

# **CHRONIQUES de L'ENVIRONNEMENT**

La nature est-elle bonne ?



## **Chronique 6 : Un trou sur l'Antarctique**

**ROGER PAPP**

Professeur honoraire de l'Ecole Centrale de Paris

Conseil National des Experts en Environnement de l'Industrie Chimique  
CNEEIC  
2013

# L'ensemble des Chroniques

- Chronique 1 Le bon vieux temps ?
- Chronique 2 La Nature est- elle bonne ?
- Chronique 3 Les produits naturels sont-ils meilleurs pour la santé ?
- Chronique 4 La peur de l'Apocalypse
- Chronique 5 Histoires de Dioxines
- Chronique 6 Un trou sur l'Antarctique**
- Chronique 7 Histoire de chenilles et autres histoires
- Chronique 8 La dictature des modèles
- Chronique 9 L'Homme va-t-il disparaître ?
- Chronique 10 Greenwashing
- Chronique 11 Le droit gazeux et le principe de précaution
- Chronique 12 Le steak-frites est-il dangereux pour la santé
- Chronique 13 Au feu !!
- Chronique 14 Experts et contre-experts

Liste des sigles utilisés

Table des unités utilisées

© CNEIIC, 2013 tous droits réservés



## Préface

Roger Papp a achevé la rédaction de ces chroniques quelques mois avant son décès en janvier 2012. Co-fondateur du CNEEIC, ingénieur industriel de grande réputation doté également de compétences scientifiques, pédagogiques et humaines reconnues, l'enseignement qu'il a dispensé tant à l'Ecole Centrale de Paris qu'aux sessions de formation du CNEEIC a toujours été basé sur une approche scientifique et technique rigoureuse et exhaustive.

Dans cet ouvrage, il se livre à un exercice délicat et salutaire de passage au crible de la plupart des thématiques environnementales trop souvent sujettes à controverse : les produits bio, la foi absolue dans les modélisations, l'influence des perturbateurs endocriniens sur la fertilité humaine, le rôle et les limites de l'expertise pour n'en citer que quelques uns.

Avec une grande honnêteté intellectuelle, les articles scientifiques publiés sur chaque thème sont passés en revue, commentés, dans le souci de dépasser les présentations trop souvent schématiques des médias ou la recherche du sensationnel.

Il s'apprêtait à publier en 2012 ces chroniques dans un ouvrage qui aurait représenté sa pensée, son opinion, sa contribution d'une qualité scientifique inestimable au débat sur l'environnement. Nous remercions son neveu Stéphane Papp de nous avoir autorisés à publier ces chroniques car c'est un honneur pour le CNEEIC de rendre ainsi hommage à la contribution majeure qu'il a apportée à nos travaux.

Pierre Jomier, Président du Conseil Scientifique,

Michel Monzain, Délégué Général

Jacques de Gerlache, Président du CNEEIC

Mars 2013

*« Il se fait en ce moment une religion de la nature (dans un sens qui est celui de Jean-Jacques Rousseau) et elle est aussi redoutable. »*

**Pierre- Gilles De Gennes, Prix Nobel de physique**

## Chronique 6 : Un trou sur l'Antarctique

C'est la société General Motors et son département « froid » bien connu sous le nom de « Frigidaire » qui est à l'origine de l'invention des CFC : chlorofluorocarbures.

Frigidaire fabriquait des armoires frigorifiques depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle. Mais, les fluides réfrigérants utilisés étaient toxiques : principalement le dioxyde de soufre –un gaz suffoquant et toxique – le chlorure de méthyle et l'ammoniac. L'ammoniac était le choix des installations industrielles, fabrications de glace, industries agro-alimentaires, et de nombreuses installations l'utilisent encore. Mais, de nombreux accidents dus à des fuites d'ammoniac firent plusieurs centaines de morts. L'ammoniac n'est pas seulement toxique, il est aussi susceptible d'exploser en milieu confiné, par mélange à l'air. Or, les industries à l'époque étaient toujours en bâtiments.

Frigidaire souhaitait étendre son marché aux réfrigérateurs domestiques. Il réalisa que les fluides utilisés étaient dangereux, et qu'il convenait d'en trouver de plus sûrs. Ainsi sont nés vers 1930, les CFC, chlorofluorocarbures, et en particulier le CFC 12, de formule CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> : dichlorodifluorométhane. Le succès fut immédiat. En 1930, seulement 15% des américains disposaient d'un réfrigérateur domestique. En 1945, ce pourcentage est de 85 % !

Les CFC ont également permis le conditionnement de l'air des immeubles et des voitures, camions et wagons frigorifiques, les vitrines réfrigérées des commerces d'alimentation, les chambres froides, les congélateurs. On a vu que la chaîne du froid a grandement participé à l'allongement de la durée de vie des hommes, grâce à une meilleure conservation des aliments.

Les applications des CFC ont dépassé le domaine du froid. Ils ont remplacé, partiellement, les hydrocarbures liquéfiés dans les aérosols, du fait de leur non inflammabilité et de leur absence de toxicité. Ils ont aussi servi à fabriquer par expansion des mousses plastiques, utilisées comme isolants, matelas, mousses souples pour sièges, en particulier dans l'automobile. Les CFC étaient l'agent vecteur de la porosité souhaitée. Enfin, certains CFC ont été mis au point comme solvants pour l'industrie électronique (CFC 113). En 1985, la production mondiale des CFC 11 et 12 pour les aérosols, mousses et réfrigération atteignait 800.000 tonnes, les solvants pour l'électronique et la mécanique de précision (CFC 113) 150.000 tonnes. Le HCFC 22, -qui n'est pas un CFC, car il contient un hydrogène dans sa formule- mis au point pour la réfrigération à plus basse température, représentait 100.000 tonnes. Le HCFC 22 est aussi la matière première du polytétrafluoroéthylène (PTFE, connu notamment sous le nom de Téflon®) et cet usage n'est pas compris dans ce chiffre.

Enfin, une famille de CFC bromés avait été développée comme agent extincteur d'ambiance dans les locaux où l'on souhaitait protéger du matériel de grande valeur ou important pour la sécurité (cockpits d'avions, salles d'ordinateurs, salles de contrôle...). Leur seule présence à moins 1% de concentration empêchait la combustion. La production mondiale annuelle était en 1985 de l'ordre de 20.000 tonnes.

Les premières recherches sur l'influence des polluants sur l'ozone stratosphérique datent de 1970. Elles ont été initiées par la crainte, exprimée aux Etats Unis, des dangers possibles des émissions d'oxyde d'azote des avions supersoniques. On était en plein dans la bataille du Concorde ! En particulier, Paul Crutzen, futur Prix Nobel, estimait que les oxydes d'azote des supersoniques et des engrais azotés pouvaient avoir des effets négatifs sur la couche d'ozone.

Mais, en 1974, Franz S. Rowland et Mario J. Molina ont attiré l'attention sur l'influence possible des produits chlorofluorés du type CFC 11 et 12 sur la chimie de la stratosphère. Leurs travaux leur ont valu le prix Nobel de Chimie en 1995.

Les chlorofluorométhane 11 et 12 ont, en effet, des durées de vie dans l'atmosphère respectivement de 45 et 100 ans. Ce temps très long – la plupart des polluants disparaissent sous l'effet des ultraviolets, des ions hydroxyles OH°, de l'ozone, ou des ions NO<sub>3</sub> de l'atmosphère en quelques heures, quelques semaines, voire quelques mois... – permet à ces substances d'entrer dans la stratosphère – qui commence à environ 10 kilomètres au-dessus du sol – où ils vont se photo-dissocier sous l'effet des rayons ultraviolets. Ils génèrent alors un radical chlore Cl° qui peut déplacer l'équilibre destruction-fabrication de l'ozone dans le sens de sa destruction. Une couche d'ozone, mise en évidence en 1930, se situe entre 20 et 30 km de la terre, avec un maximum de concentration vers 25 km. Concentration d'ailleurs très faible, de l'ordre de 8 à 10 molécules sur un million ! Mais qui est très importante par son absorption du rayonnement solaire ultraviolet observée au sol. Un autre ozone est formé dans l'atmosphère, par des réactions photochimiques mettant en jeu l'oxygène de l'air, les oxydes d'azote, et les produits de décomposition des composés organiques volatils rejetés dans l'atmosphère, sous l'effet des radicaux hydroxyles OH° présents dans l'air. A l'inverse de ce qui se passe pour l'ozone stratosphérique, où ce sont les polluants à durée de vie longue qui sont concernés, la concentration en ozone troposphérique est augmentée par l'émission de polluants à vie courte. La valeur moyenne de concentration d'ozone dans l'atmosphère est de 50 parties par milliard (ppb) dans l'hémisphère nord, 25 ppb dans l'hémisphère sud. Un épisode de pollution peut faire monter cette concentration à 200 ppb. Pour compliquer le problème, des échanges d'ozone entre atmosphère et stratosphère existent. Comme l'ozone stratosphérique, l'ozone atmosphérique absorbe les rayons ultraviolets, ce qui fait qu'en moyenne, le rayonnement UV au sol a plutôt tendance à diminuer. Mais l'ozone au sol est responsable de troubles des fonctions pulmonaires, de maladies respiratoires et d'augmentation des crises d'asthme... et c'est un gaz à effet de serre responsable, pour un quart, de l'effet de serre additionnel attribué aux activités humaines !

Bref, ce gaz bénéfique dans la stratosphère, ne l'est pas dans l'atmosphère, où il est considéré comme un polluant !

C'est aux alentours des années 1960 que se met en place un réseau de surveillance de l'atmosphère et de la stratosphère, grâce à des mesures depuis le sol et l'utilisation de ballons sonde. Au début des années 1980, ces observations font état d'une diminution importante de l'ozone dans la zone antarctique. Des chercheurs japonais découvrent le

« trou de l'Antarctique » en 1983, confirmé en 1985 par le British Antarctic Survey, opérateur britannique en Antarctique. En réalité ce trou se forme entre Août et mi-octobre. Le trou dans la couche d'ozone atteint généralement une superficie maximale au cours de la deuxième moitié de septembre. La baisse de concentration de l'ozone peut aller jusqu'à 95% ! En novembre et décembre il se bouche. On explique la disparition de l'ozone par une réaction avec le chlore à la surface de cristaux de glace, sous l'action des rayons ultra-violet. Comme en hiver, il n'y a pas d'UV, le trou se bouche. En outre, au printemps, la circulation atmosphérique isole la zone Antarctique, empêchant l'ozone des régions voisines de pénétrer. La diminution doit donc être évaluée sur la base d'une moyenne, année après année... Lorsque le trou se forme, il couvre tout le continent Antarctique. Et au Nord ? Sur le continent Arctique on constate des phénomènes beaucoup plus limités. Vers le milieu des années 1980, les théories de Rowland et Molina sont modifiées, pour tenir compte d'un élément nouveau : la température de l'air dans le vortex polaire Antarctique descend chaque année à moins 90° C., la température la plus froide observée sur terre. Les réactions chimiques à cette température, et au dessous de moins 78°C, formeraient des radicaux Cl° qui peuvent détruire beaucoup de molécules d'ozone avant de disparaître. Cette théorie explique aussi la différence constatée avec le pôle Nord : il y fait moins froid. Toutefois, depuis le début des années 1990, l'occurrence d'hivers plus froids dans la stratosphère a conduit à des destructions d'ozone de l'ordre de 20 à 35 % suivant les années, sur des surfaces équivalentes à celles de l'hémisphère Sud. (Gérard Mégie, 2001)

En outre, la circulation atmosphérique Arctique est différente, et de l'ozone des zones voisines peut pénétrer dans le pôle. On constate que la dimension du trou de l'Antarctique est très dépendante de la température dans le vortex polaire, et varie beaucoup selon les années.

La concentration du chlore dans l'Antarctique a pratiquement triplé entre 1960 et 1995, pour atteindre le pic de 3,5 ppbv en 1995 (après avoir atteint 2 ppbv en 1980). Et dans le vortex polaire, la concentration en chlore est 30 fois plus élevée que dans la couche adjacente, alors que la concentration d'ozone chute de 2,6 à 1 ppmv. (M.J. Molina, 1996) Le constat est simple : plus de chlore, moins d'ozone. Il faut éliminer les sources de chlore anthropiques. Le « trou d'ozone » a probablement toujours existé, mais le chlore avait des origines naturelles : volcanisme, émissions marines... et la concentration était beaucoup plus faible. On constate cependant, depuis que la teneur en chlore baisse, que l'influence de la température dans le vortex polaire est prépondérante.

Les industriels concernés n'ont pas pris le problème à la légère. Une association est créée, le Fluorocarbon Panel Program (FPP), qui regroupe les producteurs d'Amérique du Nord, d'Europe de l'Ouest et du Japon. Le FPP collabore en particulier avec le Lawrence Livermore Laboratory (USA), laboratoire officiel américain, pour évaluer le pouvoir d'action particulier de chaque substance concernée. Le critère, appelé ODP : Ozone Depletion Potential, permettra en particulier de constater qu'une molécule moins stable comme celle du réfrigérant 22, a une action beaucoup plus faible que celle du CFC 12 auquel on affecte le coefficient 1. Le HCFC 22 recevra le coefficient 0,055. Ce qui signifie

que 100 kilos de HCFC 22 sont équivalents à 5,5 kilos de CFC 12. Le FPP participera également à l'élaboration de modèles d'impact destinés à évaluer les mesures à prendre pour stabiliser la situation.

En 1980, la Communauté Européenne avait déjà demandé aux industriels de limiter l'usage des CFC 11 et 12 dans les aérosols, qui évidemment représentaient un grand usage dispersif, le produit étant directement émis dans l'environnement, à chaque usage de la bombe aérosol. La consommation a donc été « gelée » dans la CEE à sa valeur au 31 Décembre 1980. Elle avait été réduite de 30% entre 1976 et 1980 par des décisions volontaires des fabricants d'aérosols, dès la mise en garde de Rowland et Molina, et par des décisions de l'Environnement Protection Agency, aux Etats Unis.

Les industriels admettaient « plausibles » les scénarios scientifiques expliquant le phénomène de destruction de l'ozone. Malgré l'absence de certitudes, ils admettaient que la durée de vie des produits incriminés, supérieure à 50 ans, nécessitait des mesures de « précaution ».

### **Le protocole de Montréal**

C'est dans cet état d'esprit que fut signé le protocole de Montréal en Septembre 1987, approuvé par l'ensemble des industriels concernés au niveau mondial.

Que prévoyait le protocole de Montréal de 1987 ?

1. le gel des consommations de CFC, sur la base des consommations de 1986, en Juillet 1989
2. une réduction de cette consommation de 20% en Juillet 1993
3. une réduction de 50% en Juillet 1998
4. le développement de substituts, du type HCFC, dont l'ODP était vingt fois plus faible, ou mieux encore sans chlore, en vue d'un remplacement complet des CFC.
5. pour les pays en développement, des délais supplémentaires et des dérogations pour le gel de la consommation au niveau de 1986 étaient prévus.

Le « gel » introduisait une disparité entre les USA, l'Amérique du Nord en général, et la Communauté Européenne, puisque cette dernière consommait en 1986, 0,94 kg de CFC par habitant et par an, contre 1,3 kg aux Etat Unis.

Le problème est actuellement le même avec les émissions de CO<sub>2</sub>, du moins dans l'Union Européenne, le protocole de Kyoto ayant admis de tenir compte des efforts déjà accomplis.

Le Protocole de Montréal de 1987 concernait huit substances : les CFC 11, 12, 113, 114, 115, ainsi que trois halons bromés, utilisés comme extincteurs d'ambiance contre le feu.

Mais les dispositions de ce protocole, acceptées par les industriels, vont être révisées au cours d'une extraordinaire surenchère « politico-écologique ». D'abord à Londres en 1990, puis à Copenhague en 1992, à Vienne en 1995, à Montréal en 1997 et à Pékin en 1999 ! Une telle ardeur dans les amendements était difficilement justifiable par des nouveautés scientifiques, qui, selon le Protocole, devaient les justifier.

A Londres, on ajoute dix CFC à la liste des substances réglementées, ainsi que le tétrachlorure de carbone et le méthylchloroforme. Ce dernier était utilisé comme solvant par les pressings et les teinturiers, et il présentait un ODP de 0,1. A Copenhague, on ajouta à la liste le bromure de méthyle, (ODP de 0,4), utilisé comme pesticide par fumigation dans l'agriculture, avant de s'apercevoir que les substituts envisagés (le phosphore d'hydrogène, l'acide cyanhydrique), étaient beaucoup plus toxiques, ce qui entraînera des dérogations. Mais surtout on ajoute les HCFC dont les ODP varient de 0,001 à 0,11 ! Le Protocole de 1987 avait pourtant retenu ces produits comme des substituts possibles des CFC... Or, l'amendement de Copenhague demandait la réduction de leur production de 35% en 2004, 65% en 2010, 90% en 2015... Les connaissances scientifiques sur la couche d'ozone justifiaient-elles cette surenchère ? Dans les années 2000, l'Organisation Météorologique Mondiale admit que l'effet des HCFC est « plus faible que prévu » !

Au contraire, FS Rowland (futur Prix Nobel en 1995) écrit dans *American Scientist* de Janvier/février 1989 « *la découverte récente que des réactions hétérogènes contribuent à la destruction extensive de l'ozone dans le vortex polaire antarctique lors de l'équinoxe de printemps jette un sérieux doute sur toutes les prédictions actuelles de changement dans la quantité totale d'ozone* ».

L'éruption du volcan Pinatubo en 1991, apporte cependant la preuve d'une destruction importante de l'ozone stratosphérique hors du vortex polaire. Grâce à l'observation des satellites SAGE et UARS, il a été possible d'avoir une vision exhaustive des principales transformations chimiques dues à des éruptions massives de substances, directement dans la stratosphère.

Des quantités importantes de chlore actif sous forme de ClO ont été mesurées aux latitudes moyennes, dans les masses d'air chargées en aérosols. Le Rapport n°31 de l'Académie des Sciences qui rapporte ces observations conclut : « *les observations actuelles montrent qu'effectivement la quantité d'ozone a diminué très rapidement quelques mois après l'éruption du Pinatubo, de l'ordre de 4% aux latitudes moyennes et jusqu'à 6% à l'Equateur* ». Un phénomène similaire avait eu lieu juste après l'éruption du El Chichon (en 1982 – au Mexique).

De nombreux scientifiques pensaient en 1987 que les études et les connaissances étaient insuffisantes entraînant beaucoup d'incertitudes dans les prévisions, ce qui justifiait des mesures « efficaces et proportionnées », selon le principe de précaution. De fait, de nouveaux paramètres déterminants seront découverts par la suite.

L'action devait donc se placer dans le cadre de ce principe, figurant dans la Déclaration de Rio clôturant le sommet de la terre en 1992. Le protocole de Montréal de 1987 avait été établi dans cet esprit.

Pourquoi donc une telle surenchère dès 1990 ? En juin 1990, les représentants de 93 nations sont réunis à Londres, à l'invitation de Madame Margaret Thatcher, qui se découvre une vocation écologiste à cette occasion. Le résultat de cette conférence fut le premier amendement. Mais, le trou d'ozone mobilisait beaucoup, à l'époque, les médias,

et donc les hommes politiques... Même Laurent Fabius, alors Président de l'Assemblée Nationale, organisa son colloque international ! Au total le protocole de Montréal finit par concerner 96 substances, contre 8 à l'origine. Beaucoup de ces substances avaient un ODP (ozone depletion potential) non significatif, compte tenu du niveau de précision dans la détermination de ce critère (moins de 5%). Décisions ni « sages » ni « proportionnées »...

Les baisses de consommation demandées en 1987, furent remplacées par un arrêt complet en 1996, ramené encore à 1995 par un dernier amendement. Quand on réalise qu'il s'agissait de phénomènes estimés sur 50 ans, que pouvait signifier une année ?

### **Une gestion calamiteuse en Europe**

Dernier avatar : la Communauté Européenne imposa la date d'arrêt des fabrications européennes de CFC en 1994, avec un an d'avance sur les Etats Unis, le plus gros producteur et consommateur. Le résultat fut désastreux : l'Europe, qui avait arrêté ses installations de production, fut contrainte d'importer 25.000 tonnes de CFC en 1995 ! Beau succès pour l'environnement et l'emploi ! La suite ne fut pas moins désastreuse : l'URSS, qui avait annoncé qu'elle ne tiendrait pas les objectifs du Protocole de Montréal, augmenta ses capacités de production. Des importations de produits « recyclés » - une possibilité laissée par le protocole – firent leur apparition sur le marché. Inutile de dire qu'ils n'avaient de recyclés que l'étiquette ! Des stocks énormes furent constitués par les industriels et les gros consommateurs pour couvrir leurs besoins de plusieurs années. Ce qui était parfaitement prévisible. On ne remplace pas des produits quasi indispensables du jour au lendemain ! Il s'installa un marché parallèle des CFC sous des noms fantaisistes. Il faudra que les producteurs des substituts inventent des mélanges compatibles avec les installations frigorifiques existantes, pour que ce marché parallèle disparaisse ... en partie seulement. Car l'Organisation Météorologique Mondiale (ONU) estimait encore en 2006 ce marché occulte mondial de CFC à 20000 tonnes par an. La gestion de l'arrêt de la fabrication des CFC par la Commission Européenne en 1994 fut un beau gâchis, et sans émouvoir personne. C'est pourquoi ce ne sera pas le dernier et il y en aura d'autres !

En soutenant le protocole de Montréal de 1987, les industriels avaient fait preuve de naïveté. Ils auraient dû se méfier de la clause de révision : « en cas de données nouvelles », mais ils ne pouvaient imaginer que cette clause serait utilisée sans aucune donnée nouvelle ! Les industriels comptaient sur les H-CFC comme première série de substituts aux CFC 11 et 12. Il y avait quatre H-CFC disponibles, le H-CFC 22, (ODP de 0,055), les H-CFC 141b et 142 b. (ODP de 0,11 et 0,065), et le H-CFC 123 (ODP de 0,022). Ils ont été sacrifiés à Copenhague en 1992. Des délais supplémentaires leur avaient bien été accordés, mais on ne pouvait s'attendre à ce que des industriels utilisateurs modifient leurs fabrications pour utiliser des produits condamnés à court terme. Ces délais ont d'ailleurs encore été réduits de dix ans dans un amendement de 2007. Or, les nouveaux substituts appelés « HFC », pour hydrofluorocarbures , n'étaient pas prêts en 1992 pour toutes les applications.

Leur fabrication est beaucoup plus complexe que celle des CFC. La Société allemande Hoechst fit exploser son installation lors de la mise en service ! Et bien sûr, ces substituts étaient beaucoup plus chers.

Le rôle du premier producteur mondial de CFC ne fut pas très clair : membre du Fluorocarbon Program Panel, la société était en phase avec les autres producteurs jusqu'en 1986. En 1986, à une semaine d'intervalle, il fit deux communications contradictoires à la presse. L'une soutenait le projet de protocole de Montréal, l'autre suggérait l'arrêt de la fabrication des CFC. Pour tenir une promesse faite par le Président de la société américaine qui avait déclaré en 1975 : « S'il y a des preuves crédibles du dommage à l'environnement, nous cesseront de fabriquer des CFC ». Cette promesse avait été rappelée par plusieurs sénateurs américains. Il est clair qu'il y avait deux positions différentes dans la société. L'une d'elles était désireuse de positionner la compagnie comme le meilleur élève de la classe... Peut-être souhaitait-elle aussi profiter d'une certaine avance technique dans la mise au point des substituts ?

Du côté des utilisateurs, des problèmes de sécurité bien prévisibles sont apparus. Les premières victimes furent les fabricants d'aérosols. Les substituts des CFC représentaient un retour en arrière, c'est-à-dire à l'utilisation des hydrocarbures liquéfiés : butane, propane, isobutane. Certains industriels irresponsables proposèrent même des mélanges à base de diméthyléther. Tous ces produits sont inflammables, mais le diméthyléther encore plus que les autres, comme tous les éthers. En 1948, un wagon de diméthyléther stationné au soleil dans l'usine de Ludwigshafen en Allemagne, et probablement surchargé, avait explosé en faisant 209 morts ...

Des installations de conditionnement qui utilisaient habituellement les CFC non inflammables, optèrent pour les hydrocarbures sans modifier leurs installations. Plusieurs subirent des explosions et des incendies. Des substituts chlorofluorés du type HCFC étaient disponibles. Mais, ils étaient beaucoup plus chers et donc peu utilisés.

Le programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), a publié en 2005, 10 ans après l'interdiction des CFC (!) un manuel de sécurité pour le remplacement des CFC par les hydrocarbures dans l'industrie des aérosols, dans lequel on peut lire ; *« les plus grandes usines d'aérosols en Afrique du Sud et en Algérie ont été détruites par le feu. La seconde plus grande usine d'aérosols qui se trouve aux Etats Unis a, elle aussi, entièrement brûlé... La seconde usine de remplissage d'aérosols au Canada a aussi été détruite par le feu » !*

Du côté des mousses plastiques souples, des innovations apparurent : certains isocyanates généraient in situ pendant leur mise en œuvre du gaz carbonique produisant la même porosité que les CFC. Les substituts H-CFC 141 b ou HFC 123 étaient disponibles pour les autres.

Dans le froid industriel on assista à un retour en force de l'ammoniac.

Ainsi la piste de bobsleigh des Jeux Olympiques d'Albertville de 1992 était refroidie par un circuit d'ammoniac, alors que le HCFC 22 aurait été autorisé et plus approprié. Mais les organisateurs redoutaient les critiques que n'aurait pas manqué d'entraîner un

tel choix dans la presse. Problème : la quantité totale d'ammoniac nécessitait une distance de protection vis à vis du public, d'après la réglementation en vigueur. La Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche refusa l'installation et menaçait d'interdire la présence du public au moment des épreuves ! Une solution fut trouvée en entourant les canalisations d'ammoniac d'une enveloppe en béton. Mais en cas de fuite, on pouvait risquer l'explosion, car l'ammoniac n'est pas seulement toxique, il explose aussi en mélange à l'air dans les espaces confinés ! Et cette enveloppe en béton créait un espace confiné. Mauvais choix !

Des hypermarchés installèrent des congélateurs à l'ammoniac dans leurs magasins, avant que les autorités n'interdisent ce moyen. Finalement, des mélanges de substituts furent mis au point par les producteurs qui permettaient de conserver le matériel existant. Mais beaucoup d'installations eurent recours au très prospère marché illicite des CFC.

Les réfrigérateurs domestiques, avec leurs circuits étanches de CFC pouvaient continuer à être utilisés. Pour les appareils neufs, le marché se partagea entre les HFC 134a et l'isobutane inflammable. Ce dernier choix représentait un recul de la sécurité en cas de fuite, avec risque d'explosion, d'autant plus que la mode est aux appareils encastrés, donc confinés. Pour diminuer ce risque, les constructeurs ont réduit considérablement la charge de liquide frigorigène de l'appareil.

Les constructeurs d'automobiles, pour le conditionnement d'air, n'ont pas voulu prendre ce risque. Le réfrigérant HFC 134a est utilisé universellement. Le HFC 134a n'a pas d'effet sur l'ozone, mais c'est un gaz à effet de serre. Des substituts fluorés moins stables (les HFO) sont en développement et probablement prendront le relais dans la prochaine décennie.

La Communauté Européenne, après son fait d'armes de l'arrêt de la production européenne avant les Etats-Unis, qui l'avait obligée à accepter des importations, semblait se soucier tardivement de la sécurité des consommateurs, confrontés au remplacement de produits non inflammables par des hydrocarbures liquéfiés, inflammables et explosifs. Parmi les plus belles perles de cette période qui n'en manque pas, figure, en 1993, la quinzième modification de la directive 76/769 CEE – n° C 306/14 (4) – (JOCE du 12 Novembre 1993), « *relative aux coussins péteurs, aux excréments factices, aux mirlitons, aux boules puantes, aux toiles d'araignée artificielles et autres...* », dont les « considérants » sont intéressants : « *considérant que l'utilisation croissante dans les générateurs d'aérosols de substances inflammables en remplacement des chlorofluorocarbures (CFC), entraîne des risques pour les consommateurs, que ces risques sont particulièrement grands dans le cas de générateurs d'aérosols utilisés à des fins de divertissement et de décoration...* » Bref ! Pas d'hydrocarbures dans les coussins péteurs ! Mais une dérogation : si des essais ont montré que « dans des conditions normales et raisonnablement prévisibles » les objets ne présentent pas de risques d'inflammabilité. Mais le texte ne précise pas ce qui est « normal et raisonnablement prévisible ».

Qui pouvait penser que le consommateur européen n'était pas bien protégé ? Et bien, c'était le cas de la Commission Française de Sécurité des Consommateurs, qui écrit

en 1991 : « *Les Pouvoirs Publics Français et les Institutions Communautaires devraient, préalablement à l'adoption de mesures relatives à la protection de l'environnement, entendre les instances consultatives compétentes en matière de santé et de sécurité des consommateurs. Cette consultation aurait notamment pour objectif de vérifier que les mesures proposées pour assurer la qualité de l'environnement, ne créent pas de risques nouveaux pour la santé et la sécurité des consommateurs.* »

Cette sage remarque peut s'appliquer à de nombreuses mesures prises sans études approfondies dans un but d'écologie, encore aujourd'hui, comme le recyclage de produits d'emballage au contact des aliments et des boissons, alors qu'on ignore ce qu'ils ont contenu et que les procédés de recyclage n'offrent pas de garantie sanitaire équivalente à celle du matériau vierge. Ou de l'interdiction du bromure de méthyle dans l'agriculture, avant que l'on ne s'avise de la plus grande toxicité des substituts, le phosphore d'hydrogène, 50 fois plus toxique, ou l'acide cyanhydrique, 3 fois plus toxique, ce qui entraînera des dérogations. Vingt ans après le protocole de Montréal, un candidat substitut a été trouvé : le fluorure de sulfuryle, homologué en France en 2006. On peut aussi citer l'exemple de la directive européenne RoHS (2002/95/CE) ; « *Restriction de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques* ». Cette directive réclame la suppression de 6 substances : le plomb, le mercure, le cadmium, le chrome 6, les polybromodiphényles, les polybromodiphényléthers, ces derniers étant utilisés comme ignifugeants des plastiques.

L'Union Européenne croule sous les demandes de dérogations pour permettre aux constructeurs d'adapter leurs fabrications en conservant le même degré de fiabilité et de sécurité. Dans le même temps, des lampes « écologiques » contiennent du mercure ! On ne peut mieux illustrer l'indifférence des Institutions Européennes, et en particulier du Parlement, à la sécurité du consommateur lorsque l'écologie est en jeu ! L'Union Européenne a interdit les ampoules électriques à incandescence, pour les remplacer par des lampes qui contiennent du mercure, (les fluorescentes), ou qui émettent des rayonnements électromagnétiques jusqu'à un mètre, et contiennent aussi du mercure (les fluo compactes), ou qui font craindre des dommages aux yeux : *la forte composante bleue du spectre d'émission des LED expose à des risques de lésions maculaires aiguës en cas d'exposition à des luminances forte. (ANSES) !* L' « urgence écologique » ne semble pas compatible avec la sécurité du consommateur !

Autre exemple : On autorise l'irrigation des cultures avec les effluents de stations d'épuration des eaux usées urbaines, lesquelles contiennent des résidus de médicaments et des hormones stéroïdes ! Sans que des normes de concentrations acceptables ne soient établies au préalable ! Ce comportement des Etats entraîne une conséquence grave : ils n'apparaissent plus comme le garant de la sécurité des citoyens, qui s'en remettent à des gourous ou des charlatans pour se protéger !

En 1991, la Commission Française de Sécurité des Consommateurs s'inquiétait de la répétition d'accidents liés aux aérosols : « *L'accident de l'aérosol, qui pulvérisé sous un placard d'évier, s'était enflammé et avait occasionné des brûlures... pose le problème, plus général, de l'utilisation dans des lieux relativement fermés de générateurs d'aérosols*

*dans lesquels ont été supprimés les CFC, à des fins de préservation de la couche d'ozone, ceux-ci étant remplacés par des gaz ou mélanges de gaz inflammables. »*

Elle n'est pas la seule. Les médecins des services des « grands brûlés » dans les hôpitaux s'alarment de l'augmentation massive du nombre d'accidents.

Si l'usage des CFC dans les aérosols, éminemment dispersifs, (les CFC sont directement émis dans l'environnement), ne pouvait être défendu, il eût été sage de se soucier de la modification nécessaire des installations de remplissage des bouteilles, et de l'étiquetage des bouteilles d'aérosols, qui n'a été modifié que plusieurs années après le changement de gaz propulseur. A la décharge des fabricants, il faut rappeler le triste spectacle des interventions musclées « d'écologistes » dans les supermarchés, pour éliminer les aérosols, qui représentaient un véritable boycott avant les interdictions officielles. D'où l'apparition du logo « *protège la couche d'ozone* » avant même d'avertir le consommateur du danger des gaz inflammables !

Bien sûr on n'allait pas écrire : « *protège la couche d'ozone, mais pas le consommateur !* » Et l'usage d'hydrocarbures liquéfiés inflammables dans les réfrigérateurs domestiques (isobutane) est difficile à défendre...

Tous ces problèmes trouvaient leur origine dans l'avalanche d'amendements au protocole de Montréal entre 1990 et 1999. Il faut d'ailleurs noter que si 180 pays ont ratifié le protocole de 1987, leur nombre s'est réduit au fil des amendements. Dans un document publié en août 2003 par l'UNEP (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), on trouve les commentaires suivants : l'organisation constate que les pays développés ont réduit leur consommation de CFC de 900.000 tonnes en 1986 à 7.000 t en 2001, mais estime qu'il existe un commerce illégal de 20.000 tonnes. Les pays en développement n'ont réduit leur consommation (200.000 tonnes en 1986), que de 15% en 2001. Trente pays qui ont ratifié le protocole de 1987 n'ont pas ratifié l'amendement de Copenhague. Onze pays n'ont toujours pas signé le protocole de Montréal, et beaucoup plus ont refusé de signer les amendements. Dans leur rapport au Premier Ministre sur le principe de précaution, Philippe Kourilsky et Geneviève Viney écrivent : « *Peut-être aurait-on dû être plus prudents dans certains aspects de la mise en œuvre du Protocole de Montréal* » (1999). Langage diplomatique...

### **Quand les évaluateurs du PNUE poussent au boycott !**

Dans le rapport de la 23<sup>e</sup> réunion du groupe de travail des parties au protocole de Montréal du 7 au 11 Juillet 2003, on peut lire ce texte assez extraordinaire, relatif au bromure de méthyle : « *Dans certains pays, l'utilisation de bromure de méthyle est prolongée par l'abondance de l'offre de cette substance et par le coût et la longueur du processus d'homologation et d'approbation de solutions et de produits de substitution. L'incapacité des consommateurs d'identifier les produits qui ne sont pas traités au bromure de méthyle diminue les incitations à élaborer, approuver et mettre en œuvre des solutions de rechange. Dans nombre de cas, ces solutions sont disponibles mais elles n'ont pas encore été approuvées par les autorités. Dans la plupart des pays, les consommateurs*

*ne sont pas en mesure d'exercer leurs préférences sur le marché car ils ne peuvent pas déterminer facilement quels sont les produits alimentaires qui ont été traités au bromure de méthyle. Le marché joue un moins grand rôle moteur dans l'élimination de cette substance que cela ne paraît être le cas dans les autres secteurs des SAO.(substances appauvrissant la couche d'ozone) »*

Le bromure de méthyle est un pesticide utilisé par fumigation des sols, des denrées, et des installations pour détruire les insectes, larves, champignons producteurs de mycotoxines, etc. Il a été inscrit à l'annexe du protocole de Montréal en 1997. « Indispensable à l'agriculture des pays du Sud », selon le Sénat français, son interdiction totale a été décidée pour 2005 en Europe. Il faut rappeler que le bromure de méthyle est aussi produit naturellement par les algues marines, ou dans des marais côtiers en zone tropicale, et que les émissions naturelles sont estimées, selon les sources, entre 50.000 et 200.000 tonnes par an, à comparer aux émissions anthropiques, 66.430 tonnes en 1991, 25.540 tonnes en 2003 (chiffres de l'UNEP). Les substituts possibles étaient l'oxyde d'éthylène, cancérigène, interdit en Europe en 1986, l'acide cyanhydrique, ou le phosphore d'hydrogène, plus toxiques : les valeurs limites d'exposition professionnelle sont de 5 ppm pour le bromure de méthyle, 2 ppm pour l'acide cyanhydrique, 0,1 ppm pour le phosphore d'hydrogène. L'acide cyanhydrique est peu utilisé, car il est peu transportable, et il faut le produire sur place par acidification d'un cyanure. Le Zyclon B des chambres à gaz a été développé pour pallier cet inconvénient : l'acide cyanhydrique est adsorbé par du kieselgur dans des boîtes fermées, et il se dégage à l'ouverture. On comprend que le milieu agricole ne se soit pas précipité, ni sur l'acide cyanhydrique, ni sur le phosphore d'hydrogène. L'UNEP a donc fait l'objet de nombreuses demandes de dérogations pour l'emploi du bromure de méthyle. Voilà pourquoi les évaluateurs de l'UNEP regrettaient en 2003 que l'on ne puisse identifier le produit utilisé, ce qui ne permet pas le boycott souhaité, « comme dans les autres secteurs des substances qui appauvrissent la couche d'ozone » ! L'UNEP serait-il un lobby ? Heureusement, un substitut valable, le fluorure de sulfuryle,  $\text{SO}_2\text{F}_2$ , a fait son apparition, près de 20 ans après la décision d'interdiction du bromure de méthyle. Le fluorure de sulfuryle a été autorisé en France en 2006. C'est un gaz à effet de serre. Il a longtemps été utilisé dans la lutte contre les termites. Un autre substitut a été homologué en 2010 par l'Agence américaine EPA pour la fumigation des sols : le diméthylsulfure,  $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_2$ , qui n'est pas un gaz à effet de serre.

### **Enfin, tous ces efforts ont-ils été payants ?**

Il y a une bonne nouvelle, la teneur en chlore de la stratosphère décroît de 0,3 ppb par décennie. Mais le « trou » de l'Antarctique n'est pas diminué pour autant : « aucune amélioration visible. Pire le trou d'ozone observé en 2006, par exemple, a même été un des plus profonds jamais enregistrés » selon Didier Hauglustaine. (Le trou d'ozone est-il rebouché ?, 2007)

Le trou de l'Antarctique s'est agrandi chaque année entre 1970 et 1990, puis s'est relativement stabilisé. En 2000 et 2006, il a connu un maximum, avec 29,9 et 29,6 millions

de kilomètres carrés. En 2008, il atteignait 27 millions de km<sup>2</sup>, en 2010: 22,6, en 2011: 26 . (Paul Newman NASA Goddard Center, Ozone hole watch 2011)<sup>1</sup>. Le rapport publié par la World Meteorological Organization (n°50 : Scientific assessment of ozone depletion. 2006) introduit quelques idées nouvelles. Par exemple : la dimension du trou de l'Antarctique est corrélée à la température : **une température plus basse** dans le vortex polaire entraîne une diminution plus importante de la concentration en ozone, en particulier lorsque la température descend au dessous de moins 78 degrés. Il est noté qu'en 2002, le « trou » de l'Antarctique s'était réduit à cause d'un réchauffement anormal de la stratosphère. Mais pourquoi ces changements de température ? Des scientifiques aujourd'hui mettent en cause la conjugaison de l'effet de serre avec l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique qui perturberait la circulation atmosphérique au-dessus du continent, et l' « oscillation antarctique ». Si cette théorie peut expliquer une tendance au refroidissement, démontrée par l'augmentation de la glace antarctique, contrairement à ce que l'on constate sur le continent Arctique, la rapidité des changements de température du vortex polaire a certainement d'autres causes, qui restent aujourd'hui inconnues. L'effet de serre ayant tendance à refroidir la stratosphère, pourrait donc avoir un impact sur la concentration d'ozone...

**D'autres paramètres** que la teneur en polluants anthropiques interviennent dans le comportement de la couche d'ozone. En particulier, les éruptions volcaniques, la variation des dynamiques naturelles de la stratosphère et de la troposphère, les variations solaires, qui pourraient être responsables de 2 à 3% de l'appauvrissement de la couche d'ozone, les aérosols, constitués de fines particules, qui réfléchissent les rayons solaires, et contribuent au refroidissement. Le rapport indique que des changements dans la dynamique des courants de la stratosphère et de la troposphère sont partiellement responsables de la diminution d'ozone observée dans l'hémisphère Nord entre 1979 et 2000 et de l'augmentation constatée ensuite.

Et les mesures montrent que le **trihydrate d'acide nitrique** (NAT) forme des aérosols qui augmentent la destruction de l'ozone stratosphérique. On retrouve l'idée de Paul Crutzen de 1970. Ce n'est pas une bonne nouvelle pour les avions supersoniques ! Mais EADS a déjà trouvé la parade : les nouveaux avions supersoniques voleront au-dessus de la couche d'ozone !

Le rapport constate aussi que la **dilution de l'air polaire** appauvri en ozone, contribue fortement à la diminution de la couche d'ozone, surtout dans l'hémisphère Sud où le vortex polaire est le plus appauvri.

Il confirme que la couche d'ozone ne diminue plus et que les polluants atmosphériques tels que l'ozone, les oxydes d'azote, l'anhydride sulfureux, peuvent réduire le rayonnement UV au sol jusqu'à 20 % ! Le rapport du PNUE de la 12<sup>e</sup> réunion

---

<sup>1</sup> Si le trou d'ozone sur l'Antarctique pour l'année 2012 fut parmi les plus faibles enregistrés, il semble devoir être plus important à l'automne 2013. Son évolution peut être suivie sur : <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/polar.shtml>

des parties au protocole de Montréal de Septembre 2000 mentionne qu'à Moscou, les aérosols et la nébulosité ont fait baisser le rayonnement UV au sol entre 1960 et 1985. Vers la fin des années 1990, le rayonnement UV est revenu à son niveau de 1960. Ce même rapport indique que l'appauvrissement de la couche d'ozone semble s'être stabilisé, et que des études font apparaître des différences régionales et temporelles de la concentration d'UV au sol en fonction de la présence d'aérosols, de la nébulosité et de la concentration en ozone troposphérique. Le rayonnement UV au sol diminue quant à lui depuis la fin des années 1990.

Enfin, les simulations montrent que le refroidissement de la stratosphère, sous l'effet de l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub>, pourrait hâter le retour de la couche d'ozone à la situation d'avant 1980 !

Les émissions volcaniques d'acide chlorhydrique ont été jusqu'à présent considérées sans impact sur la couche d'ozone. Mais depuis qu'un trou d'ozone est apparu en 2011 sur l'océan Arctique, l'Organisation Météorologique Mondiale met en cause l'acide chlorhydrique, et confirme donc une thèse d'Haroun Tazieff, qui attribuait au volcan Erebus la diminution d'ozone de l'Antarctique. L'OMM écrit : « *les réactions chimiques qui convertissent des gaz réservoirs inoffensifs tels que l'acide chlorhydrique en gaz nocifs pour l'ozone se produisent sur les particules nuageuses et détruisent l'ozone en présence de lumière* » (OMM communiqué de presse n°912 avril 2011). Les gaz réservoirs inoffensifs sont l'acide chlorhydrique et un composé chloronitré ClONO<sub>2</sub> formé par réaction du radical ClO avec les oxydes d'azote, en atmosphère sèche. L'activation du chlore aurait lieu par des réactions hétérogènes sur des cristaux de glace dans des nuages stratosphériques polaires qui se forment lorsque la température est inférieure à moins 78°C, et en présence de rayons ultraviolets. La réaction entre ClONO<sub>2</sub> et HCl forme du chlore actif. Et pour une fois la température de l'Arctique est descendue au dessous de moins 78°C !

Les émissions du Mont Erebus ont été évaluées pendant la période de 1986 à 1991 par spectromètre de corrélation COSPEC qui mesure les émissions de SO<sub>2</sub>. Les quantités d'acide chlorhydrique et d'acide fluorhydrique se déduisent des analyses de gaz. Les émissions sont passées de 6,9 à 13,3 millions de tonnes par an entre 1986 et 1991. G. Zreda-Gostynska, qui publie ces chiffres dans le Journal of Geological Research, conclut : « *le volcan du Mont Erebus représente une contribution importante à la teneur en halogènes dans l'atmosphère de l'Antarctique.* »

En 2009, des scientifiques de la National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA (USA), publient dans la revue Science un article qui rappelle la nocivité du protoxyde d'azote pour la couche d'ozone stratosphérique. Le protoxyde d'azote qui atteint la stratosphère se transforme en NO lequel est destructeur d'ozone. Actuellement les radicaux Cl et ClO réagissent avec les oxydes d'azote et limitent la destruction d'ozone. Mais l'augmentation des émissions anthropiques de protoxyde d'azote et la diminution des concentrations en chlore de la stratosphère vont faire que le protoxyde d'azote va devenir le risque principal de destruction de la couche d'ozone au cours du siècle, selon ces chercheurs. (A.R. Ravishankara et al 2009)

« On prend, aujourd’hui, des régulations politiques dures, même quand la science est molle et incertaine. » (Jérôme Ravetz, philosophe des Sciences). Aucune des connaissances nouvelles ne remet en cause les risques présentés par les CFC, mais elles auraient justifié un calendrier moins précipité et plus soucieux des adaptations nécessaires, en particulier pour la protection des consommateurs.

On prend surtout des décisions de « communication » sous la pression de médias qui relaient les opinions les plus catastrophistes, sans critique ni perspective. Notre monde est ainsi gouverné de crise en crise. Curieuse façon de gérer les problèmes ! Les leçons du Protocole de Montréal n’ont pas été retenues : les mêmes comportements s’observent aujourd’hui pour le changement climatique.

On remarquera que dès que les CFC et les HCFC ont été condamnés, le silence des médias et des écologistes sur le sujet est devenu sidéral ! L’affaire était classée, peu importaient les résultats !

Ce n’est pas la bonne méthode pour appliquer le principe de précaution, qui pourtant devra servir encore dans d’autres causes ...

oooooooooooo

## **Références de la Chronique 6 : Un trou sur l'Antarctique**

- Académie des Sciences (1994). L'effet de serre. Rapport n°31. Ed. Lavoisier
- Commission de la Sécurité des Consommateurs (1991) 7° rapport au Président de la République et au Parlement
- Communauté Européenne 15 ème modification de la directive 76/769 CEE n° C 306/14 JOCE du 12 Nov 1993
- Hauglustaine Didier (2007) Le trou d'ozone est-il rebouché ? Éd. le Pommier
- Kourilsky P. et G.Viney (1999) Rapport au Premier Ministre sur le principe de précaution
- Mégie Gérard (1992) Stratosphère et couche d'ozone. Masson
- Mégie Gérard (2001) L'ozone atmosphérique et son évolution. Annales des Mines Avril 2001, 31-42
- Molina Mario (1996) Role of chlorine in stratospheric chemistry. Pure and applied chemistry Vol.68 N°9 Sept. 1996 1749-1755
- Newman Paul (2010) The Ozone hole now and in the future, and how it might interact with climate change. NASA Goddard Space Flight Center
- Ozone watch Web 2011
- Papp R. (1987) les chlorofluorocarbures et l'ozone stratosphérique. Colloque ACADI. La maîtrise des risques globaux sur l'Environnement
- PNUE (2005) Manuel de sécurité. Aspects techniques des conditions d'inflammation des gaz à base d'hydrocarbures. Publication des Nations Unies ISBN 92-807-2603-X
- PNUE (2000) Rapport de la 12è réunion des parties au protocole de Montréal. UNEP/OzL.Pro/12/INF 1
- Ravishankara A.R. et al (2009) Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) the dominant ozone depleting substance emitted in the 21è century. Science Vol 326, n°5949, 123-125
- Rowland F.S. et Mario J. Molina (1975) chlorofluoromethanes in the Environment . Review of Geophysics and Space Physics. vol. 12 n°1
- Rowland F.S. – (1989) Chlorofluorocarbons and the depletion of stratospheric Ozone – American Scientist vol. 77 n° 1-2 p. 36-45
- United Nations Environmental Program (2003) Basic facts and data on the science and politics of ozone Protection
- World Meteorological Organization (2006) – Global ozone research and monitoring project. Scientific assessment of ozone depletion. Report n°50
- Zreda-Gostynska G. et al (1993) Chlorine, fluorine and sulfur emissions from the Mount Erebus and estimated contribution to the antarctic atmosphere. Geophysical research letter, vol 20, N°18, 1959-1962

## Liste des sigles utilisés dans ce document

- ADEME** Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'énergie
- AESN** Agence de l'eau Seine Normandie
- AFSSA** Agence française de sécurité sanitaire des aliments
- AFSSAPS**, Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé
- AFSSET** Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail,
- AIRPARIF** Organisme de surveillance de la qualité de l'air en Ile de France
- ANSES** Agence Nationale de sécurité sanitaire, alimentation, environnement, travail (ex AFSSA, AFSSET)
- ARET** Association pour la recherche en toxicologie
- ATSDR** Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Edite la base de données toxicologiques du Ministère Fédéral de la Santé des Etats Unis)
- CEA** Commissariat à l'énergie atomique
- CEMAGREF** Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement
- CERN** Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire
- CIRC** Centre International de Recherches sur le cancer (OMS/ONU)
- CITEPA** Centre Interprofessionnel d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
- CNAM** Conservatoire National des Arts et Métiers
- CNRS** Centre National de la Recherche Scientifique
- CRIIRAD** Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité
- CSTEE** Comité Scientifique sur la Toxicité, l'Ecotoxicité, et l'environnement de L'Union Européenne
- DL 50** Dose létale pour 50% des sujets exposés
- EAWAG** Institut suisse des sciences et des technologies de l'eau
- ECB** European Chemical Bureau de l'Union Européenne (Ispra Italie)
- ECHA** European Chemicals Agency . Agence Européenne des Produits Chimiques. (Helsinki Finlande)
- EDEN** Endocrine Disruption research (Europe)
- EFSA** Autorité européenne de sécurité des aliments. (European Food Safety Authority)
- ENPC** Ecole Nationale Supérieure des Ponts et Chaussées
- FAO** (Nations Unies) Food and Agriculture Organisation
- FDA** Food and Drug Administration (Etats Unis) Agence de l'alimentation et des produits de santé

**GIEC** Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat

**HAP** Hydrocarbures aromatiques polycycliques

**IAEA** International Atomic Energy Agency (Agence Internationale pour l'Energie Atomique)

**IARC** International Agency for Research on cancer (CIRC)

**IFPRI** International Food Policy Research Institute

**IFREMER** Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

**INED** Institut National d'Etudes Démographiques

**INERIS** Institut National de l'environnement Industriel et des Risques

**INRA** Institut National de Recherches Agronomiques

**INRS** Institut National de la Recherche Scientifique

**INSEE** Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

**INSERM** Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale

**InVS** Institut de Veille Sanitaire

**IPCC** Intergovernmental Panel on Climate change

**IPCS** International Programme of Chemical Safety (UNEP/OMS)

**IOE** The International Petroleum Industry Environmental Conservation Association

**IRD** Institut de Recherche pour le développement

**IRIS** Integrated Risk information System (base de données toxicologiques de l'US EPA)

**IRSN** Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire

**IUPAC** International Union of Pure and Applied Chemistry

**JECFA** "Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives" désigne le comité international mixte FAO/OMS d'experts sur les additifs alimentaires.

**JRC** Joint Research Centre de l'Union Européenne (ECB Ispra Italie)

**LOAEL** lowest observed adverse effect level. Niveau le plus faible d'observation d'un effet adverse.

**NIH** National Institutes of Health des Etats Unis.

**NOAEL** No Observed Adverse Effect Level. Niveau sans effet observé

**NOEC** Non Observed Effect Concentration. Concentration sans effet observé

**NRC** National Research Council (USA) Organisme de Recherches pour la National Academy of Sciences, la National Academy of Engineering et l'Institute of Medicine. Il existe aussi un NRC Canada

**NTP** National Toxicology Programme (Ministère de la Santé des Etats Unis)

**OCDE** Organisation de coopération et de développement économique.

**ODP** Ozone depletion potential. Potentiel de destruction d'ozone.

**OFEG** Office Fédéral suisse des eaux et de la géologie.

**OMS** Organisation Mondiale de la Santé (ONU)

**ONEMA** Office National de l'Eau et des milieux aquatique

**PBL** Netherlands Environmental Assessment Agency

**PCB** Polychlorobiphényles

**PNEC** Predicted No Effect Concentration. Concentration au dessous de laquelle aucun effet adverse n'est anticipé.

**PNUE ou UNEP** Programme des Nations Unies pour l'Environnement (United Nations Environmental Programme)

**PRG** Pouvoir de réchauffement global

**RAIS** Risk Assessment Information System, du Oak Ridge National Laboratory (USA)

**RASFF** The EU Rapid Alert System for Food and Feed

**RAPEX** EU rapid alert system for all dangerous consumer products, except food

**RDA** Recommended Dietary Allowance, (USA) publiées par le US National Research Council, (NRC) Food and Nutrition Board

**RIVM** National Institute for Public Health and the Environment (Pays Bas)

**TNO** Netherlands Organization for Applied Scientific Research

**UFIP** Union Française des Industries Pétrolières

**UNEP** United Nations Environment Programme. Programme des Nations Unies pour l'Environnement

**US-EPA** Environmental Protection Agency des Etats Unis

**WCRF** World Cancer Research Fund. Fond Mondial de recherches contre le cancer.

**WHO** World Health Organisation : Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

**WMO** World Meteorological Organisation (Organisation météorologique mondiale ONU)

oooooooooooooooooooooooooooo

## Unités de masse utilisées

Unités de masse (moins de 1 gramme)			
1 milligramme	mg	$10^{-3}$ gramme	0,001 gramme
1 microgramme	$\mu$ g	$10^{-6}$ gramme	0,000001 gramme
1 nanogramme	ng	$10^{-9}$ gramme	0,000000001 gramme
1 picogramme	pg	$10^{-12}$ gramme	0,000000000001 gramme
1 femtogramme	fg	$10^{-15}$ gramme	0,000000000000001 gramme

Unités de masse (plus de 1 kilogramme)			
1 tonne	t	$10^3$ kilogrammes	1000 kg
1 kilotonne	Kt	$10^6$ kilogrammes	1000000 kg
1 mégatonne	Mt	$10^9$ kilogrammes	1000000000 kg
1 gigatonne	Gt	$10^{12}$ kilogrammes	1000000000000 kg
1 térationne	Tt	$10^{15}$ kilogrammes	1000000000000000 kg