

Chapitre IV

SUBSTANCES

POLLUANTES

Sommaire

IV.1	Introduction.....	1
IV.2	Définition du polluant.....	2
IV.3	Effets globaux de la pollution.....	2
IV.4	Polluants atmosphériques	2
IV.5	Polluants de l'eau	9
IV.7	Impacts de la pollution	10
IV.8	Conclusion.....	8

IV.1 INTRODUCTION

Les polluants représentent un déséquilibre dans la composition d'un milieu. Ils reflètent une instabilité anormale. Les polluants peuvent être classés en polluants atmosphériques, polluants de l'eau et polluants du sol.

IV.2 DÉFINITION DU POLLUANT

Un polluant est une substance liquide, solide ou gazeuse, qui se trouve dans un environnement dans lequel elle ne devrait pas exister, ou qui est présente dans son environnement habituel mais à un taux anormalement élevé, pouvant ainsi avoir un effet nocif, provoquer une nuisance ou une gêne. Les polluants représentent un déséquilibre dans la composition d'un milieu. Ils reflètent une instabilité anormale.

IV.3 EFFETS GLOBAUX DE LA POLLUTION

Les effets globaux de la pollution se résument dans ce qui suit :

- effets sur la santé : mort, maladies respiratoires, cancers. Ces effets concernent les humains et les animaux,
- effets sur l'environnement naturel : destruction de la biodiversité, restriction des forêts et des cours d'eau avec la faune et la flore qu'ils contiennent,
- effets sur l'agriculture : destruction des terres agricoles, restriction des activités comme la pêche,
- effets sur l'environnement construit par l'homme : attaque des bâtiments, des monuments historiques, bruit, odeurs,
- effets sur l'atmosphère : réduction de la clarté et de la visibilité de l'atmosphère, phénomènes destructeurs comme le smog ou les pluies acides.

IV.4 POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES

Les polluants atmosphériques sont les polluants de l'air sous forme de gaz (ou de fumées et vapeurs) ou de particules.

IV.4.1 Classement des substances polluantes :

Ils sont classés en :

- **polluants primaires** : substances polluantes émises directement de la source dans l'atmosphère,
- **polluants secondaires** : ils ne sont pas directement émis des sources mais sont formés dans l'atmosphère à partir des polluants primaires, qui sont alors appelés «précurseurs».

Il est à noter qu'un polluant peut-être à la fois primaire et secondaire.

IV.4.2 Les principales causes de la pollution atmosphérique

Naturelles : comme

- les éruptions volcaniques,
- les feux naturels à grande échelle.

Humaine : comme

- la production de l'énergie thermique : au niveau domestique ou industriel,
- combustion des combustibles fossiles,
- industrie : en raison de ses besoins propres en énergie ou à cause des émissions spécifiques dues aux processus de fabrication ou aux traitements spécifiques,
- transports : terrestre, aérien et naval. C'est la première cause de pollution mobile et de proximité,
- traitement des déchets : décomposition des déchets, incinération,
- activités agricoles : engrais, décomposition des matières organiques,

IV.4.3 Mécanismes de la pollution atmosphérique

- **Émissions** : les polluants sont émis dans l'atmosphère à partir des différentes sources,
- **Réactions chimiques** : ces réactions ont lieu dans l'atmosphère et créent, modifient ou détruisent les polluants,
- **Transport et dispersion** : les conditions climatiques comme le vent ou la pluie transportent les polluants atmosphériques loin des sources,

- **Déposition** : sur la surface de la Terre par la pluie par exemple.

Les facteurs qui influencent la pollution atmosphérique sont la quantité des polluants émis par les sources ainsi que les conditions climatiques. La vitesse du vent a une influence sur la concentration et la diffusion des polluants. L'ensoleillement peut provoquer des réactions photochimiques qui produisent des polluants secondaires. La température inverse qui consiste à la création de zones de blocage empêche la diffusion des polluants.

IV.4.4 Les principaux polluants atmosphériques

a. Composés carbonés

Composés carbonés Ce sont le monoxyde de carbone CO et le dioxyde de carbone CO₂. Le monoxyde de carbone CO est un gaz inodore et incolore qui est toxique car il bloque l'hémoglobine. Il entraîne des vertiges, nausées et pertes de connaissance qui peuvent entraîner la mort. L'émission du CO est le résultat de toute combustion d'un carburant contenant du carbone qui se déroule avec une quantité insuffisante d'air

Le fonctionnement normal d'un moteur à essence émet une grande quantité de CO. Les foyers industriels comme les fours n'émettent pas beaucoup de CO. Si la combustion se déroule avec une quantité suffisante ou un excès d'air, tout le CO se transforme en CO₂.

Le CO₂ est un gaz à effet de serre qui est l'un des premiers responsables du réchauffement climatique. C'est un produit « normal » de la combustion. Il provoque l'étouffement.

b. Composés azotés

Ce sont les oxydes d'azote NO et NO₂ généralement désignés sous le nom de NO_x ainsi que N₂O et l'ammoniaque NH₃. Le NO provient de la combustion.

Ces réactions se déroulent à température élevée. C'est un gaz qui n'est pas très nocif mais il est le précurseur de NO₂ qui est beaucoup plus dangereux : c'est un puissant irritant des voies respiratoires qui provoque la détresse respiratoire et des œdèmes pulmonaires.

c. Composés soufrés

Ce sont des oxydes de soufre SO_2 et SO_3 et plus rarement H_2S .

Le SO_2 se forme lors de la combustion des carburants soufrés comme le gazole, lors du raffinage du pétrole et lors de la fusion des métaux. Il diminue l'immunité et peut agir sur le système respiratoire. En plus de sa toxicité, il provoque les pluies acides.

d. Composés organiques

Ils sont volatils ou aromatiques, ou encore carbonylés ou carboxyles :

- Les hydrocarbures aromatiques comme le benzène contenu dans l'essence produisent des leucémies, des troubles du système nerveux et hépatique.

- Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques HAP modifient les gènes et provoquent des cancers.

- Les aldéhydes et formaldéhydes sont irritants et intoxiquent les gènes.

- Les hydrocarbures imbrulés ou HC imbrulés sont des carburants qui n'ont pas eu le temps de brûler dans les moteurs. Les moteurs à essence sont de grands émetteurs de HC imbrulés

e. Métaux lourds

Ils résultent de l'incinération des déchets ou du carburant. Ce sont des métaux comme le plomb contenu dans certaines essences, le zinc des lubrifiants, le cadmium. Ils attaquent le système nerveux. Le plomb provoque le saturnisme. Ils peuvent se fixer à long terme dans les os et provoquer des maladies.

f. Particules

Les particules sont de la poussière solide ou liquide. Elles sont caractérisées par plusieurs groupes :

- particules dont le diamètre est inférieur à $100\text{ }\mu\text{m}$: elles sont dites inhalables car elles rentrent dans la bouche et le nez,
- particules dont le diamètre est inférieur à $10\text{ }\mu\text{m}$: elles sont dites particules fines, car elles rentrent profondément dans le système respiratoire,

- particules dont le diamètre est inférieur à 4 μm : elles sont dites respirables car absorbées par le système respiratoire et le sang,
- particules dont le diamètre est inférieur à 0,1 μm : elles sont appelées ultrafines. Le moteur Diesel produit beaucoup de particules. En plus d'être nocives pour la santé, elles se déposent sur les bâtiments et monuments et les abiment.

g. Chlorofluorocarbones (CFC)

Le chlore présent dans l'atmosphère provient principalement des chlorofluorocarbones ou CFC. En 1928 Thomas Midgely a fabriqué une nouvelle espèce chimique appelée CFC-12 (dichlorodifluorométhane), pour remplacer les produits réfrigérants hautement toxiques et inflammables tels que l'ammoniac. Il a prouvé que le CFC-12 n'était ni toxique, ni inflammable et avait les propriétés thermiques d'un excellent réfrigérant. En 1930, Dupont et General Motors ont commencé à commercialiser les CFC sous le nom du Fréon. D'autres CFC ont été par la suite produits en grandes quantités.

Ils ont été utilisés en tant que réfrigérants et propulseurs dans les sprays d'aérosols. Les CFC se composent de fluor, de carbone et de chlore. Ils ne sont ni solubles dans l'eau ni réactifs. Cette stabilité fait qu'ils ne peuvent être détruits que par des radiations UV hautement énergétiques. Leur utilisation par l'homme entraîne leur présence dans l'atmosphère, ils sont en effet bien mélangés à la troposphère dès la première année de leur émission. Les CFC atteignent la stratosphère à travers la région tropicale de la troposphère, ils sont alors lentement transportés vers la partie supérieure de la stratosphère où ils sont détruits par les radiations UV du Soleil, c'est pour cela que leur concentration est faible dans les hautes altitudes.

Une molécule de CFC peut mettre environ une année pour atteindre la région supérieure de la stratosphère à partir de la région tropicale de la troposphère. Cependant, la grande partie de l'air subit une recirculation avant d'arriver à la partie supérieure de la stratosphère, chose qui ralentit la circulation des CFC et réduit le nombre de molécules qui atteint la partie supérieure de la stratosphère. Il est en effet estimé que le temps que met le CFC-12 pour être réduit à 63% est approximativement 120 ans.

h. Dioxines et furannes

Les dioxines sont des molécules de polychlorodibenzodioxine (ou PCDD) et polychlorodibenzofuranne (ou PCDF). Elles ont été décelées en 1977 dans les incinérateurs. Les dioxines proviennent des phénomènes naturels comme les éruptions volcaniques ou les incendies de forêts. Elles proviennent surtout de la combustion, des huiles usagées ou apparaissent au cours du refroidissement des gaz de combustion lors du processus d'incinération des déchets. Ce sont des polluants organiques persistants dans l'environnement. Elles peuvent être stockées dans les graisses animales et entrent ainsi dans la chaîne alimentaire. Ces espèces sont dangereuses pour la santé : elles diminuent l'immunité provoquent des lésions dermiques et des cancers.

IV.4.5 Ozone

L'ozone est une molécule formée de trois atomes d'oxygène, sa formule chimique est donc O_3 . Environ 90% de l'ozone de l'atmosphère est contenu dans la stratosphère, les 10% restants existent dans la troposphère. Les différents instruments de mesure montrent que la concentration de l'ozone est la plus élevée entre 15 et 30 km de la surface de la Terre. Etant donné que la plus grande partie de l'ozone est contenue dans la stratosphère, on appelle cette région la couche stratosphérique d'ozone. Il existe en effet deux « types d'ozone » selon l'endroit où il se trouve : l'ozone stratosphérique qui se trouve dans les hautes zones de l'atmosphère et forme la couche d'ozone est bénéfique. Il est très important pour la vie sur Terre car son rôle est d'absorber les radiations nocives de l'ultra violet qui proviennent du Soleil. L'ozone formé sur la surface de la Terre qui s'appelle ozone troposphérique est par contre un polluant.

IV.3.1 Ozone stratosphérique

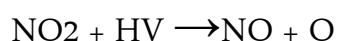
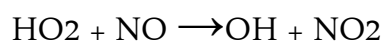
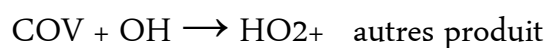
La stratosphère est une couche de l'atmosphère qui s'étend entre la tropopause et 47 km d'altitude. La température s'accroît lentement dans cette partie de l'atmosphère. Le Soleil émet différents types de rayonnements dont la majeure partie est située dans le domaine visible du spectre électromagnétique dans lequel les longueurs d'onde varient de 400 à 700 nm. Cependant, il produit aussi des rayonnements appartenant au domaine spectral de l'ultraviolet dont la longueur d'onde se situe entre 1 et 400 nm. Ces rayons UV détruisent les molécules d'ADN qui contiennent le code génétique et par conséquent

endommagent les cellules ou provoquent encore le développement de formes dangereuses du cancer de la peau. La couche d'ozone a pour rôle d'absorber les rayons UV et donc de réduire considérablement leur présence dans l'environnement immédiat de la Terre. Dès que le chlore est libéré des CFC par les rayons UV, il peut jouer le rôle de catalyseur dans la destruction de l'ozone. En effet, les atomes Cl réagissent avec le méthane pour former du HCl, qui peut servir à transformer les CFC qui sont non réactifs, à des atomes réactifs de chlore. Ceci montre bien l'ampleur de la destruction de l'ozone par les CFC.

La concentration du HCl est faible dans la partie inférieure de la stratosphère tandis qu'elle augmente sensiblement dans sa partie supérieure. En fait, il a été remarqué une hausse de cette concentration dès le début des années 1990, ceci va de pair avec les quantités de CFC que rejette l'homme. La destruction de l'ozone peut aussi se faire dans des cycles qui impliquent la présence d'espèces chimiques contenant de l'azote sous forme réactive des NO_x. Les NO_x trouvent leurs origines dans la troposphère. Environ 90% du NO_x stratosphérique provient du N₂O de la troposphère. Il se dissocie en produisant un radical libre : l'oxygène O. D'autres espèces chimiques détruisent aussi l'ozone, comme le méthane, le chlore et le brome.

IV.3.2 Ozone troposphérique

La troposphère est située entre la surface de la Terre et l'altitude de 11 km environ. C'est une région caractérisée par la diminution de la température avec l'altitude. L'ozone troposphérique se trouve donc dans les régions immédiates de la surface de la Terre. C'est un polluant secondaire pernicieux qui est toxique pour les humains et les plantes. Il est formé par oxydation des composés organiques volatiles et du CO en présence des NO_x suivant le schéma simplifié suivant :



Les NO_x et OH jouent le rôle de catalyseurs, c'est-à-dire qu'ils accélèrent la formation de l'ozone sans être consommés. Ces réactions sont photochimiques, c'est-à-dire qu'elles ont besoin de rayons UV pour avoir lieu. C'est pour cela que la pollution

d'ozone connaît des pics dans les villes (présence d'émissions des moteurs) quand il fait chaud ou en présence d'humidité. L'ozone troposphérique provoque l'irritation des yeux, des voies aériennes supérieures, toux, maux de tête, difficultés respiratoires dues au caractère très oxydant de l'ozone. Il est particulièrement dangereux pour les populations à risque.

IV.5 La pollution de l'eau

En raison de sa facilité d'infiltration et de circulation et de son grand pouvoir dissolvant, l'eau constitue le réceptacle privilégié des polluants. Elle est en outre le premier vecteur de leur propagation dans le sol (par infiltration) et l'atmosphère (par évaporation). Les polluants sont de natures diverses : organique (micro-organismes et matières organiques fermentescibles), chimique (engrais, pesticides, médicaments, hormones, etc.), thermique ou radioactive.

Les rejets industriels en eau sont les eaux qui sont rejetées par les usines après avoir contribué au processus de fabrication. Ces eaux appartiennent à différentes catégories :

a. Eaux de fabrication : ces eaux contribuent à la fabrication des différents produits. Elles sont en contact avec des solides, des liquides et des gaz et deviennent ainsi chargées de produits toxiques. Les rejets de ces eaux sont continus ou discontinus, - rejets des circuits de refroidissement : ces eaux ne sont en général pas polluées et peuvent être recyclées. Les rejets de purge des circuits de refroidissement sont par contre très minéralisées,

b. Eaux de lavage et de nettoyage : elles sont abondantes et chargées de détergents ou d'hydrocarbures,

c. Eaux usées : elles contiennent des matières organiques biodégradables, de la graisse quand il s'agit des eaux des cantines. Elles peuvent être traitées et recyclées. Les boues de stations d'épuration sont utilisées pour la fabrication du biogaz.

d. Rejets accidentels : ils sont ponctuels et parfois très polluants.

Les types de pollution de l'eau sont les suivants :

a) **pollution insoluble** : de particules ou de liquide insoluble qui provoque le changement de couleur, la nuisance à l'appareil respiratoire des poissons et rend l'eau opaque aux rayons du soleil ce qui nuit aux plantes en empêchant la photosynthèse,

b) **pollution toxique** : les produits toxiques sont nombreux : les produits minéraux comme les métaux lourds, les acides et les bases, et les produits organiques,

c) **pollution organique** : rejets des eaux usées et des eaux de l'industrie agroalimentaire. Elles ne sont pas toxiques en elles-mêmes mais favorisent la prolifération des bactéries lors de leur décomposition,

d) **pollution azotée et phosphorée** : résultat du déversement des engrais et des produits de cokerie, d'industrie agroalimentaire et des laveries industrielles. Les composés azotés et phosphorés perturbent l'équilibre biologique du milieu aquatique, et rendent l'eau impropre à la consommation,

e) **pollution radioactive** : c'est le rejet de produits radioactifs dans l'eau à proximité des centrales nucléaires,

f) **pollution thermique** : elle consiste à rejeter des eaux à des températures élevées, en sachant que les poissons ne résistent pas à une température supérieure à 35°C.

Le prélèvement et l'échantillonnage sont nécessaires pour contrôler la qualité de l'eau et pour connaître le niveau de pollution. Le traitement des eaux avant rejet est préconisé dans toutes les activités industrielles.

IV.6 Impacts de la pollution

La pollution produit des phénomènes nocifs et destructeurs pour l'environnement, la santé et la vie en général. C'est le résultat de ces phénomènes qui a poussé les humains à prendre la pollution au sérieux et à préserver l'environnement

IV.6.1 Réchauffement climatique

Le réchauffement climatique est un phénomène global de transformation du climat caractérisé par une augmentation générale des températures moyennes (notamment liée aux activités humaines), et qui modifie durablement les équilibres météorologiques et les écosystèmes.

Un réchauffement global de la planète serait lié au renforcement de l'effet de serre naturel par l'ajout de quantités massives de gaz à effet de serre d'origine anthropique dans l'atmosphère. Ces émissions sont notamment produites par la consommation des énergies fossiles, comme le pétrole ou le charbon.

Les gaz qui produisent le réchauffement climatique sont le CO₂, le méthane, les CFC et l'ozone troposphérique. Leur réduction pourrait diminuer considérablement le réchauffement climatique.

La température moyenne à la surface de la Terre a augmenté de 0,6 °C depuis le début de l'ère industrielle.

❖ Les conséquences

Élévation du niveau de la mer provoquant des inondations des zones côtières, à cause de la fonte des glaciers et de l'augmentation de la température de l'eau (la dilatation de l'eau chaude la rendant plus volumineuse que l'eau froide)

Une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes : fortes pluies plus fréquentes et denses, tempêtes, cyclones, typhons et ouragans plus fréquents et plus intenses, avec des vents et précipitations plus violents engendrant des inondations et des dommages humains et matériels graves.

Vagues de chaleur plus fréquentes et plus longues, et une augmentation de l'intensité et de la durée des périodes de sécheresse.

Migration de certaines espèces, extinction d'espèces qui ne pourront pas s'adapter au changement climatique, prolifération d'autre espèces qui profiteront de conditions favorables ; avec pour conséquence la perturbation voire la destruction de certains écosystèmes.

Augmentation du nombre des grands facteurs de mortalité, comme les maladies diarrhéiques, la malnutrition, le paludisme ou la dengue (migration d'insectes nuisibles).

Les pays les mieux informés et disposant des moyens nécessaires pourront adapter leurs cultures au changement climatique ; il en sera tout autrement pour les pays du Sud, plus durement touchés et plus faibles économiquement, ce qui laisse présager d'importants flux migratoires.

IV.6.2 Les pluies d'acides

Les combustibles fossiles (charbon, pétrole) libèrent lors de leur utilisation plusieurs gaz, notamment des oxydes de soufre et d'azote. Au contact de l'eau présente dans l'atmosphère, ces molécules se transforment en acides (sulfurique et nitrique), et retombent avec les précipitations. Les sols, les eaux continentales (lac, rivières, nappes phréatiques), la végétation, mais aussi les constructions humaines sont affectées.

Les acides sont transportés par les mouvements atmosphériques, généralement loin de la source d'émission des polluants qui les engendrent. Ainsi en Scandinavie mesure-t-on sur les lacs les effets des polluants rejetés en Grande-Bretagne et en Allemagne. Au Canada, des étendues d'eau sont devenues impropres à toute vie. En Allemagne et en Chine, des massifs forestiers sont profondément marqués. Les conifères sont les premiers à dépérir, puis les feuillus et la strate forestière basse (champignons et lichens notamment) dégènèrent.

Ainsi, certains rejets en Grande-Bretagne provoquent des pluies acides en Norvège et en Suède. Dans ces pays, le niveau du pH (taux d'acidité) de nombreux lacs a été affecté par les pluies acides à un point tel que des populations entières de poissons ont péri. Par ailleurs, ces pluies acides sont également à l'origine de la corrosion de divers matériaux de construction, entraînant des dommages sur les bâtiments d'habitation et les monuments des grandes cités industrielles.

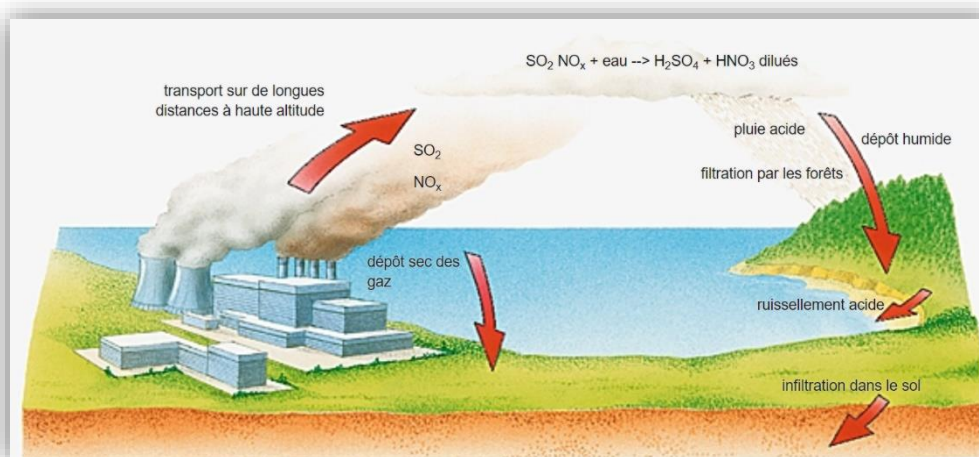


Figure IV.1 Formation les pluies d'acides

IV.6.3 Smog

Le smog est un terme anglais formé des deux mots : smoke qui veut dire fumée et fog qui veut dire brouillard. C'est un type de pollution qui se manifeste par du brouillard qui réduit la visibilité. On distingue deux types de smog : le smog industriel et le smog photochimique.

a. Smog industriel : dans le smog industriel, les émissions de SO₂ jouent un rôle capital. Il se forme dans les zones industrielles froides et humides. Les basses températures contribuent au phénomène d'inversion qui bloque les polluants tandis que l'humidité favorise l'oxydation rapide du SO₂ pour former de l'acide sulfurique et des particules de sulfate. Ce type de pollution est très fréquent dans les zones où il y a combustion produisant du SO₂ et cause parfois des dégâts importants, comme à Londres en 1952 ou encore à Liège en Belgique en 1930 où 60 personnes sont mortes. La réglementation en matière de pollution permet à l'heure actuelle de réduire ce phénomène, qui persiste cependant dans certains pays comme en Chine.

b. Smog photochimique : c'est un problème qui persiste. La cause principale est les véhicules de transport urbain émettant des NO_x et des COV qui réagissent en présence des UV pour former de l'ozone. Ce type de smog est fréquent en été quand l'ensoleillement est important et le vent est faible, favorisant la stagnation des polluants. C'est un problème récurrent dans les grandes métropoles américaines et européennes.

IV.6.4. Eutrophisation

L'eutrophisation est un phénomène qui touche les milieux aquatiques à circulation réduite. Elle est le résultat d'accumulation d'éléments qui nourrissent les algues, comme l'azote et le phosphore. Ces éléments provoquent la prolifération importante de certaines algues, ce qui conduit à la désoxygénation du milieu aquatique en question, y rendant ainsi toute vie impossible. Les raisons de l'eutrophisation sont :

- les rejets de matières organiques dans les cours d'eau,
- le déversement d'engrais dans les cours d'eau,
- le déversement des eaux de pluie urbaines chargées en matières organiques.

IV.6.5. Les pollutions radioactives

Présents dans le sol et dans l'eau de mer (notamment le potassium 40 et l'uranium), dans l'air (radon émanant de certaines roches), on dénombre une cinquantaine d'éléments radioactifs naturels. En outre, environ 200 isotopes radioactifs artificiels sont utilisés dans le cadre d'activités médicales, industrielles et de recherche. Cette utilisation produit des déchets, sous forme gazeuse, liquide ou solide, plus ou moins dangereux selon l'activité radioactive et la durée de vie du radioélément considéré.

L'industrie électronucléaire induit des rejets « contrôlés » d'effluents radioactifs. En outre, elle est parfois à l'origine de contaminations plus massives lors d'accidents comme à Tchernobyl, en Ukraine (1986), ou encore Fukushima, au Japon (2011) – accidents dont les suites peuvent durer des années (ainsi, à Fukushima, en 2013, plus de deux ans après l'accident, on déplorait encore le déversement de 300 tonnes par jour d'eau radioactive dans l'océan Pacifique).



Figure IV.2 Pollutions radioactives, accident de Fukushima