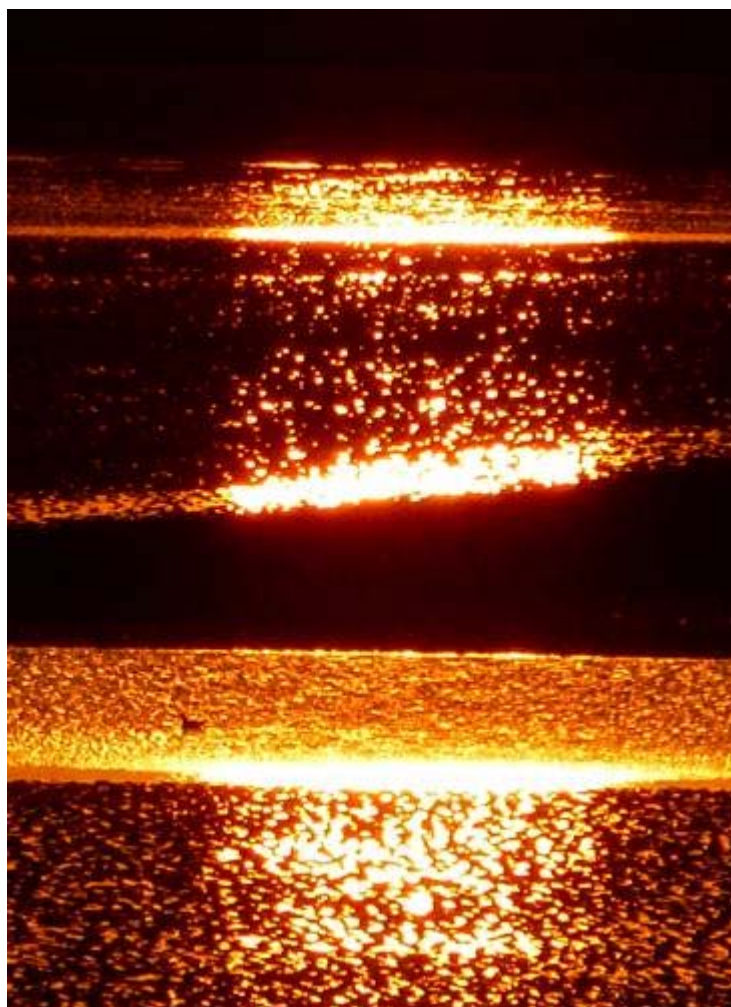


CHRONIQUES de L'ENVIRONNEMENT

La nature est-elle bonne ?



Chronique 2 : La nature est-elle bonne ?

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'École 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 2 : La Nature est-elle bonne ?

« L'homme est la seule espèce qui se soucie d'écologie, des droits de l'homme, et même des droits des autres animaux ! » (André Comte Sponville)

Nombreux sont les adeptes de Jean-Jacques Rousseau qui pensent que *« tout est bien sortant des mains de l'auteur des choses »*, et que *« tout dégénère entre les mains de l'homme »* (*l'Emile*, 1762). Ils devraient pourtant se méfier d'un chantre de la Nature qui a abandonné ses cinq enfants à l'Assistance Publique à leur naissance ! Voltaire, qui ne l'aimait guère, écrit : *« ce monstre ose parler d'éducation, lui qui n'a voulu élever aucun de ses fils et les a mis tous aux Enfants Trouvés »* !

Lorsque surviennent les catastrophes naturelles : tremblements de terre, tsunamis, ouragans, cyclones, sécheresses, inondations... nombre d'écologistes rendent l'homme responsable de ces calamités. Tous les malheurs du monde sont imputés à l'être humain. Que l'homme en ait favorisé quelques-uns avec les déboisements, l'imperméabilisation des sols, les constructions en zone inondable, etc. ne fait guère de doute. Mais rendre l'homme responsable des tremblements de terre et des tsunamis, c'est pousser un peu loin le culte de Mère Nature... Le sociologue allemand Ulrich Beck conteste la notion de catastrophe naturelle, avec un certain cynisme : *« La notion de "catastrophe naturelle", écrit-il, permet en effet d'indiquer ce qui n'a pas été causé par l'homme et dont il ne saurait être tenu, par conséquent, pour responsable. N'est-ce pas là toutefois une vision qui appartient aux siècles passés ? En lui-même, ce concept est déjà faux, puisque la nature ne connaît pas de "catastrophes", tout au plus des processus soudains de transformation. Des transformations telles qu'un tremblement de terre ou un tsunami ne deviennent des "catastrophes" qu'en référence à la civilisation humaine. »* (*Le Monde.fr* du 25 mars 2011). Evidemment, l'homme aurait pu s'installer ailleurs, et éviter les *« processus soudains de transformation »* ! Ulrich Beck est un élève de Jean Jacques Rousseau, qui répondait à Voltaire, attristé par le tremblement de terre de Lisbonne, le 1^{er} novembre 1755, suivi d'un tsunami et d'un incendie qui fit 50.000 victimes : *« convenez, par exemple, que la nature n'avait point rassemblé là vingt mille maisons de six à sept étages, et que si les habitants de cette grande ville eussent été dispersés plus également, et plus légèrement logés, le dégât eût été beaucoup moindre »*.

La nature est belle certes ! Et le spectacle de la nature peut créer de fortes émotions. Mais bonne, non, pas toujours, ni bienveillante. Comme l'écrit Guy Sorman : *« De mémoire d'assureur, on sait que ce qu'on a appelé « progrès », est avant tout une lutte contre la nature. La nature c'est le froid, la pluie, la sécheresse, les parasites... le sort commun des hommes jusqu'au début du vingtième siècle, fut la disette, sinon la famine... »* De tout temps, l'homme a essayé de dominer la Nature. Avec quelques succès, mais aussi de terribles échecs, dus à l'ignorance de ses mécanismes complexes, à la négligence, à l'imprévoyance, au manque de moyens : l'homme apprend souvent à ses dépens. Mais aussi au caractère souvent imprévisible des déchaînements naturels. L'augmentation importante de la population du globe a nécessité plus de surface pour les

villes. Les zones inondables étant en général plus fertiles, on y a beaucoup construit sans se soucier des risques. Les villes sont nées dans des régions fertiles et elles se sont développées sur place, parfois de façon importante. Quarante parmi les cinquante centres urbains du monde qui connaissent la croissance la plus rapide sont situés dans des zones exposées aux tremblements de terre (OCDE, 2003). Nombre de barrages sont construits sur des failles de la croûte terrestre, lieux privilégiés des séismes. Il est de bon ton aujourd'hui de critiquer le progrès : seuls ceux qui sont bien à l'abri de leur confort douillet peuvent croire à cette harmonie entre l'homme et la nature exaltée par Jean-Jacques Rousseau. La nature est souvent admirable : mais elle est aussi destructrice. Comme le remarque Pierre-Gilles de Gennes : « *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.* » Qu'auraient pensé du « Retour à la Nature » les victimes de la « grande famine » irlandaise de 1845-1849, qui fit des milliers de morts ? La nature, en l'occurrence le mildiou, le champignon *phytophthora infestans*, s'est révélé un ennemi redoutable de l'homme, qu'il a fallu apprendre à combattre. La population irlandaise est passée dans la seconde moitié du 19^e siècle, à cause de ce champignon, de 9 millions à 4 millions d'habitants.

Les plus grands poisons pour l'homme sont naturels

On a déjà rencontré la toxine botulique, produite par la bactérie *clostridium botulinum*, toxique à une dose infinitésimale. Le venin de cobra est un excellent neurotoxique : la neurotoxine qu'il contient entraîne la paralysie, le blocage de l'influx nerveux assurant la commande musculaire, et l'arrêt respiratoire. Même effet pour la tétradotoxine du fugu, poisson apprécié des japonais : il y a chaque année 100 à 200 intoxications à Tokyo dues à des « fugu » mal débarrassés de la toxine, et qui entraînent 60% de décès. La DL₅₀ de la tétradotoxine pour les souris est de 10 microgrammes par kilo ! Selon Alain Rey, *le Larousse* de 1920 définissait ainsi le fugu : « *Sa chair est délicieuse, mais son ingestion entraîne rapidement la mort.* » ! Les apprentis terroristes qui ont utilisé le gaz sarin dans le métro de Tokyo, le 5 mai 1995, n'ont fait que copier la nature en développant ce neurotoxique. La petite pieuvre à anneaux bleus dispose de la même arme capable de paralyser un homme en trois minutes. La méduse cubozoaire dispose, pour sa part, de cent vingt mètres de tentacules pourvues de milliers de capsules urticantes dont le venin tue en deux minutes. De nombreuses espèces ont été dotées par la nature de moyens de défense parfois redoutables. L'homme a dû se débrouiller tout seul ! « *Les animaux supérieurs, écrit Serge Moscovici (1972), sont parfaitement adaptés à leur écologie, grâce à un équipement biologique qui leur permet de résister aux intempéries, de se nourrir et de préserver la vie de leur progéniture. L'espèce humaine, fragile, dépourvue d'un grand nombre de ces avantages a dû dès le début combler ses lacunes. Les sciences, les arts, les techniques sont nés de cet effort : prothèses s'ajoutant au corps et au cerveau, pour lui apporter ce dont les autres espèces disposent normalement* ». Il faut reconnaître qu'il n'a pas mal réussi...

La fameuse dioxine¹ dont on a beaucoup parlé dans les années 1980-1990 est aussi une substance naturelle : tous les feux de forêts, de chaumes, les feux de bois, entraînent la formation de dioxines, et de furanes, substances voisines, moins toxiques. Un inventaire des émissions de dioxines réalisé aux Pays Bas, en 1993, attribuait à la combustion du bois en milieu ouvert, la formation de 13 à 28 microgrammes de dioxines par tonne de bois brûlée, soit une émission de 12 grammes dans l'année 1991, sur un total national de 484 grammes (TNO, 1993). L'inventaire des émissions de dioxines de l'année 2000 aux Etats-Unis affecte 35% des émissions, soit 498,5 grammes ,aux « brûlages de fond de jardin » (An inventory of sources and environmental releases of dioxin compounds in the USA for the years 1987, 1995 and 2000 . US-EPA, nov. 2006).

Autres toxiques naturels : le curare et la strychnine, toxiques pour l'homme à une dose de 39 milligrammes, la nicotine, produite par la plante du tabac pour se défendre : 50 milligrammes ; les mycotoxines, substances produites par de minuscules champignons, toujours présents dans l'environnement, qui se développent dans de mauvaises conditions de stockage, ou dans les champs, les années humides, et que l'on peut trouver dans les céréales, les fruits, les arachides, le café vert et torréfié, le vin, la bière, le jus de raisin, le jus de pomme, et même dans le cacao, sont cardiotoxiques, parfois cancérigènes ou perturbateurs endocriniens. En particulier l'aflatoxine, souvent présente dans les moisissures du maïs, des noix, des arachides, et de tous les fruits à coque, est toxique à une dose de 5,5 milligrammes par kilo (Dose létale à 50% pour le rat) et cette substance est considérée comme un facteur de cancer du foie prouvé pour l'homme. Et quoi de plus naturel que le cannabis et la cocaïne ? Cinquante grammes d'amanite phalloïde contiennent 7 milligrammes d'amatoxine mortelle pour la personne qui consomme ces champignons. Lorsque Rachel Carson écrit dans *Printemps silencieux* (1962), et à propos du DDT : « pour la première fois dans l'histoire du monde, chaque être humain est exposé au contact de substances chimiques dangereuses, depuis l'instant de sa conception jusqu'à sa mort », elle oublie les substances toxiques naturelles, qui forment la majorité des substances toxiques auxquelles nous sommes exposés, en particulier par notre nourriture, biologique ou non, quand ce n'est pas par notre chauffage, en poêles ou en cheminées. Si l'absorption de méthylmercure est déconseillée aux femmes enceintes, c'est par le poisson de mer que cet apport est le plus important. L'eau de mer contient en effet entre 0,2 et 2 nanogrammes par litre de mercure d'origine naturelle, et le mercure est bioaccumulable. Le thon contient ainsi entre 0,5 et 1,0 mg de mercure par kilo, mais le service de protection des consommateurs de Genève en a trouvé jusqu'à 3 mg/kg, ce qui dépasse de trois fois la limite autorisée. Les océans représentent le réservoir de mercure le plus important de la planète. L'arsenic est aussi abondant en mer, et les fruits de mer, les poissons, les algues, en contiennent des concentrations notables. Un Européen de 70 kilos ingère en moyenne entre 20 et 47 microgrammes d'arsenic par jour par sa nourriture et sa boisson, mais cette dose peut atteindre 100 microgrammes suivant les lieux et le régime alimentaire. Selon le Bureau de Recherches Géologiques et Minières, les eaux souterraines naturelles françaises peuvent

(1) Les polychlorodibenzodioxines (PCDD) représentent toute une famille de substances isomères ayant des toxicités variables

contenir par endroits des concentrations importantes en fluor, antimoine, bore, arsenic, nickel, sélénium, qui les rendent non potables. L'homme est aussi exposé aux mycotoxines, aux phytoestrogènes, à l'arsenic des sols volcaniques, très présent dans certaines sources et eaux thermales, (7500 µg/l à La Bourboule !), au radon des sols granitiques ou volcaniques. Dans certaines régions d'Asie, dans le delta du Bengale ou au Viet Nam, les eaux souterraines contiennent 300 fois plus d'arsenic que la concentration admise par l'OMS pour la consommation humaine de 10 microgrammes par litre, et plus d'un million d'habitants souffrent d'intoxication chronique (EAWAG, 2002). La combustion du bois entraîne la formation de dioxines et de benzo-pyrène, classés cancérigènes pour l'homme par le Centre International de Recherches sur le Cancer, présents dans les suies, et dans les fumées. La fumée des bougies, des bâtonnets d'encens contient du formaldéhyde, du styrène, du benzène... et « *chaque fois que l'on soumet un aliment à des traitements thermiques sévères, il se forme des dérivés aux propriétés mutagènes et cancérigènes* » écrit Guy Leyral (2007). Ces dérivés s'appellent acrylamide, carbamate d'éthyle, nitrosamines, hydroxy méthyl furfural, furanes, amines aromatiques hétérocycliques, ou des produits d'oxydation des lipides, tels que l'hydroxynonéal, (HNE), substance génotoxique, produite par peroxydation des acides gras oméga 6. Le HNE et des composés du même type, présents dans notre alimentation, sont des messagers du stress oxydant et semblent participer à la promotion tumorale. En outre, nombre de nos contemporains s'exposent à l'alcool et aux produits toxiques de la fumée de tabac ! Benzène, acide cyanhydrique, formaldéhyde, benzo-pyrène monoxyde de carbone, oxyde d'azote, ammoniac et métaux lourds (cadmium, mercure, plomb, chrome) : La fumée de tabac est un aérosol, un mélange de gaz et de particules qui contient plus de 400 substances, dont plus de 40 sont cancérigènes. Rachel Carson croyait-elle vraiment qu'aucune des substances naturelles auxquelles nous sommes exposés ne pourrait être toxique ? Elle oubliait aussi l'exposition des femmes aux œstrogènes synthétiques du traitement médical de la ménopause, qui, eux, contrairement au DDT, étaient bien cancérigènes, en exposition prolongée !

Elle oubliait en outre que toute substance peut être toxique, à partir d'une certaine dose. Ainsi la DL_{50}^2 pour l'homme du sel de cuisine est de l'ordre de 3 g par kilo de poids corporel ! L'ingestion de 1 millilitre d'huile essentielle d'eucalyptus peut entraîner le coma chez l'homme. Et un demi-gramme de camphre celui d'un enfant. Le thymol, huile extraite du thym, est vingt fois plus antiseptique que le phénol. La DL_{50} de la caféine est de 130 mg/kg pour l'adulte, mais une dose de 5 g peut être mortelle (OMS-UNEP). Une dose maximale de 300 milligrammes par jour est recommandée pour éviter des problèmes de stérilité : sur la base de 77 mg par espresso, cela limite la consommation recommandée à 4 tasses par jour ! Les feuilles de thé contiennent 3% de caféine, et 0,2% de théobromine, en poids sec, deux méthylxanthines toxiques. Le chocolat noir contient environ 800 mg de caféine par kilo et 4.600 mg/kg de théobromine, le chocolat est un poison pour les chiens : cent grammes de chocolat peuvent les tuer ! Heureusement, l'homme résiste beaucoup mieux au chocolat !

² DL_{50} : dose létale pour 50 % d'un groupe soumis à une exposition au produit considéré

Des quantités de bactéries et virus pathogènes menacent l'homme quotidiennement !

La terre est infestée de bactéries et de virus pathogènes : Bien sûr, toutes les bactéries ne sont pas pathogènes. Elles sont en général très utiles, car principales responsables de la biodégradation, qui débarrasse la terre de ses déchets. Les « décomposeurs » ou les « détritivores » sont indispensables à la planète ! Dans trente grammes de sol, on peut trouver 2.000 communautés bactériennes, dont le rôle est bien spécialisé ! Nous hébergeons des quantités de bactéries dans notre corps, en particulier dans notre gros intestin, cent mille milliards de bactéries, soit dix fois plus que le nombre de cellules de l'organisme, écrit l'ANSES (2001). Ce « microbiote », autrefois appelée flore intestinale, s'attaque aux déchets de notre alimentation, qui ont échappé à la digestion. Nos bactéries ont aussi bien d'autres utilités ! En particulier, elles empêchent de nombreux toxiques de traverser nos intestins et de rejoindre la circulation sanguine. Mais l'homme devrait se méfier des bactéries : elles existent depuis plus longtemps que lui et seront toujours là quand l'homme aura disparu. Car les bactéries pathogènes ont de puissants moyens de se défendre. Les espèces qui survivent sont celles qui s'adaptent le mieux à leur milieu, a dit Charles Darwin. Nul doute que les bactéries ont de prodigieuses facultés d'adaptation ! L'utilité des virus est plus contestable : *le virus n'appartient ni au monde animal, ni au monde végétal. Ce sont des petits bouts de matériel génétique enrobés dans une capsid. Ils ont l'obligation d'infecter une cellule animale ou végétale pour se multiplier et donc survivre. Depuis l'époque de Louis Pasteur et du virus de la rage, près de 6.300 virus ont été recensés par les biologistes. (La lettre de l'Institut Pasteur, mai 2005).* Mais peut être que l'homme pourrait utiliser à son profit les phages, qui sont des virus n'infectant que les bactéries. Ils sont en général très spécifiques : à chaque bactérie son phage ! Ils servent déjà de vecteurs de clonage de gènes, au profit de l'homme.

Plusieurs agents infectieux augmentent, après plusieurs années d'infection chronique, le risque de cancer. Par exemple les virus de l'hépatite B et C pour le cancer du foie. Une forte proportion de cancers de l'estomac est due à la bactérie *helicobacter pylori* (Académie de Médecine Académie des Sciences, CIRC 2007)

Selon Maxime Schwartz, « *la Nature est un supermarché pour la guerre biologique et le bioterrorisme* ».

De nombreuses épidémies ont frappé l'homme depuis un demi-siècle

Parmi les dernières découvertes, en 1937 **le virus West Nile** (fièvre du Nil), transmis par les moustiques et véhiculé par les oiseaux, a été identifié sur le continent américain où une première épidémie s'est déclarée à New York en 1999. Il touche aujourd'hui, une grande partie des Etats-Unis et du Canada, où vingt mille personnes ont été contaminées entre 1999 et 2005

Plus de cinq cents décès lui sont imputés, dont 284 en 2002 et 264 en 2003. En 2003 le virus a touché 9.859 personnes aux Etats Unis et causé 2.866 encéphalites. Comment ce virus originaire du Moyen Orient a-t-il pu gagner l'Amérique du Nord ?

Oiseaux ? Avions ? Transports de diverses marchandises ? Toutes ces hypothèses sont plausibles. Le virus a été isolé chez plus de 50 espèces de moustiques. En 2000, 76 cas de West Nile ont été dénombrés en Camargue sur des chevaux (AFSSA, Juin 2004).

En 1952, **le virus chikungunya**. Il a profité d'une baisse des campagnes de démoustication pour envahir l'île de la Réunion en 2005 et 2006. Une petite épidémie a sévi en Italie en 2007, à partir d'un seul voyageur de retour d'Inde, où on a recensé plus de deux millions de cas. Le virus est présent sur la Côte d'Azur où il est sous surveillance. Et le moustique vecteur *aedes albopictus*, (le moustique tigre), vient d'être identifié dans le sud de la France où il semble se développer rapidement.

Le virus de la fièvre de la vallée du Rift, depuis quatre-vingts ans présent en Afrique, se répand depuis 2000 en Arabie et vient d'être repéré en 2009 à Mayotte. Il se transmet à l'homme par de nombreuses espèces de moustiques.

Le virus du sida, VIH (virus d'immunodéficience humaine), dont chacun connaît les ravages, est identifié en 1983. Il est probablement originaire d'Afrique. Depuis son apparition en 1985, l'épidémie de Sida aurait tué 40 millions de personnes, dont plus de la moitié en Afrique. On comptait encore 2,1 millions de morts du sida en 2007, dont les trois quarts en Afrique,⁽³⁾ selon les statistiques ONU sida.

En 2003, **le coronavirus du SRAS** dont, selon l'Office Mondial de la Santé, 6.903 malades ont été recensés dans trente pays, mais surtout en Chine et à Hong Kong, conduisant à 495 décès.

En 2003 et 2004, **le virus H5N1 de la grippe aviaire** aurait fait 247 morts en Asie. L'épidémie dite de grippe espagnole, a tué plus de 20 millions de personnes, entre 1916 et 1918 (Le virus serait de la famille H1N1). **La grippe de Hong Kong**, en 1968, (virus H3N2), a tué probablement 500.000 personnes dans le monde, et la grippe asiatique de 1957 (virus H2N2) un million.

De nombreux virus émergent, à la suite de mutations de virus existants. D'autres franchissent la barrière d'espèces pour s'attaquer à l'homme. C'est ce qu'on redoutait pour le virus de la grippe aviaire H5N1, crainte d'autant plus fondée que ce phénomène s'est produit à plusieurs reprises dans le passé. C'est ainsi que le virus de la grippe porcine s'est transformé en virus humain H1N1 au Mexique en 2009, et qu'une pandémie a pu se développer en 2008 et 2009. Le génome de ce virus contiendrait des séquences aviaires, porcines, et humaines... L'Institut Pasteur remarque qu'il y a en moyenne trois grandes pandémies de grippe par siècle : au XXe siècle, la grippe espagnole, la grippe aviaire, la grippe de Hong Kong. Le Professeur Arnaud Fontanet, responsable de l'unité d'Epidémiologie des maladies émergentes de l'Institut Pasteur, constate que l'humanité doit faire face tous les cinq ans en moyenne à une crise majeure due à l'émergence d'un virus. « **Depuis 25 ans, on a comptabilisé au moins une maladie émergente représentant une menace sérieuse tous les 5 ans : Ebola, VIH, variant de la maladie de Creutzfeld-Jacob, SRAS et grippe aviaire** ». (La lettre de l'Institut Pasteur n°48, Février 2005). Le virus

³ O N U Sida . Statistiques 2007

Ebola, qui a tué des centaines d'habitants du Soudan et du Zaïre en 1976, et encore près de 200 au Congo en 2007, n'a pas réussi son émergence, contrairement au virus VIH. Il sommeille dans un réservoir naturel, identifié sous forme de colonies de chauve-souris. Jusqu'à quand ?

La mondialisation des échanges et les voyages sont une aubaine pour les virus qui peuvent ainsi se disséminer rapidement. Il y a aussi une mondialisation pour les agents pathogènes ! « *La population mondiale est de plus en plus dense et de plus en plus mobile* », constate le Professeur Arnaud Fontanet, « *toutes les conditions sont réunies pour qu'un virus animal émergeant dans un groupe humain ait l'opportunité de s'adapter à l'homme et de provoquer une épidémie* » (*La lettre de l'Institut Pasteur*, mai 2011).

Le paludisme, appelé aussi malaria, maladie parasitaire des régions chaudes et humides (*paludis*, en latin, signifie marais... et *malaria* « mauvais air » en italien...), transmise par les moustiques, touche de nombreux pays tropicaux. L'agent du paludisme est un protozoaire : *plasmodium falciparum*. Cette maladie infectieuse tue un enfant toutes les trente secondes en Afrique et y est responsable de 20% de la mortalité infantile. Le paludisme tue entre un et trois millions de personnes dans le monde chaque année (*la lettre de l'Institut Pasteur* n°66, 2009, et n°70, 2010). Huit cas sur dix sont enregistrés en Afrique, au sud du Sahara mais quarante pour cent de la population mondiale vit dans des zones de transmission du paludisme. Et d'après l'Institut Pasteur, 4.400 personnes « importent » le paludisme chaque année en France. Il faut rappeler que la malaria a été endémique en France jusqu'au début du 20^e siècle, jusqu'en 1960 d'après l'Institut de Veille Sanitaire, et que de nombreuses zones de marais ont été asséchées pour combattre la maladie. A cette époque, on ne parlait pas encore de la protection des « zones humides », ni de la biodiversité. La Guyane et Mayotte sont des départements français concernés. En Guyane, sur deux cent mille habitants, on compte chaque année deux mille à cinq mille cas (InVS).

Médecins Sans Frontières a lancé un programme d'urgence, en mai 2007, au Cambodge, alors qu'une épidémie de dengue, de grande ampleur, frappait le pays. Cette fièvre virale qui peut être mortelle touchait en particulier les enfants (MSF une année en action, 2007). La dengue, maladie virale transmise par le moustique *Aedes* connaît depuis vingt ans une extension des zones d'endémie et une explosion du nombre d'épidémies et de personnes infectées (Académie des Sciences, 2006). Une épidémie de **dengue** sévit actuellement aux Antilles Françaises : en Martinique, plusieurs milliers de personnes ont été infectées, plus de 60.000 dans les six premiers mois de 2010, dont 18 mortels. L'OMS estime que la dengue est la maladie transmise par les moustiques qui progresse le plus vite : soixante à cent millions de cas par an dans le monde et 20.000 à 50.000 décès selon l'Institut Pasteur.

Environ 13 millions de personnes meurent chaque année dans le monde de maladies infectieuses, rougeole, pneumonie, choléra, sida, tuberculose, malaria (OCDE, 2003).

« *La présence continue de pandémies, (des cent millions d'hommes qui contractent chaque année le paludisme, un million en meurt), nous rappelle que la*

sélection naturelle, moteur de l'évolution, n'est pas l'alliée inconditionnelle de l'homme, selon une vision rousseauiste de la nature. » (Caboche, 2010).

Il est vrai que l'homme a souvent favorisé par son mode de vie le franchissement de la barrière d'espèces par les virus. Gérard Orth, Directeur de Recherches au CNRS, membre de l'Académie des Sciences, écrit : « *Les sociétés modernes constituent un environnement très propice à l'émergence de nouveaux agents pathogènes. De nombreux facteurs sociaux, écologiques, économiques, y concourent. C'est l'homme, qui, par son mode vie, a donné à certains virus la possibilité de franchir la barrière d'espèces. C'est le cas du virus Ebola (chasse et consommation de singes), du virus de la variole monkeypox (animaux de compagnie exotiques), du coronavirus du syndrome respiratoire aigu (marché d'animaux sauvages vivants), et du virus grippal aviaire (élevage intensif de volailles, marché d'oiseaux vivants).* »

Nombre de maladies graves sont transmises par les moustiques

L'homme devrait faire la guerre aux moustiques ! Mais ce n'est pas ce que l'on constate : l'homme fait plutôt la guerre aux insecticides... Le cas du DDT est exemplaire. Les propriétés insecticides à large spectre de cette substance ont été découvertes par Paul Muller, en 1939, et cette découverte a valu à son auteur le prix Nobel en 1948. Une démonstration spectaculaire de l'efficacité du DDT a été faite pendant la deuxième guerre mondiale en protégeant les troupes alliées du typhus, alors qu'il est admis que pendant la première guerre mondiale, le typhus a fait autant de morts que les armes. Une autre démonstration, non moins spectaculaire, a été faite au Sri Lanka, alors sous protectorat britannique. En 1948, on y compte 2,8 millions de malades du paludisme. En 1963, il n'y en a plus que 17. « *Jusqu'à son interdiction, il a ainsi sauvé chaque année des millions de personnes et grandement amélioré la qualité de vie de centaines de millions d'habitants des régions paludéennes, tout en constituant une menace relativement faible pour la faune.* » écrit James Lovelock dans *La revanche de Gaïa*, (2007). Cependant l'usage à grande échelle du DDT en agriculture entraîna l'apparition de résistances et la diminution de l'efficacité. En 1972, sous l'influence d'écologistes américains, et du livre de Rachel Carson *Silent Spring* (Le Printemps Silencieux) paru en 1962, l'Environmental Protection Agency des Etats Unis interdit le DDT, alors que ses experts avaient préconisé un usage contrôlé. En fait, cette substance est très bioaccumulable et se transmet dans la chaîne alimentaire. De plus, elle est persistante : sa durée de demi-vie⁽⁴⁾ est de six mois dans l'eau, mais de cinq ans dans les sols, voire plus (US EPA). Et son produit de décomposition, le DDE est aussi persistant. Bien que la toxicité aiguë du DDT soit faible, des effets toxiques à long terme lui sont attribués, dont des effets perturbateurs endocriniens, particulièrement pour le métabolite p,p'DDE. Rachel Carson a attribué au DDT la réduction de la population de l'aigle américain, symbole national, ce qui sera à l'origine de l'interdiction en 1973. Dix ans après cette interdiction, la population d'aigles semble avoir retrouvé sa vigueur, et de nombreux scientifiques (J.W. Grier, 1982)

⁴ La demi-vie est le temps nécessaire pour réduire la concentration de moitié dans l'air, l'eau, ou le sol

attribueront ce renouveau à la baisse de la concentration du DDE dans les œufs. Mais l'attribution de propriétés cancérigènes au DDT a toujours été contestée : le National Cancer Institute des Etats Unis l'avait déclaré non cancérigène en 1978, mais cet avis est contredit en 1993. Les autorités sanitaires le déclarent à nouveau non cancérigène en 2001 (Académie de Médecine, 2007). Après onze ans d'un régime alimentaire comportant 20 mg/kg de DDT par jour, des singes rhésus n'ont présenté aucun trouble (Mouchet, 1994). Le DDT est très facile à doser à l'état de traces, contrairement à des substances beaucoup plus actives ayant des effets endocriniens, telles que les hormones stéroïdes utilisées en médecine et en contraception. L'interdiction pouvait se justifier dans les pays développés, qui disposaient de substances de remplacement, moins persistantes et moins bioaccumulables, (et plus chères) ! Mais dans les pays en développement en zone tropicale, l'arrêt de l'usage du DDT a été catastrophique ! D'après Paul Benkimoun : « *trente-quatre années et quelques dizaines de millions de morts plus tard, l'organisation à l'origine de l'interdiction se prononce pour un usage « en pulvérisation d'intérieur » pour lutter contre le paludisme »*. Il est d'ailleurs toujours utilisé dans certains pays, dans le cadre de la lutte contre le paludisme mais aussi d'autres maladies transmises par les moustiques comme l'encéphalite. Au cours des négociations de la Convention de Stockholm (2001), 32 pays ont demandé le droit de l'utiliser... L'Organisation Mondiale de la Santé a toujours soutenu l'usage du DDT. Le dernier atelier de production français, arrêté en 1988, travaillait à 80% pour l'OMS, qui planifiait son utilisation dans les zones touchées par le paludisme et la maladie du sommeil⁵. Et la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe écrit encore en 2008 à propos du DDT :

« D'après l'Organisation mondiale de la santé, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et le Programme des Nations Unies pour l'environnement, le DDT reste nécessaire pour assurer la protection de la santé publique dans certaines régions hors de la CEE. Des solutions de remplacement efficaces, économiquement viables et moins dangereuses pour l'environnement restent par conséquent nécessaires dans ces régions. L'OMS n'exclut pas totalement la possibilité de futures flambées de paludisme et d'autres maladies à transmission vectorielle. » (ECE/EB.AIR/WG.5/2008/8/Rev.1, 28 septembre 2008).

La Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants admet l'usage du DDT « en utilisation pour la lutte anti vectorielle ». Dans un communiqué du 15 septembre 2006, l'OMS écrit : « *Près de trente ans après l'abandon progressif de la pulvérisation à grande échelle de DDT et d'autres insecticides dans les habitations pour lutter contre le paludisme, l'Organisation mondiale de la Santé a annoncé aujourd'hui que cette méthode allait de nouveau jouer un rôle important dans son combat contre la maladie. »*

« Nous devons fonder notre position sur la science et les données objectives », a expliqué le Dr Arata Kochi, Directeur du Programme mondial de lutte antipaludique à

⁵ Les 20% restants servaient à la fabrication du DICOFOL un autre insecticide dérivé du DDT

l'OMS. « *L'une des meilleures armes que nous ayons contre le paludisme est la pulvérisation d'insecticide à effet rémanent dans les habitations. Sur la douzaine d'insecticides que l'OMS juge sans danger pour cet usage, le plus efficace est le DDT.* »

Le Professeur Jean Dausset a écrit en 2001 : « *le DDT a été écarté par crainte de sa toxicité : mais a-t-on bien pesé le rapport bénéfice/risques, et ne faut-il pas réexaminer cette décision ?* » (La lettre de l'Académie des Sciences n°2).

Est-ce bien la même substance dont Rachel Carson décrit les effets dans *Printemps silencieux* ? « *Un mystérieux fléau s'abattit sur la région et les animaux sauvages et domestiques mouraient. Les hommes tombaient malades... les oiseaux disparaissaient.* » (Chronique 1 : une fable pour demain) « *Vaches et brebis tombaient malades et mouraient. Partout planait l'ombre de la mort... Il y avait eu plusieurs décès subits et inexplicables, non seulement chez les adultes mais aussi chez les enfants, qui étaient frappés alors qu'ils étaient en train de jouer et qui mouraient en quelques heures...* » Voilà comment un scénario apocalyptique, fantaisiste, et fictif, « une fable », peut, encore aujourd'hui, être considéré comme un livre culte ! Certes, il mettait avec raison en lumière les dangers des substances persistantes, biomagnifiables et toxiques, mais d'une façon peu soucieuse de la réalité, car le DDT n'a jamais tué personne ! Rachel Carson fut une pionnière du « catastrophisme éclairé », lequel a fait beaucoup d'adeptes depuis et elle n'avait que faire des données objectives, chères au Dr Arata Kochi. (Rachel Louise Carson est décédée d'un cancer en 1964 à 56 ans et cette maladie a sans doute fortement influencé la rédaction de son livre paru en 1962). Il faut aussi souligner que les insecticides organochlorés, avec tous leurs défauts, remplaçaient des produits beaucoup plus dangereux, comme les dérivés arséniés cancérigènes, utilisés jusqu'à la fin de la deuxième guerre mondiale, et finalement interdits en 1973 en France.

L'efficacité du DDT tient justement à sa persistance : stable et insoluble, il agit longtemps. Il est également facile à produire, et donc peu coûteux. Son substitut principal a été le lindane, qui est l'isomère gamma de l'hexachlorocyclohexane, HCH, mais l'isomère actif ne représente que vingt pour cent de la substance brute. La séparation des isomères inactifs pour destruction est complexe et coûteuse. De nombreux pays, dont la France aux Antilles, ce qui paraît incroyable, utilisaient donc le produit brut, pratique qui multipliait par cinq la pollution, sans aucun bénéfice sanitaire ! (cet usage du produit brut ne sera interdit en France qu'en 1971). Or les isomères les plus persistants sont justement ceux qui sont inactifs. Le lindane, ou plutôt l'hexachlorocyclohexane brut, a été remplacé en 1973 en Martinique et en Guadeloupe dans les plantations de bananes, par le chlordécone, plus efficace mais aussi plus toxique, beaucoup plus bioaccumulable, et perturbateur endocrinien (œstrogène) : mauvais choix ! Mais le charançon du bananier était devenu résistant à l'HCH.

Le DDT et le lindane font partie des insecticides organochlorés, tels que l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlor... et la plupart d'entre eux sont interdits par la Convention de Stockholm, car ils sont bioaccumulables, persistants, et toxiques, à l'exception notable du lindane. L'interdiction de l'aldrine et de la dieldrine, particulièrement efficaces contre les termites, a permis le développement de ce fléau pour le bois, car les substituts utilisés,

organophosphorés ou pyréthroïdes, sont loin d'avoir la même efficacité. Moins persistants, ils nécessitent de renouveler les traitements tous les trois à cinq ans, ce qui se fait rarement, et ce sont donc les termites qui gagnent la bataille ! La carte de l'invasion des termites dans les villes est en constante progression. Cinquante départements français sont contaminés. En 1999, le Canada, très concerné par les constructions en bois, avait tenté en vain de conserver un usage contrôlé de ces substances... La Chine, plus convaincante que le Canada, a obtenu de l'ONU une dérogation pour utiliser le Mirex, autre organochloré termiticide interdit, pour lutter contre les termites chinois. D'autres pesticides sont utilisés aujourd'hui contre les termites : le fipronil, l'imidaclopride, des insecticides systémiques utilisés principalement en enrobage de semences, très critiqués par les apiculteurs, et des organo-fluorés (hexaflumuron, classé « risque réduit » par l'US EPA, molécule « totalement inoffensive pour l'homme et l'environnement », selon son promoteur, Dow Agri Sciences), dont le mode d'action est le contrôle de la reproduction ou de la mue du termite. Mais l'Ecole Polytechnique de Lausanne a trouvé que l'hexaflumuron perturbe la reproduction du collembole, petit insecte qui vit dans l'humus du sol, et participe à la biodégradation. (Campiche, 2006). Un termiticide peut-il être inoffensif ?

Le lindane, qui n'était pas visé par la Convention de Stockholm de 2001, car il ne possède pas tous les critères prévus pour caractériser les polluants organiques persistants, a cependant été interdit dans plus de cinquante pays, dont la France en 1998 (La Convention de Stockholm l'inscrira dans ses annexes en 2009). Il fait l'objet d'une dérogation pour les usages médicaux, car il n'a pas été totalement remplacé pour combattre les poux ! (La fameuse Marie Rose, « mort parfumée des poux », utilisait le lindane). Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France préconisait en 2003 l'utilisation contre les poux de la perméthrine (un pyréthroïde), du malathion (un organophosphoré), et du lindane en cas de résistance. Le lindane en agriculture a été souvent remplacé par l'imidaclopride, un insecticide systémique neurotoxique de la famille des néonicotinoïdes, suspecté en particulier d'être neurotoxique pour les abeilles, accusation qui fait toujours débat aujourd'hui. Les insecticides systémiques, appliqués aux semences, évitent les pulvérisations aériennes polluantes. Mais ils doivent, pour être efficaces, se répartir dans la plante par la sève pendant sa croissance, et leur dose toxique est donc bien plus faible que celle des insecticides classiques. La DL_{50} , dose létale pour 50% des abeilles, est de 27.000 nanogrammes par abeille pour le DDT, 560 ng par abeille pour le lindane, mais seulement de 4 ng par abeille pour le fipronil et 3,7 ng par abeille pour l'imidaclopride. A-t-on gagné au change ? (Dr Patrice Marchand CNRS, Orléans, 2010). Il est cependant probable que la cause des mortalités d'abeilles soit multifactorielle : on évoque aujourd'hui l'association entre les insecticides, des virus et la nosébose.

Un insecticide efficace est difficilement « bon pour l'environnement ». La loi dite Grenelle 2 du 15 Juillet 2010 le reconnaît explicitement : elle interdit que les pesticides de toute nature se parent de mentions telles que : « non dangereux », « non toxique », « biodégradable », « respectueux de l'environnement », « produit à faible risque », « ne nuit pas à la santé » (Article 101). Précision fort utile, y compris pour les pesticides dits

« naturels » utilisés en agriculture biologique, dont certains sont beaucoup plus toxiques que les pesticides de synthèse.

Les pesticides organochlorés sont aujourd'hui suspectés de liens avec la maladie de Parkinson en exposition prolongée. Mais les nouvelles substances insecticides sont beaucoup plus actives à faible dose, ce qui n'est pas nécessairement un avantage. Citons à nouveau James Lovelock : « *L'interdiction sans discernement du DDT et d'autres insecticides chlorés a été un acte égoïste inspiré dans les pays industrialisés, par de riches écologistes radicaux.* » Un scientifique africain témoigne : « *La résistance des moustiques au DDT et le principe de précaution des pays du Nord ont privé les Africains d'une arme efficace contre le paludisme.* » S'il était justifié d'abandonner ces substances en agriculture, il était aussi justifié de les conserver pour la lutte anti-vectorielle. C'est la position actuelle de l'Office Mondial de la Santé pour le DDT.

Les interdictions de substances sont toujours prononcées par les pays qui n'en ont pas besoin, soit parce que le climat leur est plus favorable, soit parce qu'ils disposent de produits de remplacement, en général plus coûteux, mais dont la promotion fait le bonheur de ses producteurs. Il ne faut certes pas nier le progrès, mais il faut reconnaître qu'il a un coût que tous les pays en développement ne peuvent accepter. Le réchauffement climatique risque de favoriser la reproduction des insectes vecteurs et de réduire la durée de maturation de l'agent pathogène dans l'organisme du vecteur (Académie des Sciences, 2006). Si ce réchauffement se confirme, on peut s'attendre à l'extension des zones concernées et une augmentation sensible des risques. Le moustique *aedes albopictus* est déjà présent en France dans sept départements, ce qui remet les campagnes de démoustication à l'ordre du jour. Il est arrivé en France en 2004 et a colonisé les Alpes Maritimes, le Var, les Bouches du Rhône et la Corse, et on le trouve localement sur les cotes du Gard, de l'Hérault, de l'Aude, et jusque dans le Vaucluse. Des cas de dengue « non importés » ont déjà été relevés dans le sud de la France. Par chance, les hivers plus rigoureux de nos contrées ne sont pas trop favorables aux moustiques, contrairement aux régions où la température est clémente toute l'année, ce qui limite les risques de large diffusion ! Il faut espérer que des progrès permettront de concevoir des insecticides efficaces moins dommageables pour l'environnement et pour la santé, mais en attendant certaines populations paient un lourd tribut « *au principe de précaution des pays du Nord* ». On espère beaucoup des insecticides « biologiques » obtenus à partir de bactéries ou de champignons. Mais ils sont peu persistants, souvent détruits par le soleil, ce qui nécessite des traitements plus fréquents.

Dans une réunion préparatoire à la directive « Biocides⁽⁶⁾ » de l'Union Européenne, un représentant des Amis de la Terre s'est distingué en affirmant : « *on devrait pouvoir trouver un biocide qui ne soit pas dangereux pour l'environnement !* » Mais, comme l'étymologie du nom l'indique, un « biocide » est une substance qui détruit les micro-organismes, « bio » pour vie et « cide » pour tuer, un produit « qui tue la vie » peut

⁶ Directive 98/8 du 16 Février 1998 concernant la mise sur le marché des produits biocides modifiés par la Directive CE 2006/50 du 29 Mai 2006

difficilement être « bon pour l'environnement ». On peut seulement parler de « risques réduits » pour les « nouveaux pesticides », d'origine biologique.

Jean de Kervasdoué écrit : « *c'est l'adjonction à doses mesurées d'un produit très toxique, l'eau de Javel, qui a permis l'amélioration de la qualité de l'eau, le premier facteur dans l'amélioration de l'espérance de vie aux XIX^e et XX^e siècles⁽⁷⁾* ». Dans le journal *Les Débats* de mars 1832, on pouvait lire : “ *Le choléra est dans nos murs. Aujourd'hui, neuf personnes ont été portées à l'Hôtel-Dieu. Quatre sont déjà mortes.* ” Le choléra fera jusqu'à mille morts par jour à Paris. L'épidémie s'étendra dans toute la France et ne se réduira qu'avec l'été. Casimir-Perier en sera l'une des victimes. D'autres épidémies de choléra surviendront en 1847, en 1853, en 1865, en 1869. L'épidémie de 1853 à 1855 fera 140.000 morts en France. Celle de 1865 à 1866 : 150.000. Il ne s'agit pas de fictions, contrairement aux écrits de Rachel Carson ! Et le choléra n'est pas la seule maladie véhiculée par l'eau. Plus de 140 virus pathogènes différents peuvent être identifiés aussi bien dans les eaux douces que marines. Louis Pasteur a dit : « *nous buvons 80% de nos maladies* » ! *Médecins Sans Frontières* distribue des ampoules d'eau de javel pour désinfecter les seringues des toxicomanes, l'eau de Javel étant, selon eux, le seul biocide efficace contre le VIH.

En 1991, une terrible épidémie de choléra a touché plus de 320.000 malades au Pérou et causé trois mille décès : les autorités avaient fortement réduit le niveau de chloration de l'eau potable à la lecture d'un rapport de l'Environmental Protection Agency des Etats-Unis, mettant en garde contre la formation de trihalométhanes cancérigènes liée à la présence de chlore. Mais les trihalométhanes se forment par action du chlore sur les matières organiques dissoutes ou particulaires, et la seule façon de les réduire est de réduire la concentration en carbone organique de l'eau avant la chloration, et non de réduire la teneur en chlore ! Raison supplémentaire, l'association des virus avec des éléments particuliers organiques augmente la résistance à l'inactivation de ces virus par le chlore (Schwarzbrod, 2000). On estime à deux millions de décès par an dans le monde les conséquences des maladies hydriques diarrhéiques du fait de la mauvaise qualité de l'eau de boisson. Et ces décès concernent surtout les enfants de moins de cinq ans.

L'heure n'est donc pas au désarmement...

Au printemps 2006, le Conseil Général des Bouches du Rhône décidait une campagne de démoustication en Camargue. La Camargue n'avait pas fait l'objet de telles campagnes depuis 1970, année de son classement comme zone protégée. La population de moustiques avait atteint, en septembre 2005, des niveaux historiques : on a donc utilisé un insecticide larvicide, appelé : Bti. Il est obtenu à partir d'une bactérie : *bacillus thuringiensis israelensis*, et dispose de l'appellation flatteuse d'insecticide « biologique », ce qui en fait l'insecticide le plus utilisé en agriculture biologique. C'est en Israël qu'à l'été

⁷ L'eau de Javel ou le chlore ou le bioxyde de chlore ou le chlorite de sodium, tous biocides. Le chlorite de sodium évite en particulier l'odeur désagréable du chlore dans l'eau.

de 1976 une bactérie démontrant des propriétés hautement larvicides pour les moustiques fut découverte dans une petite mare du désert du Néguev. Cette observation a donné naissance à toute une famille d'insecticides d'origine biologique. L'insecticide biologique Bti produit des toxines qui, une fois ingérées par les larves d'insectes, entraînent leur mort. Il se présente sous forme de préparations bactériennes vivantes ou de toxines Bt purifiées. Certaines bactéries ou champignons font donc partie des agents de lutte biologique ou microbiologique, par exemple en remplacement de produits phytosanitaires chimiques, et ces nouveaux « bio pesticides » se développent. Mais, biologique ou non, un insecticide reste un insecticide et doit donc être manipulé comme tel. On peut se réjouir de l'apparition de nouvelles armes contre les vecteurs de maladies graves. Le Bti est utilisé depuis plus de 30 ans mais son expansion est relativement récente. Des signes de résistance apparaissent déjà, et les toxines de Bti sont rapidement détruites par les rayons solaires, ce qui nécessite des applications fréquentes. Les risques potentiels pour d'autres espèces sont difficilement prévisibles (Maxime Schwartz 2008). Lors de la crise du chikungunya à la Réunion en 2006, le Bti a été utilisé, mais aussi des insecticides destinés à combattre les moustiques *aedes albopictus* adultes (le moustique tigre) : la deltaméthrine, un pyréthroïde de synthèse, ainsi que le fenitrothion, un insecticide organophosphoré. Car le Bti ne détruit que les larves.

On trouve le vecteur moustique dans nombre de maladies graves, la malaria, la dengue, qui sévissent dans les zones tropicales et qui touchent 60 à 100 millions de personnes chaque année, la fièvre du Nil, la fièvre jaune, etc. Et les moustiques sont prompts à développer des résistances aux différents insecticides. On peut donc penser que l'heure n'est pas au désarmement, mais que toutes les armes doivent pouvoir être utilisées. En favorisant, évidemment, les moins dommageables pour l'environnement. Chacune des quatre familles d'insecticides classiques : organochlorés, organophosphorés, carbamates et pyréthroïdes, font l'objet de résistances qui font perdre à ces produits leur efficacité avec le temps. Et on nous annonce de nouveaux moustiques résistants à deux familles d'insecticides à la fois ! Ainsi, les moustiques deviennent résistants aux insecticides organophosphorés en développant des enzymes capables de les détruire. Il y a plus de 500 espèces de moustiques dont une vingtaine susceptible de véhiculer des maladies graves. Et le développement de vaccins est rendu difficile par les mutations du parasite et ses formes variées. L'Institut Pasteur mise sur les anticorps développés par les porteurs sains pour concevoir un vaccin contre le paludisme, qui représenterait un grand progrès pour l'humanité et pour l'environnement. Un vaccin de GlaxoSmithKline biologicals, le RTS S/AS, semble prometteur.

La mortalité due à la malaria s'est accrue entre 1990 et 2000. La résistance de *plasmodium falciparum* et *plasmodium vivax* aux médicaments conventionnels, chloroquine, sulfadoxine ou pyriméthamine a fortement augmenté dans cette période... De nouveaux médicaments ont été développés : l'artémisinine, et ses dérivés. A l'origine de ces nouveaux produits se trouve une substance extraite d'une plante « *artémisia annua* », connue de longue date par la pharmacopée chinoise, et produite aujourd'hui par synthèse. Depuis 2012, Sanofi produit à moindre coût de l'artémisinine à partir de levures génétiquement modifiées. Selon Michel Kazatchkine, professeur de médecine à

l'Université René Descartes à Paris et ancien Directeur exécutif du Fonds mondial contre le sida, la tuberculose et le paludisme : « *En associant les traitements à base d'artémisinine ACT (antimalarial combination therapy, qui utilise plusieurs dérivés) à la distribution de moustiquaires imprégnées d'insecticides (la deltaméthrine) et au contrôle des vecteurs (moustiques) par épandage d'insecticides, on peut sinon éradiquer le paludisme, du moins empêcher qu'il ne soit un problème de santé publique.* » La deltaméthrine est peu persistante, et peu bioaccumulable, ce qui limite les risques de la retrouver dans les chaînes trophiques. Mais elle est néanmoins toxique. Et les moustiques vecteurs deviennent de plus en plus résistants à l'artémisinine.

Il est en général admis que varier les produits utilisés est un moyen de lutte contre les résistances développées par les insectes. En Europe, la directive « biocides » de 1998, qui exigeait le réenregistrement de tous les biocides utilisés, a provoqué la disparition de 40% d'entre eux, les producteurs estimant leur marché insuffisant dans l'Union Européenne. Ce fut le cas pour le Téméphos, larvicide organophosphoré. La France a dû demander une dérogation à l'Union Européenne, qui lui a été accordée pour la Réunion, la Guyane, la Martinique et la Guadeloupe ce qui a permis d'utiliser le Téméphos contre le chikungunya à la Réunion.

Virus, bactéries pathogènes, micro- organismes ne sont pas les seuls fléaux qui s'attaquent à l'homme ou à ses cultures.

Un exemple : **les criquets**. Comme le note Bruno Parmentier : « *une invasion de criquets, c'est un essaim de 50 millions d'insectes de sept à neuf centimètres de long, concentrés sur un kilomètre carré. Cet essaim peut parcourir chaque jour jusqu'à deux cents kilomètres et dévorer cent tonnes de matières végétales, dévastant la flore naturelle et les champs cultivés. C'est ce qui se passe régulièrement autour du Sahara, dernièrement en 2005... Quand les criquets partent, le peu de nourriture qui reste est mordu, couvert de déjections, propice aux infections bactériennes et inapte à la photosynthèse.* » Mauritanie, Sénégal, Mali, Niger, Maroc, Algérie, Tunisie, Libye, connaissent ces fléaux tous les dix à quinze ans. Mais en 2004, 15.000 à 20.000 hectares du sud de l'Aveyron ont été envahis ! En 2004, le gouvernement nigérien a lancé un appel à la communauté internationale pour réclamer une aide alimentaire suite à l'invasion de criquets qui a ravagé une bonne partie des récoltes faisant planer le spectre de la famine dans le pays.

Ces criquets, qualifiés de « huitième plaie d'Egypte », ont été à l'origine de famines et de morts depuis la plus haute antiquité.

Les champignons sont aussi capables du pire : le responsable de la Grande Famine irlandaise de 1845-1849 est le mildiou, *phytophthora infestans*, un oomycète, qui dévasta les récoltes de pommes de terre. La Grande Famine fit près d'un million de morts et provoqua un exode massif des Irlandais vers les Etats Unis ou l'Australie. L'Irlande, qui comptait près de 9 millions d'habitants en 1845, n'en comptera plus que 4 à la fin du XIX^e

siècle... Aujourd'hui le mildiou dévaste encore des récoltes : de pommes de terre en 2007 en Angleterre, et de tomates aux Etats-Unis en 2009.

En 1868, le vignoble français est attaqué par un puceron importé d'Amérique le *phylloxera vastatrix*, qui réduit la production nationale de 70 millions d'hectolitres à 25 millions. Il faudra attendre 1893 pour que cette production retrouve son niveau antérieur, après identification du coupable et reconstruction du vignoble avec des plants américains plus résistants. En 1878, nouvelle attaque avec le mildiou de la vigne, qui sera contrée par l'emploi de la bouillie bordelaise, mélange de sulfate de cuivre et de chaux, encore utilisé aujourd'hui, même en culture biologique.

Il existe aussi **plus de 300 mycotoxines** produites par plus de 200 moisissures. « *Elles doivent être classées parmi les toxiques naturels les plus puissants que l'on connaisse. Elles se développent dans les cultures ou lors de stockages trop humides. De nombreuses mycotoxines sont tératogènes et cancérigènes. En particulier, les aflatoxines, par leurs effets mutagènes, tératogènes, cancérigènes et hépatotoxiques, sont, dans l'état actuel de nos connaissances, les plus dangereuses des mycotoxines.* » (J. Berthier et G. Valla, Université Lyon I).

Certaines sont en outre des perturbateurs endocriniens. Pour lutter contre les mycotoxines, des substances fongicides sont nécessaires. Pour protéger ses récoltes, l'homme a besoin d'outils. Et ce ne sont pas les « préparations biodynamiques » ésotériques de Rudolf Steiner, (1861-1925) un des pères de l'agriculture biologique, qui suffiront.

Après les mycotoxines, **les phycotoxines**, produites par les algues de mer ou d'eau douce. En eau douce, des phycotoxines sont produites par les cyanobactéries ou algues bleues, à l'origine de nombreuses intoxications. En mer, les toxines marines sont souvent responsables des vagues de mortalité de poissons sauvages ou de mammifères marins (baleines, phoques), ainsi que de certaines épidémies qui déciment les poissons d'aquaculture.

Sous les aspects les plus flatteurs se cache parfois un toxique puissant

La belladone – La Belle Dame - plante très vénéneuse, est une très jolie fleur de la famille des solanacées, contient des alcaloïdes toxiques, en particulier l'atropine (les alcaloïdes sont des composés azotés et toxiques comme la morphine, la quinine, la strychnine, la nicotine, en général fabriqués par la plante pour se défendre contre ses prédateurs). La belladone produit de jolies baies noires : 2 à 3 de ces baies peuvent causer de sérieuses intoxications, et en manger 10 peut entraîner la mort d'un enfant, par paralysie des voies respiratoires. La ciguë très prisée des anciens grecs et romains est une plante de la famille des ombellifères et sa toxicité provient d'un autre alcaloïde : la cicutine. Le philosophe Socrate, en 399 avant J.C., fut condamné à boire la ciguë pour impiété et corruption de la jeunesse. Il semble bien qu'il en soit mort ! Alexandre le Grand (IVe siècle avant Jésus Christ) aurait succombé à un empoisonnement au vétrate, sosie de la gentiane jaune, et cousine de l'hellébore blanc, *veratrum album*, cher à Jean de La Fontaine (*Le lièvre et la*

tortue). Les colchiques des prés, mauves ou roses, contiennent un alcaloïde très toxique, la colchicine. Deux personnes sont mortes en 2002 en Autriche et en Croatie pour avoir utilisé de l'ail qui s'est révélé être du colchique. Le grec Théophraste, sans doute le premier herboriste célèbre (372-287 av J.C) écrit : « *en fonction du dosage, la drogue diffère le délai de la mort* ». La colchicine des colchiques est une substance capable de bloquer la division cellulaire. On l'appelle aussi « arsenic végétal » ! Autres alcaloïdes toxiques : l'aconine des aconits et du delphinium, la solanine et la chaconine de la pomme de terre, la spartéine des genêts et du lupin. Les baies rouges du chèvrefeuille peuvent être mortelles. Celles des daphnes ou daphnés ont été utilisées pour tuer les loups dans l'ancien temps ! Cinq à six baies étaient suffisantes... Le thuya, l'if, le buis, le laurier-rose contiennent des toxiques dangereux. Le bois du thuya et du cèdre contient suffisamment de toxiques pour décourager les termites de s'y aventurer ! L'if « *ne tue pas seulement en décoction, son ombre seule est fatale* » écrit Antonio Gamoneda dans son *Livre des poisons* avec un peu d'exagération !. Mais deux cent grammes de feuilles d'if peuvent tuer un cheval ! Les fruits rouges de l'if peuvent entraîner des paralysies respiratoires. Le cœur de la graine d'if contient des substances mortelles. La taxine de l'if, mélange d'alcaloïdes, est une substance cardiotoxique qui agit sur le cœur et le centre respiratoire de l'homme et de l'animal, et a une action paralysante. Vingt baies de gui peuvent paralyser un cheval. Quelques graines de ricin peuvent être mortelles pour les enfants. Même l'odorant muguet cache bien son jeu : il contient des glycosides cardiotoxiques, en particulier la convallatoxine, dont l'action rappelle celle de la digitale. Chaque année les centres anti poisons de France reçoivent 40 à 60 appels dus au muguet porte bonheur, qui concernent le plus souvent des enfants ayant mâché des tiges ou des fleurs ! Et le pyrèthre, insecticide très utilisé, qu'il soit naturel ou de synthèse, est aussi fabriqué par une belle fleur de la famille des chrysanthèmes ! En 2007, 6.572 cas d'intoxication due aux plantes ont été recensés par les centres antipoison français, et 65% des cas concernaient des enfants de moins de 5 ans. Les plantes en cause : digitale, laurier rose, if, aconit, colchique, belladone, datura, vétrate, muscade, coloquinte, narcisse (F. Flesch Centre antipoison de Strasbourg). La délicieuse senteur d'une rose est due en particulier à la présence de phényléthanal, qui est pourtant classé « nocif en cas d'ingestion » par le classement officiel des substances chimiques. Et la sève de la superbe berce du Caucase peut causer de terribles brûlures de la peau en cas de contact. On peut aussi citer la thuyone, terpène principal de l'huile d'armoise (wormwood, ou artemisia) qui entre dans la composition de l'absinthe, dont les ravages sur la santé des consommateurs (hallucinations, psychoses, suicides) ont entraîné l'interdiction ! La thuyone est un neurotoxique naturel puissant, que l'on trouve dans de nombreuses plantes : thuyas, sauge médicinale, certaines lavandes, balsamite, achillée... Il faut souligner cependant que l'absinthe était tellement riche en alcool que ses méfaits ne provenaient pas exclusivement de la thuyone ! Elle vient d'ailleurs d'être autorisée à nouveau, mais avec des degrés alcooliques réduits.

Notre belle Terre n'est pas le jardin d'Eden que certaines éco-sectes se plaisent à décrire, qui confondent beauté et bonté.

Un exemple : le mercure, élément toxique pour l'homme : l'OMS recommande de ne pas en inhaler ou absorber plus de 0,6 microgramme par jour et par kilo de poids corporel⁸. Les émissions naturelles de mercure sont nombreuses : volcans et activités géothermiques y contribuent pour 830 tonnes par an. Les émissions depuis la croûte terrestre dans l'atmosphère sont estimées à 1.000 tonnes par an pour les failles dans la croûte terrestre, et 700 tonnes par an par dégazage et érosion des sols. L'altération naturelle des roches a représenté, au cours des temps géologiques, la libération de quantités considérables de mercure dans l'environnement : une partie de ce mercure se trouve dans les océans, le reste se partage entre sédiments et atmosphère, où une concentration de 2 ng/m³ est relevée. On trouve dans les sols français, en moyenne 0,08 milligrammes de mercure par kilogramme de sol, mais cette teneur peut atteindre 11,6 mg/kg dans certains sols, suivant le BRGM. Mais l'océan reste la plus grande réserve de mercure avec des concentrations variables de 0,2 à 2 nanogrammes par litre. De ce fait, les poissons de mer carnivores contiennent du mercure, et du méthylmercure, qui sont des substances bioaccumulables dans la chaîne alimentaire.

Lorsque l'Union Européenne a défini en 1982 une norme de concentration maximale de mercure pour la consommation des poissons de mer (Directive 82/176) elle a été fixée à 300 microgrammes par kilo de poisson. Mais comme plusieurs espèces pêchées en mer dépassaient cette norme, elle a été portée à 500 microgrammes en 1995, avec des exceptions à mille microgrammes pour vingt espèces : thon, bar, raie, espadon... c'est à dire les poissons les plus carnassiers qui bioamplifient le mercure de leurs proies et se trouvent en bout de chaîne alimentaire... avant l'homme, qui les mangent ! Les poissons de la criée de Lorient contiennent en moyenne 400 microgrammes de mercure et méthylmercure (INERIS, 2008). Sur la base d'une dose acceptable de méthylmercure de 112 microgrammes par semaine pour un adulte (1,6 µg par kg de poids corporel et par semaine, OMS, 2003), on devrait limiter la consommation hebdomadaire de poisson de mer à 350 grammes en l'absence de tout apport d'autres sources. Le poisson de mer est riche en oméga 3 mais aussi en méthylmercure ! Cependant, il faut faire une différence entre les poissons carnivores et les autres : la moyenne serait de 357 µg/kg de poids frais pour les premiers, et 105 µg/kg pour les seconds (Narbonne, 2000). Mais on a trouvé des concentrations de 2.600 µg/kg dans du thon pêché en Turquie et importé en France ! (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2001). La dose acceptable de méthylmercure a été abaissée en 2003 par l'OMS pour tenir compte d'une plus grande sensibilité des femmes enceintes, et de l'exposition *in utero* de l'enfant. La Commission Européenne, dans une note d'information, recommande aux femmes enceintes de ne pas manger plus de 100 grammes par semaine de grands poissons prédateurs, tels l'espadon, le requin, le marlin et le thon.

⁸ Il faut rappeler que les doses acceptables fixées officiellement par l'OMS, l'AFSSA etc. comportent de grandes marges de sécurité. La dose acceptable de méthylmercure, plus faible, a été récemment abaissée pour tenir compte d'une plus grande sensibilité des femmes enceintes ou allaitantes.

Chez les adultes comme chez les enfants, le poisson constitue la contribution majoritaire à l'exposition au mercure (69 % et 60 %, respectivement, sous forme de méthylmercure uniquement, ANSES, 2011).

Ces constats peuvent faire les beaux jours des élevages de poissons : un saumon d'élevage reçoit une nourriture plus pauvre en mercure et donc en contient moins qu'un saumon de pleine mer. (Deux fois moins pour le saumon d'élevage de Norvège, selon L. B. Jardine, 2009). Ce qui ne veut toutefois pas dire qu'il est meilleur pour la santé ! Tout dépend de la qualité de son alimentation ! En 2004, un journaliste américain, Ronald Hites, accusait le saumon d'élevage européen de contenir des doses élevées de PCB et de dioxines. Ronald Hites ignorait le mercure des saumons américains pour se focaliser sur ces substances. Des teneurs de 2,6 microgrammes de PCB par kilo ont été relevées contre 1,6 pour les poissons de mer, dose considérée comme acceptable par les autorités sanitaires, compte tenu de la consommation. (L'AFSSA indique une dose journalière admissible de 0,02 µg par kg de poids corporel pour les PCB non assimilables aux dioxines, soit 1,4 µg pour un adulte de 70 kg, ce qui permettrait une consommation de 538 g par jour, chiffre maximum, car il y a d'autres sources !). La société PICARD Surgelés communique les chiffres suivants pour la teneur en dioxines et PCB assimilés : filets de saumon d'élevage 0,92 pg/g ; filets de cabillaud : 0,04 pg/g. et moins de 4 pg/g pour tous les poissons. La teneur autorisée par la Directive 1881/2006 est de 8 pg/g.

Les éruptions volcaniques sont tout aussi naturelles... et elles polluent beaucoup !

Si on admire le rougeolement des laves qui coulent sur les flancs du volcan, spectacle magnifique, on oublie les milliers de tonnes de gaz et d'aérosols polluants qui s'en échappent. Les éruptions volcaniques peuvent aussi être meurtrières : en 1902, l'éruption volcanique de la Montagne Pelée en Martinique fit 28.000 morts.

Les émissions gazeuses des volcans se composent essentiellement d'eau, de dioxyde de carbone (CO₂) de composés soufrés : dioxyde de soufre (SO₂) et sulfure d'hydrogène (H₂S), de composés halogénés : acides chlorhydrique (HCl) et fluorhydrique (HF) d'hydrogène (H₂) et d'un très grand nombre d'autres constituants, sels métalliques, hydrocarbures, et même des CFC⁹.

On estime à 23 millions de tonnes par an le flux de dioxyde de soufre émis par les volcans (Bates et al, 1992). Mais ce chiffre ne tient pas compte d'éruptions exceptionnelles. L'éruption du Pinatubo aux Philippines le 15 juin 1991 a été particulièrement étudiée grâce à deux satellites : quelques 20 millions de tonnes de soufre, sous forme de dioxyde de soufre ont été injectées dans la basse stratosphère. Parallèlement des quantités importantes d'acide chlorhydrique ont été émises, et du chlore actif sous forme de ClO⁻ a été mesuré aux latitudes moyennes dans les masses d'air chargées en aérosols. Les observations montrent que la quantité d'ozone stratosphérique a diminué très rapidement, quelques mois après l'éruption du Pinatubo ;

⁹ Chloro fluoro carbures, interdits par le protocole de Montréal

de l'ordre de 4% aux latitudes moyennes et jusqu'à 6 % à l'Equateur (Chandra. 1993, cité par le rapport n° 31 de l'Académie des Sciences en 1994). L'éruption du Pinatubo a produit environ 30 millions de tonnes d'aérosols, environ trois fois plus que l'éruption précédente du El Chichon en 1982 au Mexique. Elle a démontré que des polluants en quantités massives pouvaient être injectés directement dans la stratosphère par les volcans, stratosphère qui s'étend à une altitude de 10 à 50 kilomètres au-dessus du sol. Et ainsi affecter la chimie de la stratosphère. Ce fut le cas en 1976, lors de l'éruption du volcan Mont Sainte Augustine dans l'Alaska, en 1980 pour le Mont Sainte Hélène, et en 1989 pour le Mount Redoubt dans l'Alaska. Parmi les catastrophes naturelles qui ont marqué l'histoire, figure l'éruption du volcan Perbuatan, sur l'île de Krakatoa, dans l'archipel de la Sonde, entre Java et Sumatra, le 27 Aout 1883. L'éruption, d'une rare violence, a provoqué un tsunami qui a fait 36.000 victimes. Des vagues de plus de 40 mètres de haut ont rayé de nombreux villages de la carte. Un énorme panache de cendres et de gaz est monté à plus de 40 kilomètres d'altitude.

On ne peut évidemment pas oublier le Mont Erebus situé très près du fameux « trou » d'ozone dans l'Antarctique, sur l'île de Ross, qui a émis constamment des fumées pendant plus de cent ans et dont certaines éruptions dépassaient les 35.000 tonnes d'acide chlorhydrique par jour. Puisque la destruction de l'ozone de la stratosphère semblait liée à une concentration plus élevée en chlore, on pourrait penser que les chlorofluorocarbures condamnés par le protocole de Montréal en septembre 1987, n'étaient pas les seuls coupables. Cette hypothèse, chère au volcanologue Haroun Tazieff, n'est plus tout à fait hérétique aujourd'hui, alors que l'on constate que, vingt ans après le protocole de Montréal, « *la couche d'ozone se porte toujours aussi mal, pire : le trou d'ozone observé en 2006, par exemple, a même été l'un des plus profonds jamais enregistrés* » (Didier Hauglustaine, Directeur de Recherches au CNRS, 2007). Et de nouveau en 2008. Pourtant, le niveau de substances destructrices de la couche d'ozone continue de décliner, selon Michel Sarraut, Secrétaire Général de l'Organisation Météorologique Mondiale (2007). Une baisse de 8 à 9% depuis le pic de 1992-1994. Les experts ont mis en évidence d'autres facteurs influençant la dimension du « trou » : la variation de la température, les variations naturelles de la dynamique de l'air, les cycles solaires, les aérosols, et les éruptions volcaniques (Organisation Météorologique Mondiale : *Global ozone research and monitoring project*. Report n°50, 2006)

Depuis qu'un trou d'ozone apparaît sur l'océan Arctique, l'Organisation Météorologique Mondiale met en cause l'acide chlorhydrique, et confirme donc la thèse d'Haroun Tazieff, en écrivant : « *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 le ClONO₂ formé par la réaction des oxydes d'azote sur le radical ClO. L'activation du chlore a lieu lors de réactions hétérogènes dans les nuages stratosphériques polaires formés lorsque la température descend au dessous de moins 75°C, et lorsque la lumière revient sur le pôle.

Les émissions du Mont Erebus ont été évaluées pendant la période 1986 et 1991 par spectromètre de corrélation COSPEC, qui mesure les émissions de SO₂. Les quantités d'acide chlorhydrique et d'acide fluorhydrique ont été déduites 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. »

La mer : une usine biologique et chimique...

Après la terre, la mer : passons aux **émissions marines**. La mer recouvre plus de 70% de notre planète et c'est une véritable usine biologique et chimique. La bonne odeur d'embruns que l'on remarque en bord de mer est faite d'un cocktail chimique : à la base, c'est le sel qui est transporté par les aérosols des embruns qui parvient ainsi à nos muqueuses nasales. Mais il n'est pas seul : l'activité des algues et du phytoplancton ajoute des substances nombreuses et variées, qui dépendent d'ailleurs des mers et des conditions climatiques. Parmi celles-ci, la triméthylamine issue de la décomposition des protéines de poissons, et les iodométhanes, On estime aussi à 17 millions de tonnes par an les émissions marines de soufre dues à l'activité de la biomasse (Bates et al, 1992), sous forme de composés sulfurés tels que le sulfure de diméthyle (DMS). Le sulfure de diméthyle est formé en particulier par la décomposition d'algues marines. Il se décompose lui-même dans l'atmosphère en acide méthane sulfonique et d'autres composés soufrés. Les iodométhanes sont formés par combinaison des radicaux méthyles issus de la matière organique et de l'iode formé par oxydation de l'iodure de sodium présent dans l'eau de mer. A terre la décomposition des algues peut former de nombreux composés toxiques, dont l'hydrogène sulfuré, autrefois appelé « le plomb des vidangeurs », car la perte de connaissance de celui qui en respire est immédiate.

Le phytoplancton est aussi à l'origine d'une émission de chlorure de méthyle estimée à plus de 5 millions de tonnes par an, soit 150 fois plus que la production anthropique. L'eau de mer étant riche en chlorures, environ 30 g/litre, mais aussi en bromures, 67 mg/l, et en iodures (0,06 mg/l d'iode), les océans forment du bromure de méthyle, émission estimée à 56.000 tonnes par an. Cette émission naturelle est très supérieure aux quantités qui étaient utilisées comme pesticide par fumigation dans l'agriculture, usage pourtant interdit en 2005. Chlorure et bromure de méthyle sont en effet visés par le protocole de Montréal. Le Règlement de l'Union Européenne 2037/2000 autorise cependant des dérogations pour le bromure de méthyle... car ses substituts sont beaucoup plus toxiques ! Les algues marines fabriquent aussi du chloroforme, du bromoforme, et de nombreuses autres substances organiques chlorées, bromées, et iodées. Le bon air du large est donc un large cocktail de substances chimiques !

Autre émission naturelle : le méthane.

Le méthane est produit par les microorganismes dans les milieux pauvres en oxygène, tels que les zones humides ou les rizières, dont les émissions de méthane sont estimées entre 130 et 240 millions de tonnes par an. Le Max Planck Institute a suggéré récemment que la végétation terrestre émettait également du méthane. Les observations sont faites à trop petite échelle pour quantifier exactement cette émission. Mais, selon l'Institut, elle pourrait doubler celle des zones humides. Autre source de méthane, la panse des vaches. Le phénomène est le même que dans les zones humides, c'est la fermentation par des microorganismes qui est à l'origine de la formation de méthane. On attribue actuellement à l'élevage 18% des émissions de gaz à effet de serre mondiales en équivalent CO₂. Christian Gérondeau écrit avec humour qu'une vache émet chaque année plus de gaz à effet de serre (2,5 tonnes de CO₂ équivalent) qu'une automobile moyenne parcourant chaque année 14.000 kilomètres (165 g par kilomètre ou 2,3 tonnes par an). Il faut rappeler que le méthane est vingt-trois fois plus radiatif que le CO₂. L'activité digestive des termites serait aussi à l'origine d'émissions considérables de CO₂ et de méthane ! L'aldrine et la dieldrine auraient donc pu être des agents efficaces de lutte contre le changement climatique !

Le méthane est un gaz à effet de serre : c'est à dire que sa présence dans l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement infrarouge (chaleur) émis par la terre et en réémet une partie vers la terre, ce qui conduit à son réchauffement (effet de serre). Cet effet est bénéfique pour la terre, en ce sens qu'il maintient une température moyenne de 15° C à la surface de la terre, alors que sans effet de serre de l'atmosphère, elle serait de moins 18° C. C'est l'augmentation du phénomène, liée à une augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère qui fait craindre le réchauffement du climat. La concentration du méthane dans l'atmosphère est passée de 0,8 parties par million en volume à 1,6 partie par million en 100 ans. Cette concentration était de 1,75 ppm en 2004.

Principaux gaz à effet de serre : la vapeur d'eau, le plus important, le dioxyde de carbone (CO₂) arrive en deuxième position, et représente 56% de l'effet de serre du aux émissions anthropiques, le méthane, l'ozone, les oxydes d'azote, en particulier le protoxyde d'azote (N₂O). On a essayé d'exprimer le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG, ou GWP en anglais) de ces gaz, par rapport à celui du CO₂, affecté du coefficient 1. Le méthane à un PRG de 23, c'est à dire qu'un kilo de méthane est équivalent à une émission de 23 kilos de CO₂, pour un effet au bout de 100 ans⁽¹⁰⁾. Le protoxyde d'azote a un PRG de 296. Ce PRG du protoxyde d'azote est important pour l'évaluation de l'intérêt des agro carburants car la quantité émise par les cultures est mal connue. Les évaluations du GIEC sont contestées par Paul Crutzen, Prix Nobel de Physique, qui les juge très sous estimées. Les gaz à effet de serre montrent des concentrations dans l'atmosphère croissantes en un siècle : 28% pour le CO₂, (de 300 en 1900, 355 en 1990, à 391 ppm volume en 2011), 15% pour le protoxyde d'azote, 80% pour le méthane, (de 1 à 1,8 ppm

(10) Le méthane disparaît de l'atmosphère en douze ans ce qui n'est pas le cas du CO₂, dont la durée de vie est beaucoup plus longue (100 ans). Le PRG doit donc intégrer dans la durée, ces différences et le PRG sera différent suivant la durée choisie.

volume). Le gaz à effet de serre le plus important, la vapeur d'eau, est le moins bien modélisé, compte tenu de la complexité du cycle de l'eau. Selon Roger Temam, membre de l'Académie des Sciences : « *On considère que la plus grande source d'incertitude est due aux nuages qui modifient fondamentalement le bilan d'énergie de l'atmosphère par leur capacité à absorber ou non les radiations du soleil (ultra-violet) et de la terre (infrarouge) et par les phénomènes de condensation, gel, dégel ou évaporation qui s'y produisent.* » (*Libres points de vue d'Académiciens sur l'environnement et le développement durable* - 25 novembre 2009).

Il est assez étonnant que des composés, qui représentent des fractions infimes de l'atmosphère (vapeur d'eau : 0,3%, CO₂ : 0,037%, Ozone : 0,000003%) au total moins de 1% du volume de l'atmosphère, soient les seuls responsables de l'effet de serre. Mais les émissions nombreuses d'aérosols naturels ou anthropiques, provoquent un effet inverse, soit directement en réfléchissant le rayonnement solaire incident vers l'espace, soit indirectement en favorisant la formation de gouttelettes d'eau à leur surface, donc de nuages. L'estimation de l'impact des phénomènes liés aux aérosols est aussi affectée d'une grande imprécision. En outre, les aérosols ne sont pas uniformément répartis, ce qui complique le problème. Pour le compliquer encore un peu plus, il faut évoquer l'influence qu'un réchauffement climatique peut avoir sur les réserves. Ainsi, l'océan profond contient environ 39.000 milliards de tonnes de carbone, sous forme de CO₂, dont « seulement » 90 milliards de tonnes sont émises chaque année (Gérard Mégie 2004, GIEC 2001). Aujourd'hui, l'absorption chimique et biologique du gaz carbonique de l'atmosphère par les océans représente 92 milliards de tonnes par an, ce qui fait des océans un puits de carbone. L'absorption du CO₂ par l'eau de mer augmente si la concentration atmosphérique augmente. Mais elle diminue si la température augmente, particulièrement en surface. L'absorption est due à la photosynthèse et au phytoplancton et à des réactions chimiques, mais ces phénomènes supposent d'abord un passage en solution.

Que deviendront ces 90 milliards de tonnes en cas de réchauffement, même faible ? Et si le « permafrost » (pergélisol), c'est à dire les terres gelées en permanence près du pôle Nord (Sibérie), ainsi que les océans se réchauffent, ils contiennent des quantités énormes d'hydrates de méthane susceptibles d'émettre du méthane. On a trouvé des hydrates de méthane dans les océans en de nombreux endroits de la planète, en général à des températures proches de 0°C et à des profondeurs supérieures à 500 mètres, et les quantités semblent considérables (R.E Pellenbarg et M. D. Max, 2008). Des recherches internationales sont en cours pour tenter d'exploiter ces gisements. L'évaporation de vapeur d'eau à partir des océans produit des effets complexes : la vapeur d'eau est un gaz à effet de serre, mais l'ascension d'air humide permet la création de nuages convectifs – les cumulo-nimbus - qui s'élèvent très haut et brassent l'atmosphère sur dix kilomètres, refroidissant fortement la surface.

Quelques précisions sur l'atmosphère, constituée de plusieurs couches :

- La **troposphère**, située entre 0 et 10 km, contient environ 90 % de la masse totale d'air de l'atmosphère et la quasi totalité de la vapeur d'eau. Cette couche est le champ

des phénomènes météorologiques comme les pluies et les vents, et la température y décroît de façon régulière d'environ 6°C tous les 1.000 mètres. La tropopause est la partie supérieure de la troposphère.

- La **stratosphère** est située entre 10 et 50 km d'altitude. Elle contient la **couche d'ozone**, entre 20 et 30 km. La couche d'ozone absorbe une partie du rayonnement solaire et protège la biosphère de rayonnements nocifs comme les rayonnements ultraviolets et les rayonnements cosmiques.

Grâce à l'atmosphère et au champ magnétique terrestre, seulement 0,05% du rayonnement cosmique atteint le niveau de la mer. Mais l'exposition augmente avec l'altitude. A l'altitude de croisière d'un avion, le rayonnement cosmique est 150 fois plus élevé qu'au niveau de la mer (IRSN, 2007).

- La **mésosphère** est située entre 50 et 80 km d'altitude. Elle contient du gaz carbonique qui peut intervenir dans l'effet de serre.

Selon l'IPCC (2011), les contributions anthropiques à l'effet de serre, en équivalent CO₂, sont les suivantes :

<i>Gaz carbonique des combustibles fossiles :</i>	<i>56,6%</i>
<i>Effet de la déforestation :</i>	<i>17,3%</i>
<i>Méthane :</i>	<i>14,3%</i>
<i>Protoxyde d'azote :</i>	<i>7,9%</i>
<i>Gaz fluorés :</i>	<i>1,1%</i>
<i>Autres :</i>	<i>2,8%</i>

Notre planète est aussi une importante réserve de matières radioactives.

En Finlande et au Canada, les eaux souterraines peuvent contenir des concentrations importantes d'uranium. La présence d'uranium et de thorium entraîne celle de produits de filiation tels que le radium, et le radon. Charles Cobb écrivait dans le National Geographic, en avril 1989 : « *Pour ceux qui n'aiment pas la radioactivité, la terre n'est pas une bonne place pour vivre* ». Yves Caristan, Directeur Général du Bureau de Recherches Géologiques et Minières remarque que « *la Terre est le premier réacteur nucléaire naturel puisque la chaleur du sol et du sous-sol est générée par la désintégration des éléments radioactifs qui sont dans la croûte terrestre, et en particulier, le potassium 40.* »

Le Comité Scientifique des Nations Unies pour les effets des radiations, estime que plus de 98% des doses reçues par la population, en dehors des expositions médicales, provient de sources naturelles. Le complément de 2% était attribué aux centrales nucléaires et aux essais d'armes atomiques. La dose moyenne pour un habitant de la

France est de 3,3 milliSieverts par an ou 330 millirems¹¹. Une radiographie des poumons serait responsable d'une dose de 0,1 milliSievert, mais la dose est de 10 à 12 milliSieverts pour un scanner. Comment se répartissent-elles en moyenne ? L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire donnait la répartition suivante pour la France en 2005 :

<i>Radon</i>	42,4%
<i>Médical</i>	24,2%
<i>Rayonnement des sols ...</i>	15,1%
<i>Rayons cosmiques</i>	9 %
<i>Eau et aliments</i>	6 %
<i>Autres</i>	<3 %

UUUUnités et définitions

La dose absorbée se mesure en Gray, Gy, qui correspond à l'absorption d'un joule par kilogramme. Le gray a remplacé le rad, qui vaut 0,01 Gy

La dose absorbée équivalente se mesure en Sieverts. C'est la dose absorbée multipliée par un facteur de pondération qui dépend du type de rayonnement (alpha, bêta, gamma, X), l'unité utilisée couramment est le milliSievert, millième de Sievert. (mSV). On utilise aussi le rem, qui vaut un centième de Sievert.

1 milliSievert vaut donc 100 millirems

La dose efficace tient compte en outre de la nature des tissus soumis aux radiations et de la sévérité des effets. Des facteurs de pondération sont donc appliqués selon les organes.

L'activité est exprimée en **Becquerels** (Bq). Un Becquerel correspond à la désintégration d'un noyau atomique par seconde. Les éléments radioactifs se décomposent naturellement. On parle de désintégration. Ainsi, l'uranium 238 tend à se transformer en une forme stable, le plomb 206, après plusieurs étapes intermédiaires de durée variable.

On a aussi utilisé **le Curie**, qui est l'activité d'un gramme de radium. Dans un gramme de radium, il se produit $3,7 \cdot 10^{10}$ désintégrations par seconde : le curie vaut donc $3,7 \cdot 10^{10}$ Becquerels. On utilise le plus souvent le **picoCurie** (pCi), et un becquerel vaut 27 pCi.

La demi-vie ou période d'un élément radioactif est le temps nécessaire pour réduire son activité de moitié, c'est-à-dire que la moitié des atomes radioactifs d'origine se sont désintégrés.

Il est en général admis que la dose était plus faible en 1900, la différence étant due à une extension considérable des examens médicaux radiologiques, et des voyages en avion, inexistantes en 1900, les autres postes n'ayant guère évolué. Le National Council on

¹¹ La dose reçue est exprimée en Sievert ou en Rem (10^{-2} Sieverts) 1 milliSievert est donc équivalent à 100 millirems

Radiation Protection des Etats-Unis admet que l'exposition de la population des Etats-Unis aux rayonnements ionisants a sérieusement augmenté de ce fait entre 1995 et 2006 (dose totale de 360 millirems en 1995 et 620 millirems en 2006).

A noter que le fait de regarder les écrans cathodiques de la télévision couleur, quelques heures par jour, correspondait à une dose de 0,5 à 1 millirem par an. Et le corps humain a aussi une activité radioactive : 100 Bq par kilo de poids corporel, soit 7.000 Bq pour un adulte. Cette radioactivité provient de la nourriture : principalement du carbone 14, et du potassium 40, présent à 0,0117% dans le potassium. Le carbone 14 représente une très faible part du carbone 12, ($1,2 \cdot 10^{-12}$ g par gramme de carbone), mais la photosynthèse absorbe les deux à partir du gaz carbonique, et le carbone 14, dont la demi-vie est de 5.730 ans, est donc présent dans tous les végétaux. Ainsi l'artichaut a une activité de 300 Bq par kilo, la pomme de terre de 150 Bq/kg. Une maison en granite a, elle, une activité de 4 milliards de Bq ! (Source : *www.andra.fr*). La pierre de granite a une activité de 3.500 Bq/kg en Corse et en Limousin, mais 6.000 en Bretagne. La radioactivité du granite permet à Georges Charpak, prix Nobel de physique, d'écrire : « *une ville comme Paris, en raison de la présence de bordures de trottoirs en granite, subit le rayonnement de milliards de Becquerels* » (G. Charpak 2001).

La radioactivité du corps humain correspond à une dose de 0,25 mSv par an. Georges Charpak avait proposé de choisir cette valeur comme dose de référence, le « dari », ce qui permet de dire que l'habitant de la Bretagne est exposé à 10 daris ou qu'un scanner vaut 40 daris. Cette proposition, qui n'a pas eu le succès escompté par son auteur, avait pour objet de démystifier les rayonnements ionisants, en montrant leur présence permanente dans notre environnement.

Toutes les eaux de source, principalement dans les massifs granitiques ou volcaniques, sont radioactives et participent sous forme de boisson à la radioactivité du corps humain.

Les doses d'exposition aux rayonnements ionisants varient fortement d'un lieu à l'autre. L'Union Européenne estime à 1 mSv par an l'exposition due à l'alimentation, et affecte 10% de cette dose à la boisson. L'Académie de Médecine indique que les doses d'exposition en France, sont comprises entre 1,5 et 6 mSv par an, soit 150 à 600 millirems, suivant les lieux, les doses les plus élevées étant souvent liées à une présence importante de radon dans les sols.

La cité de Bath en Grande Bretagne est connue pour ses sources thermales radioactives qui ont une activité de 2.000 picoCuries par litre¹², soit 74 Bq/l. (Un Becquerel est égal à 27 picoCuries). Cette radioactivité est due à la présence de radon 222

¹² une Curie est l'activité d'un gramme de radium. Un gramme de radium est le siège de 37 milliards de désintégrations par seconde, ce qui correspond à 37 milliards de Becquerels. On parle de picoCurie PCi = 10^{-12} Ci. En unité SI une Curie équivaut à $3,7 \cdot 10^{10}$ Becquerels. Un becquerel vaut donc 27 picoCuries.

³ la dose reçue est exprimée en Sievert ou en rem, qui vaut 0,01 Sievert. Un milliSievert est donc équivalent à 100 millirems.

et de radium 226. Mais la radioactivité des eaux de Badgastein, en Autriche, est encore plus élevée : 1.480 Bq/l (Andrews and Wood, 1974), et on affirme que l'Empereur François-Joseph faisait chaque année une cure à Badgastein pour profiter des bienfaits de cette eau ! Au Canada ou en Finlande, on peut trouver des nappes d'eaux souterraines contenant plus de vingt milligrammes par litre d'uranium, alors que l'OMS propose une valeur guide de 15 microgrammes par litre ! Sur 51.866 échantillons d'eau distribuée en France, les analyses d'uranium vont de 0,15 à 112,5 µg/l (IRSN, 2009). Des eaux minérales du Centre de la France portaient vers 1920 une étiquette « Source Radium, autorisée par l'Etat » qui ferait fuir le consommateur aujourd'hui, ou la mention : « eau naturellement radioactive ». Il est vrai qu'à la même époque, on pouvait trouver du dentifrice au radium, de la bière au radium, des sels de bains, des crèmes de beauté au radium, la crème Tho-Radia, « méthode scientifique de beauté », disait l'étiquette, mais aussi du talc Tho-Radia pour les bébés ! On pouvait se procurer des sels de radium pour fabriquer des « élixirs de jouvence » ! En 1916, la revue médicale américaine *Radium* affirme que "*le Radium n'a absolument aucun effet toxique, étant accepté harmonieusement par le corps humain, comme la lumière solaire pour les plantes.*" En 1916, l'American Medical Association inscrit les bromures, chlorures, sulfates, carbonates de radium parmi la liste des substances à usage thérapeutique, et l'on soigne grâce à ces nouveaux produits l'arthrite, la goutte, l'hypertension, la sciatique, le lumbago et le diabète. A cette époque, on ne connaissait pas le principe de précaution !

Aujourd'hui, la radioactivité de certaines eaux minérales est abaissée par un traitement de dégazage/aération ou d'extraction du fer et du manganèse par oxydation, qui entraîne également les éléments radioactifs, et on préfère mettre l'accent sur la présence d'oligo-éléments. Les eaux minérales contiennent souvent des éléments radioactifs, en particulier du radon, mais aussi de l'uranium 234, dont la concentration dépend de la nature des terrains traversés et du temps de contact de l'eau avec ceux-ci. Le radon se dégaze à l'air et on en trouve des concentrations importantes dans l'atmosphère des stockages. Les sources les plus radioactives, en général les eaux salines et gazeuses, peuvent être traitées en tant que de besoin. La CRIIRAD écrit avoir trouvé dans un forage de Haute Vienne une eau dont l'activité est de 1.230 Bq/l, presque autant qu'à Badgastein !

La cité thermale de Bath a été créée par les Romains vers cinquante avant J.C. et les Romains trouvaient à ses eaux des vertus thérapeutiques. Cette réputation se prolongea jusqu'au XVIII^e siècle. Un hôpital, le St John Hospice, fut créé en 1174 pour soigner les rhumatismes. De nombreuses têtes couronnées d'Europe eurent recours à ses soins. Il n'y a aucune preuve de l'effet bénéfique de ces eaux, mais il n'y a pas de preuves, non plus, de leur effet négatif pour la santé. Il est vrai qu'à ces époques, on mourait jeune.

Les régions riches en granite et les régions volcaniques sont soumises à des émanations de radon, produit gazeux de filiation du radium 226 et 224, eux-mêmes descendants respectifs de l'uranium 238 et du thorium 232, présents dans la croûte terrestre. Le radon émis par le sol peut pénétrer et se concentrer dans les habitations. La dose moyenne en France d'exposition au radon est de 1,3 mSv par an, mais cette dose

peut être 10 fois plus élevée dans certains lieux, et même davantage dans des caves peu ventilées. Des concentrations supérieures à 150 Bq/m³ de l'air des habitations ont été mesurées dans plusieurs régions en France : Auvergne, Lozère, Limousin, Creuse, Corrèze, Doubs, Corse du Sud. Les concentrations mesurées vont de 10 à plus de 150 Bq/m³ (IRSN, 2000).

De nombreuses études épidémiologiques sur le rapport entre exposition au radon et cancer du poumon ont été réalisées et n'ont, en général, trouvé aucun lien aux faibles doses¹³. Le Plan National Santé Environnement PNSE2 de juin 2009 attribue cependant à l'exposition au radon de la population française la deuxième cause de cancer du poumon, avec 5 à 12% des 25.000 cas de décès causés par ce cancer chaque année. Mais le plus souvent, c'est l'exposition combinée au radon et à la fumée du tabac qui est en cause.

Des études ont été réalisées sur 5.000 mineurs ayant travaillé dans les mines d'uranium en 1985. Aucun cancer du poumon n'a été constaté pour une exposition au radon inférieure à 150 becquerels par mètre cube. En 1999, le National Research Council des Etats-Unis a étudié les données de 11 cohortes de mineurs, (BEIR Committee, 1999) et ses résultats sont à la base des estimations du risque, encore aujourd'hui. L'Institut de Veille Sanitaire estime que l'excès de risque individuel de cancer du poumon lié à une exposition à une concentration supérieure à 400 Bq/m³ serait de 100%, soit un risque doublé par rapport à une personne non exposée, risque accru pour les fumeurs. L'arrêté du 22 juillet 2004 prévoit des dispositions concernant la présence de radon dans les lieux publics pour trente et un départements français. Des seuils de concentration maximale sont fixés. Au-delà de 400 Bq/m³, des actions simples sont à mener pour réduire l'exposition. Une campagne réalisée en 1999 dans 13.099 établissements publics, a montré que 8% des établissements se situaient entre 400 et 1.000 Bq/m³ et que 4% dépassaient le seuil de 1.000 Bq/m³. En Bretagne, entre 30.000 et 60.000 logements dépasseraient le seuil de 400 Bq/m³ et 2.000 à 5.000 le seuil de 1.000 Bq/m³. Le Haut Conseil de la Santé Publique demande que le seuil de 400 Bq/m³ soit abaissé à 300, et que des mesures « simples » soient prises pour tous les logements dépassant ce seuil. Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment préconise une ventilation renforcée et une mise en dépression des sols. Les dallages sont isolés des sols par une barrière d'étanchéité et les sols sont garnis d'un gravier collecteur avec puits d'évent vers le toit. Les actions en faveur des économies d'énergie, qui incitent à un meilleur isolement, ne devront pas oublier ces aspects de protection de la santé des occupants.

Le rayonnement cosmique

Mais le sol n'est pas la seule source de rayonnement reçue par l'homme. Le rayonnement cosmique provient d'explosions cosmiques, par exemple de supernovas en fin de vie. Il est constitué principalement de noyaux d'hydrogène (protons), (85%), d'hélium, (12,5%), ou d'électrons, (1,5%). La plus grande partie de ce rayonnement

¹³ un article du British Medical Journal de Décembre 2004 fait état d'un excès de cancer du poumon de 9%, lié à l'exposition au radon, d'après des études européennes.

dangereux est absorbée par l'atmosphère et le champ magnétique terrestres, et on admet que seulement 0,05% atteint le niveau de la mer. Le rayonnement cosmique est de 0,3 mSv au niveau de la mer, mais augmente avec l'altitude. A l'altitude de croisière d'un avion, le rayonnement cosmique est 150 fois plus élevé qu'au niveau de la mer (IRSN, 2007). Pour une élévation de 1.500 mètres, l'exposition est doublée. Un séjour d'un mois à l'altitude de 2.000 mètres entraîne une dose de 0,05 mSv. Un Parisien reçoit 1 mSv en 17 mois, mais la même dose est reçue en 9 mois en Limousin, ou au cours de 7 vols Paris Tokyo ou Paris San Francisco (Sievert system.org). Si le rayonnement cosmique entraîne une exposition de 0,26 mSV par an à Marseille, au niveau de la mer, cette dose passe à 0,74 à Mexico (2.200 mètres), et à 1,75 à La Paz (3.900 mètres) (Paulin, 1997).

Quels sont les risques liés à l'exposition aux rayonnements ?

Il faut aussi noter que dans certaines parties du monde, en Inde, en Chine, ou au Brésil, les taux d'exposition, qui sont en moyenne de 3,3 milliSieverts par an en France, atteignent des valeurs de 10 à 50 milliSieverts par an, sans effet notable sur la population et dans l'environnement...

Le risque lié à l'exposition aux rayonnements ionisants, a été évalué par le Comité Scientifique des Nations Unies (International Commission on Radiological Protection, 1991) qui a établi un excès de risque individuel de $5 \cdot 10^{-4}$ par rem d'exposition (l'excès de risque individuel est la probabilité supplémentaire de développer un cancer dû à l'exposition, sa vie durant, à un agent particulier, en l'occurrence aux radiations, comparée au risque des personnes non exposées).

Pour une exposition moyenne de 330 millirems par an, soit 3,3 mSv, dose moyenne en France, le risque serait donc de 1,65 sur 10.000, évaluation six fois inférieure à celle du risque du fumeur (1 sur 1.000). Ce chiffre semble peu plausible. En effet, si la dose moyenne d'exposition en France est de 3,3 mSv par an, on trouve dans le monde des régions exposées à 200 mSv par an :

L'Académie de Médecine française fait remarquer que « *dans de vastes régions du monde, des milliers d'êtres humains sont exposés à des doses pouvant atteindre 100 milliSieverts par an, c'est à dire : 10.000 millirems, et aucune variation n'a été constatée dans la fréquence des leucémies ni des tumeurs, des malformations, ni en France, ni dans les régions du monde où les doses sont cinquante fois plus élevées* ».

Si l'excès de risque calculé par l'ONU était exact, on observerait des différences. L'Académie de Médecine met en cause le modèle utilisé : « *depuis trente ans par prudence on a utilisé une relation linéaire sans existence d'un seuil pour estimer la nocivité éventuelle des faibles doses (200 milliSieverts est une faible dose), ce modèle mathématique a légitimé l'idée que toute dose, si faible fut elle, était nuisible. Or, ses fondements biologiques ne sont pas cohérents avec ce que l'on sait aujourd'hui du processus de cancérogénèse* » (de Thé, 1999). Le modèle linéaire facilite la gestion du risque, et il repose sur l'idée qu'une très faible quantité d'énergie est suffisante pour briser des brins d'ADN.

L'Académie de Médecine et l'Académie des Sciences ont adopté en 2005 un texte dans lequel la relation linéaire est qualifiée de « *contraire aux données scientifiques* » : « *L'hypothèse de linéarité sans seuil doit donc être considérée comme un outil opérationnel utile pour la réglementation à laquelle elle apporte une indiscutable simplicité, au prix toutefois d'une surévaluation du risque au-dessous de quelques dizaines de mSv. Elle n'est pas un modèle validé par des données scientifiques* » (Tubiana et Aurango, 2005). De fait, d'autres modèles ont été proposés : des modèles avec seuil et même des modèles qui admettent qu'au-dessous d'une certaine dose, il y aurait davantage d'effets bénéfiques que d'effets délétères ! (Effet hormésis). Les faibles doses seraient censées activer les défenses naturelles de l'organisme et le rendre plus résistant aux doses plus élevées, et ce phénomène a été effectivement observé. Les Romains des thermes de Bath avaient-ils donc raison ? Il est cependant peu probable que l'on retrouve sur des bouteilles d'eau minérale la mention : « eau naturellement radioactive » des années 1920, l'effet hormésis ne faisant pas l'unanimité !

Pour la population d'Hiroshima exposée à la bombe de 1945, la relation dose-effet, au-dessus de 50 mSv et pour l'ensemble des cancers, obéit à une loi linéaire dont la droite représentative peut passer par l'origine. Mais il n'y a d'excès statistique réel qu'au-dessus d'une dose de 200 mSv. Et un excès de cancers chez l'enfant est suspecté à partir d'une irradiation *in utero* de 10 à 20 mSv (Jacques Lafuma et al, SFEN 2010). « *Des études épidémiologiques sur des cohortes des villes de Hiroshima et Nagasaki ont fortement contribué à déterminer une valeur au-delà de laquelle il y a un risque significatif d'induction de cancers. Celui-ci a été établi pour des doses efficaces supérieures à 100 mSv* », indique Florence Ménétrier, responsable de l'unité Prositon2 au CEA. Ce seuil s'explique tout simplement par le fait qu'en deçà de 100 mSv, aucune pathologie n'a été observée » (CEA, 2010).

Voilà qui peut rassurer les Bretons, les Limougeots, les habitants de la Cornouaille, ou les Finlandais, qui d'ailleurs ne sont pas très inquiets... Comme chacun sait, les Britanniques ont le sens de l'humour. Voilà ce que déclarait Lord Marshall, Directeur du Central Electricity Generating Board en 1986 : « *chaque jardin anglais occupe environ un dixième d'acre (400 mètres carrés environ) : en creusant un mètre en profondeur, on peut en extraire six kilos de thorium, deux kilos d'uranium et sept kilos de potassium, tous radioactifs. En un sens il s'agit de déchets radioactifs. Mais pas de déchets créés par l'homme, des déchets laissés par Dieu lorsqu'il a créé la planète.* » On peut ajouter que le sol de France renferme sur un mètre de profondeur un million de tonnes d'uranium, six millions de tonnes de thorium et 900.000 tonnes de potassium 40 !

Et les océans contiennent en moyenne 3,3 milligrammes d'uranium par mètre cube d'eau, ce qui correspond pour la planète au stock énorme et approximatif de 4.500 millions de tonnes d'uranium ! Des procédés d'extraction de l'uranium de l'eau de mer ont d'ailleurs été mis au point dans les années 1980. On ne risque donc pas d'en manquer, malgré les affirmations des opposants à l'énergie nucléaire ! De nombreux minerais naturels contiennent des éléments radioactifs : les phosphates contiennent de l'uranium, le charbon contient de l'uranium et du thorium et leurs produits de filiation, que l'on retrouve en grande partie dans les cendres, dont l'activité est de l'ordre de 2.000

Bq/kg, le gaz naturel contient du radon 222, les cendres de combustion du bois contiennent du potassium 40, du césium 137, du strontium 90... Chaque habitant a donc, sans le savoir, ses sources radioactives à la maison !

Et la foudre participe à l'effet de serre

Les chercheurs de la NASA ont découvert grâce à leurs satellites que la terre reçoit chaque année plus de 1,2 milliard d'éclairs. Mais aussi que chaque éclair est capable de transformer 7 kg d'azote en oxydes d'azote NOx. La photolyse des oxydes d'azote dans l'atmosphère crée de l'oxygène atomique transformé à son tour en ozone, dont l'odeur caractéristique est perceptible par temps d'orage. Mais si on calcule la quantité annuelle d'oxyde d'azote formé par la foudre, on arrive à 8,6 millions de tonnes d'azote par an ! (Voiland, 2009, Goddard Space Flight Center), à comparer à la quantité équivalente de protoxyde d'azote créée par l'homme par l'agriculture et la combustion de la biomasse (7 à 8 millions de tonnes d'azote selon la FAO).

La nature est-elle bonne lorsque la terre tremble ?

Périodiquement, la croûte terrestre connaît des mouvements brusques entraînant des hécatombes et des désastres. En 1755, le tremblement de terre de Lisbonne, d'une amplitude évaluée à 8,5 sur l'échelle de Richter, est l'un des plus destructeurs de l'histoire. On évalue à 60.000 le nombre de victimes. La secousse fut suivie par un tsunami et des incendies, qui détruisirent la ville dans sa quasi-totalité. En 1906, San Francisco, alors 9^e ville des Etats Unis, fut détruite par un séisme suivi d'un incendie alimenté par les nombreuses maisons en bois.

En 1952, un séisme d'amplitude 9 dans la péninsule du Kamtchatka, suivi d'un tsunami, a fait 2.300 morts. Celui du Chili, en 1960, d'amplitude 9,5, a créé un tsunami ressenti dans tout le Pacifique : 5.700 morts au Chili, 130 au Japon, 61 à Hawaï.

Le tremblement de terre à Izmit en Turquie, le 17 Août 1999, a fait plus de 1.500 morts. Le glissement de plaques tectoniques s'est produit sur plus de 120 kilomètres, provoquant un séisme d'amplitude 7,4 sur l'échelle de Richter, c'était le septième d'une série commencée en 1940 et qui a « cassé » plus 1.000 kilomètres de la faille anatolienne.

Le tremblement de terre de Mexico en 1985 a provoqué plus de vingt mille morts. Le glissement de la plaque Cocos par rapport à la plaque nord-américaine s'effectue à la vitesse de cinq à six centimètres par an. Le tsunami, suite à un tremblement de terre dans l'océan indien, plus près de nous, en décembre 2004, a endeuillé la Thaïlande, l'Indonésie, le Sri Lanka et l'Inde. Le tout récent séisme de la province chinoise du Sichuan aurait fait plus de 80.000 morts ou disparus. Et le séisme qui a détruit Port-au-Prince en Haïti le 12 janvier 2010 pourrait avoir un bilan plus lourd encore : 220.000 morts selon Swiss Re ! Pour la seule année 2010, trois séismes de grande ampleur ont été déplorés : Haïti en janvier, au Chili en Février et en Nouvelle Zélande en septembre. L'année 2011 commence avec un tremblement de terre d'amplitude historique, 9 sur l'échelle de

Richter, suivi d'un tsunami, qui a ravagé la partie Nord Est du Japon le 11 Mars 2011. Le tsunami a rayé de la carte des villes de plusieurs milliers d'habitants. On évoque le chiffre de 27.000 morts. Le glissement des plaques tectoniques aurait déplacé les terres de 2,4 mètres ! Le tsunami a aussi entraîné de graves avaries à la centrale électrique nucléaire de Fukushima-Daiichi, située près de l'épicentre. Il a inondé le site et mis hors d'usage les moyens de refroidissement des réacteurs à l'arrêt. Or, même à l'arrêt, il est impératif de continuer à refroidir les réacteurs. Cette défaillance des moyens majeurs de sécurité, a entraîné des fusions partielles des combustibles et la formation d'hydrogène, lequel a explosé et détruit certains confinements, obligeant la centrale à recourir à des arrosages à l'eau de mer, et à mettre à l'atmosphère des panaches radioactifs de vapeur et d'hydrogène.

Claude Allègre rappelle qu'il y a chaque année cent séismes de magnitude 6, vingt de magnitude 7, et deux ou trois d'amplitude supérieure à 7,5 ! Pour la seule année 1997, qualifiée d'année « modeste » pour les catastrophes naturelles, notre planète a compté 579 catastrophes, dont 18% dues à des tremblements de terre, 23% aux inondations, et 33% aux tempêtes, qui ont causé 12.636 morts et coûté plus de 30 milliards d'euros (Source : Munich Ré). Mais ces statistiques sont largement dépassées en ce début du 21ème siècle.

La nature est aussi cruelle : les hécatombes de tortues de mer, qui à peine écloses, rejoignent péniblement la mer et dont la grande majorité sert de nourriture aux oiseaux. Celles des alevins, à peine éclos, qui font les délices des poissons carnivores, sont d'édifiants exemples. Mais la nature a tout prévu : les prédateurs ne font que réguler la population des victimes et il y aurait surpopulation tant la nature est généreuse dans le potentiel de reproduction. De là à extrapoler à l'homme, nombre d'écologistes radicaux n'hésitent pas à le faire. Mais ceci est une autre histoire. Finalement, la Nature ne connaît que des règles de survie, de sélection naturelle, et pour le reste, c'est le royaume du libéralisme débridé ! Aucune déclaration universelle des droits de ses créatures ! De tous les animaux, écrit André Comte Sponville, « *l'homme est la seule espèce qui se soucie d'écologie, des droits de l'homme, et même des droits des autres animaux !* » (Chronique dans *Le Monde des Religions*, 1^{er} mars 2011). Jacques Monod, Prix Nobel, considère la loi naturelle de sélection comme « *le moyen le plus aveugle et le plus cruel de développer les espèces nouvelles et les organismes de plus en plus complexes et perfectionnés. Cruel, car c'est un processus d'élimination, de destruction. La lutte pour la vie et l'élimination du plus faible est un processus horrible, contre lequel toute notre éthique moderne se révolte !* » (Gadsby, 1980).

oooooooooooooooooooo

Références de la Chronique 2

Académie de Médecine, Académie des Sciences, Centre International de Recherches sur le Cancer (OMS Lyon, 2007) Rapport *Les causes du cancer en France*.

Académie de Médecine (2005) La relation dose-effet et l'estimation des effets cancérogènes des faibles doses de rayonnements ionisants. (Maurice Tubiana et André Aurango)

Académie des Sciences (1994) *L'effet de serre*. Rapport n°31, Ed. Lavoisier

Académie des Sciences (2006) *Les eaux continentales*. Rapport sur la science et la technologie n°25

AFSSA (2004) Surveillance de l'infection à virus West Nile en France

AFSSA (2007) Avis relatif à l'établissement de teneurs maximales pertinentes pour les PCB non dioxine-like dans divers aliments.

Andrews J.N. and Wood D.F. (1974): Radium 226, Radon 222, and Lead 210 in Bath thermal springs compared with some environmental waters. *Health Physics* 27, 307-310

ANSES (2011), Etude de l'alimentation totale française. EAT2

Bates J.M. et al (1992): Sulfur emissions to the atmosphere from natural sources. *J. Atm. Chem.* 14, 315-337

BEIR Committee (1999), *Health effects of exposure to radon*. National Research Council. Committee on biological effects of ionizing radiations. National Academy Press Washington D.C.

Benkimoun Paul (2006) dans *le Monde*, cité par Jean de Kervasdoué dans *Les Prêcheurs de l'Apocalypse*.

Boudia S. (1998), *Les rayons de la vie*. Une histoire des applications médicales des rayons X et de la radioactivité en France (1895-1930) avec M. Bordry. (Les années folles du radium, les fontaines de jouvence. Thermalisme, eaux minérales et radioactivité). Institut Curie.

BRGM-INRA (2000) Fond géochimique naturel. Etat des connaissances à l'échelle nationale. Rapport BRGM/RP-50158-FR

BRGM (2000), *Eau minérale et radioactivité*. Note technique n°15

Caboche Michel (2010) dans *Libres points de vue d'académiciens sur la biodiversité*.

Charpak G. (2001). *Nuisances radioactives*. Unités de mesure et sécurité. La Découverte/Hérodote 2001/1 N°100, 87-96

Commissariat à l'Energie Atomique (2010). Les effets des faibles doses sous surveillance. *Les défis du CEA* n°155 Nov. 2010.

Dioxins emissions in the Netherlands, TNO Report April 1993.

Environmental Protection Agency (2006): *An inventory of sources and environmental releases of dioxin compounds in the United States for the years 1987, 1995, 2000.*

FAO (2006). *L'ombre portée de l'élevage*. Impacts environnementaux et options pour leur atténuation.

Gadsby W. Peter (1980) "Jacques Monod and the théistic evolution" dans *Creation magazine*, Vol 3, Issue 2

Gérondeau C. (2007) *Ecologie la grande arnaque*. Albin Michel

Grier J.W. (1982) Ban of DDT and subsequent recovery of reproduction in bald eagles. *Science*, Vol 218, 1232-1235

Hauglustaine D. (2007) Le trou dans la couche d'ozone est-il rebouché ? Le Pommier

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) (2009) *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français*, Rapport DEI n° 2009-04

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et Agence de Sûreté Nucléaire (2009), *La qualité de l'eau mise en distribution en France*. Période 2005-2007.

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) (2000). *Campagne Nationale de mesure du radon*. Notes techniques SEGR/LEADS-2000/14

Institut de Veille Sanitaire (2003), *Etat des connaissances sur les problèmes de santé publique liés au radon dans l'air*

IPCC (2011,) *Special report on renewable energy sources and climate change mitigation*

Jardine L.B. et al (2009), *Aquaculture research*, vol 40, (10), 1148-1159

Kazatchkine Michel (2008), dans *La Recherche* n°418 p 60-63

de Kervasdoué Jean (2007), *Les prêcheurs de l'apocalypse*. Plon

Lafuma Jacques (2010), *Théories actuelles et voies de recherche sur l'action des faibles doses*. Société Française d'Energie Nucléaire. Groupe GR21

Leyral G. et E. Vierling (2007), *Microbiologie et toxicologie des aliments. Hygiène et sécurité alimentaire*. Doin éditeur, Rueil Malmaison

La lettre de l'Institut Pasteur n°48 Fév.2005, n°49 Mai 2005, n° 53 Mai 2006, n°63 Déc. 2008

La Recherche n°373 Mars 2004

Le Monde dossiers et documents Juin 2009

Lovelock James (2007) *La revanche de Gaïa*. Flammarion

Mégie Gérard (2004). Climats sous influence. *Energies* (revue TOTAL) Février 2004

Moscovici Serge (1972), *La société contre la nature*. Collection 10-18

Mouchet J. (1994) Le DDT en santé publique. *Cahiers Santé* 1994, 4, 257-262

Narbonne J.F. (2000). *Chemical contaminants in food*. A new approach in risk assessment

OCDE (2003), *Les risques émergents du 21^e siècle*. Vers un programme d'action.

Organisation Météorologique Mondiale (2006), *Global ozone research and monitoring project*. Report n°50

Orth Gérard (2005), *Virus et barrière d'espèces*. *La lettre de l'Académie des Sciences* n°12

Parmentier Bruno (2007), *Nourrir l'humanité*. La Découverte

Pellenbarg R.E. et M.D. Max (2003), *Natural gas hydrates in oceanic and permafrost environments*. Kluwer

Schwartz Maxime et Rodhain François (2008), *Des microbes ou des hommes qui va l'emporter ?* Odile Jacob

Schwartzbrod L. (2000). *Virus humains et santé publique*. Université de Nancy

Sorman Guy (2008), *L'économie ne ment pas*. Fayard

de Thé Guy (1999), *Energie nucléaire et santé*. Avis de l'Académie de Médecine du 22 Juin 1999.

Système canadien d'information sur les plantes toxiques. Gouvernement du Canada

Zreda-Goseynska G. et al. (1993) Chlorine, fluorine and sulfur emissions from Mount Erebus, and estimated contribution to the antarctic atmosphere. *Geophysical Research Letter*. Vol 20, n°18, 1959-1962

oooooooooooooooooooooooooooo

Liste des sigles utilisés dans l'ensemble des chroniques

- 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, initialement nommé centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et forêts.
- 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)

IPIECA 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 Observable Adverse Effect Level. Dose sans effet toxique observable.

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 Etat-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	μ 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 tératonne	Tt	10^{15} kilogrammes	1000000000000000 kg