracken, du Lawrence Livermore Laboratory, Californie (Etats-Unis); M. Yuri M. Svirezhev, du Centre de calcul de l'Académie soviétique des sciences, Moscou (Union des Républiques socialistes soviétiques); et M. Richard D. Turco, de R & D Associates, Marina Del Rey, Californie (Etats-Unis). Le Groupe de l'ONU sait gré au Conseil international des unions scientifiques pour l'étroite collaboration et le concours que lui a apportés SCOPE-ENUWAR durant ses travaux.

Le Groupe tient également à exprimer son appréciation pour les conseils d'experts et les contributions qu'il a reçus de plusieurs institutions des Nations Unies. Outre le concours du professeur Sune Bergström, membre du Groupe et Président du Groupe de gestion de l'Organisation mondiale de la santé, et auteur de deux rapports sur les conséquences d'une guerre nucléaire pour la santé et les services de santé, le Groupe a reçu une aide très appréciable de la part de M. Francesco Sella, consultant auprès du Programme des Nations Unies pour l'environnement; de M. Pierre Morel, Directeur du Programme mondial de recherche sur le climat à l'Organisation météorologique mondiale; et de M. C. C. Wallen, consultant auprès de l'Organisation météorologique mondiale.

Enfin, les membres du Groupe d'experts tiennent à remercier les membres du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies pour leur concours, en particulier M. Yasushi Akashi, Secrétaire général adjoint aux affaires de désarmement, M. Derek Boothby, qui a assuré les fonctions de secrétaire du Groupe, et M. Andrew Forester, de Dartside Consulting et de l'Université de Toronto, qui a été le rédacteur consultant du Groupe.

L'avenir de la planète, en cas de guerre nucléaire de grande ampleur, s'annonce fort sombre, comme on peut le voir à la lecture de ce rapport. Aussi est-ce une piètre consolation que de pouvoir vous dire, au nom de tous les membres du Groupe, que notre rapport a été adopté par consensus.

Veuillez agréer, Monsieur le Secrétaire général, les assurances de ma très haute considération.

Le Président du Groupe d'experts consultants  
chargé de faire une étude sur les effets  
climatiques et autres effets planétaires  
d'une guerre nucléaire,

(Signé) H. A. NIX

/...

## PREFACE

La possibilité qu'un échange nucléaire de grande ampleur entraîne une perturbation climatique à l'échelle planétaire est apparue en 1982. En 1984, dans sa résolution 39/148 F du 17 décembre 1984, l'Assemblée générale a prié le Secrétaire général de compiler des extraits d'études scientifiques sur les effets climatiques d'une guerre nucléaire, notamment l'hiver nucléaire. Cette compilation a été publiée en 1985 comme document de l'Assemblée générale (A/40/449 et Corr. 2).

Le 16 décembre 1985, l'Assemblée générale a adopté la résolution 40/152 G dans laquelle elle a reconnu la nécessité d'entreprendre des recherches systématiques sur le sujet, et a prié le Secrétaire général de procéder à une étude des effets climatiques et des effets physiques éventuels de la guerre nucléaire, notamment l'hiver nucléaire, et de la lui communiquer pour qu'elle l'examine à sa quarante-deuxième session, en 1987. Cependant, en raison de la crise financière de 1986, on a dû remettre cette étude à l'année suivante.

Par sa résolution 41/86 H du 4 décembre 1986, l'Assemblée générale a prié de nouveau le Secrétaire général de procéder à cette étude, avec le concours du Groupe d'experts consultants qu'il aura choisis compte tenu de l'intérêt d'une large représentation géographique et de la diversité de leurs spécialisations scientifiques. L'Assemblée générale a demandé que l'étude des effets climatiques et des effets physiques éventuels de la guerre nucléaire, notamment l'hiver nucléaire, traite, entre autres, des répercussions socio-économiques d'une guerre nucléaire et tienne compte du rapport du Secrétaire général et des documents à partir desquels la compilation a été établie, ainsi que de toute autre étude scientifique utile.

Le Secrétaire général a été prié de communiquer l'étude en temps utile à l'Assemblée générale pour qu'elle l'examine à sa quarante-troisième session, en 1988.

Le présent rapport a été établi en application de cette résolution. Le Groupe d'experts consultants a analysé soigneusement les conclusions des études scientifiques réalisées, ou en cours de réalisation, sur ce sujet complexe. Pour que ses considérations reflètent autant que possible les informations scientifiques disponibles les plus récentes, il a fait appel aux connaissances et aux compétences techniques de divers organismes scientifiques et personnes compétentes, en particulier ceux qui avaient participé à l'étude des conséquences écologiques d'une guerre nucléaire menée par le Comité scientifique chargé des problèmes de l'environnement du Conseil international des unions scientifiques, connue sous le nom d'étude SCOPE-ENUWAR.

C'est une ample tâche qui était assignée au Groupe. Selon les termes précis de la résolution 41/86 H de l'Assemblée générale, il lui était demandé une étude des effets climatiques et des effets physiques éventuels de la guerre nucléaire, notamment l'hiver nucléaire. Considérant la résolution dans sa totalité, le Groupe a interprété ces termes dans un sens large et a tenu compte des effets biologiques. Avec cette interprétation, il devenait possible d'évaluer les répercussions socio-économiques, conformément à la demande de l'Assemblée générale.

Le Groupe a décidé d'utiliser le moins possible le terme d'hiver nucléaire, lequel ne rend pas bien compte de la nature, de l'étendue et de la complexité des circonstances en question. Si les baisses de température qu'entraînera une guerre nucléaire ne se traduiront pas par le gel de toute la surface de la planète, les effets cumulatifs à l'échelle planétaire d'un échange nucléaire de grande ampleur au cours duquel de grands centres urbains et industriels seraient touchés, et se produisant en été dans l'hémisphère Nord, seraient à la fois étendus et catastrophiques.

C'est pour ces raisons que le Groupe d'experts a choisi d'intituler son rapport : "Etude des effets climatiques et autres effets planétaires d'une guerre nucléaire".

/...

## I. APERÇU GENERAL, ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSIONS

### A. Evolution d'un nouveau sujet de préoccupation

1. Une guerre nucléaire ne pourrait se comparer à aucune des formes précédentes de combat, en raison de ses capacités destructrices incommensurablement plus grandes. Les bombes atomiques du type utilisé à Hiroshima et Nagasaki représentaient une augmentation de puissance explosive mesurable non plus en tonnes mais en milliers de tonnes (kilotonnes) de trinitrotoluène (TNT). Avec les bombes à hydrogène, mises au point une décennie plus tard, on est passé des milliers aux millions de tonnes (mégatonnes). Plus de 50 000 armes nucléaires existent à l'heure actuelle de par le monde, ce qui représente une charge explosive totale estimée à 15 000 mégatonnes (environ 5 000 fois plus que tous les explosifs utilisés au cours de la seconde guerre mondiale).

2. La publication par Crutzen et Birks, en 1982, de leur article intitulé "The Atmosphere After a Nuclear War: Twilight at Noon" (L'atmosphère après une guerre nucléaire : le crépuscule à midi) a marqué un tournant dans l'étude des effets indirects d'une guerre nucléaire de grande ampleur. Les auteurs y constataient que les incendies déclenchés par les explosions nucléaires dégageraient dans l'atmosphère d'importantes quantités de particules de fumée qui absorbent la lumière. La fumée et la suie réduiraient l'ensoleillement, modifiant par là même les conditions et processus climatiques dans la mesure où c'est la lumière solaire qui réchauffe la surface du globe et fournit l'énergie qui enclenche les processus atmosphériques et la production biologique. Les calculs effectués par la suite à propos des quantités de matières combustibles et des émissions et des propriétés radiatives de la fumée corroboraient cette hypothèse. On a ainsi noté l'importance des effets potentiels sur les écosystèmes naturels, la pêche et l'agriculture. Les survivants des effets directs verraient leur approvisionnement en denrées agricoles compromis.

3. Les effets climatiques fondamentaux d'injections massives de fumée dans l'atmosphère ont été étudiés plus avant dans une communication de R. Turco, O. Toon, T. Ackerman, J. Pollack et C. Sagan (1983), plus connus sous le nom de "TTAPS" (acronyme formé à partir des initiales des auteurs). Se fondant sur divers scénarios quant à la production et aux propriétés de la fumée et de la poussière et utilisant des modèles climatiques modifiés, le groupe TTAPS a prédit un certain nombre d'incidences négatives, notamment des baisses de température pouvant aller jusqu'à 25 à 30 °C sur la masse terrestre de l'hémisphère Nord, un réchauffement prononcé et une stabilisation des couches supérieures de la troposphère et un transfert rapide de fumée vers l'hémisphère Sud. L'obscurité, le refroidissement des terres et les effets radiologiques ont été jugés potentiellement si graves qu'ils ont donné naissance à l'expression "hiver nucléaire", métaphore qui désigne les suites d'une guerre nucléaire qui ferait intervenir des milliers de mégatonnes d'explosifs (ce qui représente une fraction notable des arsenaux nucléaires existants). Le groupe n'a pas fait de prédictions quant aux perturbations permanentes ou à long terme mais, en raison des ravages potentiels à l'échelle planétaire, ses membres ont exprimé l'espoir que "les problèmes ... seront longuement étudiés d'un point de vue critique". L'article en question était accompagné d'une autre communication (Ehrlich *et al.*, 1983), où un certain nombre de biologistes examinaient les incidences généralisées éventuelles sur les écosystèmes naturels et l'agriculture.

/...

4. Les répercussions sur l'atmosphère et la biosphère ont été examinées à la Conférence sur les conséquences biologiques à l'échelle planétaire et à long terme d'une guerre nucléaire, tenue les 31 octobre et 1er novembre 1983 à Washington. Cette conférence était organisée par l'astronome Carl Sagan et le biologiste Paul Ehrlich, qui s'étaient entourés d'un comité consultatif de physiciens et de biologistes. Des travaux soviétiques qui aboutissaient aux mêmes conclusions ont aussi été présentés à cette occasion, et un système de téléconférence par satellite entre Washington et Moscou a permis aux scientifiques des Etats-Unis et d'Union soviétique d'échanger leurs vues. Les participants ont été informés du stress écologique que pourrait produire un échange nucléaire (chutes brutales de température à la surface de la Terre et intenses retombées radioactives notamment), ainsi que de la destruction directe des infrastructures sociales de base. La Conférence a en outre donné lieu à un débat sur les grandes marges d'incertitude que recèlent les nouvelles prévisions et sur la nécessité de pousser plus avant les recherches sur ce problème important.

5. Au début de 1983, le Département de la défense des Etats-Unis a commandé au Conseil national de la recherche de l'Académie nationale des sciences une importante étude, dont les auteurs, après avoir insisté sur les limitations imposées par les marges d'incertitude, ont conclu comme suit :

"Le Comité considère ... qu'à moins que l'une ou plusieurs des conséquences d'une guerre nucléaire soient proches des prévisions les plus optimistes, ou à moins que l'on ait oublié un paramètre quelconque qui en atténuerait l'impact, une vaste zone tempérée (voire une partie encore plus grande de la planète) risque de pâtir considérablement. Parmi les conséquences possibles, on peut citer d'importantes chutes de température (notamment si la guerre se déroule en été) pendant plusieurs semaines et des températures inférieures à la normale pendant plusieurs mois. Ces baisses de température et les modifications météorologiques qu'elles entraîneront pourraient avoir sur les survivants et sur la biosphère de graves conséquences qui méritent d'être étudiées en détail et de façon indépendante."

(The Effects on the Atmosphere of a Major Nuclear Exchange,  
Académie nationale des sciences, 1985, p. 16)

L'Académie soviétique des sciences a aussi examiné les conséquences physiques, chimiques et biologiques d'une guerre nucléaire faisant intervenir une puissance explosive totale de 5 400 mégatonnes et en a tiré les enseignements suivants : "La principale conclusion que l'on peut retirer de notre étude est que même le scénario le plus 'optimiste' sur les conséquences d'un conflit nucléaire (si l'on peut parler d'optimisme en pareil cas) se traduirait inévitablement par une crise écologique et démographique mondiale." (Ecological and Demographic Consequences of a Nuclear War, Svirezhev et al., 1985, version anglaise, 1987, p. 108). Des conclusions dans l'ensemble analogues se retrouvent dans les rapports de la Société royale du Canada (1985) et du New Zealand Planning Council (1987), qui traitaient des incidences en ce qui concerne, respectivement, le Canada et la Nouvelle-Zélande.

6. En 1983, le Comité scientifique chargé des problèmes de l'environnement (SCOPE) du Conseil international des unions scientifiques (CIUS) a été chargé d'entreprendre une étude sur les répercussions sur l'environnement d'une guerre

/...

nucléaire qu'on a appelée Etude SCOPE-ENUWAR. Plus de 300 scientifiques originaires de 30 pays ont participé à l'établissement d'un rapport de 882 pages, publié en deux volumes en 1986, qui reste la référence fondamentale sur la question. Ce rapport comportait une étude détaillée des effets biologiques, tout en confirmant les conclusions générales des études sur les effets physiques. Pour résumer, les auteurs du rapport concluaient que "... les effets indirects sur les populations d'une guerre nucléaire à grande échelle, particulièrement les effets climatiques provoqués par la fumée, pourraient être plus graves à l'échelon mondial que les effets directs, et les risques de catastrophes sans précédent sont aussi grands pour les pays non combattants que pour les pays combattants" (souligné dans le texte) (Environmental Consequences of Nuclear War, Pittock et al., 1986, préface, p. xxvi).

7. Les travaux de recherche ultérieurs, fondés sur des modèles tridimensionnels plus réalistes, ont abouti à des baisses de température inférieures à celles prévues au départ, mais qui pourraient rester suffisamment importantes pour avoir des conséquences graves au plan mondial sur les écosystèmes naturels et agricoles, pour des périodes allant de quelques mois à plusieurs années.

8. Cette hypothèse a été examinée en 1986 (Golitsyn et Phillips) et 1987 (Golitsyn et MacCracken) par le Comité scientifique mixte du CIUS et de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), qui supervise le Programme mondial de recherche sur le climat et qui a conclu par deux fois que les prévisions de modifications graves des températures dans les semaines qui suivent l'apparition de 100 à 200 millions de tonnes de fumée résultant des incendies déclenchés après un échange nucléaire "ne seraient guère affectées (sinon sur des points de détail) par les résultats, aussi significatifs soient-ils, des efforts tendant à réduire les multiples marges d'incertitude dans les calculs relatifs aux phénomènes atmosphériques" (c'est nous qui soulignons) (Golitsyn et Phillips, 1986, affirmé par Golitsyn et MacCracken, 1987).

9. Dans le cadre du projet SCOPE-ENUWAR, des réunions de travail ont été organisées à Bangkok en février 1987, à Genève en novembre 1987, et à Moscou en mars 1988 pour étudier les résultats de recherche plus récents, lesquels corroboraient les évaluations précédentes du projet quant aux répercussions d'une guerre nucléaire sur le climat. De nouvelles phases des travaux de recherche ont été lancées au cours de ces réunions, à savoir des études de cas sur l'impact d'une guerre nucléaire sur les systèmes agricoles de tel ou tel pays, une analyse plus précise des sources et réactions de la fumée dans l'atmosphère et des études plus détaillées sur les aspects relatifs aux rayonnements ionisants, à la lumière de l'expérience acquise avec Tchernobyl.

10. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) étudie les effets d'une guerre nucléaire sur la santé et les services sanitaires depuis 1982 et a publié deux rapports à ce sujet en 1984 et 1987. L'Assemblée mondiale de la santé a recommandé à l'OMS, en collaboration avec d'autres institutions du système des Nations Unies, de continuer à assurer la collecte, l'analyse et la publication régulière de comptes rendus des activités et nouvelles études sur les effets d'une guerre nucléaire sur la santé et les services sociaux, et d'en informer périodiquement l'Assemblée mondiale de la santé.

/...

B. Progrès enregistrés sur les principaux problèmes scientifiques

11. Les précédentes estimations quant aux quantités de matières combustibles (densité de matière combustible) ont été affinées par analyses successives de la production et des stocks, notamment dans le cadre d'une étude détaillée portant sur un échantillon représentatif de cibles aux Etats-Unis (Small *et al.*, 1988). Si les estimations pour l'ensemble du globe, qui prévoient jusqu'à 150 millions de tonnes de fumée dégagées dans l'atmosphère, restent généralement crédibles, les travaux récents laissent à penser que ces chiffres se situent au niveau supérieur de la gamme. Par ailleurs, les estimations relatives à la quantité de fumée produite par les matières (pétrole et matière plastique) qui brûlent dans les grands incendies ont été notablement révisées en hausse. En outre, les mesures récemment effectuées en laboratoire et dans le cas d'incendies de faible ampleur ont donné des résultats qui sont jusqu'à trois fois supérieurs aux calculs précédents en ce qui concerne la capacité d'absorption de la lumière du soleil par la fumée produite par les incendies urbains. Cette fumée épaisse et fuligineuse est désormais considérée comme l'élément le plus important parmi ceux émis par les incendies pour ce qui est de ses effets sur l'atmosphère et le climat, si bien qu'une large part des travaux récents de recherche est axée sur les caractéristiques des particules de suie.
12. Cette vaste quantité de fumée et de suie absorberait une part notable des rayons solaires sur la plus grande partie de l'hémisphère Nord. Les estimations de la diminution de l'ensoleillement varient considérablement en fonction du scénario retenu : en cas de fumée dense, la lumière disponible au sol pourrait tomber à 1 % du niveau normal pendant plusieurs jours, et à moins de 20 % du niveau normal pendant quelques semaines ou davantage.
13. La fumée dégagée par les grands incendies peut, dans un premier stade, atteindre des altitudes pouvant aller jusqu'à 15 kilomètres, mais seulement, en général, dans un rayon de 5 à 10 kilomètres. Elle se stabilise ensuite, pour se répandre latéralement à son altitude de stabilisation. A ce stade, le réchauffement de la fumée par absorption du rayonnement solaire peut entraîner une nouvelle ascension des particules de fumée. Les modèles utilisés dans des études récentes laissent à penser qu'une "réascension" d'une telle ampleur à mi-altitude dans l'hémisphère Nord en été pourrait porter une grande partie de la fumée à une altitude pouvant aller jusqu'à 30 kilomètres. Cette deuxième ascension autonome de la fumée produite en cas de guerre nucléaire laisse à penser qu'elle resterait beaucoup plus longtemps dans la stratosphère, que des quantités non négligeables de fumée pourraient être transférées vers l'hémisphère Sud et que l'intégrité de la couche d'ozone stratosphérique pourrait être menacée.
14. La rapidité d'élimination de la fumée par les nuages et les précipitations (communément appelée "balayage" et "nettoyage") est actuellement supposée se situer entre 30 et 50 % au cours des quelques jours qui suivent l'apparition de la fumée, mais la marge d'incertitude reste grande et les pourcentages effectifs pourraient être supérieurs ou inférieurs. Le processus d'élimination pourrait consister en un balayage "immédiat" en "pluies noires", directement au-dessus des conflagrations prévues après un échange nucléaire, ainsi qu'en un balayage ultérieur par les précipitations, en aval des incendies dans le sens du vent. Le balayage de la fumée diminuerait les possibilités de réduction de la lumière et créerait des plaques plus claires ou plus sombres selon les régions. Les mesures des propriétés

/...

de la fumée effectuées dernièrement en laboratoire ou sur le terrain laissent à penser que le processus d'élimination des fumées les plus noires et les plus fuligineuses pourrait être plus lent qu'on ne le croit actuellement. Il faudra donc affiner encore plus les estimations relatives au balayage de la fumée (suie).

15. Il ressort des nouvelles études en laboratoire que la suie qui parvient à la stratosphère (par injection directe et par réascension autonome) mettrait probablement du temps à se décomposer par réaction avec l'ozone, le processus pouvant durer un an, voire davantage. Il découle de cette importante constatation que les nuages de suie pourraient être assez stables dans les couches supérieures de l'atmosphère, ce qui leur laisse le temps de se répandre sur l'ensemble du globe et de produire éventuellement des effets à long terme sur le climat mondial.

16. D'importants progrès ont été enregistrés dans la modélisation, certes encore très simplifiée, de la réaction de l'atmosphère aux injections massives de fumée. Les lois qui régissent les processus atmosphériques concernés sont mises sous forme mathématique et les équations obtenues sont résolues au moyen d'ordinateurs très puissants. Reposant sur des modèles généraux de circulation perfectionnés, ces calculs permettent désormais de représenter, dans le détail, les modifications des transferts de rayonnements infrarouges solaires et thermiques, le cycle hydrologique et la circulation et la dynamique atmosphériques. Ces modèles, adaptés pour la simulation des conditions d'un "hiver nucléaire", ont été mis au point au Laboratoire national de Los Alamos, au Centre national pour la recherche atmosphérique et au Laboratoire national Lawrence Livermore aux Etats-Unis, au Centre de calcul de l'Académie des sciences en Union soviétique, à l'Office météorologique du Royaume-Uni et à l'Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth en Australie. L'élaboration de ces modèles a permis d'importants progrès touchant l'ensemble des capacités de modélisation climatique. Ils confirment que des températures inférieures à 0 °C pourraient être atteintes dans certaines régions, même en été. Ils font également apparaître d'importantes réductions des précipitations et une disparition de la mousson d'été, même en présence de quantités relativement faibles de fumée. En outre, la possibilité d'effets climatiques pouvant durer une année ou plus a été relevée, ainsi que la possibilité d'une baisse de plusieurs degrés des températures moyennes dans le monde, ce qui pourrait avoir des répercussions majeures sur l'agriculture.

17. On dispose désormais de suffisamment de données d'observation pour conclure que la fumée et les poussières provenant d'incendies forestiers naturels, si elles sont présentes en quantité suffisante, peuvent provoquer pendant quelques heures, voire plusieurs jours, des baisses de température de plusieurs degrés dans la journée; celles-ci sont bien restituées par les modèles, ce qui revient à dire que les processus physiques fondamentaux sont suffisamment bien appréhendés. Il en découle aussi que l'on peut faire davantage confiance aux résultats obtenus, lesquels laissent apparaître des baisses de température encore plus graves dans le cas d'injections de très grosses quantités de fumée dans l'atmosphère à la suite d'incendies déclenchés par un échange nucléaire.

18. L'injection dans la stratosphère des oxydes d'azote produits par une boule de feu atomique dans l'air de couches inférieures de l'atmosphère à faible teneur d'ozone, le déplacement de l'air riche en ozone des couches inférieures de la

/...

stratosphère et le lien entre les taux de réaction chimique et l'augmentation prévue de la température de la stratosphère sont également étudiés du point de vue de leur capacité de réduction de la quantité d'ozone dans la stratosphère. L'épuisement de l'ozone se traduirait par un rayonnement ultraviolet nocif plus intense pendant plusieurs années après un échange nucléaire. Selon les estimations actuelles, il pourrait y avoir une diminution très nette de l'ozone, de l'ordre de 50 %. L'étude approfondie de ce problème devient urgente en raison de l'importance de ses répercussions potentielles.

19. La secousse électromagnétique provoquée par des détonations nucléaires à haute altitude peut perturber et endommager des composants et dispositifs électriques et électroniques très divers, entraînant des coupures d'électricité et des interruptions de communications et d'autres services sur des milliers de kilomètres. Il s'agit là d'un important facteur supplémentaire de désorganisation de l'infrastructure sur laquelle les survivants devront compter.

20. Les premiers rayonnements, alliés à l'onde de choc et au dégagement de chaleur, tueraient un grand nombre de personnes dans les alentours immédiats et détruiraient les logements et les installations d'assainissement, de transport et de soins. Au-delà de ces ravages, les retombées nucléaires résultant des explosions elles-mêmes et de la destruction d'installations nucléaires se répandraient sur toute la planète et constitueraient une source d'exposition permanente aux rayonnements pendant des années. Les conséquences à long terme (cancers, malformations, effets génétiques éventuels, etc.) pour les survivants de la première irradiation et pour ceux exposés aux retombées seraient appréciables, mais leur importance serait sans commune mesure avec les effets immédiats et ceux résultant de la désorganisation des infrastructures de base - services médicaux et services de distribution alimentaire notamment - pendant des mois, voire des années, après l'échange nucléaire.

### C. Enseignement et conclusions

21. De son examen du cheminement de la pensée scientifique relative aux répercussions sur l'environnement mondial d'une guerre nucléaire, le Groupe a émergé très nettement sur la voie d'un consensus. Les critiques et objections formulées de temps à autre, et axées pour la plupart sur les marges d'incertitude et les limites des premiers modèles, ont été examinées par ce groupe et d'autres groupes d'experts (comme le Comité scientifique mixte, voir Golitsyn et MacCracken, 1987) et n'infirmant pas la conclusion selon laquelle une guerre nucléaire de grande ampleur aurait des effets considérables sur le climat mondial.

22. On dispose désormais de preuves scientifiques probantes qu'une guerre nucléaire de grande ampleur comporterait un risque majeur de perturbation de l'environnement au niveau mondial. Ces risques sont les plus élevés dans le cas où des villes et centres industriels importants de l'hémisphère Nord sont visés pendant les mois d'été. Au cours du premier mois, l'énergie solaire qui parvient à la surface du globe aux latitudes intermédiaires de l'hémisphère pourrait diminuer de 80 % ou plus. La diminution de la température moyenne dans cette zone pourrait se situer entre 5 et 20 °C dans les deux semaines qui suivent une injection de fumée dans l'atmosphère en été. Dans les régions continentales, la chute de la température en certains endroits serait beaucoup plus grande encore. Les modèles

/...

tridimensionnels de circulation atmosphérique, comportant des représentations détaillées des processus physiques, laissent apparaître des phases où, même en été, les températures pourraient descendre en dessous de 0 °C dans certaines régions. Ces baisses de température sont quelque peu inférieures à celles données par les modèles atmosphériques précédents, qui étaient moins complexes, mais les répercussions agricoles et écologiques n'en sont pas pour autant moins dévastatrices. Les travaux récents, présentés à la réunion de travail SCOPE-ENUWAR tenue à Moscou en 1988, laissent à penser que ces répercussions seraient aggravées par une diminution des précipitations pouvant atteindre 80 % sur les zones terrestres aux latitudes tempérées et tropicales. Les preuves évaluées à ce jour sont assez probantes pour que l'on puisse affirmer que les marges d'incertitude scientifique qui demeurent ne risquent guère d'infirmer ces conclusions générales.

23. Passé le premier mois, la production agricole et la survie des écosystèmes naturels seraient mises en péril par une réduction considérable de l'ensoleillement, des baisses de température de plusieurs degrés en dessous de la normale et la disparition des précipitations et des moussons d'été. Ces répercussions seraient en outre aggravées par les polluants chimiques, l'augmentation des rayonnements ultraviolets résultant de l'épuisement de l'ozone et le fait qu'il resterait probablement des "points chauds" radioactifs.

24. La sensibilité aux variations de température, de précipitations et de lumière des systèmes agricoles et des écosystèmes naturels amène à conclure que l'effet généralisé d'un échange nucléaire sur le climat mettrait gravement en péril la production alimentaire mondiale. Ce sont autant les pays épargnés que les pays frappés qui devraient faire face à la perspective d'une famine généralisée à la suite d'une guerre nucléaire, et la situation serait aggravée par le fait que la production alimentaire serait encore plus tributaire d'apports d'énergie et d'engrais, et la distribution et la disponibilité de cette production dépendraient encore plus du bon fonctionnement dans la société d'un système de communications, de transports, d'échanges et de commerce. Les répercussions sur le plan humain seraient exacerbées par une rupture quasi totale des soins de santé dans les pays frappés et une augmentation probable des rayonnements ultraviolets nocifs. Les effets directs d'un échange nucléaire majeur feraient des centaines de millions de victimes, ses effets indirects, des milliards.

25. Dans un monde étroitement interdépendant économiquement, socialement et sur le plan de l'environnement, les conséquences socio-économiques seraient graves. Les fonctions de production, de distribution et de consommation dans les systèmes socio-économiques existants seraient complètement désorganisées. Les dommages matériels graves infligés aux pays frappés par le souffle, les incendies et les rayonnements excluent que l'on puisse envisager un appui comparable à celui qui a rendu possible le redressement après la seconde guerre mondiale. La détérioration des équipements de vie et la désorganisation des communications, des transports et des systèmes financiers mondiaux et autres aggraveraient les difficultés provoquées par les pénuries alimentaires dans les pays "épargnés". Le redressement à long terme serait rien moins que certain.

26. Les répercussions sur l'environnement mondial d'une guerre nucléaire majeure et les effets immédiats et directs des explosions nucléaires représentent un continuum dont les effets se renforcent l'un l'autre. Il y aurait en outre un

/...

effet de synergie à l'intérieur de chaque élément ainsi qu'entre les divers éléments. L'effet cumulatif des incendies, du souffle et de la radioactivité constituerait un ensemble supérieur à la somme de ses parties. De même, les baisses de température, les phases brèves de températures inférieures à 0 °C, la diminution des précipitations, la disparition des moussons et l'augmentation du rayonnement ultraviolet donneraient lieu à une interaction telle que les effets de chaque élément s'en trouveraient aggravés. La désorganisation de l'environnement au plan mondial qui résulterait d'une guerre nucléaire majeure serait intimement liée aux effets directs et localisés d'une telle guerre. Les deux aspects sont à prendre en compte dans le règlement des grandes questions relatives aux armements nucléaires et devraient constituer un sujet de préoccupation pour toutes les nations.

27. Il n'est pas exclu que l'on découvre encore d'autres répercussions sur l'environnement mondial d'un échange nucléaire majeur. Le Groupe considère que l'effort de coopération scientifique internationale qui a permis de cerner cette nouvelle dimension de la guerre nucléaire devrait se poursuivre, afin d'affiner les enseignements déjà tirés et d'explorer de nouveaux aspects. A titre d'exemple, il faut s'atteler à résoudre la nouvelle question de l'éventuel épuisement massif de l'ozone à la suite d'une guerre nucléaire majeure et des graves conséquences qui pourraient en résulter, du fait de l'augmentation des rayonnements ultraviolets, pour les organismes vivants qui y seraient exposés.

28. Les avancées scientifiques qui ont permis de mieux appréhender les conséquences mondiales d'une guerre nucléaire majeure devraient être poursuivies au plan international. Il faudrait en outre les lier résolument à l'analyse des décisions d'intérêt général sur ces questions, qui pourraient avoir des répercussions sur les pays impliqués dans le conflit, comme sur d'autres qui ne le seraient pas. L'examen de ces questions a révélé l'importance du dialogue entre la communauté scientifique mondiale et les pouvoirs publics, ce même dialogue qui a permis de mettre en lumière ce problème général au cours des années 80.

## II. CONSEQUENCES SUR L'ATMOSPHERE ET LE CLIMAT

### A. Introduction

29. Une guerre nucléaire, de par sa puissance destructrice, aurait des conséquences incommensurablement plus grandes que n'importe quelle autre forme de guerre précédente : alors que la puissance d'une bombe classique se calcule en tonnes de trinitrotoluène (TNT), le pouvoir destructeur des bombes atomiques du type utilisé à Hiroshima et Nagasaki s'exprime en milliers de tonnes (kilotonnes) et celui des bombes à hydrogène, mises au point environ 10 ans plus tard, en millions de tonnes (mégatonnes) de TNT. Il existe à l'heure actuelle plus de 50 000 armes nucléaires dans le monde représentant un pouvoir de destruction équivalant à environ 15 000 mégatonnes (soit à peu près 5 000 fois plus que tous les explosifs utilisés pendant la seconde guerre mondiale).

30. Les produits radioactifs créés lors d'explosions nucléaires peuvent être transportés sur de grandes distances, ce qui signifie que des populations éloignées du lieu de l'explosion peuvent être exposées à des rayonnements ionisants. Les effets génétiques et tératogènes de ces derniers peuvent même se transmettre de génération en génération.

/...

31. Les grandes quantités de poussière et de fumée injectées dans l'atmosphère par des explosions au sol ou à basse altitude comme par les incendies qui seraient allumés par une guerre nucléaire de grande ampleur pourraient modifier profondément le climat non seulement des pays en guerre mais également d'autres pays loin du théâtre des hostilités. Le présent rapport fait le point des résultats de plusieurs études consacrées aux conséquences d'explosions nucléaires multiples sur le climat.

32. Le rapport de l'Académie nationale des sciences des Etats-Unis (1975), consacré aux conséquences d'une guerre nucléaire sur l'atmosphère, parvenait à la conclusion qu'un grand nombre des substances chimiques créées lors d'explosions nucléaires, et en particulier les oxydes d'azote, pourraient porter atteinte à l'intégrité de la couche d'ozone stratosphérique qui protège la surface de la Terre contre le rayonnement ultraviolet et qui maintient la température, la structure et la circulation de l'atmosphère dans des conditions normales. Ce rapport examinait également quels pourraient être les effets de la poussière dégagée par les explosions en établissant un parallèle avec les particules de matières émises lors d'éruptions volcaniques, et parvenait à la conclusion que la température à la surface du globe pourrait diminuer d'environ 1°C en raison de l'ensoleillement amoindri.

33. Depuis la mise au point des armes nucléaires, les études font régulièrement apparaître de nouvelles conséquences indirectes d'une guerre nucléaire de grande ampleur. En 1945, on se préoccupait surtout de la maladie des rayons; pendant les années 50, la principale cause d'inquiétude était le transport sur de longues distances des retombées radioactives, au début des années 60 c'était l'impulsion électromagnétique et dans les années 70 l'épuisement de la couche d'ozone provoqué par l'injection d'oxydes d'azote dans l'atmosphère. En 1982-1983, les effets climatiques majeurs que pouvait provoquer une guerre nucléaire étaient devenus apparents. D'autres effets restent peut-être encore à découvrir. Par exemple, on a suggéré que l'appauvrissement de la couche d'ozone est peut-être plus grave qu'on ne le pense actuellement. Il pourrait également y avoir des inversions de températures près du sol qui piègeraient de nombreuses substances toxiques dans la basse atmosphère, accroissant considérablement l'exposition de la flore, de la faune et surtout de la population à ces substances.

34. L'Académie royale suédoise des sciences a entrepris en 1981-1982 une étude exhaustive des effets sociaux, économiques et écologiques, à l'échelle planétaire, d'une guerre nucléaire, et a publié dans sa revue *Ambio* en 1982 les résultats d'une série d'études spécialement commandées (ces résultats ont ensuite été repris en 1983 dans un livre intitulé "The Aftermath", publié par Peterson). Il s'agissait notamment d'une étude réalisée par Paul Crutzen et John Birks sur les effets atmosphériques des explosions nucléaires, confirmant que la couche d'ozone pouvait être menacée et que ces explosions pourraient avoir une incidence sur le climat et sur le temps. Les deux auteurs avançaient que les nombreux incendies provoqués par une guerre nucléaire de grande ampleur dans les zones urbaines et industrielles, les champs pétroliers, les régions agricoles ou les forêts, pourraient produire d'importantes quantités de particules noires, absorbant fortement le rayonnement solaire et qui se répandraient dans la troposphère, modifiant les caractéristiques physiques de l'atmosphère terrestre (Crutzen et

/...

Birks, 1982). Leur rapport, intitulé "The Atmosphere After a Nuclear War" (l'atmosphère après une guerre nucléaire) portait, en sous-titre, "Twilight At Noon" (le crépuscule à midi).

35. Partant de l'hypothèse qu'une guerre nucléaire de grande ampleur provoquerait une modification du climat, les deux auteurs ont suggéré quels pourraient en être les effets sur le bilan radiatif de la Terre, les écosystèmes naturels, la faune marine, l'agriculture et la société. La publication de ce premier rapport a déclenché toute une série d'études aux Etats-Unis et en URSS concernant les effets climatiques et environnementaux de l'injection de quantités importantes de fumée dans l'atmosphère.

36. Les effets sur l'atmosphère et sur la biosphère ont été débattus en public pour la première fois lors d'une conférence de deux jours organisée à Washington en automne 1983. Les deux principaux rapports, publiés peu après dans la revue Science (ce que l'on a appelé par la suite le rapport TTAPS du nom de ses auteurs, Turco et al., 1983, et le rapport Ehrlich et al., 1983) ont été présentés le premier jour de la réunion. D'autres communications, concluant également à une baisse de la température, ont été faites par Alexandrov, par Schneider et par Golitsyn (qui prévoient en outre la disparition des précipitations et des moussons). Les principaux rapports soumis lors de cette conférence, ainsi que d'autres communications et les discussions qui ont suivi ont par la suite été publiés dans un livre intitulé "The Cold and the Dark: The World After Nuclear War" (Ehrlich et al., 1984). La conférence s'est terminée par une liaison télévisée entre Washington et Moscou au cours de laquelle d'éminents scientifiques soviétiques et américains ont débattu des problèmes abordés.

37. Les auteurs du rapport TTAPS étaient prudents, déclarant en guise de conclusion :

"Nos estimations ... sont nécessairement approximatives parce que nous avons utilisé des modèles unidimensionnels, parce que la base de données est incomplète et parce que le problème ne peut être étudié de façon expérimentale. Nous ne sommes pas non plus en mesure de prévoir avec précision les modifications en ce qui concerne la dynamique de l'atmosphère et la météorologie ... ni les effets de ces modifications sur la persistance et la dispersion des nuages de poussière et de fumée initiaux. Les effets de premier ordre sont cependant d'une telle ampleur, et leurs implications sont tellement graves, que nous espérons que les problèmes scientifiques soulevés par notre rapport seront étudiés en détail et de façon critique." (Turco et al., 1983)

38. Les critiques du rapport s'appuyaient sur un certain nombre d'insuffisances scientifiques, par exemple, le fait que les auteurs n'avaient pas tenu compte du rôle modérateur des océans. C'est là une des faiblesses des modèles unidimensionnels utilisés, ce que les auteurs ont aisément admis. Bien qu'un tel modèle ne puisse, dans ce cas-ci, remplacer une simulation plus complexe, il permet néanmoins - étape utile et nécessaire - de mieux comprendre les problèmes. La prise en compte des particules de matière et des aérosols dans les modèles tridimensionnels, qui n'ont été utilisés que pour simuler des phénomènes climatiques naturels, a nécessité de très importants progrès techniques.

/...

39. Le défi lancé par Crutzen et Birks et par les auteurs du rapport TTAPS a été relevé par la communauté scientifique. De nombreux chercheurs spécialisés dans l'étude de l'atmosphère ont commencé à vérifier les hypothèses et les conséquences présentées. Comme l'ont dit par la suite Schneider et Londer (1984), "plusieurs groupes de physiciens ont fait de leur mieux pour trouver une faille dans l'analyse du groupe TTAPS ... pour voir si certains facteurs non pris en compte pouvaient annuler le refroidissement important prédit - non pour rejeter les travaux du groupe, mais pour assurer la crédibilité des résultats obtenus".

40. Ces études ont débouché sur d'importants rapports publiés par le Conseil national de la recherche des Etats-Unis (1985), l'Institut de médecine (1986) et la Société royale du Canada (1985). Les recherches soviétiques sont décrites dans plusieurs ouvrages : The Night After, Climatological and Biological Consequences of Nuclear War (Velikhov, 1985), Ecological and Demographic Consequences of a Nuclear War (Svirezhev et al., 1985), Global Climatic Catastrophes (Budyko et al., 1986), et Possible Ecological Consequences of Nuclear War for Atmosphere and Climate (Kondratyev et Nikolsky, 1986). L'étude la plus complète a cependant été celle réalisée par le CIUS par l'intermédiaire de son programme SCOPE-ENUWAR et à laquelle ont participé environ 300 scientifiques de plusieurs pays représentant de nombreuses disciplines. Cette étude, qui constitue une importante source de référence sur la question, et qui est intitulée Environmental Consequences of Nuclear War, a été publiée en deux volumes (Volume I, Physical and Atmospheric Effects, Pittock et al., 1986) et Volume II, Ecological and Agricultural Effects, Harwell et Hutchinson, 1986), accompagnés d'un résumé destiné aux non-spécialistes et intitulé Planet Earth in Jeopardy (Dotto, 1986). En 1987, l'OMS a modifié son rapport de 1984 consacré aux effets d'une guerre nucléaire sur la santé et les services de santé afin d'y inclure une évaluation des effets climatiques (OMS, 1987). La position de l'hémisphère australe a récemment été présentée par le Conseil néo-zélandais de la planification dans New Zealand After Nuclear War (Green et al., 1987) et Nuclear Winter in Australia and New Zealand: Beyond Darkness (Pittock, 1987). Parallèlement à ces études, un certain nombre de gouvernements, notamment ceux des Etats-Unis et de l'Union soviétique, ont parrainé des recherches pluridisciplinaires, notamment en ce qui concerne les propriétés de la fumée dans l'atmosphère et les simulations numériques du comportement des aérosols dans les modèles de circulation atmosphérique.

## B. Les aspects techniques

### 1. La poussière

41. Des explosions nucléaires au sol ou à basse altitude injectent d'importantes quantités de poussière dans l'atmosphère. L'étude SCOPE-ENUWAR (Pittock et al., 1986) estime que plusieurs dizaines de millions de tonnes de particules de poussière d'un diamètre inférieur au micron pourraient monter dans la haute troposphère et la stratosphère où elles pourraient séjourner un mois ou plus. La poussière est un bon diffracteur de la lumière solaire et renvoie donc une part du rayonnement solaire incident dans l'espace.

42. Du fait de la diffraction (réflexion) et de l'absorption dans la haute atmosphère, le rayonnement solaire ne parviendra pas intégralement à la surface de

/...

la Terre et pourrait être presque totalement absorbé par d'épais nuages de poussière. Même si la poussière était dispersée uniformément au-dessus de l'hémisphère Nord, elle pourrait encore intercepter 10 % ou plus de la lumière.

## 2. La combustion et les matières combustibles

43. Les matières combustibles, qu'il s'agisse de charbon, de pétrole et de gaz naturel ou, plus généralement, comme c'est le cas ici, de tout ce qui peut brûler, que ce soit dans les zones urbaines et industrielles (bois de construction, papier, plastiques, revêtements en asphalte, bitume) ou dans la campagne (arbres, cultures et autres formes de végétation) sont dans une large mesure composés de substances chimiques complexes, principalement à base de carbone et d'hydrogène.

44. Dans des conditions parfaites, la réaction d'oxydation (combustion) des molécules d'hydrocarbures en présence de quantités illimitées d'oxygène sera totale et donnera du gaz carbonique et de la vapeur d'eau. Les conditions sont toutefois rarement parfaites, et l'oxydation sera plus ou moins complète, produisant des résidus solides appelés suie ou fumée en plus des gaz normalement présents. A des températures élevées, une partie de l'hydrogène et du carbone peut être libérée sans oxydation (pyrolyse), produisant une suie de carbone pur ressemblant à du graphite ou à du noir de fumée. A des températures moins élevées, c'est-à-dire en cas de combustion lente, l'oxydation est incomplète et produit une quantité importante de résidus partiellement oxydés (en général des hydrocarbures mais chimiquement moins complexes que les combustibles de départ).

45. La suie de carbone élémentaire relativement pure et les produits renfermant une proportion élevée d'hydrocarbures ont des structures chimiques et physiques très particulières. Ils ne se comportent pas de la même façon dans l'atmosphère et absorbent la lumière solaire beaucoup plus fortement que les fumées à faible teneur en carbone. Les matières combustibles peuvent également renfermer d'autres substances chimiques qui ne sont pas oxydées ou qui, une fois oxydées, donnent naissance à toute une gamme de molécules ayant des propriétés diverses.

46. La quantité et la nature des matières qui brûleront en cas de guerre nucléaire ont été estimées de trois façons différentes. Turco *et al.* (1983) et le Conseil national de la recherche des Etats-Unis (1985) partent de la quantité moyenne de matière combustible par unité de surface pour diverses cibles et multiplient ensuite cette quantité par la superficie qui serait exposée à un flux thermique capable d'enflammer des cibles réparties selon une disposition donnée. L'étendue de la zone concernée est fonction des conditions météorologiques (humidité et turbidité), de l'altitude à laquelle se produit l'explosion et de la puissance de l'ogive. Une explosion de 1 mégatonne enflammerait de nombreux matériaux dans une région de l'ordre de 50 à 1 000 kilomètres carrés mais, étant donné que les zones couvertes par les différentes explosions se chevaucheraient probablement, que les zones urbaines sont d'une taille relativement limitée et que d'autres facteurs encore interviendront, on considère généralement qu'une explosion d'une puissance de 1 mégatonne enflammera une région comprise entre 250 et 500 kilomètres carrés (la superficie varie en fonction de la racine carrée de la puissance de l'explosion). Penner (1986) a montré que les quantités de combustible avaient été surestimées et n'étaient toujours pas connues avec précision. Comme l'on ne peut

/...

déterminer avec certitude quels seront les objectifs (et par conséquent, dans quelle mesure les incendies se chevaucheront), cette méthode de calcul n'est pas très précise.

47. La méthode utilisée par Crutzen et al. (1984) et par Pittock et al. (1986) consiste à dresser l'inventaire des matières combustibles dans les zones cibles potentielles et à faire des hypothèses quant à la proportion de matières qui brûlera.

48. La troisième méthode, qui repose sur l'analyse détaillée d'objectifs représentatifs (Smals et al., 1988), montre qu'une attaque nucléaire importante contre les Etats-Unis produirait 40 millions de tonnes de fumée dont un tiers proviendrait de la combustion de pétrole, de gaz et de charbon et serait donc composé de particules de suie (c'est-à-dire à forte teneur en carbone) qui absorbent efficacement le rayonnement solaire.

49. Deux estimations indépendantes des stocks de produits combustibles suggèrent qu'il existe 6 000 à 17 000 millions de tonnes de produits à base de cellulose (bois, papier, etc.) et 1 300 à 1 500 millions de tonnes de produits pétroliers et de plastiques dans les régions couvertes par les pays membres de l'Organisation du Traité de l'Atlantique nord (OTAN) et les Etats parties au Traité de Varsovie. La grande variation des estimations de produits cellulosiques tient en grande partie aux différences dans les hypothèses concernant les quantités de bois utilisées pour la construction en Europe et en Union soviétique, à l'utilisation et à la durée moyenne de vie du bois et aux quantités de bois dans l'environnement. Globalement, on estime avec une incertitude d'environ 50 % que 10 000 millions de tonnes de matières combustibles pourraient brûler dans les Etats parties au Traité de Varsovie et les pays membres de l'OTAN.

50. Etant donné leur importance stratégique, les raffineries et les entrepôts de produits pétrochimiques sont considérés comme des objectifs probables dans la plupart des scénarios. Turco (1987) montre que deux tiers des stocks de produits pétrochimiques (soit à peu près 500 millions de tonnes) sont entreposés dans environ 200 endroits distincts, ce qui permettrait, dans des conditions parfaites, de les détruire en utilisant à peine quelques centaines de petites ou moyennes ogives, d'une puissance totale de l'ordre de quelques mégatonnes et produiraient suffisamment de fumée noire, à base de suie (voir ci-après) pour modifier sensiblement le climat.

51. Les premières inquiétudes quant aux effets éventuels d'une guerre nucléaire sur le climat étaient basées sur les estimations concernant les quantités de fumée dégagées par des incendies de forêt (Crutzen et Birks, 1982). De nombreux objectifs potentiels (silos de missiles, bases aériennes, et centres de commandement) se trouvent cependant dans des régions herbeuses ou agricoles où il y a peu de matières combustibles et dont la combustion ne produirait que quelques millions de tonnes de fumée (Small et Bush, 1985). L'étude SCOPE-ENUWAR (Pittock et al., 1986) prend en compte certains facteurs qui pourraient amener à revoir ces estimations à la hausse, mais il semble que la végétation pourrait ne pas prendre feu (Bush et Small, 1987). La suie pourrait être produite par la gazéification directe (pyrolyse) de matières organiques par l'onde thermique émise par la boule

/...

de feu, et libérer ainsi de l'ordre de 20 millions de tonnes de carbone élémentaire (Gostintsev et al., 1986; Golitsyn, 1986). Si ce carbone se trouve propulsé par la boule de feu dans la haute troposphère et la basse stratosphère, il pourrait en résulter d'importants effets climatiques. Les processus d'émission de carbone par pyrolyse provoquée par une onde thermique d'origine explosive et les réactions ultérieures du carbone avec l'air ambiant restent cependant mal compris.

### 3. Les incendies

52. La taille, la nature et le nombre des incendies seront fonction de l'ampleur du conflit nucléaire, des ogives utilisées et des cibles choisies. Le colossal potentiel incendiaire des armes nucléaires peut provoquer, si l'environnement s'y prête, des incendies gigantesques qui ne s'arrêteront qu'une fois toutes les matières combustibles épuisées et la région totalement dévastée.

53. Les explosions d'Hiroshima et de Nagasaki ont montré que des incendies importants peuvent être provoqués par des flux thermiques de l'ordre de 7 à 20 calories par centimètre carré ( $\text{cal}/\text{cm}^2$ ). La valeur supérieure est probablement une surévaluation, car nombre d'incendies se déclenchent à des flux de 7 à 10 calories par centimètre carré. Deux études indépendantes retenant comme hypothèse une valeur inférieure (20 calories par centimètre carré) montrent que, pour chaque mégatonne, 250 à 375 kilomètres carrés prendraient immédiatement feu (la superficie touchée serait beaucoup plus grande si l'on utilisait une valeur de flux moins importante pour les calculs). Si l'on tient également compte de la propagation des incendies, la zone touchée pourrait atteindre 1 200 kilomètres carrés par mégatonne dans le cas d'une explosion de faible puissance comme celle d'Hiroshima (Pittock et al., 1986). Les simulations effectuées récemment tiennent compte de la puissance des explosions, de la distance oblique, des conditions atmosphériques, de la nature du combustible, de la topographie, de la présence de barrières antifeu et d'autres facteurs encore (Woodie et al., 1984).

54. En dehors des agglomérations, la plupart de la matière organique est potentiellement combustible et on peut raisonnablement supposer que l'onde de choc pourrait disperser et faire voler les matériaux combustibles en éclats, les rendant encore plus facilement inflammables. Cela n'est pas forcément le cas en ce qui concerne les zones urbaines et leur périphérie, où il existe d'importantes quantités de matériaux non combustibles tels que le béton et le plâtre. L'onde de choc pourrait endommager les structures non combustibles et exposer ainsi davantage de matériaux aux flammes ou au contraire enterrer ces dernières sous des décombres réfractaires. Les deux sont possibles en fonction des caractéristiques de l'endroit considéré.

55. Le feu entraînera avec lui des minéraux pulvérulents réfractaires et non combustibles (béton, poussière de briques, plâtre, terre, etc.). Les conséquences pour la combustion, notamment l'énergie radiative au sein des flammes, n'en sont pas connues.

### 4. Les émissions de fumée

56. Le facteur d'émission (quantité de matière combustible convertie en particules volantes telles que suie et fumée) est représenté par un rapport, ou en pourcentage. Par exemple, un facteur de 5 % signifie que la combustion d'un kilo

/...

de matière dégagera 50 grammes de fumée. Ce facteur, de même que les propriétés chimiques et physiques de la fumée, sont des éléments importants qu'il convient de prendre en compte si on veut évaluer les répercussions des émissions de fumée sur l'atmosphère.

57. Le facteur d'émission, de même que la teneur en carbone de la fumée, ne sont pas connus avec précision et même quand ils ont été déterminés de façon expérimentale, les résultats obtenus varient d'un facteur d'au moins deux (Pittock et al., 1986, et Penner, 1986). Les recherches plus récentes menées aux Etats-Unis et en Union soviétique (rapport de la réunion de travail SCOPE-ENUWAR tenue à Genève du 16 au 20 novembre 1987) montrent que plus l'incendie est important, plus le facteur d'émission est élevé et que ce dernier augmente également quand le vent diminue. Etant donné la très grande diversité de conditions que l'on peut rencontrer, les incertitudes concernant les facteurs d'émission et la teneur des fumées en carbone sont considérables.

58. Deux études importantes sont parvenues à la conclusion que les facteurs d'émission globaux pour les incendies en zones urbaines sont compris entre 3,3 % et 4 %, avec une teneur en carbone estimée, de façon prudente, à 20 %, ou, plus généralement entre 33 % et 80 % (Pittock et al., 1986). Ces estimations ont été obtenues à partir d'hypothèses concernant les proportions de différents types de matériaux combustibles puisque tous n'ont pas les mêmes facteurs d'émission; par exemple, celui-ci est de 1,5 % à 3 % pour le bois, de l'ordre de 5 % pour les plastiques et de 6 à 10 % pour les produits pétroliers (Pittock et al., 1986; Crutzen, 1987).

59. Les estimations détaillées de la quantité de fumée que pourrait produire une guerre nucléaire de grande ampleur, dégageant une puissance explosive totale de 5 000 à 6 500 mégatonnes, varient considérablement puisqu'elles sont comprises entre 50 et 150 millions de tonnes en tenant compte du "nettoyage" des particules par les précipitations (Turco et al., 1983; Crutzen et al., 1984; Conseil national de recherche, 1985). Ces estimations reposent sur des hypothèses différentes concernant les facteurs d'émission et la nature des matières combustibles mais elles montrent toutes que les incendies des zones urbaines et industrielles enverraient environ 30 millions de tonnes de carbone dans l'atmosphère (Pittock et al., 1985).

60. Plusieurs groupes ont calculé la quantité de fumée dégagée par diverses substances à l'occasion d'incendies de petite ampleur provoqués expérimentalement. Bien que l'on ne puisse probablement pas établir un parallèle avec les graves incendies qui seraient allumés par une attaque nucléaire, ces expériences ont permis de mieux comprendre le processus de combustion et ont montré que la production de fumée était de 1,5 % dans le cas du bois humide, de 4 % dans le cas de bois sec et pouvait atteindre 11 % pour les plastiques (Andronova et al., 1986), bien que ce dernier chiffre pourrait tomber à 3 % si l'aération n'est pas bloquée (Mulholland, 1986; Patterson et al., 1986).

61. Un mélange de matières combustibles représentant celles que l'on trouve normalement en zone urbaine (60 % de bois, 20 % de papier, 15 % de tissu et 5 % de plastiques) a un facteur global d'émission de l'ordre de 5 à 6 % (Andronova et al., 1986). La combustion de produits pétrochimiques dégagerait une fumée noire avec un

/...

facteur d'émission de l'ordre de 3 % à 5 % en cas d'incendies relativement limités (Andronova et al., 1986), mais ne pouvant dépasser 10 % en cas de grands incendies (Zak, 1987). Ces données sont assez proches de celles obtenues par Penner (1986) et supérieures d'environ 50 % à celles utilisées dans l'étude du Conseil national de recherche (1985).

62. Le groupe SCOPE est parvenu à la conclusion que, si environ un quart des 2 700 millions de tonnes de matériaux combustibles stockés brûlaient, cela dégagerait dans l'atmosphère environ 80 millions de tonnes de fumée contenant 45 millions de tonnes de carbone élémentaire. Un tel résultat serait obtenu par la destruction totale de moins d'une centaine de grandes villes et de leurs réserves stratégiques de combustible (Crutzen, 1987) et ne tient pas compte des émissions de fumée dégagées par les incendies en zone rurale provoquées par les attaques contre-force visant les champs de silos.

#### 5. Les propriétés optiques de la fumée

63. Les propriétés optiques de la fumée sont fonction de la taille, de la structure et de la nature des particules, qui dépendent elles-mêmes des matières combustibles et des conditions de combustion. Ce n'est que récemment que ces propriétés ont commencé à être étudiées en détail aux Etats-Unis, en URSS et au Royaume-Uni.

64. La fumée absorbe et diffuse la lumière. Plus l'absorption sera importante par rapport à la diffusion, plus la fumée apparaîtra noire; à l'inverse, plus la diffusion sera importante, plus la fumée apparaîtra blanche. Ces deux processus sont étroitement interdépendants. L'atténuation de la lumière est une fonction exponentielle de la quantité de fumée présente dans l'atmosphère et dépend également de la longueur d'ondes de la lumière ainsi que des propriétés physiques et chimiques des particules de fumée.

65. Les particules de fumée émises lors de la combustion de produits pétroliers ont une structure en chaîne étoilée qui augmente leur capacité d'absorption par unité de masse. Les mesures récentes ont montré que l'absorption due aux particules de carbone était peut être au moins deux fois plus importante qu'on ne l'avait supposé dans de précédentes études (par exemple Conseil national de recherche, 1985). On considère maintenant qu'une guerre nucléaire de grande ampleur ne provoquerait pas autant de fumée qu'on le pensait tout d'abord, mais que l'atténuation de la lumière solaire qui en résulterait n'en resterait pas moins un grave problème puisque la teneur en carbone de la fumée, et par conséquent sa capacité d'absorption du rayonnement solaire sont plus importantes que ne le laissent entendre les études antérieures.

66. De nouvelles mesures (Andronova et al., 1986; Golitsyn et MacCracken, 1987) du rapport absorption du rayonnement solaire/absorption du rayonnement thermique émis par la surface et par l'atmosphère terrestre suggèrent que, pour de nombreux types de fumée, les émissions sur grandes longueurs d'ondes provenant du sol atteindront normalement l'espace, ce qui signifie qu'en dépit de la présence de fumée, la surface de la Terre se refroidira comme par une nuit claire. Il est nécessaire d'étudier plus en détail ce problème important, ainsi que son effet sur le transfert d'énergie radiative dans l'atmosphère.

/...

67. Afin d'étudier quelles seraient les conséquences des émissions de fumée sur le climat, il a été convenu lors de la réunion de travail SCOPE-ENUWAR tenue à Bangkok en 1987 d'établir trois scénarios selon que les quantités de fumée sont peu importantes, moyennes et importantes. En répartissant également ces quantités de fumée au-dessus de l'hémisphère nord et en tenant compte de l'absorption et de la diffusion, on parvient à des valeurs à la surface égales à environ 60 %, 10 % et 1 % respectivement de la normale.

#### 6. L'altitude atteinte par la fumée

68. L'observation montre que la fumée émise par des incendies de forêts localisés monte généralement jusqu'à 2 ou 3 kilomètres d'altitude mais que si l'incendie est important et bien aéré et si l'air est humide, elle peut atteindre 5 à 6 kilomètres. Les panaches de fumée dégagés par les très grands incendies de forêts ou lors des incendies d'agglomérations pendant la seconde guerre mondiale s'élevaient parfois à plus de 10 kilomètres. Il est donc probable que la fumée émise en cas de guerre nucléaire atteindra la haute troposphère et il est même possible qu'une partie de cette fumée pénètre dans la stratosphère (Golitsyn et MacCracken, 1987).

69. Les simulations numériques faites à partir de modèles modifiés de nuages convectifs ont permis d'estimer l'altitude qu'atteindrait la fumée pour divers incendies et dans diverses conditions météorologiques. Ces simulations confirment que les émissions d'incendies très importants pourraient monter jusqu'à 15 kilomètres d'altitude et pénétrer dans la basse stratosphère, mais que dans le cas d'incendies plus modestes, elles n'atteindront probablement que le milieu ou la partie supérieure de la troposphère. La montée de la fumée peut être perturbée par l'apparition de vortex en cas d'incendies très violents, mais on ne sait pas si ces perturbations auront un effet positif (Turco et al., 1983) ou négatif (Tripoli et Kang, 1987). Les phénomènes de cisaillement du vent pourraient limiter la montée de la fumée ou au contraire ralentir sa retombée. Les simulations sur ordinateur montrent que l'altitude atteinte sera fonction du dégagement total de chaleur, c'est-à-dire de la puissance de l'incendie, et non de la superficie concernée (Small et Heikes, 1988). Les conditions météorologiques sont également importantes, en particulier la stabilité de l'atmosphère, et le degré d'humidité parce que l'humidité peut dégager une énergie considérable sous forme de chaleur latente qui contribuera à la montée de la fumée (Pittock et al., 1986; Golitsyn et MacCracken, 1987).

70. L'une des découvertes les plus importantes est que l'absorption du rayonnement solaire chauffe la fumée et que l'air ambiant devient de ce fait plus léger. Ce phénomène, prévu par les modèles tridimensionnels tenant compte du transport de la fumée par la circulation atmosphérique (Malone et al., 1986) [voir figures 1 a) et b)] entraînerait la suie et la fumée à des altitudes beaucoup plus importantes que ne le donneraient à penser les seules caractéristiques de l'incendie.

/...

Figure 1 a). Comparaison des coupes verticales du schéma de la concentration de fumée pour le scénario passif (ligne en pointillés) et le scénario interactif (ligne continue) de Malone et al. (1985), le vingtième jour (l'unité utilisée est le ppb).

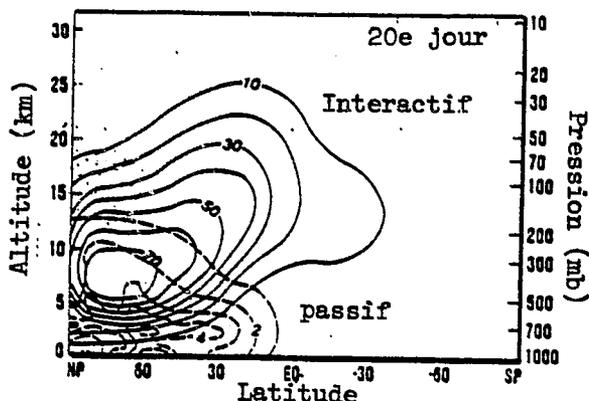
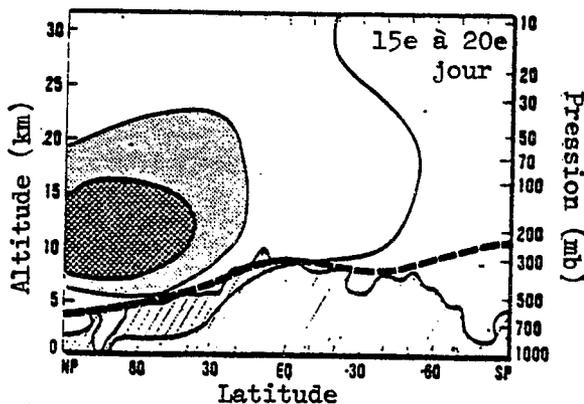


Figure 1 b). Coupe verticale de l'atmosphère, montrant le déplacement de la tropopause (ligne en pointillés et accentuée) et la répartition des précipitations (zone hachurée sous la tropopause), moyenne des quinze à vingtième jours ainsi que la répartition de la fumée le vingtième jour (zone tachetée, essentiellement en-dessus de la tropopause).



Note. Les résultats sont ceux d'un scénario de fumée interactive en juillet, avec injection de 170 millions de tonnes de fumée à une altitude de 0 à 9 km (tiré de Malone et al. (1985).

Source : A. B. Pittock et al., Environmental Consequences of Nuclear War, vol. I (Chicester, 1986), p. 190 et 191.

/...

71. Certaines hypothèses déterminent dans une large mesure les effets de la fumée sur le climat. Plus la fumée montera à une altitude élevée, moins il est probable qu'elle sera éliminée par les précipitations. De même, plus le rayonnement solaire sera absorbé à une altitude élevée moins le rayonnement thermique de grande longueur d'onde émis à partir de la couche de fumée aux altitudes supérieures sera perturbé et plus la surface se refroidira. L'amélioration des modèles utilisés devrait permettre d'estimer avec plus de précision l'altitude que pourraient atteindre les colonnes de fumée.

#### 7. Balayage et élimination des particules de fumée

72. Les particules de fumée sont soumises à de nombreux processus, depuis leur production dans les incendies jusqu'à leur dispersion à des échelles qui peuvent se répercuter sur le temps et le climat dans le monde. Sous l'effet de la coalescence, elles augmentent de volume et leur répartition par taille se modifie. Les panaches de fumée ascendants peuvent être pénétrés par la vapeur d'eau ambiante. En se développant, ils se refroidissent et la vapeur d'eau se condense sur les particules de fumée, qui agissent alors comme des noyaux de condensation. La fraction de particules sur lesquelles l'eau peut se condenser dépend en partie de la teneur en carbone des particules : plus celle-ci est élevée, plus les particules sont hydrophobes. Les particules de fumée, qui contiennent peu de carbone, donnent donc plus facilement des noyaux de condensation que les particules de suie, qui en contiennent beaucoup. Cependant, on connaît mal la composition des particules d'aérosols qui seraient émises par les incendies résultant d'explosions nucléaires dans des conditions très variées. Les gouttelettes d'eau formées sur les particules de fumée emportées à haute altitude pourraient se transformer en particules de glace; elles pourraient être incorporées dans des gouttelettes d'eau plus grosses et se trouver entraînées par des précipitations.

73. C'est de l'ampleur de la condensation, elle-même liée à l'humidité atmosphérique, à l'intensité des incendies, aux phénomènes météorologiques locaux et à d'autres facteurs, que dépend le fait qu'il y ait des précipitations et que les particules capturées qui ont été balayées par les gouttelettes des nuages soient entraînées vers le sol en pluies noires (comme celles qui sont tombées sur Hiroshima) ou libérées de nouveau dans l'atmosphère. Les particules qui émergent du nuage d'eau et ne sont pas balayées par précipitation peuvent subir des transformations qui modifient leur forme. En particulier, la réévaporation de l'eau contenue dans les particules qui se produit lorsque celles-ci émergent du nuage peut les rendre plus compactes, ce qui change leurs propriétés optiques. Des résultats expérimentaux récents (Harrison, communiqués aux journées d'étude SCOPE-ENUWAR de Genève en 1987) tendent à montrer que ces changements ne seraient peut-être pas aussi importants qu'on le pensait jusqu'ici.

74. Dans l'étude faite par le groupe TTAPS (Turco *et al.*, 1983), les auteurs supposent que ces phénomènes élimineraient immédiatement de l'atmosphère la moitié de la fumée initiale. Selon le rapport du NRC (1985), le taux d'élimination rapide serait entre 10 et 90 %. Des mesures récentes (communiquées par Turco aux journées d'étude SCOPE-ENUWAR de Genève en 1987), montrent que, dans le cas d'incendies de nappes de pétrole d'une superficie de 170 mètres carrés, la plupart des phénomènes de balayage décrits précédemment n'ont qu'une faible action et que l'élimination des nuages de suie par condensation est réduite. Les scientifiques estiment donc

/...

maintenant que le rôle du balayage dans l'élimination de la fumée serait sans doute moins important qu'on ne le pensait. Ce problème continue à présenter des incertitudes et demande des études plus approfondies.

#### 8. Diminution de la lumière

75. La suie, la fumée et les particules de poussière (collectivement dénommées aérosols dans le présent rapport, bien que techniquement ce terme recouvre aussi les gouttelettes liquides) peuvent absorber et diffuser la lumière solaire dans l'atmosphère. Il peut en résulter de profondes modifications du bilan radiatif, des phénomènes de circulation de l'atmosphère, des modifications climatiques et une baisse de la lumière solaire ainsi que de la température à la surface terrestre. L'ampleur de ces perturbations dépend de la quantité des aérosols, de leur emplacement et de leur durée de séjour dans l'atmosphère, et des propriétés physiques et chimiques des particules.

76. Dans l'atmosphère normale, 30 % de l'énergie solaire, comprenant les radiations visibles et les radiations à ondes courtes, sont réfléchis par les nuages et la surface terrestre, 25 % environ sont absorbés dans l'atmosphère, et les 45 % restants sont absorbés par le sol. L'énergie absorbée par la surface terrestre est ensuite libérée à nouveau dans l'atmosphère sous forme de rayonnement infrarouge (ondes longues), largement absorbé par les gaz de terre dans l'atmosphère, de chaleur sensible par le contact entre le sol et l'atmosphère, et par libération de la chaleur latente lorsque l'eau évaporée se condense à nouveau dans l'atmosphère. La totalité de l'énergie du rayonnement solaire absorbée par la Terre se perd finalement dans l'espace sous forme d'émission de radiations à ondes longues.

77. La présence d'une couche d'aérosols pouvant absorber et disperser le rayonnement solaire au-dessus des nuages et des gaz de terre exerce sur le bilan radiatif une action qui pourrait avoir de vastes conséquences. La proposition centrale de l'hypothèse dite de l'hiver nucléaire est qu'il y aurait une réduction du flux d'énergie vers la surface de la Terre, provoquant un phénomène de refroidissement et d'assombrissement. En outre, l'énergie solaire absorbée par la fumée pourrait entraîner un réchauffement de l'atmosphère risquant de modifier profondément la circulation et la structure thermiques et de diminuer les précipitations.

#### 9. Simulation numérique

78. Les modèles climatiques numériques consistent en un ensemble d'équations qui représentent les lois physiques régissant les mouvements et la température de l'atmosphère et de l'océan, les transformations entre la vapeur d'eau, l'eau liquide et la glace, les échanges d'énergie et les interactions entre l'atmosphère et la surface de la terre et des océans. La capacité de décrire tous ces phénomènes et de résoudre les équations par ordinateur est limitée, de sorte que tous les modèles climatiques, même les plus perfectionnés en matière de circulation atmosphérique, ne sont que des représentations approximatives de la réalité. On peut tester l'aptitude d'un modèle à simuler la réalité du climat (normal) actuel en comparant les résultats du modèle avec les observations disponibles, notamment les données indicatrices de changements saisonniers dans le climat.

/...

79. Pour l'étude des effets d'un conflit nucléaire de grande ampleur sur le temps et le climat, il faut que les modèles puissent simuler non seulement le climat normal (connu), mais aussi le climat perturbé (inconnu) qui résulterait d'une saturation sans précédent de l'atmosphère par de grandes quantités de matières particulaires. En dépit de leurs nombreuses incertitudes, les modèles numériques de l'atmosphère constituent actuellement l'outil le plus efficace. On peut s'en servir pour estimer les effets directs d'une guerre nucléaire de grande ampleur sur l'atmosphère. Ils sont le seul moyen d'étudier les interactions ou les effets rétroactifs imprévus. La plupart des résultats exposés ci-après découlent des résultats obtenus au moyen de divers types de simulations numériques de modèles climatiques.

80. Pour étudier les effets d'une guerre nucléaire sur le climat, on détermine la répartition de la fumée, de la suie et de la poussière qui seraient injectées dans l'atmosphère par les explosions nucléaires et les incendies qui s'ensuivraient, et on introduit dans ces calculs les propriétés optiques de ces matières ainsi que d'autres équations mathématiques représentant le transport, la transformation et l'élimination finale de la fumée par les phénomènes atmosphériques.

81. L'introduction dans les calculs des effets optiques de la fumée, de la suie et de la poussière émises par les incendies déclenchés par les explosions nucléaires a permis d'adapter les modèles de circulation générale à l'étude de l'effet éventuel d'une guerre nucléaire sur le climat. Etant donné que la modélisation du climat possède à la fois des aspects très forts et très faibles, que certains ont tendance à extrapoler les prévisions plus loin dans le temps que ne le permettent les connaissances actuelles des phénomènes étudiés ou à citer les résultats des modèles trop littéralement sans tenir compte des mises en garde relatives à leurs limites, il n'est pas étonnant que l'application de modèles à un sujet aussi nouveau et controversé que l'hypothèse de l'"hiver nucléaire" suscite des désaccords. L'intérêt premier des simulations par modèle est leur rôle d'outil de recherche, essentiel aux procédés par lesquels la science met à l'épreuve et fait ainsi avancer sa compréhension du climat. Une fois encore, comme le dit Schneider (1987) :

"Les modèles mathématiques du climat ne peuvent simuler la réalité dans toute sa complexité. Ils peuvent cependant révéler les conséquences logiques d'hypothèses vraisemblables émises à propos du climat... Les modèles climatiques ne fournissent pas de prévisions définitives, ils ne sont qu'une boule de cristal salie dans laquelle on peut entrevoir différents avènements. Nous devons donc décider pendant combien de temps il faut continuer à nettoyer le verre avant d'agir en fonction de ce que nous croyons voir à l'intérieur."

Les modèles peuvent donc servir à :

- a) Examiner les choix offerts et réduire les nombreuses inconnues à un petit nombre qui se prête à une recherche plus approfondie;
- b) Faire la distinction entre les hypothèses faibles et les hypothèses fortes;

/...

c) Tester la sensibilité du climat aux changements des variables essentielles et fixer des conditions limites;

d) Améliorer la prise de décision, c'est-à-dire par exemple déterminer les mesures qui minimiseront les conséquences négatives et aideront à éviter les pires décisions.

#### 10. Résultats des simulations numériques

82. Les calculs unidimensionnels réalisés par le groupe TTAPS (Turco et al., 1983) ont été la première indication que les effets climatiques pouvaient être importants. Ils ont été rapidement suivis par des calculs bidimensionnels (MacCracken, 1983) et tridimensionnels (Aleksandrov et Stenchikov, 1983 et 1984; Covey et al., 1984). Depuis ces premières études, on a progressé dans l'estimation des perturbations atmosphériques qui seraient provoquées par la fumée au cours des premières semaines suivant une guerre nucléaire. En général, les premiers calculs reposaient sur un volume et une quantité fixes de fumée, sans tenir compte du lavage et du transport de fumée, et ne considéraient que l'absorption du rayonnement solaire, sans envisager la dispersion et l'effet des particules sur le rayonnement thermique infrarouge (ondes longues). Dans les calculs les plus récents, on s'est efforcé de corriger ces premières simplifications.

83. Ces nouveaux calculs ont été effectués aux Etats-Unis et en URSS (Malone et al., 1986; Ghan et al., 1987, 1988; Thompson et al., 1987; Stenchikov et Carl, 1988). Les modèles ont des résolutions verticales et horizontales différentes, mais les résultats portant sur le premier mois après dégagement sont très semblables (Golitsyn et MacCracken, 1987). Les modèles indiquent une baisse rapide de la température de surface, à la manière d'un refroidissement nocturne prolongé. Sur les continents recouverts d'épais nuages de fumée, la température pourrait, durant les mois chauds de l'année, chuter de 20 à 30 °C les premiers jours, ce qui provoquerait par endroits l'apparition de températures inférieures à 0 °C (Golitsyn et MacCracken, 1987). Au cours des deux premières semaines, la température moyenne de la surface terrestre aux latitudes médianes de l'hémisphère Nord baisserait de 15 à 20 °C.

84. A mesure que la fumée s'étendrait vers le sud et serait éliminée, les changements de température s'atténueraient, donnant des variations de l'ordre de 5 à 10 °C dans les régions subtropicales et tropicales, où la température pourrait tomber par endroit au-dessous de 15 °C, seuil critique pour la production du riz. Les changements relatifs aux précipitations seraient beaucoup plus importants, notamment aux latitudes inférieures, en raison du réchauffement de l'atmosphère et du refroidissement de la surface. Ce phénomène se produirait même si la quantité de fumée était moindre. Les simulations numériques récemment effectuées au Lawrence Livermore National Laboratory (communiquées par MacCracken aux journées d'études SCOPE-ENUWAR de Moscou, 21-25 mars 1988) montrent qu'aux latitudes moyennes et basses de l'hémisphère Nord, la moyenne des précipitations sur terre serait divisée par 5 au cours des premières semaines.

85. Une autre conclusion importante est la disparition des moussons estivales même dès le premier dégagement modéré de fumée. Les modèles à forte résolution verticale (Malone et al., 1986; Covey, 1987) montrent que, durant la période chaude

/...

de l'année, la fumée chauffée dans sa partie supérieure atteindrait une altitude de 25 à 30 kilomètres et s'y maintiendrait pendant des mois, voire des années. Selon Malone et al. (1987), environ le tiers à la moitié de la fumée atteindrait la stratosphère dans un cas représentatif.

11. Analogues naturels partiels des perturbations atmosphériques causées par des explosions nucléaires

86. Un certain nombre de tentatives ont été faites pour analyser divers phénomènes naturels en vue de déterminer si et dans quelle mesure l'émission de particules (poussière, fumée, etc.) peut modifier la température de surface. Ces analyses peuvent fournir des analogues partielles avec les effets de la fumée émise par des incendies nucléaires et servir aussi à valider en partie la simulation par modèle des conséquences d'un conflit nucléaire sur le climat. Elles n'ont pas révélé d'incohérences dans les prévisions basées sur les simulations numériques des modèles atmosphériques. La fumée et la poussière produites, par exemple, par les éruptions volcaniques ou les grands incendies de forêts diffèrent à beaucoup d'égards de celles qui sont émises par les explosions nucléaires et les incendies dans les villes, mais elles peuvent éclairer le problème du point de vue physique (Golitsyn et MacCracken, 1987).

87. Les tempêtes de poussière qui sévissent sur Mars révèlent un intense réchauffement de l'atmosphère et un intense refroidissement de la surface du sol (Turco et al., 1983; Golitsyn et Phillips, 1986). Les tempêtes de poussière sur terre donnent aussi des indications. Au Nigéria, on a signalé une baisse de plusieurs degrés à la suite d'une tempête de poussière au Sahara (Brinkman et McGregor, 1983); une chute brutale de 10 °C a été observée après une violente tempête de poussière au nord-ouest de la Chine (Xu et al., 1979); dans le Tadjikistan, cinq stations météorologiques ont enregistré un refroidissement moyen allant jusqu'à 10 à 12 °C au cours de la journée, durant une cinquantaine de tempêtes de poussière et de brouillards de poussière (Golitsyn et Shukurov, 1987). Des millions de tonnes de poussière soulevées par les tempêtes sahariennes peuvent être transportées sur des distances considérables. Il y a une corrélation entre les brouillards de poussière et le rendement des récoltes : plus le brouillard se prolonge, plus le rendement baisse (Golitsyn et Shukurov, 1987).

88. Les grands incendies de forêt fournissent aussi des analogues naturels. Les incendies sibériens de 1915 ont produit entre 20 et 40 millions de tonnes de fumée sur une période d'une cinquantaine de jours (Golitsyn, 1987; Veltishchev et al., 1988) qui ont provoqué une baisse de température de plusieurs degrés enregistrés dans un certain nombre de stations sibériennes. On a constaté à la suite des graves incendies de forêts qui ont eu lieu dans l'est de l'Union soviétique en 1972 que l'intensité de la lumière solaire à la surface du sol était au moins deux fois moins forte (Abakoumova et al., 1986; Sokolik et al., 1986). La fumée dégagée par les incendies qui ont ravagé la Californie en 1987 s'est trouvée enfermée dans les vallées, faisant baisser la température diurne maximale de plus de 15 °C au-dessous de la normale pendant une semaine (Robock, 1988). La fumée des incendies de forêt peut en outre être transportée vers des régions éloignées. Ainsi, la fumée émise lors d'un vaste incendie de forêt survenu en Chine en 1987 est passée au-dessus de l'Alaska (Robock, 1988) et la fumée dégagée par l'incendie

/...

de 1950 en Alberta a traversé le Canada, les Etats-Unis et l'Atlantique pour atteindre l'ouest de l'Europe. Ces phénomènes ont entraîné une baisse de plusieurs degrés Celsius de la température diurne en Amérique du Nord (NRC, 1985).

89. Les conséquences climatiques d'une guerre nucléaire dans la phase chronique - c'est-à-dire d'un mois à plusieurs années - peuvent être en partie déduites des effets des grandes éruptions volcaniques, qui émettent de vastes quantités de particules dans la stratosphère. Les gigantesques éruptions des volcans indonésiens de Tambora en 1815 et Krakatoa en 1883 ont provoqué une baisse d'environ 1 °C de la température à la surface de la Terre (NRC, 1975). Les études concernant l'influence d'autres éruptions volcaniques sur le climat sont assez nombreuses, mais il est difficile d'en tirer des conclusions absolues car une seule éruption est rarement assez forte pour entraîner une modification sensible du climat mondial. Toutefois, les effets au niveau régional semblent être liés à ces phénomènes, ainsi qu'il a été démontré en 1816 (l'"année sans été"), à la suite de l'éruption du Tambora, lorsque de nombreuses récoltes ont été perdues en Europe et en Amérique du Nord. Une étude récente passe en revue 36 phénomènes de refroidissement survenus en Chine au cours des 50<sup>e</sup> dernières années, dont 32 semblent avoir eu lieu à la suite d'éruptions volcaniques.

90. Il est évident que les aérosols de poussière et de fumée peuvent influencer sur la température de surface et servir à valider les prévisions des modèles mondiaux et régionaux. Leur utilisation n'a pas révélé d'incohérences dans les prévisions faites au moyen de modèles de simulation informatisés. On peut donc les considérer comme des analogues partiels de la fumée produite par les explosions nucléaires. Toutefois, la fumée et la poussière produites par ces phénomènes naturels diffèrent sur de nombreux points importants de celles que provoquent les incendies consécutifs à des explosions nucléaires, et il peut être utile d'établir un plus grand nombre d'analogues pour mieux comprendre le problème (Golitskiy et MacCracken, 1987).

## 12. Effets à long terme

91. Une perturbation climatique d'une durée d'environ un an après un conflit nucléaire et provoquant une baisse de la température de plusieurs degrés au-dessous de la normale ferait peser une menace supplémentaire sur les écosystèmes naturels et exploités qui auraient survécu aux effets plus graves, mais passagers, des premières semaines.

92. L'intense réchauffement de la partie supérieure du nuage de fumée par le rayonnement solaire risquerait de produire de puissants mouvements verticaux de l'atmosphère qui feraient monter la fumée dans la stratosphère, où elle pourrait s'étendre rapidement vers le sud (Malone *et al.*, 1986). Cette fumée ascendante s'ajouterait à celle qui aurait été directement injectée dans la stratosphère par les panaches de fumée les plus intenses (Cotton, 1985) et par des phénomènes de convection de plus faible envergure (Demchenko et Ginsburg, 1986), ce qui augmenterait la quantité totale de fumée dans la stratosphère [Malone *et al.*, 1986; Ghan *et al.*, (1987 a)]. En cas de dégagement intense de fumée, on estime qu'environ la moitié de la masse initiale de fumée subsisterait dans l'atmosphère après un mois, la quasi-totalité de cette masse se trouvant au-dessus du niveau où elle pourrait être balayée par les précipitations.

/...

93. De même, la diminution du rayonnement solaire atteignant la surface du globe pourrait initialement provoquer un refroidissement moyen à l'échelle hémisphérique d'environ 1 °C par mois de la couche supérieure mixte de l'océan. Ce rythme de refroidissement ralentirait avec la diminution de la quantité de fumée, mais il pourrait entraîner un refroidissement de la couche supérieure de l'océan de plusieurs degrés Celsius par an. Ce refroidissement serait plus prononcé dans l'hémisphère Nord où la fumée serait épaisse. Les modifications des températures océaniques et atmosphériques hâteraient la formation de la glace marine, effet qui a été étudié pour la première fois dans ce contexte par Robock (1984) au moyen d'un modèle climatique du bilan énergétique, et plus récemment au moyen de modèles de circulation générale par Covey (1987), Ganopolsky et Stenchikov (1987), et Ghan et al. (1987 b). Ces études montrent que la formation anticipée de glace marine pourrait se traduire par un refroidissement prolongé de quelques degrés des terres de l'hémisphère Nord et durer au moins jusqu'à la première saison chaude suivant une guerre nucléaire déclenchée au printemps ou en été.

### C. Incertitudes

94. Il y a deux types d'incertitudes. L'un, qui est lié à la nature du conflit nucléaire, est en substance le problème de la stratégie en matière d'objectifs et de la conduite de la guerre : adversaires, choix des cibles, période (saison) de la guerre, puissance explosive totale des armes, types, puissance et nombre des ogives, altitude de l'explosion (au sol, près du sol ou en l'air) et nombreux autres facteurs de ce type.

95. Le deuxième type d'incertitude est de nature scientifique : il découle de l'insuffisance des connaissances relatives aux phénomènes physiques qui régissent la production, le dégagement et l'évolution des aérosols et la dynamique de la circulation atmosphérique à toutes les échelles de déplacement considérées, ainsi que de la capacité limitée des modèles numériques à décrire exactement le comportement de l'atmosphère, notamment dans les conditions perturbées qui résulteraient d'une guerre nucléaire de grande envergure. Il importe de noter que, ces incertitudes une fois résolues, peuvent modifier les effets prévus dans un sens ou dans l'autre.

96. La combinaison de toutes ces incertitudes ne remet cependant pas en cause la validité de la conclusion principale des études scientifiques selon laquelle il est hors de doute qu'un conflit nucléaire à grande échelle déclenché durant l'été dans l'hémisphère Nord et touchant les grands centres urbains et industriels risquerait de provoquer des perturbations climatiques au niveau mondial.

### D. Destruction de l'ozone stratosphérique

97. Du fait qu'elle absorbe le rayonnement solaire ultraviolet, la couche d'ozone constitue une source de chaleur pour la stratosphère et maintient ainsi la tropopause. Toute modification profonde de la couche d'ozone aurait donc un effet sur la circulation générale de l'atmosphère, c'est-à-dire sur le climat et le temps.

98. La couche d'ozone de la stratosphère est essentielle à la vie sur Terre. Elle protège la surface du globe d'une grande partie du rayonnement ultraviolet (UV-B) dangereux pour de nombreux organismes vivants. Des doses élevées d'UV-B peuvent

/...

par exemple nuire à de nombreux végétaux, notamment ceux des écosystèmes aquatiques, faire baisser les réactions immunitaires chez les humains et augmenter le nombre des cancers de la peau. De nombreux animaux et végétaux ont évolué ou se sont adaptés en fonction d'un niveau d'UV-B relativement constant et supporteraient mal une élévation de ce niveau si la couche d'ozone était fortement réduite.

99. Les fortes températures résultant d'une boule de feu nucléaire provoquent une dissociation des particules diatomiques d'oxygène et d'azote. À mesure que les gaz incandescents se refroidissent en s'élevant dans l'atmosphère, les atomes d'oxygène et d'azote se combinent pour former différents oxydes d'azote. Actuellement, on estime qu'une explosion d'une mégatonne produirait environ 5 000 tonnes de ces oxydes.

100. L'un des plus importants est le dioxyde d'azote, qui peut absorber la lumière solaire sur un spectre allant de l'ultraviolet au vert. Les calculs faits en URSS (Izrael, 1984; Kondratyev *et al.*, 1985) donnent à penser que ce phénomène pourrait à lui seul provoquer un refroidissement de plusieurs degrés Celsius, mais cet effet n'a encore été intégré dans aucune simulation générale précise.

101. Les molécules d'oxyde d'azote produites dans la boule de feu se combinent avec l'ozone en une série de réactions chimiques dans lesquelles l'oxyde d'azote agit comme catalyseur, provoquant la rupture de deux molécules d'ozone pour former trois molécules d'oxygène. Cette réaction est lente, de sorte que la teneur en ozone de l'atmosphère atteindrait un minimum après une période allant de quelques mois à un an, et reviendrait à son niveau normal au bout de deux à trois ans. L'ampleur de cette diminution dépendrait de la puissance explosive totale, de l'altitude de l'explosion et de bien d'autres facteurs. Dans les années 70, lorsque les arsenaux nucléaires se composaient essentiellement de bombes à hydrogène ayant une puissance de l'ordre de la mégatonne, les réductions au niveau mondial étaient estimées à environ 50 %. Avec les arsenaux actuels, qui comprennent surtout des ogives plus petites de l'ordre de la kilotonne ou de quelques mégatonnes, on estime que la destruction de l'ozone serait plus limitée.

102. Cependant, le réchauffement de la stratosphère par la présence de la fumée ascendante augmenterait le taux de destruction de l'ozone, de sorte qu'on estime de nouveau à environ 50 % la destruction de la couche d'ozone (Vupputuri, 1986). L'ozone réagirait aussi avec la suie dans un délai d'un an ou plus (Stephens *et al.*, 1988), ce qui provoquerait la destruction de la suie et de l'ozone. Les mouvements de l'atmosphère pourraient en outre jouer un rôle très important dans la préservation de la couche d'ozone; par exemple, si l'on en croit des calculs préliminaires, les mouvements verticaux entraîneraient de grandes quantités d'air troposphérique à faible teneur d'ozone dans la stratosphère où les fortes concentrations d'ozone pourraient être diluées. Dans ce cas, la diminution d'ozone pourrait dépasser les 50 % prévus. Etant donné l'importance que peut revêtir ce processus, de nouvelles études s'imposent d'urgence.

#### E. Autres effets chimiques

103. L'absorption supplémentaire dans le spectre solaire visible par le dioxyde d'azote réduirait aussi la proportion de radiations photosynthétiquement actives qui sont essentielles à la photosynthèse des plantes autotrophes dont dépendent la plupart des écosystèmes ainsi que la totalité de l'agriculture et de la pêche.

/...

104. Bien qu'il soit nécessaire d'approfondir les recherches pour quantifier les effets des oxydes d'azote sur le spectre du rayonnement solaire atteignant la surface du globe, l'augmentation éventuelle du niveau d'UV-B associée à une baisse des radiations photosynthétiquement actives laisse penser à première vue que l'introduction d'oxydes d'azote dans l'atmosphère supérieure pourrait avoir de graves conséquences sur la biosphère.

105. Un certain nombre d'agents chimiques nuisibles pourraient être dégagés par les incendies qui suivraient la destruction des usines chimiques et autres installations industrielles. Ce sont notamment l'oxyde de carbone, l'amiante et tout un ensemble de toxines pyrogènes. Ces substances ont été étudiées récemment par Birks et Stephens (1986) et par l'OMS dans un rapport de 1987, mais les recherches systématiques sur la question ne font que commencer.

### III. EFFETS SUR LES ECOSYSTEMES NATURELS ET L'AGRICULTURE

#### A. Introduction

106. Harwell et Hutchinson (1986) ont soutenu que la destruction directe de l'infrastructure sociale au cours d'une guerre nucléaire généralisée, associée à une modification du climat, provoquerait une famine d'une ampleur sans précédent. Ce n'est qu'en termes très généraux que l'on peut essayer de prédire comment les sociétés réagiraient à la famine, aux épidémies, à la diminution de la productivité économique et à l'effondrement du commerce qui se produiraient peut-être à l'échelle mondiale. Les deux guerres mondiales de ce siècle ont provoqué de terribles pertes en vies humaines et de profondes révolutions sur les plans géopolitique, économique et social, mais elles ne peuvent guère servir de précédent pour évaluer les conséquences d'une guerre nucléaire car ces conflits n'ont pas eu lieu dans le cadre d'un effondrement mondial de l'agriculture et des écosystèmes.

107. L'étude du SCOPE-ENUWAR a accordé une attention particulière aux conséquences directes probables de l'anomalie climatique sur les végétaux, dont l'activité de photosynthèse est à la base de pratiquement tous les écosystèmes, à quelques exceptions près. Elle en a examiné aussi les effets sur les principales espèces et les principaux écosystèmes et biomes. De nombreux processus indirects et subtils revêtent une énorme importance pour l'intégrité de l'écosystème : interactions entre espèces (notamment mutualismes), compétition entre espèces pour les ressources, prédation, parasitisme et maladies.

108. L'étude SCOPE-ENUWAR a fait le bilan des effets sur la biosphère et émis un certain nombre de conclusions générales que l'on rappellera brièvement ici :

a) Le type d'altérations climatiques qui, en toute hypothèse, résulterait d'une guerre nucléaire de grande ampleur pourrait provoquer des dommages importants, étendus et sans précédent aux systèmes écologique et agricole mondiaux;

b) Les écosystèmes terrestres seraient le plus gravement affectés par des variations extrêmes et brusques de température et par les précipitations, et les écosystèmes aquatiques le seraient par une baisse d'intensité de la lumière du soleil (ensoleillement). Une diminution prolongée des précipitations pourrait avoir des effets graves sur les écosystèmes terrestres et d'eau douce;

/...

c) Les conséquences ultimes d'une modification climatique pourraient dépendre de la saison pendant laquelle la guerre éclaterait. Les écosystèmes des régions tempérées seraient très gravement affectés par une guerre éclatant au printemps ou en été, mais moins gravement par un conflit hivernal. Les écosystèmes tropicaux pourraient souffrir de toute anomalie climatique notable;

d) La vulnérabilité d'une espèce varie considérablement au cours de son cycle biologique;

e) Des retombées radioactives réparties sur toute la planète et non immédiates ne constitueraient pas un danger particulier pour les écosystèmes. Des retombées locales suivant immédiatement une attaque nucléaire pourraient être fatales pour des plantes et animaux particulièrement sensibles;

f) Même si les retombées radioactives ne causent pas de dommages directs notables aux écosystèmes aquatiques et terrestres, il peut y avoir une accumulation considérable dans toute la chaîne alimentaire, exposant la population humaine à des doses internes nocives;

g) L'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique dû à des polluants rejetés dans l'atmosphère peut entraîner une augmentation des rayons ultraviolets possédant une activité biologique (UV-B) à des doses nocives sur de vastes étendues géographiques;

h) La diffusion étendue de substances toxiques, en particulier par les courants atmosphériques, les rivières et les cours d'eau, pourrait provoquer une contamination des chaînes alimentaires estuariennes et côtières, conduisant éventuellement à une exposition dangereuse pour l'homme;

i) Les incendies détruiraient de larges étendues forestières au voisinage des objectifs militaires. Une diminution importante des précipitations conjuguée à une augmentation des risques d'incendies pourrait entraîner une destruction considérable des forêts.

109. Il est clair que de nombreux écosystèmes seraient exposés à l'une ou à plusieurs de ces perturbations. Il est possible que certaines de ces conséquences se neutralisent ou s'annulent les unes les autres, mais il est plus vraisemblable encore de prévoir un effet de synergie et des effets qui s'aggravent mutuellement :

a) Les destructions de récoltes dans la période suivant immédiatement l'échange nucléaire peuvent réduire la quantité des semences disponibles pour replanter, surtout celles d'hybrides spécialisés; une baisse de la productivité pendant cette période pourrait réduire encore les quantités de semences disponibles; de mauvaises récoltes se traduiraient par des pertes de précieuses semences; les stocks de semences seraient directement consommés comme des denrées alimentaires, limitant les réserves destinées aux semis; il serait difficile de trouver des variétés cultivées hybrides adaptées à des conditions ambiantes particulières;

/...

b) La disparition d'agriculteurs expérimentés, morts ou invalides, limiterait la base de connaissances spécialisées et d'expérience essentielle pour une agriculture efficace et pour minimiser le risque de mauvaise récolte;

c) La productivité du sol pourrait être réduite par les effets des incendies, de l'érosion résultant de la disparition de la couverture végétale et des modifications du régime hydrologique, du lessivage des éléments nutritifs, de la contamination par les radionucléides et les matières toxiques, de mauvaises pratiques de conservation dues à l'absence d'expérience agricole ou à la nécessité d'obtenir le maximum de productivité en peu de temps;

d) Les cultures pourraient souffrir de l'accroissement du rayonnement ultraviolet provoqué par l'appauvrissement de la couche d'ozone. Si la couche d'ozone était appauvrie de façon notable, elle serait lente à se reconstituer. Dans ce cas, les doses d'UV-B pourraient augmenter pendant une longue période, même si cette augmentation restait faible;

e) Les modifications agricoles et écologiques consécutives à une guerre nucléaire pourraient provoquer une augmentation du nombre d'insectes nuisibles et de plantes adventices alors qu'on manquerait de pesticides et d'herbicides;

f) On ne pourrait disposer de machines et de techniques agricoles, notamment de services et pièces détachées;

g) Les animaux de trait prendraient une place de plus en plus importante dans les techniques agricoles mais leur nombre serait limité car le remplacement de ceux qui auraient péri prendrait du temps, beaucoup ne pourraient être nourris et beaucoup auraient été consommés en une période de pénurie alimentaire aiguë; quant aux bêtes disponibles, elles seraient inégalement réparties et les animaux reproducteurs auraient péri;

h) Une population urbaine sans ressources se répandrait dans les campagnes en quête de nourriture, au détriment des cultures.

#### B. Réactions biologiques générales aux perturbations climatiques

110. Il existe de grandes variations saisonnières de température et de lumière aux latitudes élevées, où beaucoup de plantes et d'animaux possèdent des mécanismes physiologiques et de comportement qui leur permettent de survivre à des périodes de faible intensité lumineuse et de résister aux conséquences du froid et du gel.

111. Si une guerre nucléaire éclatait en hiver, les biotes des latitudes tempérées et septentrionales pourraient résister à une perturbation climatique. Au printemps ou en été, les plantes des zones tempérées pourraient être aussi vulnérables que les espèces des latitudes peu élevées car le processus saisonnier d'acclimatation et de résistance ne peut se déclencher instantanément.

112. La production biologique résulte de la photosynthèse des plantes vertes. Celle-ci dépend notamment de la lumière solaire et serait donc perturbée par toute réduction prolongée de la quantité de lumière atteignant la surface de la Terre et de l'efficacité de l'explosion.

/...

113. Les animaux ont divers moyens de s'adapter à des variations saisonnières extrêmes de la température - acclimatation saisonnière, hibernation ou ajustements de l'horloge physiologique interne - qui ne dépendent pas entièrement de l'environnement extérieur. Cependant, une chute non saisonnière de la température et une réduction de l'ensoleillement pourraient provoquer un choc important et même avoir des conséquences catastrophiques pour certaines espèces. Les animaux gravides, les jeunes animaux et les espèces migratoires seraient particulièrement exposés.

#### C. Réactions des biomes aux perturbations climatiques

114. Les plantes et les animaux subissent et tolèrent une variabilité considérable, mais non illimitée, de leur environnement. Il ressort de l'examen des écosystèmes à l'échelle mondiale que les plantes terrestres comme les animaux sont des biomes assez bien délimités (figure 2), dont la répartition correspond dans une large mesure aux moyennes annuelles de température et de précipitations.

115. La simulation du fonctionnement normal des écosystèmes et de leurs réactions aux perturbations présente des problèmes d'une difficulté comparable à celle de la modélisation du climat et du temps. Des modèles génériques sont actuellement disponibles pour un petit nombre d'écosystèmes naturels ou aménagés. Un certain nombre de modèles ont été utilisés pour simuler la productivité de divers écosystèmes, notamment des prairies et des forêts, dans le cadre de divers scénarios climatiques hypothétiques qui pourraient résulter d'une guerre nucléaire (Harwell, 1984).

116. Le groupe SCOPE-ENUWAR a entrepris une évaluation approfondie des effets sur l'environnement et l'agriculture des perturbations climatiques prévues et est parvenu à la conclusion que la faible tolérance des écosystèmes terrestres des latitudes basses à la variabilité de l'environnement les rend extrêmement vulnérables. Cette constatation a des conséquences majeures : elle signifie que, sur le plan biologique, la possibilité d'une catastrophe ne tient pas seulement à l'amplitude de la chute de température, à la réduction de l'ensoleillement ou à une modification des précipitations mais dépend aussi du degré de résistance de divers biomes à ces conditions difficiles.

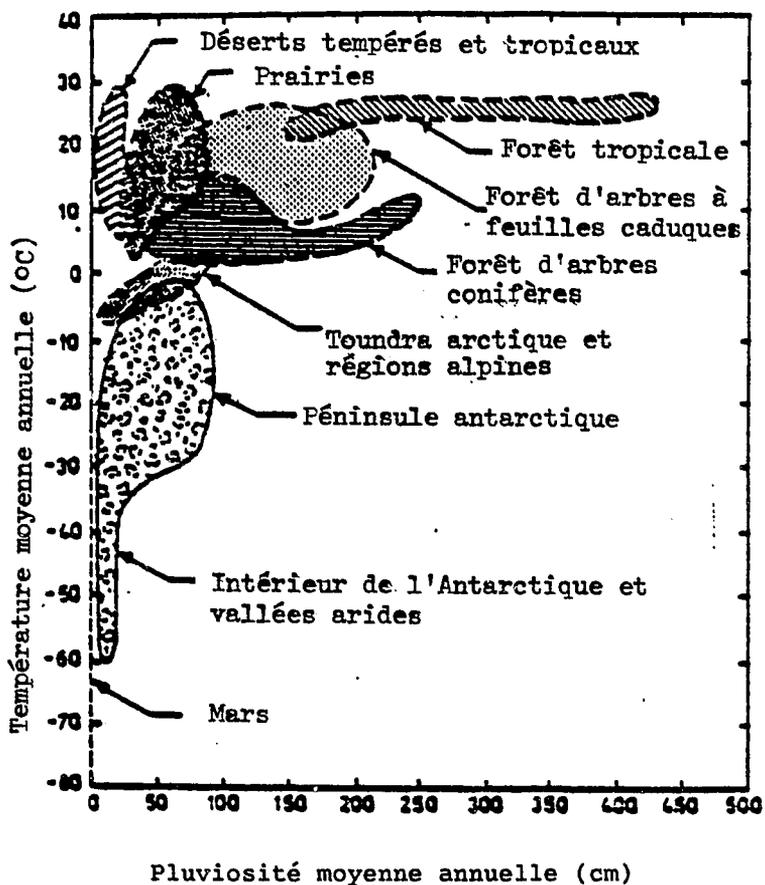
117. L'apparition de clairières étendues dans le couvert forestier, l'augmentation de l'intensité des rayons ultraviolets, la contamination par les isotopes radioactifs et d'autres substances toxiques, les pluies acides et la prolifération des insectes nuisibles et des plantes adventices pourraient aussi dégrader encore les forêts de l'Europe septentrionale et de l'Amérique du Nord. Le retour à la normale serait très lent et dépendrait de l'importance de l'érosion et de l'engorgement du sol (Svirezhev et al., 1985).

#### 1. Biomes de la toundra et des régions alpines

118. Les biomes arctiques de la toundra situés au nord de 65° de latitude N résistent à des températures extrêmement basses allant jusqu'à - 50 °C (et parfois -70 °C) au cours d'un hiver normal. A condition d'être durcis par le froid et d'être entrés dans leur période de dormance, ils seraient relativement insensibles

/...

Figure 2. Température et pluviosité moyennes annuelles dans divers biomes terrestres.



Source : M. A. Harwell et T. C. Hutchinson, Environmental Consequences of Nuclear War, vol. II (Chichester, 1985), p. 62.

à la baisse de température supplémentaire et à la réduction de l'ensoleillement auxquelles on peut s'attendre après une guerre nucléaire, même si le froid persistait jusqu'à l'été suivant. Le comportement des systèmes alpins serait analogue.

119. La situation serait très différente après une attaque lancée en été. Les plantes en période de croissance seraient probablement endommagées ou détruites par l'arrivée brusque de températures inférieures à zéro. Certaines pourraient s'acclimater prématurément au froid hivernal, ce qui, conjugué aux importantes réserves de semences caractéristiques de nombreuses espèces arctiques et boréales, pourrait leur permettre de se régénérer.

120. Les animaux herbivores non hibernants qui s'alimentent de jeunes pousses et les oiseaux seraient les principales victimes et périraient sans doute en nombre élevé.

## 2. Forêts boréales/taïga

121. Une guerre nucléaire dans l'hémisphère Nord mettrait durement à l'épreuve la résistance des écosystèmes situés au-dessous de la limite de végétation des arbres, comme la taïga, les forêts boréales et les forêts mixtes des régions tempérées. Comme les plantes arctiques, beaucoup survivraient à la perturbation climatique que causerait une guerre hivernale à condition d'avoir déjà été endurcies par le froid et de se trouver en état de sommeil végétatif. Des variétés plus méridionales, comme les pins et de nombreux arbustes et plantes herbacées, pourraient succomber au froid. L'étude SCOPE-ENUWAR a estimé que le taux de mortalité pourrait être de l'ordre de 25 à 75 %. Les réserves de semences résistantes au gel caractéristiques des plantes des latitudes moyennes faciliteraient la reprise à condition que l'anomalie climatique ne dure pas trop longtemps.

122. Les conséquences climatiques d'une guerre en été provoqueraient une destruction massive des principales espèces végétales. Un raccourcissement de la période de croissance suffisant pour réduire la productivité entraverait encore davantage leur régénération dans les années ultérieures. L'accumulation d'une grande quantité de bois mort et de déchets végétaux pourrait accroître la vulnérabilité aux incendies et aux insectes nuisibles, augmentant ainsi la possibilité d'une deuxième vague de ravages dans la période suivant la guerre. Plus important encore, les forêts mettraient plusieurs décennies à retrouver toute leur productivité et leur composition en espèces pourrait subir un tel bouleversement que l'écosystème d'origine ne se reconstituerait peut-être jamais.

## 3. Forêts de conifères

123. Les conifères étant particulièrement sensibles aux rayonnements ionisants, de 20 à 30 % des forêts de l'hémisphère Nord pourraient être détruites par les effets directs des explosions nucléaires et les incendies qui en résulteraient. Dans le cas d'une guerre hivernale, environ 80 à 90 % de tous les arbres pourraient survivre pendant un an à des températures anormalement basses. Dans le cas d'une guerre en été, la baisse d'ensoleillement et de température condamnerait la plupart des arbres. Dans les deux cas, des semences capables de germer seraient préservées dans le sol.

/...

#### 4. Forêts d'arbres à feuille caduques

124. Une guerre en été aurait de graves conséquences pour les forêts d'arbres à feuilles caduques de l'hémisphère Nord, car la plupart de ces arbres seraient détruits. Une guerre hivernale causerait des dommages partiels. La reconstitution dépendrait principalement des organes végétatifs de reproduction et non des semences, et le taux de reconstitution pourrait dépendre du degré d'érosion du sol. Il a été estimé qu'en 50 ans, une forêt d'arbres à feuilles caduques endommagée régènerait environ 70 % de sa biomasse d'origine (Svirezhev et al., 1985).

#### 5. Prairies

125. Les steppes et les prairies des régions tempérées de l'hémisphère Nord seraient vulnérables, en particulier à une guerre en été qui ravagerait les plantes et exterminerait la vie animale qui en dépend (organismes présents dans le sol, bétail et prédateurs, qui s'en nourrissent, oiseaux). Les herbages, dont le rythme de régénération est plus rapide que celui des forêts, se reconstitueraient assez rapidement une fois le régime climatique redevenu normal.

#### 6. Déserts et semi-déserts

126. Comme les autres écosystèmes à des latitudes comparables, les semi-déserts froids de l'hémisphère Nord résisteraient aux effets climatiques d'un conflit hivernal. Les déserts chauds ne présentent pas le même type d'adaptation préalable aux basses températures et leur flore et leur faune en souffriraient considérablement. Un conflit en été qui amènerait une diminution de l'ensoleillement et de basses températures provoquerait des dommages sous toutes les latitudes.

#### 7. Biomes tropicaux

127. Quoiqu'elles n'occupent que 11 % des terres de la planète, les forêts tropicales représentent pour 32 % de la production primaire nette, 42 % de la biomasse végétale, 33 % de la biomasse animale et abritent un grand nombre d'espèces végétales et animales (Harwell et Hutchinson, 1986). Ces forêts sont adaptées à des températures, un ensoleillement et une pluviosité élevés. Un froid intense, même de courte durée (il ne serait pas nécessaire qu'il gèle), serait catastrophique pour les plantes et les organismes qui en dépendent. Des incursions occasionnelles d'air polaire dans le bassin de l'Amazonie causent dans les conditions actuelles des dommages étendus à la forêt tropicale humide. La régénération des forêts tropicales humides endommagées pourrait être limitée par la baisse de fertilité et la complexité des mécanismes de reproduction.

128. Les forêts caducifoliées seraient vulnérables, surtout au cours de la saison des pluies, période de croissance active. Les prairies et savannes tropicales seraient plus vulnérables à de basses températures et une faible pluviosité que les prairies et steppes des zones tempérées. Une réduction des moussons d'été aurait de graves conséquences pour ces écosystèmes.

/...

129. Les mangroves qui bordent de nombreux rivages subtropicaux et tropicaux seraient tout aussi vulnérables. Il s'agit là d'écosystèmes uniques qui abritent un grand nombre d'espèces importantes sur les plans écologique et économique. La baisse de température, même faible, qui pourrait résulter d'une guerre nucléaire, risquerait d'entraîner des destructions étendues quelle que soit la saison.

#### 8. Lacs et cours d'eau

130. L'impact sur les écosystèmes d'eau douce dépendrait de l'importance du refroidissement, de la réduction de l'ensoleillement et des modifications de la pluviosité. La dimension des étendues d'eau déterminerait leur aptitude à résister aux changements de température.

131. Même en cas de guerre hivernale, lorsque les lacs septentrionaux sont gelés, l'épaisseur de la glace peut augmenter de telle façon que l'eau gèlerait jusqu'au fond des lacs de faible profondeur, tuant les poissons et autres animaux qui s'y trouvent. Toute prolongation des conditions hivernales, ou une guerre en été, pourrait perturber le cycle normal de développement, la maturation et la reproduction des organismes aquatiques.

#### 9. Systèmes marins

132. Les océans couvrent 71 % de la surface de la terre et une proportion importante de la productivité biologique de la planète y prend place. Leur volume et leur inertie thermique les rendent relativement insensibles à des variations de température à court terme. La réduction de l'ensoleillement et les modifications du spectre des rayonnements affaibliraient la photosynthèse et la productivité primaire du phytoplancton dans les eaux de surface. Cela affecterait les chaînes alimentaires qui en dépendent mais on ne pense pas qu'il y aurait une perte irréversible d'organismes clefs ou que les pêcheries importantes en souffriraient. Les graves conséquences qu'ont eues pour les pêcheries et les écosystèmes marins les variations de la température de la mer provoquées par le courant El Niño en 1983 au large de la côte pacifique de l'Amérique du Sud doivent certainement dissiper toute illusion quant aux effets du climat sur les chaînes alimentaires océaniques.

133. Les écosystèmes marins les plus productifs, du point de vue de la consommation humaine, sont ceux des plateaux continentaux. Les eaux relativement peu profondes seraient sensibles aux fluctuations de température. Des variations du déversement d'eau douce par les rivières, des transports solides et des apports en éléments nutritifs pourraient aussi modifier la qualité de l'eau. Une guerre nucléaire généralisée aurait également pour résultat une augmentation des rejets de radionucléides et de substances toxiques.

134. Dans les régions tropicales et sous-tropicales, la flore et la faune des eaux peu profondes, des récifs de corail en particulier, seraient vulnérables à des fluctuations de la température et à une réduction de l'ensoleillement. Elles souffriraient gravement de l'élévation du volume de sédiments en suspension et de la pollution des eaux.

## 10. Estuaires

135. Les estuaires et les terrains marécageux environnants dont la productivité biologique est particulièrement élevée et dont l'importance est cruciale pour l'économie et la subsistance de l'humanité seraient profondément affectés par les modifications du milieu terrestre. La destruction des écosystèmes terrestres entraînerait l'érosion des sols, élevant le volume des matériaux en suspension et des substances dissoutes (dont la plupart sont toxiques) dans les rivières et finalement dans les estuaires. Ce phénomène pourrait être aggravé par des perturbations climatiques et dévaster les ressources halieutiques des estuaires.

### D. Effets des perturbations climatiques sur les principaux systèmes agricoles

136. En 1987, la population de la planète a dépassé les 5 milliards d'habitants et au taux de croissance actuellement prévu, ce chiffre devrait doubler dans une quarantaine d'années avec un accroissement d'un milliard d'ici 11 ans. Cette population tire presque entièrement sa subsistance de l'agriculture.

137. Parmi les scénarios utilisés pour rendre compte de la modification des climats entraînée par une guerre nucléaire de grande ampleur, même les moins pessimistes prévoient des perturbations des systèmes agricoles mondiaux sans précédent (Harwell et Hutchinson, 1986). Certaines des modifications climatiques les plus graves survenues dans l'histoire ont été liées à des variations des températures moyennes annuelles, assez faibles si on les compare à celles qui pourraient résulter d'une guerre nucléaire de grande ampleur, comme le montre l'exemple ci-dessous :

	<u>Variations approximatives des températures (en degrés Celsius)</u>
Réchauffement à l'Holocène (remontée de la température après la dernière période glaciaire) 8 000-4 000 av. J.-C.	+5
Petites glaciations, XVIIe et XIXe siècles	-1 à -2
Variations au cours des 100 dernières années dans l'hémisphère Nord	± 1
Année sans été en 1816 de notre ère (dans l'hémisphère Nord)	Moins de -5

138. L'étude SCOPE-ENUWAR comprend l'analyse la plus complète des effets climatiques de l'après-guerre nucléaire sur l'agriculture, en partant des scénarios ci-après (Harwell et Hutchinson, 1986) :

a) Phase critique (température) : chute passagère des températures moyennes à zéro ou en-dessous de zéro, combinée à une réduction de la lumière solaire de 1 à 10 % de son intensité normale;

/...

b) Phase chronique (température) : baisse prolongée de la température moyenne de plusieurs degrés en-dessous de la normale, combinée à une réduction de la lumière solaire de 80 à 95 % de son intensité normale;

c) Phase critique/chronique (précipitations), réduction des précipitations de 50 % maximum de la moyenne annuelle normale.

139. La vulnérabilité des systèmes agricoles mondiaux et des principales cultures a été évaluée dans le cadre de ces scénarios. Différentes approches ont été utilisées pour évaluer les niveaux de vulnérabilité, y compris l'étude des précédents historiques, l'analyse statistique, l'étude des rapports physiologiques et les modèles analytiques ou numériques. L'étude a également tenu compte de l'éventuelle pénurie de main-d'oeuvre, d'énergie, d'engrais et autres moyens de production dans les conditions de l'après-guerre.

140. Il ne fait pas de doute que les effets cumulatifs des changements de température sont importants, néanmoins les cultures (et les écosystèmes naturels) sont surtout sensibles aux variations à court terme. Le rendement d'une récolte dépend en partie de la longueur de la période de végétation et de la température et/ou de la pluviosité.

141. Après avoir examiné un certain nombre d'études et à la suite de sa propre analyse des données climatiques, le groupe SCOPE-ENUWAR a conclu qu'en ce qui concerne les latitudes moyennes, une baisse de 1 °C des températures moyennes équivalait à un raccourcissement de 10 à 12 jours de la saison de pousse sans gel (Harwell et Hutchinson, 1986). Pour de nombreuses cultures des zones tempérées, la récolte se fait juste à la fin de la période de végétation, si bien qu'une baisse de température de l'ordre de 5 à 10 °C se prolongeant pendant des semaines ou des mois, entraînerait la perte de la récolte.

142. Il est difficile de prédire les changements de temps qui peuvent résulter des modifications de climat, par exemple la probabilité, l'intensité et la durée de périodes de froid. Certains précédents historiques tendent à confirmer que les années exceptionnellement froides sont également caractérisées par des variations et des fréquences anormalement fortes de périodes de froid qui correspondent aux mauvaises récoltes. Cette relation non linéaire entre valeurs moyennes et variances se trouve également corroborée par les exemples de gelées dévastatrices qui, en 1816, ont ravagé les récoltes en Amérique du Nord et en Europe et les effets du courant côtier El Niño qui furent particulièrement violents en 1983. Ce sont deux exemples d'extrême variabilité climatique correspondant à des changements de température moyenne mondiale de l'ordre de -2 °C maximum dans le premier cas et inférieure à -1 °C dans le second cas (Harwell et Hutchinson, 1986).

143. On peut également établir un parallèle en ce qui concerne les précipitations. Les zones de forte précipitations ont le plus faible taux de variabilité (écart de 10 à 20 % par rapport à la moyenne annuelle). Dans les régions arides, ce taux est plus élevé (écart de plus de 30 %). Les terres agricoles les plus fertiles d'Amérique du Nord, d'Europe et d'Asie se trouvant dans les zones de forte pluviosité, une baisse de 25 à 50 % des précipitations associée à l'accroissement du taux de variabilité qui en résulte, peut compromettre la production agricole et avec elle la base de subsistance de nombreuses populations.

/...

144. En ce qui concerne la phase critique, le groupe SCOPE-ENUWAR (Harwell et Hutchinson, 1986) a conclu que les agressions les plus extrêmes (prévues à partir des modèles climatiques) sont sans précédent dans l'histoire et que l'on ne peut prédire leurs incidences à partir de modèles statistiques de production agricole. On ne peut se faire une idée que par extrapolation de données connues sur la physiologie des plantes. Dans le cas de perturbations climatiques moins extrêmes durant la phase critique et la phase chronique :

- a) La baisse des températures moyennes ralentirait la croissance végétale;
- b) Même si la baisse de température au cours de la période de végétation était faible, des gelées tardives de printemps et des gelées précoces d'automne pourraient endommager les cultures ou ramener la période de végétation en-dessous du seuil critique de maturation;
- c) Une baisse de la température moyenne pourrait être compensée par un allongement de la saison de pousse, ce qui est improbable dans le cadre des scénarios climatiques considérés, notamment pour les régions tempérées et subtropicales;
- d) Il existe des seuils physiologiques pour la survie d'une plante et sa capacité de parvenir à maturation et de produire une récolte. Les incidences de toute baisse de température doivent être évaluées par rapport à ces seuils. Par exemple, une baisse donnée de température à un minimum supérieur au seuil peut n'avoir qu'un effet insignifiant sur la croissance et le rendement; par contre si elle est inférieure à ce seuil, elle peut empêcher la maturation et entraîner la destruction de la récolte;
- e) Les modèles climatiques prédisent les principaux changements (généralement les baisses) des précipitations avec leurs effets catastrophiques éventuels (sécheresses).

## E. Principales cultures vivrières

### 1. Riz

145. Le riz est l'un des principaux aliments de base du monde et joue un rôle crucial dans les économies de plusieurs pays en développement. Près de trois milliards (3 000 millions) de personnes mangent du riz chaque jour et près de 300 millions d'agriculteurs le cultivent selon des méthodes très diverses (riz irrigué, riz non irrigué de montagne et de plaine, riz sauvage et riz aquatique). Près de 50 % de la production mondiale de riz provient de cultures non irriguées.

146. Le riz se cultive dans des conditions climatiques très diverses à des latitudes variant entre 40° S en Argentine centrale et 53° N dans le nord-est de la Chine et dans des régions situées juste en-dessous du niveau de la mer en Inde australe ou à plus de 2 000 mètres d'altitude dans la région subhimalayenne. Les variations climatiques saisonnières et régionales jouent sur la productivité du riz. La température, l'ensoleillement et la pluviosité sont d'importants facteurs qui influent directement sur les récoltes de riz et indirectement aussi par leurs incidences sur les maladies et les attaques d'insectes (Seshu et al., 1987). Dans

les régions tempérées le calendrier de la culture du riz est fonction des températures et dans les régions tropicales il dépend surtout du régime des pluies déterminé par le début et la fin de la mousson. Les températures basses et élevées critiques varient selon le stade de développement et se situent généralement entre 15 et 35 °C. Une pluviosité insuffisante ou excessive peut à tout moment de la croissance causer une destruction partielle ou totale de la récolte. Le rayonnement solaire joue également un rôle des plus importants sur les rendements aux stades de la reproduction et de la maturation.

147. Le riz tolère moins bien les basses températures que la plupart des autres cultures céréalières. Les données concernant la culture du riz au Japon montrent que les baisses périodiques de température en-dessous de 15 °C aux moments critiques du développement peuvent réduire le rendement d'un tiers et qu'il suffirait d'une baisse de la température moyenne de 1 à 2 °C au cours de la période de pousse pour détruire la récolte (Harwell et Hutchinson, 1986). Ces auteurs ont conclu que durant la phase critique qui suivrait une guerre nucléaire "la production de riz serait détruite tout au moins dans l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud risquerait de connaître le même sort".

148. Durant la phase chronique il pourrait y avoir également d'importantes destructions de récolte. Selon la région et la variété de riz, la température critique pour le Japon varie entre 19 et 25,5 °C et les récoltes diminueraient si les températures tombaient en-dessous de ces chiffres, même en l'absence de courtes périodes de basses températures ou d'autres perturbations. Une simulation mise au point pour le nord du Japon a montré qu'une baisse de 2 °C de la température moyenne pendant la saison de végétation réduirait de 70 % la récolte de riz.

149. Des modèles climatiques plus récents indiquent une possibilité de forte réduction des pluies de mousson tant au cours de la phase critique que de la phase chronique consécutives à une guerre nucléaire. Les récoltes irriguées sont sensibles à l'irrégularité des apports d'eau et les réductions des précipitations pourraient avoir de très graves conséquences. Pour ce qui est du riz non irrigué (paddy et cultures de montagne) qui représente environ 50 % de la culture de riz dans le monde, la situation pourrait être désastreuse. De fortes pénuries d'eau compromettraient sérieusement la production et réduiraient la surface des terres se prêtant à la culture non irriguée. Ce phénomène aurait de graves conséquences socio-économiques car les riziculteurs les plus pauvres des pays en développement vivent du riz non irrigué.

## 2. Blé

150. Le blé d'hiver peut résister à des températures allant jusqu'à -50 °C s'il est protégé par la neige. Toutefois, de faibles baisses de la température moyenne ou un raccourcissement de la période de végétation peuvent réduire considérablement le rendement des principales régions septentrionales productrices. Une grande partie de la récolte du Canada, des Etats-Unis, de l'URSS, de l'Europe occidentale et de la Chine serait perdue. Une guerre déclenchée dans le milieu ou la fin de l'été de l'hémisphère Nord pourrait encore permettre une récolte en Inde, en Chine, en Afrique du Nord et aux Etats-Unis mais probablement pas au Canada, en Europe occidentale et en URSS. La période de pousse nécessaire pour que la récolte parvienne à maturation serait allongée dans l'hémisphère Sud (Australie, Amérique du Sud, Afrique australe).

/...

### 3. Maïs

151. Au Canada, aux Etats-Unis, en Europe, en URSS et en Chine, les cultures de maïs seraient exposées à de courtes offensives de froid et pourraient être perdues. Le maïs est cultivé dans des conditions minimales d'humidité et serait extrêmement vulnérable à toute réduction des précipitations notamment en Afrique centrale, en Amérique centrale et en Amérique du Sud. Dans le cas d'une guerre nucléaire déclenchée en été dans l'hémisphère nord, le temps de maturation de la récolte dans l'hémisphère sud (Australie, Amérique du Sud, Afrique australe) se trouverait prolongé.

### 4. Soja

152. Le soja des régions septentrionales tempérées ne pourrait s'accomoder des températures froides et du faible ensoleillement consécutifs à une guerre d'été. Avec une pluviosité suffisante, le soja cultivé à de plus basses latitudes de la zone tempérée survivrait à une guerre d'hiver.

### 5. Elevage

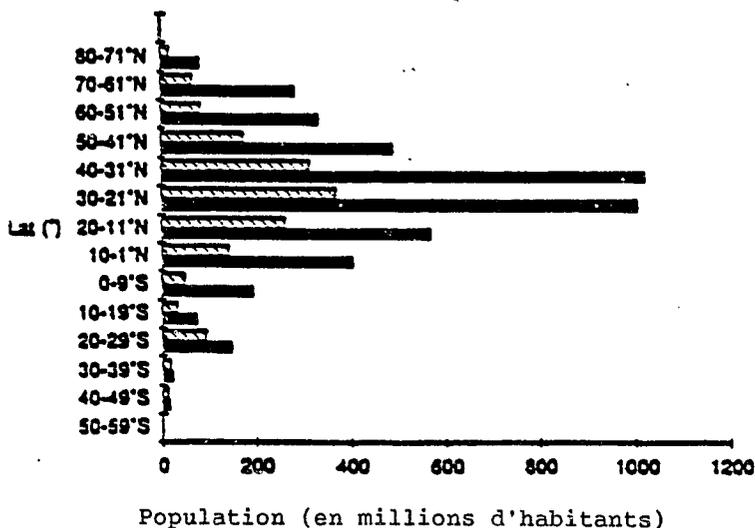
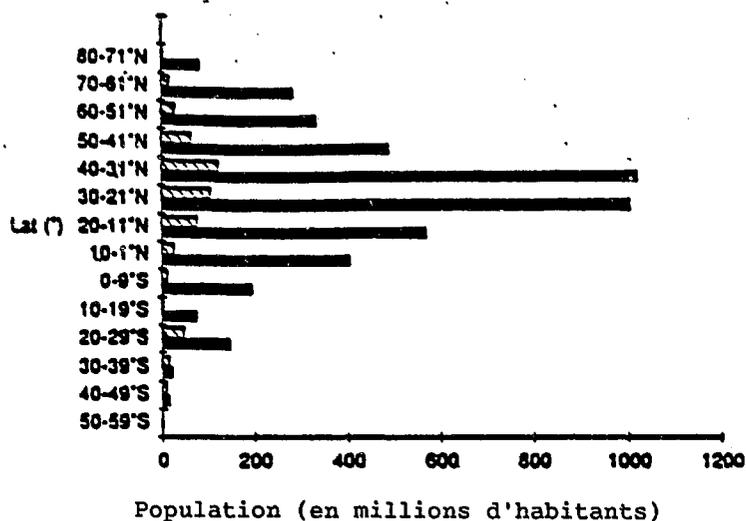
153. Dans l'éventualité d'une guerre d'hiver dans la zone septentrionale tempérée, les animaux élevés en lieux clos ne survivraient pas au manque de chauffage, de fourrage, de ventilation et autres installations auxiliaires. Les jeunes animaux souffriraient du froid, les ruminants adultes résisteraient au froid mais souffriraient du manque d'eau et de fourrage. Dans les zones tropicales, le bétail souffrirait principalement de la faim. Dans l'hémisphère austral, il survivrait en général mais serait exposé à la pénurie de fourrage. La réduction de la lumière solaire pourrait entraver la fécondité des moutons.

### F. Incidences des perturbations climatiques selon les latitudes

154. Il est évident que les perturbations climatiques amenées par une guerre nucléaire et ses conséquences sur la production alimentaire varieront en fonction de l'hémisphère et de la latitude. Ces effets ont été récapitulés par Harwell et Hutchinson (1986) et sont présentés à la figure 3 qui fait ressortir la vulnérabilité de la majorité de la population mondiale à la pénurie alimentaire.

155. L'époque de l'année à laquelle serait déclenché un échange nucléaire et ses répercussions sur les cultures existantes ont été examinés en fonction des variations saisonnières des réserves alimentaires. L'insuffisance relative des réserves alimentaires disponibles sous la plupart des latitudes limiterait les possibilités de faire face à la destruction des cultures vivrières. C'est ce qui ressort à la figure 3 d'une comparaison entre la population survivante dans le cas d'une guerre nucléaire déclenchée à un moment où les réserves alimentaires a) sont réduites à un minimum et b) où elles sont à un niveau médiocre.

Figure 3. Vulnérabilité de la population humaine à des pertes alimentaires.



Note. Les traits pleins représentent la population actuelle, et les lignes hachurées les survivants. Le diagramme du haut illustre les effets d'une perte des récoltes lorsque les stocks sont arrivés à un niveau minimum. Le diagramme du bas se rapporte aux mêmes effets lorsque les stocks se trouvent à un niveau moyen. Les calculs reflètent des hypothèses spécifiques qui surestiment probablement le nombre des survivants.

Source : Harwell et Hutchinson, 1986, p. 480.

/...

G. Effets sur la production agricole

156. Le Groupe SCOPE-ENUWAR a conclu qu'après une guerre nucléaire de grande ampleur, la destruction des récoltes, des réserves alimentaires, des engrais, des pesticides, des carburants, l'effondrement des systèmes de distribution aux niveaux local, régional, national et international et la désorganisation de l'ordre économique mondial et du commerce pourraient entraîner une interruption de la production alimentaire dans l'hémisphère Nord et la majeure partie de l'hémisphère Sud qui pourrait s'étendre sur un an. On a déjà parlé des conséquences climatiques sur l'agriculture dans l'hémisphère Nord où les principales nations productrices seraient soit belligérantes soit touchées par les effets climatiques du conflit.
157. L'agriculture ne se ressentirait pas seulement des conséquences climatiques d'une guerre nucléaire à grande échelle mais également de ses incidences sur l'infrastructure sociale. L'interruption de tout soutien technologique, des approvisionnements en énergie, des transports (tant en ce qui concerne la distribution des denrées alimentaires à l'intérieur des pays que l'importation-exportation) et d'une manière générale des échanges commerciaux mondiaux, dont l'agriculture est un élément important, auraient des répercussions considérables.
158. L'agriculture moderne consomme beaucoup d'énergie. L'utilisation de combustibles fossiles, directement sous forme d'énergie (carburant pour les machines, les installations d'irrigation, les transports) et indirectement (production d'engrais et de pesticides) a triplé et quadruplé la production agricole des pays développés au cours des 45 dernières années, tandis que la production agricole des pays en développement n'a fait que doubler au cours de la même période.
159. Il est certain que les dégâts causés aux champs pétrolifères, aux raffineries, aux industries pétrochimiques et aux installations portuaires affecteraient la production d'énergie et auraient des répercussions sur les transports, l'irrigation, la fabrication d'engrais et de pesticides ainsi que sur la réfrigération. L'agriculture à forte consommation d'énergie serait extrêmement sensible à une interruption des approvisionnements énergétiques. Par contre, les activités agricoles qui n'exigent pas de grosses quantités d'énergie pourraient subsister mais probablement avec une productivité ralentie.
160. Les pays en développement utilisent le tiers de la production mondiale d'engrais, importés des pays développés. Dans de nombreux cas le rendement est directement lié à l'utilisation des engrais et baisserait en conséquence si ceux-ci venaient à manquer. Par exemple, en Chine et en Inde l'agriculture consomme énormément d'engrais même si elle n'est que moyennement tributaire des combustibles fossiles, et plus de la moitié de l'apport d'énergie à l'agriculture d'Amérique centrale se fait sous forme d'engrais.
161. Le Groupe SCOPE-ENUWAR a reconnu que son analyse était optimiste à bien des égards. Il a conclu qu'en provoquant des changements climatiques, une guerre nucléaire de grande ampleur engendrerait la malnutrition et la famine à l'échelle

mondiale. Il a conclu par ailleurs que même en l'absence d'effets climatiques, les nations tributaires des importations souffriraient de graves pénuries étant donné que les pays développés de l'hémisphère Nord sont aussi les principaux exportateurs de produits alimentaires, d'engrais, de pesticides et de technologie agricole vers les pays en développement.

162. La plupart des pays d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Asie ne seraient pas visés mais ils seraient sensibles à un effondrement des systèmes agricoles. En fait, les populations de ces pays seraient presque aussi vulnérables que celles des pays belligérants. Outre celles qui seraient tuées directement durant le conflit, un à quatre milliards de personnes pourraient mourir de faim durant la phase chronique consécutive à la guerre.

#### IV. EFFETS SUR LA SANTE ET LA VIE SOCIO-ECONOMIQUE

##### A. Introduction

163. Les effets directs d'une attaque nucléaire, tels qu'ils ont été observés à Hiroshima et à Nagasaki, ont été extrêmement limités par rapport à ceux qui résulteraient vraisemblablement d'un échange nucléaire de nos jours. Ils seraient dus à l'onde de choc et à l'onde thermique ainsi qu'au rayonnement initial (les rayonnements ionisants émis au cours de la première minute après l'explosion) et aux retombées radioactives à plus long terme. Ils ont été étudiés et résumés récemment dans les rapports de l'OMS et de l'Institute of Medicine des Etats-Unis (OMS 1984, 1987; IOM, 1986), auxquels le lecteur pourra se reporter pour de plus amples informations.

164. Au bilan immédiat d'une guerre nucléaire en morts, blessés et dégâts matériels dans les régions visées, pourrait s'ajouter un dérèglement du climat mondial, avec de graves conséquences pour les écosystèmes naturels et l'agriculture, et partant, l'alimentation. Les effets de la malnutrition et de la famine seraient encore aggravés par l'interruption des communications, des transports et des échanges financiers et commerciaux.

##### B. L'onde de choc

165. Une quantité importante de l'énergie totale libérée dans une explosion nucléaire revêt la forme d'une onde de choc qui se propage dans l'air à vitesse supersonique. Elle est due à la pression qu'engendre la vaporisation des matériaux de la bombe. A mesure que cette onde de choc progresse, son intensité diminue jusqu'à dissipation de l'énergie, c'est-à-dire sur des distances qui, pour une bombe de l'ordre de la magatone, peuvent atteindre des dizaines de kilomètres ou davantage.

166. L'onde de choc cause des blessures directes par une augmentation brutale de la pression de l'air, en projetant les personnes à distance ou en provoquant des dilacérations dans l'appareil respiratoire et une rupture des tympanes. Des blessures peuvent aussi être causées par les immeubles et les structures qui s'effondrent et par divers projectiles.

/...

### C. La chaleur

167. L'onde thermique est engendrée au moment de l'explosion avant même que l'onde de choc ne commence à se propager et dure quelques secondes, vaporisant, calcinant et faisant fondre les objets sur une distance qui dépend de la puissance de l'engin et de l'altitude à laquelle il a explosé. Elle allume des incendies qui peuvent se rejoindre pour former des tornades de feu gigantesques, surtout si l'environnement contient beaucoup de matériaux inflammables, par exemple dans des raffineries de pétrole, des usines de pâte à papier ou de produits chimiques qui se trouvent dans la zone balayée par l'onde thermique.

168. Les gaz chauds produits par l'incendie provoqueraient un afflux d'air à la périphérie, donnant ainsi naissance à des vents violents qui pourraient attiser les flammes et former un front de feu. Les gens seraient tués par la chaleur, le manque d'oxygène, l'oxyde de carbone et les autres substances toxiques.

169. Pour une bombe d'une mégatone explosant à une altitude de 1,5 kilomètre à l'intérieur d'une zone d'environ 350 kilomètres carrés, il n'y aurait pratiquement aucun survivant après le passage de l'onde thermique. Autour de cette zone, un grand nombre de personnes souffriraient de brûlures, plus ou moins étendues et plus ou moins graves. La nature des blessures dépendrait de l'endroit où les victimes se trouvent par rapport à l'explosion et aussi des possibilités de protection offertes par les constructions et le terrain. Le nombre des brûlés serait trois ou quatre fois plus élevé que celui des victimes causées par l'onde de choc, Les brûlures, le souffle, les émanations toxiques et l'asphyxie qui seraient provoqués par les incendies secondaires allumés par l'onde thermique feraient également des victimes supplémentaires.

### D. Rayonnements

#### 1. Rayonnement initial

170. Une explosion nucléaire s'accompagne d'un rayonnement intense qui causerait des ravages parmi les populations exposées. La nature et la gravité des dommages dépendent de la dose d'irradiation absorbée (la quantité d'énergie perdue par les rayonnements quand ils traversent les tissus) et du débit de dose (dose reçue par unité de temps). Par exemple, on peut distinguer cinq types d'effets pour des rayonnements absorbés pendant une courte période :

a) Une phase prodromique qui apparaît quelques minutes après l'irradiation et se caractérise par des symptômes gastro-intestinaux - nausées, vomissements, diarrhée aiguë, déshydratation - et neuromusculaire puis - fatigue, apathie, apatisme, fièvre, maux de tête et hypotension suivis d'un état de choc. La réaction atteint un acuité maximale dans la première demi-heure, puis s'atténue jusqu'à l'apparition du syndrome neurologique ou gastro-intestinal, suivant la dose absorbée;

b) Le syndrome neurologique apparaît lorsque le sujet est exposé à des doses de l'ordre de 100 grays. Les symptômes sont les mêmes que ceux de la phase prodromique, laquelle est suivie par des périodes alternées d'activité motrice ralentie ou très intense, puis une incapacité totale. La mort survient au bout de 48 heures;

/...

c) Le syndrome gastro-intestinal se manifeste pour des doses de 10 à 50 grays; il est dû à la destruction des cellules qui tapissent la paroi intestinale et à la perte des liquides organiques qui en résulte. Le décès survient dans un intervalle de six à neuf jours.

d) Pour des doses de quelques grays, on observe principalement une destruction des cellules de la moëlle osseuse et, corrélativement, une baisse du nombre de lymphocytes, de granulocytes et de thrombocytes, les chiffres minimums étant atteints après une période de 7 à 20 jours, en fonction de la dose reçue. La réduction du nombre des leucocytes provoque un affaiblissement des défenses immunitaires, favorisant ainsi les infections et des troubles de la coagulation qui peuvent déclencher des hémorragies internes. La mort n'est pas inéluctable et les chances de survie sont meilleures si l'on prodigue rapidement des soins intensifs - éventualité improbable après un échange nucléaire à grande échelle;

e) Outre ces syndromes généraux, on peut aussi observer des lésions graves sur les yeux, la peau, la muqueuse buccale, les poumons et les gonades en cas d'irradiation partielle ou totale.

171. La dose à laquelle on attribue un taux de mortalité moyen de 50 % dans les 60 premiers jours suivant l'exposition fournit un point de référence pour mesurer la sensibilité humaine aux rayonnements ionisants. On l'appelle la dose létale 50 % (DL<sub>50</sub>). Les valeurs sont difficiles à obtenir pour la population car il faut rattacher les données recueillies pour un groupe de personnes irradiées, telles que les victimes d'Hiroshima et de Nagasaki, aux estimations concernant les doses d'irradiation correspondantes, lesquelles sont encore très incertaines. Selon les estimations actuellement disponibles (le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants étudie 22 séries de données qui comprennent des victimes de bombardements, d'accidents et des sujets qui ont été exposés à des rayons pour des raisons thérapeutiques) la DL<sub>50</sub> pour la totalité du corps est de l'ordre de trois grays. Dans ces statistiques, les chiffres les plus récents concernant les survivants de l'explosion atomique semblent indiquer que la dose létale médiane après 60 jours pourrait être nettement plus faible. Le rapport de l'OMS de 1987 donne des estimations de 1,5 gray et l'étude récente réalisée dans le cadre du projet SCOPE-ENUWAR (Moscou, mars 1988) de 2,4 grays. Si la sensibilité humaine aux rayonnements ionisants est plus grande qu'on ne le pensait précédemment, le nombre des victimes serait certainement plus élevé que celui suggéré dans les analyses antérieures. Le Comité scientifique devrait publier de nouvelles estimations dans le courant de 1988.

## 2. Retombées radioactives locales

172. Si la boule de feu entre en contact avec le sol, les matériaux projetés dans l'atmosphère se combineront avec les produits radioactifs libérés par les réactions nucléaires et produiront rapidement des retombées dans le voisinage de l'explosion. Durant leur phase de désintégration rapide, les radionucléides contamineront les populations à la fois par des rayonnements pénétrants à des débits de dose élevés et par des rayonnements qui sont arrêtés par la barrière de la peau, mais peuvent tout de même provoquer des brûlures graves et étendues.

/...

173. Comme pour les autres conséquences d'une guerre nucléaires, il est difficile de faire des estimations quantitatives réalistes sur les effets aigus car elles dépendent étroitement des hypothèses adoptées quant à la nature de l'échange nucléaire (nombre, puissance, rapport fission/fusion, altitude des explosions; nature des objectifs et leur situation géographique par rapport aux centres de population - notamment dans les régions industrielles - conditions météorologiques, efficacité des mesures de défense civile, etc.).

### 3. Retombées radioactives régionales et mondiales

174. En dehors de la zone directement dévastée, les populations seraient exposées à des rayonnements provenant des retombées radioactives régionales et mondiales causées par la projection de débris nucléaires dans l'atmosphère. Les doses absorbées seraient faibles et étalées sur une longue période. En l'espace de quelques semaines, les matériaux projetés dans la troposphère se répandraient largement dans les régions situées aux latitudes où l'attaque a eu lieu. L'organisme subirait une irradiation des rayons gamma de sources terrestres et atmosphérique et une irradiation interne due à des radionucléides - comme l'iode-131 et le césium-137 - qui s'accumulent rapidement par le biais de la chaîne alimentaire et sont ingérés avec les aliments contaminés. Une dose externe pourrait également être absorbée lors du dépôt de particules radioactives sur la peau. Il pourrait en résulter de graves brûlures par les rayons bêta.

175. Une quantité importante de débris nucléaires serait projetée dans la stratosphère, où ils provoqueraient des retombées radioactives sur une période de plusieurs années. Par voie de conséquence, les populations humaines seraient exposées à des rayonnements de très faible intensité pendant la durée de décomposition des produits de fission de longue période. Il s'agit du césium-137 (période radioactive : 30 ans) qui provoquerait une irradiation externe et interne de l'ensemble du corps en se désintégrant et du strontium-90 (période radioactive : 29 ans) qui, après être absorbé par ingestion de céréales et de produits laitiers, se fixerait sur le tissu osseux et irradierait les os et les cellules hématopoïétiques. Le carbone 14 formé au cours des explosions nucléaires contaminerait aussi largement les populations situées en dehors de la zone détruite, mais sa période radioactive étant de 5 730 ans, la dose d'irradiation serait encore plus faible et s'étalerait sur des périodes beaucoup plus longues.

176. Si les objectifs visés comprenaient des centrales nucléaires, des usines de retraitement et des sites de stockage des déchets, d'autres substances radioactives - généralement à longue période - seraient libérées dans l'atmosphère, ce qui multiplierait les dangers d'irradiation pendant une longue période et à des distances importantes. Il est cependant impossible de prévoir leur extension comme on a pu le constater après l'accident de Tchernobyl. On observerait des "foyers de radioactivité" locaux qui seraient inhabitables pendant de nombreuses années.

### E. Effets directs à l'échelle de la planète

177. Le rapport de l'OMS de 1987 a examiné un certain nombre de scénarios de guerre nucléaire. L'un d'entre eux montrait qu'une attaque centrée sur l'agglomération londonienne pourrait tuer de 11 à 90 % des habitants pour une puissance comprise entre 1 et 10 mégatonnes. Un autre scénario envisageait un échange nucléaire entre

/...

l'Union soviétique et les Etats-Unis au cours duquel on utiliserait environ 1 000 mégatonnes de chaque côté. Le nombre des morts se situerait entre 10 et 30 millions aux Etats-Unis et entre 20 et 30 millions en Union soviétique. Un troisième scénario envisageait une guerre nucléaire limitée dans les pays européens à forte densité démographique, au cours de laquelle on ferait exploser plus de 600 bombes d'une puissance totale de l'ordre de 100 mégatonnes. Il pourrait y avoir jusqu'à 90 millions de morts. Dans chaque cas, le nombre des blessés graves parmi les survivants serait à peu près égal au nombre de morts.

178. Les taux d'irradiation résultant des retombées régionales et mondiales ne peuvent pas être évalués de façon précise - comme les doses d'irradiation initiales - car ils font intervenir de nombreuses hypothèses sur le déroulement du conflit et les effets qu'il a sur le milieu ambiant. Dans l'hémisphère Nord, la dose cumulative moyenne ne dépasserait probablement pas 0,5 gray sur une très longue période (des milliers d'années pour la principale substance radioactive, le carbone 14), et serait beaucoup plus faible dans l'hémisphère Sud. Les effets des rayonnements à long terme dépendraient de la dose totale reçue et de la durée de l'exposition. Ils comprendraient notamment un risque accru de cancer. A l'heure actuelle, rien ne permet vraiment de penser que les anomalies génétiques se transmettraient aux générations suivantes, mais le perfectionnement des méthodes de diagnostic clinique et statistiques peut conduire à une conclusion différente.

179. Comme les doses moyennes et la mortalité correspondante seraient en principe faibles, la préoccupation concernant les effets des rayonnements à long terme serait certainement reléguée à l'arrière-plan, étant donné le nombre considérable des victimes qui résulteraient directement de l'attaque nucléaire et indirectement de la désorganisation des systèmes de ravitaillement et des systèmes de santé.

#### F. Prise en charge médicale des survivants

180. L'organisation des secours et des soins médicaux pour les survivants constituerait une priorité absolue. L'expérience acquise lors de divers conflits et d'autres catastrophes a permis de dégager plusieurs principes fondamentaux pour les soins de santé : le triage, l'évacuation et les soins d'urgence appropriés.

181. Le triage consiste à répartir les victimes en trois groupes : celles qui ont des chances de survie faibles ou nulles; celles qui ont des chances raisonnables de survie à condition d'être soignées; et celles pour lesquelles le traitement peut être différé. L'évaluation doit être rapide car tout retard équivaldrait à faire passer un plus grand nombre de victimes de la catégorie "survie possible" à la catégorie "survie improbable ou impossible".

182. Dans une guerre nucléaire à grande échelle, le personnel médical et paramédical survivant ne serait pas en mesure d'assurer des soins convenables ou même de fournir les premiers soins pour maintenir les blessés en vie. Il serait extrêmement dangereux de pénétrer dans la zone des retombées radioactives. Les équipes de sauvetage devraient faire l'objet d'une surveillance et, si possible, être décontaminées et il faudrait établir un roulement pour éviter qu'elles soient exposées à des rayonnements excessifs. Dans l'état de chaos qui régnerait alors, cela serait très difficile et peut-être même impossible.

183. La prise en charge des victimes irradiées nécessite des installations hautement spécialisées. Par exemple, à la suite d'un accident qui s'est produit en France en 1978, quatre personnes exposées à des doses d'irradiation très élevées ont été soignées en milieu stérile et ont reçu chacune 50 à 100 transfusions de globules sanguins et de fortes doses d'antimycotiques et d'antibiotiques. Elles ont survécu, mais uniquement grâce à ce traitement. Dans l'accident de Tchernobyl, des soins hospitaliers intensifs ont été prodigués à environ 200 blessés et 135 000 personnes évacuées ont fait l'objet d'une surveillance médicale. Pour cela, il a fallu mobiliser le personnel des services de santé et des ressources à l'échelon national. Même si l'on considère simplement les scénarios de conflit nucléaire limité, qui mettent en jeu 1 % des arsenaux nucléaires existants, le nombre des blessés graves se chifferrait en millions. Les services de santé du monde entier seraient incapables de faire face à une telle situation. Après une attaque nucléaire, le triage serait au mieux extrêmement limité et les secours insuffisants.

184. Dans la période suivant une attaque nucléaire, de nombreux autres problèmes de santé se poseraient. L'eau ferait cruellement défaut et, le plus souvent, elle serait contaminée par la radioactivité et des micro-organismes dangereux. Les précipitations peuvent concentrer les retombées dans certaines localités, y provoquant une contamination radioactive très élevée. L'eau douce pourrait être impropre à la consommation et les produits alimentaires seraient sans doute contaminés. L'irradiation interne due à l'inhalation et/ou à l'ingestion d'isotopes radioactifs s'ajouterait encore à la dose d'irradiation externe.

185. Les infections constituent l'une des principales causes de décès chez les brûlés et les personnes irradiées. Le tableau épidémiologique des maladies serait radicalement modifié à la suite d'une guerre nucléaire par des facteurs tels que l'affaiblissement du système immunitaire, la malnutrition, le manque d'hygiène, la prolifération des insectes et des micro-organismes et la défaillance des services de surveillance épidémiologique et de lutte contre les maladies.

186. L'état psychologique des survivants peut être évalué dans une certaine mesure à partir des données recueillies à Hiroshima et à Nagasaki. Dans chaque cas, une seule bombe a été utilisée, les habitants ignoraient tout des armes nucléaires et les secours sont venus de régions voisines qui n'avaient pas été touchées. Dans un conflit nucléaire à grande échelle, les secours seraient réduits ou inexistantes et la sensibilisation aux effets des armes nucléaires, notamment des rayonnements qu'elles produisent, pourrait influencer considérablement sur le comportement des survivants et freiner les efforts de secours et de relèvement.

187. Les effets cumulés de l'onde de choc et de l'onde thermique, des rayonnements, des émanations toxiques causées par l'oxyde de carbone et des produits chimiques provenant des usines et de la combustion de matières (pyrotoxines) associés à de nombreux autres facteurs produiraient vraisemblablement des lésions neurologiques et des troubles du comportement. Si l'on extrapole les réactions observées lors de catastrophes naturelles, il semble que la majorité des survivants seraient traumatisés et se trouveraient dans un état de dépression, de frayeur et de vulnérabilité extrême jusqu'à ce que la cause du désastre soit écartée.

G. Effets d'une guerre nucléaire sur les populations  
et les systèmes socio-économiques

188. Les effets directs seraient catastrophiques dans les régions visées, qu'il s'agisse des pertes en vies humaines ou des dommages causés à l'infrastructure nécessaire à la vie. A cela il faut ajouter les effets indirects sur le climat mondial et les répercussions correspondantes sur la production alimentaire qui seraient encore aggravés par l'effondrement des relations commerciales et financières internationales et des réseaux mondiaux de communication. La malnutrition et la famine séviraient probablement à grande échelle, à la fois dans les régions visées et dans des régions éloignées du théâtre du conflit.

189. Dans l'optique du présent rapport, les systèmes socio-économiques ont deux fonctions essentielles : la production qui vise à transformer des ressources naturelles ou d'autres intrants pour créer des biens et services qui répondent aux besoins vitaux des populations dans les domaines de l'alimentation, de l'habillement, du logement, de la santé et des activités culturelles; et la consommation de ces biens et services, qui exige des circuits de distribution et de commercialisation. Ces deux fonctions seraient gravement perturbées à la suite d'une guerre nucléaire.

190. L'interdépendance mondiale des systèmes socio-économiques est un facteur primordial à prendre en considération pour évaluer les conséquences d'une guerre nucléaire. Les principales puissances économiques mondiales, où sont concentrés la plupart des centres de décisions économiques importants et les grandes places financières et commerciales, sont situées dans des régions qui seraient directement touchées en cas de conflit nucléaire à grande échelle. Dans un monde qui verrait l'effondrement des institutions financières et du système multilatéral des paiements, l'économie serait gravement perturbée. Les institutions financières sont tributaires des techniques informatiques; or, une guerre nucléaire pourrait entraîner non seulement la destruction du matériel de communication mais encore la perte des logiciels et des données stockées sur support magnétique, ce qui aurait de graves conséquences.

191. La production dépend de la main-d'oeuvre employée par les industries qui transforment les ressources en biens et services économiques et de la productivité du travail. Il est évident qu'une guerre nucléaire entraînerait immédiatement une forte réduction de cette main-d'oeuvre dont les rangs seraient encore éclaircis par les famines associées aux effets indirects à plus long terme.

192. Les dommages importants causés à l'infrastructure diminueraient la capacité de production. Par exemple, l'accès aux ressources naturelles serait limité par la désorganisation des systèmes de transport. Les communications seraient coupées à la suite des ravages provoqués par l'onde de choc et les incendies et à cause des surcharges électriques intenses dues à l'impulsion électromagnétique engendrée par les explosions nucléaires à haute altitude. En outre, la pénurie de biens d'équipement, de machines, de pièces détachées et de services paralyserait largement l'industrie.

/...

193. L'énergie est absolument vitale, non seulement pour la production industrielle, mais aussi pour presque tous les autres aspects du fonctionnement d'une économie complexe. Les installations de production d'énergie - raffineries de pétrole, réservoirs de stockage, centrales thermiques et barrages hydroélectriques - étant géographiquement concentrées, seraient très vulnérables en cas d'attaque; dans bien des cas, elles pourraient être mises hors d'usage ou gravement endommagées par un petit nombre d'ogives nucléaires.

194. La dépendance énergétique de tous les agents économiques, qu'il s'agisse des industries manufacturières ou des institutions du secteur des services, n'est pas simplement liée à la consommation d'énergie mais résulte d'une combinaison d'apports indirects. Par exemple, la production du cuivre métallique, qui est utilisé comme matière première dans l'industrie de la construction électrique, consomme de l'énergie aux stades de la prospection, de l'extraction et du transport du minerai, de la fusion, du raffinage et des autres opérations de traitement, enfin à celui de la distribution du produit raffiné.

195. L'agriculture moderne est aussi une industrie qui exige des apports directs et indirects d'énergie, des techniques, une main-d'oeuvre qualifiée, des matières premières et de nombreux autres intrants, toutes caractéristiques qui la rendent aussi vulnérable aux perturbations économiques qu'aux changements climatiques qui pourraient résulter d'un conflit nucléaire à grande échelle. Plus l'exploitation agricole est intensive, plus le système est vulnérable.

196. Le rapport SCOPE-ENUWAR a mentionné, parmi les conséquences probables d'une guerre nucléaire à grande échelle, une pénurie de vivres et la famine, conclusion qui est appuyée par la présente étude. A cause de la destruction des moyens de transport, il serait difficile d'acheminer les vivres depuis les lieux de récolte ou de stockage jusqu'aux populations affamées. Dans les pays industrialisés, l'approvisionnement alimentaire n'est plus assuré localement, mais par un réseau d'entreprises qui englobe non seulement l'agriculture, l'élevage et la pêche mais aussi la production de machines agricoles, de pesticides, d'engrais, de produits dérivés du pétrole et de semences. Il est fait appel aux techniques les plus perfectionnées - élévateurs à grains, installations d'abattage, entrepôts frigorifiques, moulins à farine, conserveries et autres installations de conditionnement. Le processus englobe également le transport, le stockage, la commercialisation et la distribution des denrées alimentaires par l'intermédiaire de grossistes et de détaillants. Ce système complexe de production et de distribution des produits agricoles s'effondrerait certainement après une guerre nucléaire à grande échelle. Les pays non belligérants connaîtraient probablement des pénuries analogues à cause de l'interruption des importations alimentaires et aussi parce que les perturbations climatiques réduiraient leur propre production agricole. En fait, ils seraient touchés presque autant que les pays directement visés, à cet égard.

197. Les dommages causés à l'économie mondiale et la dislocation des systèmes de communication et de traitement informatique, due notamment à l'impulsion électromagnétique, compromettraient gravement le fonctionnement des institutions financières et l'intégrité du système des échanges internationaux. Cette désintégration des relations économiques internationales et du réseau mondial des transports et des communications aurait des répercussions sur la distribution et la

/...

consommation qui seraient loin d'être limitées aux nations belligérantes. L'absence de nombreux produits manufacturés et le manque de débouchés pour les produits et les matières premières des pays en développement déséquilibreraient gravement par contrecoup leurs économies. A titre indicatif, la proportion des importations de pays non visés provenant des pays qui seraient sans doute directement touchés au cours d'un échange nucléaire à grande échelle serait la suivante pour les produits indiqués :

Produits chimiques	83 %
Denrées alimentaires	74,2 %
Produits des industries mécaniques	72,2 %
Matériel de télécommunication	75 %
Automobiles	83 %
Biens de consommation à l'exception des textiles	88 %
Combustibles	29 %

---

Source : GATT (1986) et Annuaire statistique de l'ONU (1985).

L'impact ne serait donc pas limité aux effets physiques de l'échange nucléaire; il comprendrait certainement des dommages considérables aux infrastructures économiques de nombreux pays géographiquement éloignés du théâtre du conflit.

#### H. Le relèvement?

198. Devant la perspective d'une désintégration sociale d'une telle ampleur, il est impossible de formuler un pronostic fiable sur les possibilités de relèvement et le temps que cela demanderait. Au-delà des considérations économiques, il faudrait examiner les répercussions sur l'ordre social et les structures profondes de la société. Il est probable que dans le cadre de la réorganisation qui prendrait place, les prérogatives établies en ce qui concerne les politiques budgétaires et monétaires, les droits de propriété, l'intégrité des institutions et les autres aspects de la vie sociale seraient modifiés au point d'en être méconnaissables.

199. La phase de relèvement serait plus ou moins longue suivant que les communautés de survivants et les entités nationales seraient ou non capables de rétablir rapidement les communications, les transports et les échanges commerciaux internatiaux et d'exploiter de nouvelles sources d'approvisionnement. Il est clair qu'une vaste proportion des populations survivantes vivrait dans des conditions difficiles pendant de nombreuses années et que la société serait, dans bien des cas, réduite à fonctionner en régime d'autarcie et de subsistance.

/...

200. Le monde a connu dans le passé des changements climatiques et d'autres perturbations qui ont modifié la base des ressources nécessaires aux mécanismes de subsistance. Certaines espèces ont survécu, d'autres non. Les sociétés humaines semblent avoir la faculté de faire face à l'adversité; même dans les pires catastrophes, quand tous les mécanismes d'existence étaient anéantis, certains survivants ont souvent pu émigrer pour établir des communautés dans d'autres régions.

201. Toutefois, la société humaine n'a encore jamais eu à faire face à une catastrophe naturelle comparable à celle qui risque de se produire en cas de conflit nucléaire majeur, avec des répercussions à l'échelle mondiale qui créeraient un effet de synergie comme il a été indiqué plus haut. Pour toutes les catastrophes antérieures, les secours ont été finalement mis sur pied en dehors de la zone sinistrée, ce qui serait impossible dans le contexte d'une guerre nucléaire à grande échelle. Par conséquent, pour autant qu'on puisse en juger, les perspectives de relèvement à long terme seraient incertaines.

202. S'il est impossible de fournir des prévisions détaillées sur les effets d'une guerre nucléaire à grande échelle et les perspectives de relèvement, les données scientifiques actuellement disponibles montrent bien qu'un tel conflit aurait des incidences à long terme sans précédent sur le climat et l'organisation de la vie socio-économique, même si on le compare aux catastrophes naturelles et aux conflits les plus tragiques qu'a connus l'histoire. Un relèvement, s'il avait lieu, serait lent et difficile, et il est extrêmement improbable que le nouvel ordre social établi présenterait une quelconque similitude avec celui qui le précédait ou constituerait un progrès à cet égard.

203. Les études scientifiques et sociales qui ont permis cette réévaluation des effets d'une guerre nucléaire à grande échelle devraient être poursuivies. Elles devraient faire l'objet d'une coordination internationale et leurs conclusions être exposées sans équivoque aux responsables politiques tant dans régions qui seraient probablement engagées dans le conflit que de celles qui resteraient à l'écart - car il semble évident que nul ne pourrait échapper aux conséquences épouvantables d'une guerre nucléaire à grande échelle même si le théâtre du conflit était limité géographiquement à une petite partie de l'hémisphère Nord.

GLOSSAIRE

- Acclimatation**  
(ou acclimatement) Le fait, pour un organisme vivant, de s'adapter à des modifications progressives des paramètres de l'environnement (par exemple, des plantes qui ne survivraient pas à une baisse brutale de température peuvent s'adapter à une réduction progressive de la température moyenne).
- Aérosol** Suspension colloïdale en milieu gazeux de particules solides ou liquides. Ce terme est couramment employé pour désigner les poussières, la fumée et la suie en suspension dans l'air, même lorsque celles-ci sont constituées de particules trop grosses pour répondre à la définition des colloïdes.
- Horloge physiologique** Mécanisme réglant les activités cycliques de nombreux animaux et plantes (par exemple germination, migrations).
- Biomasse** Poids ou volume de matière vivante par unité de surface. Dans le contexte de la présente étude, ensemble de la matière d'origine biologique immédiate (organismes vivants ou morts) susceptible de se consommer à la surface du globe. (Cette définition exclut les combustibles fossiles et le bois d'oeuvre.)
- Biome** Entité biogéographique stable définie par son climat, ses caractéristiques biologiques, son régime hydrologique, etc. (par exemple, désert, forêt ombrophile, toundra, etc.).
- Biosphère** Région de la planète, comprenant une partie de la géosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère, où se trouvent des organismes vivants.
- Pluie noire** Pluie contaminée par la fumée et chargée de particules, observée à Hiroshima et Nagasaki, véhicule des retombées précoces de particules provenant des incendies nucléaires.
- Onde de choc** Onde de pression provoquée par la brusque expansion de gaz consécutive à une explosion, et qui comprime en se propageant les masses d'air environnantes.
- Forêt boréale** Forêt des régions septentrionales, à prédominance de conifères, mais comportant aussi des feuillus, rencontrée au sud de la taïga et au nord de la forêt mixte, de la prairie ou de la steppe.

/...

°C	Degré Celsius ou centigrade.
Oxyde de carbone	Produit de la combustion des matières organiques, composé d'un atome de carbone et d'un atome d'oxygène. Ce gaz, extrêmement toxique, a causé de nombreux décès par asphyxie durant les tempêtes de feu déclenchées par les bombardements de la seconde guerre mondiale.
Cellulose	Principal matériau constitutif de l'enveloppe des cellules végétales, qui représente environ 30 % en poids de la matière végétale.
Degré Celsius ou centigrade	Unité de température (abréviation °C).
Combustion	Réaction chimique rapide entre un corps combustible et de l'oxygène (oxydation), avec dégagement de chaleur.
Convection	Mouvement d'un fluide, par exemple un gaz, dû à une variation de température. Dans l'atmosphère, la convection se manifeste généralement par des courants ascendants dus aux différences de densité résultant de changements de température.
Frappe antiformes	Attaque lancée contre des objectifs militaires, par opposition à une attaque antiformes, dirigée contre des objectifs civils (par exemple, objectifs économiques tels que des centres industriels importants).
Dose (de rayonnements)	Quantité de rayonnements ionisants absorbée par des tissus vivants (voir gray).
Poussière	Particules minérales; la fumée et la suie se distinguent de la poussière par leur nature organique et des propriétés optiques différentes.
Impulsion électromagnétique	Emission intense d'ondes électromagnétiques se situant dans la partie inférieure du spectre des radiofréquences. Le champ électrique et le champ magnétique intenses créés par une explosion nucléaire, surtout si elle est déclenchée à haute altitude, peuvent mettre hors service les installations électriques et électroniques dans un vaste périmètre.

/...

El Niño	Courant chaud orienté vers le sud, circulant au large des côtes de l'Equateur et du Pérou, qui provoque occasionnellement un déplacement de la ceinture des pluies tropicales et entraîne une modification du régime des remontants océaniques suffisante pour perturber gravement les chaînes organiques du milieu marin et la pêche.
ENUWAR	Acronyme désignant une étude réalisée par SCOPE sur les effets de la guerre nucléaire sur l'environnement.
Boule de feu	Sphère incandescente constituée d'une masse gazeuse à très haute température, dont l'expansion provoque une onde de choc; elle se forme sous l'effet de la chaleur intense produite par l'émission de rayons X thermiques quelques millisecondes après le déclenchement d'une explosion nucléaire.
Densité de matériaux combustibles	Quantité de matériaux combustibles dans la zone cible, généralement mesurée en poids par unité de surface.
Modèle de circulation générale	Modèle mathématique de simulation, habituellement construit à l'aide d'ordinateurs de grande puissance, et qui est censé rendre compte de façon exhaustive des courants qui se manifestent dans l'atmosphère terrestre.
Effets génétiques	Modifications (généralement délétères) du génome, qui se transmettent aux lignées ultérieures.
Gray	Unité internationale de mesure des doses de radiations absorbée. 1 gray = 100 rades.
Période (de radioactivité)	Temps spécifique nécessaire pour qu'un radio-élément perde la moitié de sa radioactivité.
Capacité thermique (océanographie)	Proportion ou quantité de chaleur absorbée ou cédée par un système pour un changement de température ambiante donné. Du fait de la forte chaleur spécifique de l'eau et de l'énorme masse d'eau que contiennent les océans, la température de ceux-ci ne se modifie que lentement, même en cas de variations à court terme importantes de l'ensoleillement.
Hydrocarbure	Littéralement : composé contenant seulement du carbone et de l'hydrogène. Ce terme est souvent employé, dans la présente étude, pour désigner le pétrole et les combustibles qui en sont dérivés.

/...

Hydrophobe	Adjectif qualifiant une substance ayant une faible affinité pour l'eau (que l'eau ne "mouille" pas). C'est le cas par exemple des particules de carbone pur que contiennent les fumées.
Rayonnement initial	Neutrons et rayons gamma émis pendant la minute qui suit le déclenchement d'une explosion nucléaire.
Insolation	Temps pendant lequel la lumière solaire atteint la surface de la Terre.
Rayonnements ionisants	Rayonnements électromagnétiques (rayons gamma, rayons X) ou flux de particules (particules alpha, particules bêta, neutrons) ayant pour propriété, lorsqu'ils traversent un corps, de scinder les atomes neutres en paires d'ions.
Kilotonne	Unité de puissance des explosifs nucléaires (équivalent de 1 000 tonnes de TNT).
Chaleur latente	Quantité de chaleur cédée ou absorbée par unité de masse pendant le changement d'état d'un corps; par exemple, quantité de chaleur nécessaire pour faire passer un gramme d'eau de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur).
Dose mortelle	Quantité d'une substance toxique ou quantité de rayonnements nécessaire pour tuer un organisme.
Petite glaciation	Période s'étendant du début du XVIIe siècle au XIXe siècle, durant laquelle on a observé une avance des glaciers de l'hémisphère nord (certains auteurs distinguent au cours de cette période plusieurs petites glaciations successives).
Maturation (botanique)	Stade du développement d'une plante où celle-ci devient apte à se reproduire.
Mégatonne	Unité de puissance des explosifs nucléaires (équivalent d'un million de tonnes de TNT).
Métabolisme	Ensemble des transformations chimiques et physiques qui s'accomplissent dans les tissus vivants, et qui président à la synthèse ou à la dissociation de leurs éléments.
Modèle (de simulation)	Représentation mathématique d'un système complexe (par exemple, résolution par un ordinateur d'une série d'algorithmes représentant plus ou moins complètement les composantes du climat).

/...

Oxydes azotés	Composés (généralement gazeux) d'azote et d'oxygène dont certains se dégagent en grande quantité de la boule de feu et peuvent avoir des effets délétères sur la couche d'ozone.
Densité optique	Degré d'opacité de l'atmosphère.
Oxydation	Dans le contexte de la présente étude, combinaison de n'importe quelle substance avec de l'oxygène.
Ozone	Forme allotropique de l'oxygène dont la molécule comprend trois atomes; ce gaz se forme dans la stratosphère sous l'effet du rayonnement solaire. Il joue un rôle important dans le maintien de l'intégrité de l'atmosphère et dans les courants atmosphériques, et protège la surface terrestre des rayonnements ultraviolets nocifs. La couche d'ozone de la stratosphère peut être détériorée par les gaz provenant des incendies nucléaires, en particulier les oxydes azotés.
Photosynthèse	Synthèse photochimique de glucides par les plantes autotrophes (généralement vertes) à partir de gaz carbonique et d'eau. A quelques exceptions près, ce processus est à la base de toutes les chaînes organiques, et toutes les formes de vie en dépendent.
Rayonnement photosynthétiquement actif	Partie du spectre visible allant de l'orangé au bleu dans laquelle l'activation de la photosynthèse par la lumière est la plus efficace.
Pyrolyse	Décomposition chimique d'une substance sous le seul effet de la chaleur (sans oxydation).
Pyrotoxines	Substances toxiques libérées ou créées par les incendies.
Radionucléide (ou radionuclide)	Nucléide radioactif.
Réflectance (optique)	Pouvoir qu'a une surface de renvoyer un rayon incident dans le milieu d'où il provient.
Rayonnement résiduel	Rayonnement (rayons gamma et flux de particules beta principalement) qui persiste longtemps après une explosion nucléaire et provient des produits de fission et des débris rendus radioactifs par excitation des neutrons.

/...

Dispersion (optique)	Propriété qu'ont des particules en suspension dans un milieu ayant un indice de réfraction différent de diffuser une partie ou la totalité des rayons incidents dans toutes les directions sans transformation d'énergie. La dispersion et l'absorption sont à l'origine de l'atténuation des rayonnements par les particules en suspension dans l'atmosphère.
Enthalpie	En thermodynamique, fonction d'état d'un fluide définie par la somme de son énergie interne et du produit de sa pression par son volume. Les transferts d'enthalpie sont un phénomène atmosphérique important.
Rayonnement à ondes courtes	En météorologie, rayonnement solaire compris dans la partie visible et la partie proche du visible du spectre. Ce terme est imprécis, puisque selon certains auteurs, il désigne des rayonnements dont la longueur d'onde est comprise entre 0,4 et 1 micron, alors que selon d'autres, il s'applique à la partie du spectre correspondant à des longueurs d'ondes allant de 0,29 à 4 microns (5 microns maximum).
Taux (ou facteur) d'émission fumée	Rapport entre le poids d'un combustible et le de poids total de la suie et des particules de fumée qui se dégagent pendant sa combustion. Aux fins de la présente étude, on peut considérer comme représentatif un taux moyen de 5 % (moyenne pondérée).
Injection de fumée	Introduction dans l'atmosphère, à la suite d'une explosion nucléaire, de fumée (ou de poussière et de suie); l'injection de fumée est l'un des paramètres des modèles de simulation des explosions nucléaires.
Densité de fumée	Quantité de fumée dans l'atmosphère par unité de volume.
Rayonnement solaire	Ensemble des rayonnements électromagnétiques émis par le soleil.
Stratosphère	Couche de l'atmosphère qui se trouve au-dessus de la troposphère et en dessous de la mésosphère, dont la limite inférieure se situe entre 10 et 20 kilomètres d'altitude (selon la latitude) et la limite supérieure entre 20 et 25 kilomètres d'altitude. Elle se caractérise par une circulation constante et renferme la couche d'ozone.

Synergie	Action conjuguée de deux phénomènes dont les effets conjoints sont plus grands que la somme de leurs effets individuels.
Taiga	Forêt clairsemée à sol marécageux, où les lichens poussent en abondance, et qui occupe une zone intermédiaire entre la forêt boréale et la toundra.
Inertie thermique (océanographie)	Résistance que les océans opposent aux changements de la température atmosphérique et de la température terrestre, qui tient à l'énorme volume d'eau qu'ils contiennent et à la capacité thermique élevée de l'eau.
Rayonnement thermique	Rayons ultraviolets, rayons visibles et rayons infrarouges émis par la boule de feu. Une explosion à basse altitude déclenche d'abord une émission d'ultraviolets, suivie d'un rayonnement moins intense dans le spectre visible et dans l'infrarouge.
Trinitrotoluène	Explosif classique (abréviation TNT).
Tropopause	Interface entre la troposphère, instable, et la stratosphère, relativement stable.
Troposphère	Région basse de l'atmosphère comprise entre le sol et une altitude de 10 à 20 kilomètres (selon la latitude). La température y décroît avec l'altitude. On y rencontre des vents ascendants ou descendants et de grandes quantités de vapeur d'eau; cette région est le siège des phénomènes météorologiques.
TTAPS	Acronyme forgé à partir des initiales du nom des auteurs d'une importante publication sur les effets climatiques des explosions nucléaires (voir bibliographie, Turco <i>et al</i> , 1983).
Turbidité (météorologie)	Par temps clair, présence dans l'atmosphère de fumée, de poussière et de brume réduisant la visibilité.
Rayonnement ultraviolet	Rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde est inférieure à celle des rayonnements de la partie visible du spectre et supérieure à celle des rayons-X (400-10 nm). Ce rayonnement est à l'origine de nombreuses réactions photochimiques importantes qui se produisent dans l'atmosphère, notamment de la formation d'ozone dans la stratosphère. Le spectre de l'ultraviolet est subdivisé en plusieurs régions, les UV-B (315-280 nm) étant les plus importants du point de vue biologique.

/...

UV, UV-B

Voir rayonnement ultraviolet.

Blé d'hiver

Blé semé en automne, qui germe au printemps de l'année suivante; la culture du blé d'hiver est très répandue en Amérique du Nord et en Asie.

Puissance (d'une arme nucléaire)

Puissance explosive de l'arme considérée, généralement mesurée par la quantité de TNT, en kilotonnes ou mégatonnes, qui serait nécessaire pour libérer la même énergie.

BIBLIOGRAPHIE

- Abakoumova, G. M. et al. 1986. Influence of smoke haze on the transmittance of the solar radiation and natural illumination. Meteorologia i Hydrologia, No. 11, pp. 24-30. (In Russian.)
- Aleksandrov, V. V. and G. M. Stenchikov. 1983. On the modelling of the climatic consequences of the nuclear war. Proceedings of Applied Mathematics, Moscow: Computing Centre of the USSR Academy of Sciences, 1983.
- Aleksandrov, V. V. and G. M. Stenchikov. 1984. Concerning a computational experiment: modelling the climatic consequences of nuclear war. Zhurnal Vycheslitel'noy Matematiki i Matematicheskoy Fiziki (Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics), vol. 24, No. 1, pp. 140-144. (In Russian, English translation pp. 87-90.)
- Andronova, A. V. and P. P. Anikin. 1986. Investigation of aerosol formation upon combustion of various materials and their optical properties. In Combustion of Heterogeneous and Gaseous Systems, pp. 124-127. Materials of the Eighth All-Union Symposium on Combustion and Explosion. Chemical Physics Institute of the USSR Academy of Sciences.
- Birks, J. W. and S. L. Stephens. 1986. Possible toxic environments following a nuclear war. In The Medical Implications of Nuclear War, eds. Solomon, F. and R. Q. Marston, pp. 155-166, National Academy Press, Washington, D.C.: Institute of Medicine. 619 p.
- Brinkman, A. W. and J. McGregor. 1983. Solar radiation in dense Saharan aerosol in Northern Nigeria. Quarterly Journal Royal Meteorological Society, vol. 109, pp. 831-897.
- Budyko, M. I., G. S. Golitsyn and Yu. A. Izrael. 1986. Global Climatic Catastrophes, Leningrad: Hydromet, Publishing House. 160 p.
- Bush, B. H. and R. D. Small. 1987. A note on the ignition of vegetation by nuclear weapons. Combustion Science and Technology, vol. 52, pp. 25-38.
- Cotton, W. R. 1985. Atmospheric convection and nuclear winter. American Scientist, vol. 73, pp. 275-280.
- Covey, C. 1987. Protracted climatic effects of massive smoke injection into the atmosphere. Nature, vol. 325, pp. 701-703.
- Covey, C., S. H. Schneider and S. L. Thompson. 1984. Global atmospheric effects of massive smoke injections from a nuclear war: results from general circulation model simulations. Nature, vol. 308, pp. 21-25.
- Crutzen, P. J. and J. W. Birks. 1982. The atmosphere after nuclear war: twilight at noon. Ambio, vol. 11, pp. 115-125. (Reprinted in The Aftermath: The Human and Ecological Consequences of Nuclear War, ed. Peterson, J., New York: Pantheon Books, 1983. 196 p.)

/...

- Crutzen, P., I. E. Galbally, and C. Brühl. 1984. Atmospheric effects from post-nuclear fires. Climatic Change, vol. 6, pp. 323-364.
- Demchenko, C. F. and A. S. Ginsburg. 1986. Influence of radiation on the vertical development of a turbid atmospheric layer. Meteorology and Hydrology, No. 6, pp. 51-57.
- Dotto, L. 1986. Planet Earth in Jeopardy. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons. 134 p.
- Ehrlich, P. R., J. Harte, M. A. Harwell, P. H. Raven, C. Sagan, G. M. Woodwell, J. Berry, E. S. Ayensu, A. H. Ehrlich, T. Eisner, S. J. Gould, H. D. Grover, R. Herrera, H. A. Mooney, N. Myers, D. Pimentel and J. M. Teal. 1983. Long-term biological consequences of nuclear war. Science, vol. 222, pp. 1293-1300.
- Ehrlich, P. R., C. Sagan, D. Kennedy and W. O. Roberts. 1984. The Cold and the Dark: The World After Nuclear War. New York: W. W. Norton & Company Inc. 229 p. (Also published in some countries as The Nuclear Winter: The World After Nuclear War, London: Sigwick and Jackson Limited, London. 227 p.)
- Ganopolsky, A. N. and G. L. Stenchikov. 1987. Numerical modelling of a nuclear winter: cooling of ocean upper mixed layer and relaxation of climate. (Presented at the SCOPE-ENUWAR Workshop, Bangkok, February 1987.)
- Ghan, S. J., M. C. MacCracken and J. J. Walton. 1987 a. The climatic response to large atmospheric smoke injections: sensitivity studies with a tropospheric general circulation model. Journal of Geophysical Research. (Submitted.)
- Ghan, S. J., M. C. MacCracken and J. J. Walton. 1987 b. Chronic effects of large atmospheric smoke injections: interactions with the ocean mixed layer, sea ice, and ground hydrology. Paper presented at the Defense Nuclear Agency, Global Effects Program Technical Meeting, Santa Barbara, California, 7-9 April 1987.
- Golitsyn, G. S. 1986 a. Climatic consequences of nuclear war. Paper presented at the ICSU Symposium on the Consequences of Nuclear War, Berne, 16 September 1986. Paris: ICSU Press.
- Golitsyn, G. S. 1986 b. Nuclear winter: new developments from the USSR. Environment, vol. 28, pp. 5-44.
- Golitsyn, G. S. and M. C. MacCracken. 1987. Atmospheric and climatic consequences of a major nuclear war: results of recent research. Geneva: World Meteorological Organization, WCP-142.
- Golitsyn, G. S. and N. A. Phillips. 1986. Possible climatic consequences of a major nuclear war. Geneva: World Meteorological Organization, WCP-113.
- Golitsyn, G. S. and A. Kh. Shukurov. 1987. Temperature effects of dust aerosols on the example of dust storms in Tadji' stan. Proceedings of the USSR Academy of Science, 1987.

/...

Gostintsev, Yu. A. 1986. Generation, vertical distribution and climatic effects of soot from nuclear blasts. Paper presented at the Second All-Union Conference of Scientists for Peace and Nuclear War Prevention, Moscow, 27-29 May 1986.

Green, W., T. Cairns and J. Wright. 1987. New Zealand After Nuclear War. New Zealand Planning Council, Wellington, New Zealand. 166 p.

Harwell, M. A. 1984. Nuclear Winter: The Human and Environmental Consequences of Nuclear War. New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo: Springer Verlag. 179 p.

Harwell, M. A. and T. C. Hutchinson. 1986. Environmental Consequences of Nuclear War. Volume II. Ecological and Agricultural Effects, SCOPE 28, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons. 517 p.

Institute of Medicine. 1986. The Medical Implications of Nuclear War. Eds. Solomon, F. and R. Q. Marston, National Academy Press, Washington, D.C.: IOM. 619 p.

Izrael, Yu. A. 1984. Ecology and Control of the State of Environment. Leningrad: Hydromet, Publishing House. 560 p.

Kondratyev, K. Ya. and G. A. Nikolsky. 1986. Possible ecological consequences of nuclear war for atmosphere and climate. Review preprint, Moscow: Centre for International Projects. 48 p.

Kondratyev, K. Ya., O. B. Vasilyev, V. S. Grischechkin. 1971. Concerning the spectral distribution of the radiative flux of heat into the atmosphere. Doklady Acad. Sci. USSR, vol. 198, pp. 322-327.

Malone, R. C., L. H. Auer, G. A. Glatzmaier, M. C. Wood. and O. B. Toon. 1986. Nuclear winter: three-dimensional simulations including interactive transport, scavenging and solar heating of smoke. Journal of Geophysical Research, vol. 91, pp. 1039-1053.

Malone, R. C. 1987. A comparison of Eulerian and Lagrangian methods for tracer transport in a GCM. Paper presented at the Defense Nuclear Agency Global Effects Technical Meeting, 7-9 April 1987, Santa Barbara, California.

Mulholland, G. 1986. Smoke emission. Paper presented at the Defense Nuclear Agency/National Bureau of Standards Workshop on Smoke Emission and Properties, 13-14 November 1986, Gaithersburg, Maryland.

National Research Council. 1975. Long-term Worldwide Effects of Multiple Nuclear Weapons Detonations. Washington, D.C.: National Academy Press. 213 p.

National Research Council. 1985. The Effects on the Atmosphere of a Major Nuclear Exchange. Washington, D.C.: National Academy Press. 193 p.

Patterson, E. M., C. K. McMahon and D. E. Ward. 1986. Absorption properties and graphitic carbon emission factors of forest fire. Geophysics Research Letters, vol. 13, pp. 129-132.

/...

- Penner, J. 1986. Uncertainties in the smoke source term for nuclear winter studies. Nature, vol. 324, pp. 222-226.
- Peterson, J. Ed. 1983. The Aftermath: The Human and Ecological Consequences of Nuclear War. New York: Pantheon Books. 96 p.
- Pittock, A. B. 1987. Nuclear Winter in Australia and New Zealand: Beyond Darkness. South Melbourne: The Macmillan Company of Australia Pty. Ltd. 264 p.
- Pittock, A. B., T. P. Ackerman, P. J. Crutzen, M. C. MacCracken, C. S. Shapiro and R. P. Turco. 1986. Environmental Consequences of Nuclear War, Volume I. Physical and Atmospheric Effects, SCOPE 28, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons. 360 p.
- Robock, A. 1984. Snow and ice feedbacks for prolonged effects of nuclear winter. Nature, vol. 310, pp. 667-670.
- Robock, A. 1988. Cooling from 1987 forest fires. Paper presented at the DNA Global Effects Program Technical Meeting, 19-21 April 1988, Santa Barbara, California.
- Royal Society of Canada. 1985. Nuclear Winter and Associated Effects: A Canadian Appraisal of the Environmental Impact of Nuclear War. Ottawa: Royal Society of Canada. 382 p.
- Schneider, S. H. 1987. Climate modelling. Scientific American, May 1987, pp. 72-80.
- Schneider, S. H. and R. Londer. 1984. The Co-evolution of Climate and Life, San Francisco: Sierra Club Books. 563 p.
- Seshu, D. V., T. Woodhead, D. P. Garrity and L. R. Oldeman. 1987. Production and vulnerability of rice as affected by weather and climate. Paper distributed at the SCOPE-ENUWAR workshop, Geneva, 16-20 November 1987.
- Small, R. D. and B. H. Bush. 1985. Smoke production from nuclear explosions in non-urban areas. Science, vol. 229, pp. 46-469.
- Small, R. D., B. H. Bush and M. A. Dore. 1987. SCOPE Conference paper GE.02.87, Geneva, 1987.
- Small, R. D., B. H. Bush and M. A. Dore. 1988. Initial smoke distribution for nuclear winter calculations. Aerosol Science and Technology (in press).
- Small, R. D. and K. E. Heikes. 1988. Early cloud formation by large area fires. Journal of Applied Meteorology (in press).
- Sokolik, I. N., T. A. Tarasova and E. M. Feigelson. 1986. Optical characteristics of the smoky atmosphere and radiative heating. Meteorologia i Hydrologia, No. 11, pp. 31-36. (In Russian.)

- Stenchikov, G. L. and P. Carl. 1985. Climate consequences of nuclear war: sensitivity to large-scale inhomogeneities in the initial atmospheric pollution. Preprint, GDR Academy of Sciences. 90 p.
- Stenchikov, G. L. 1986. Climatic consequences of nuclear war: numerical experiments with a hydrodynamical climate model. In Climatic and Biological Consequences of Nuclear War, Moscow: Nauka, pp. 66-99.
- Stephens, S. L., J. G. Calvert and J. W. Birks. 1988. Ozone as a sink for atmospheric carbon aerosols: today and following nuclear war. Paper presented at the SCOPE-ENUWAR workshop in Moscow, 21-25 March 1988.
- Svirezhev, Yu. M., G. A. Alexandrov, P. L. Arkhipov, A. D. Armand, N. V. Belotelov, E. A. Denisenko, S. V. Fesenko, V. F. Krapivin, D. O. Logofet, L. L. Ovsyannikov, S. B. Pak, V. P. Pasekov, N. F. Pisarenko, V. N. Razzevaikin, D. A. Sarancha, M. A. Semenov, D. A. Smidt, G. L. Stenchikov, A. M. Tarko, M. A. Vedjushkin, L. P. Vilikova, and A. A. Voinov. 1985. Ecological and Demographic Consequences of a Nuclear War. Moscow: Computing Centre, USSR Academy of Sciences. 282 p.
- Thompson, S. L., V. Ramaswamy and C. Covey. 1987. Atmospheric effects of nuclear war aerosols in General Circulation Model simulations: influence of smoke optical properties. Journal of Geophysical Research, vol. 92, No. D9, pp. 10942-10960.
- Tripoli, G. J. and S. W. Kang. 1987. A numerical simulation of the smoke plume generated by a hypothetical urban fire near San Jose, California. SCOPE-ENUWAR Paper BA.01.87.
- Turco, R. P., O. B. Toon, T. P. Ackerman, J. B. Pollack and C. Sagan. 1983. Nuclear winter: global consequences of multiple nuclear explosions. Science, vol. 222, pp. 1283-1292.
- United Nations. 1981. Comprehensive Study on Nuclear Weapons, New York: United Nations, Sales No. E.81.I.11.
- United Nations. 1985. Climatic effects of nuclear war, including nuclear winter, a compilation. General Assembly document A/40/449 and Corr.1 and 2, New York: United Nations.
- Velikhov, Ye. P. 1985. (Ed.) The Night After: Climatological and Biological Consequences of Nuclear War. Moscow: Mir, 1985.
- Veltishchev, N. N., A. S. Ginsburg, and G. S. Golitsyn. 1987. Comparative analysis of mass "nuclear" and natural forest fires. (Submitted Izvestia Atmos. Oceanic Physics.)
- Vupputuri, R. K. R. 1986. The effect of ozone photochemistry on atmospheric and surface temperature changes due to large atmospheric injections of smoke and NO<sub>x</sub> by a large-scale nuclear war. Atmospheric Environment, vol. 20, pp. 665-680.

World Health Organization. 1984. Effects of Nuclear War on Health and Health Services. Geneva: WHO. 176 p.

World Health Organization. 1987. Effects of Nuclear War on Health and Health Services. Second edition, Geneva: WHO. 179 p.

Woodie, W. L., D. Remetch and R. D. Small. 1984. Battlefield Fires from Tactical Nuclear Weapons. Defense Nuclear Agency, Report DNA-TR-86-235, 15 November 1984.

Xu, Guo-chang, Ghenm, Min-lian and Wu, Guo-Xiant. 1979. On an extraordinarily heavy sandstorm on April 22nd in Gansu. Acta Meteorologia Sinica, vol. 37, pp. 27-35.

Zak, B. 1987. Plume characterization studies of hydrocarbon pool fires. Paper presented at the Defense Nuclear Agency Global Effects Program Meeting, 7-9 April 1987, Santa Barbara, California.

-----