REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L’ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**

**ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MUSTAFA BENBOULAID –BATNA2-

FACULTE DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA NATURE

DEPARTEMENT D’ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

**Cours**

**Pour les étudiants de troisième année licence**

**SPECIALITE : Science de l’environnement**

**Domaine : Ecologie et environnement**

**Pollution de l’environnement**

**Présenté par :**

**Mme BENCHOUALA Amira**

***Année universitaire: 2021– 2022***

**Matière : Pollution de l’environnement**

**Crédits : 4**

**Coefficient : 3**

**Objectifs de l’enseignement :**

L'enseignement de la matière Pollution de l’environnement" a pour objectifs de sensibiliser les étudiants à l'étendue de la gravité des dommages déjà perceptibles à l'échelle maintenant, planétaire et qui montrent les dimensions inquiétantes atteintes de nos jours par la "crise globale de l'environnement". Les dégradations peuvent être d’origines naturelles mais elles sont souvent anthropiques.

**Connaissances préalables recommandées :**

*Différents types d’écosystèmes, compartiments de la biosphère (eau, sol, atmosphère), faune, flore, bioclimatologie, écopédologie et Biocénotique.*

**Contenu de la matière :**

**1- Pollutions et implications écologiques**

Nature et modalités de la pollution de la biosphère : Causes actuelles de pollution, définition des pollutions, classification des pollutions

**2- Mécanisme de dispersion et circulation des substances polluantes dans la biosphère**

2.1- Propriétés physiques

2.2- Durée de vie des substances

2.3- Processus biogéochimiques : circulation atmosphérique des polluants, les mouvements de l’hydrosphère, transferts des substances dans le sol ;

2.4- Accumulation ;

2.5- Répartition des polluants ;

2.6- Transfert et concentration des polluants dans la biomasse ;

2.7- Elimination, Décomposition, Persistance.

**3- Pollution atmosphérique**

3.1- Origine des principaux polluants atmosphériques

3.2- les substances polluantes (différents types de polluants, les composés organiques, les éléments traces métalliques, les particules, les Chlorofluorocarbones)

3.3- Les effets des différentes substances

**4- Pollution des sols**

4.1- Définition

4.2- Modalités et conséquences de Pollution des sols par l’agriculture moderne (Pollution par les engrais ; Pollution par les pesticides)

4.3- Pollution par les contaminants d’origine industrielle

**5- Pollution des eaux**

5.1- Introduction : les ressources en eaux

5.2- Différentes sources de pollutions des eaux

5.3- Principaux types de polluants (Matières organiques fermentescibles, Eléments minéraux nutritifs NO3 et PO4, Eléments traces métalliques, Composés organiques de synthèse, Hydrocarbures)

5.4- Pollution domestique et urbaine

5.5- pollution d’origine agricole

5.6- Pollution d’origine atmosphérique

5.7- Pollution naturelle

**1- Pollutions et implications écologiques**

* 1. **Définition**

La pollution est toute modification anthropogénique d’un écosystème se traduisant par un changement deconcentration des constituants chimiques naturels, ou résultant de l’introduction dans la biosphère de substanceschimiques artificielles, d’une perturbation du flux de l’énergie, de l’intensité des rayonnements, de la circulationde la matière ou encore de l’introduction d’espèces exotiques dans une biocénose naturelle.

**1.2. Causes actuelles de pollution de la biosphère**

a) La production d’énergie, cause principale de pollution

b) La diversification des polluants chimiques et l’accumulation des déchets

c) Pollutions dues à l’agriculture et l’élevage intensif

**1.3. Classification des pollutions**

On peut classer les pollutions à partir de nombreux critères.

**Selon la nature de l’agent polluant :**

**Physique :** rayonnements ionisants, réchauffement artificiel du milieu ambiant dû à une source

de chaleur technologique

**Chimique :** substances minérales, organiques abiotiques ou encore de nature biochimique

**Biologique :** microorganismes pathogènes, populations d’espèces exotiques invasives

introduites artificiellement par l’homme.

**D’un point de vue écologique :** en prenant en considération le milieu (air, eau, sol), ou le compartiment dela biosphère afférent (atmosphère, hydrosphère, pédosphère) dans lequel ils sont émis et sur les biocénosesdesquels ils exercent leurs perturbations.

**D’un point de vue toxicologique :** Considère le milieu ou la manière par laquelle les polluants contaminentles organismes. On distinguera, selon la voie de contamination : chez les végétaux une absorption stomatale,transfoliaire, ou une translocation radiculaire. Chez les animaux on peut distinguer une contamination parinhalation (chez les espèces terrestres), par absorptiontransbranchiale (chez lez espèces aquatiques), paringestion (par voie orale) ou encore pénétration transcutanée à la suite du contact de la peau ou du tégument avecle polluant.

Le terme **polluant** a été définit comme un altéragène (élément) biologique, physique ou chimique, qui au-delà d'un certain seuil ou norme, développe des impacts négatifs sur tout ou partie d'un écosystème ou del'environnement en général.

**3. Types de pollutions**

**3.1. Pollution de l’air**

La pollution atmosphérique peut être définie comme la présence d’impuretés dans l’air pouvantprovoquer ungène notable pour les personnes et un dommage aux biens. La pollution atmosphérique est donc fortementinfluencée par le climat et tout particulièrement par le vent, la température, l’humidité et la pressionatmosphérique.

**3.2. Pollution de l'eau**

**3.3. Pollution des sols**

La pollution du sol peut être diffuse ou locale, d'origine industrielle, agricole (suite à l'utilisation massived'engrais ou de pesticides qui s'infiltrent dans les sols). Ces pollutions agricoles peuvent avoir plusieurs impactssur la santé humaine, en touchant des nappes phréatiques d'une part et en contaminant par bioaccumulation lescultures poussant sur ces sols d'autre part.

**2. Mécanisme de dispersion et circulation des substances polluantes dans la biosphère**

**2.1. Propriétés physico-chimiques**

Les propriétés physico-chimiques des polluants organiques et métalliques permettent de comprendre et de prédire non seulement le devenir de ces molécules dans les différents écosystèmes (mobilité, dégradation abiotique et biotique) mais également leur capacité d’accumulation chez les organismes vivants.

**2.1.1. Propriétés physico-chimiques des polluants organiques**

**Polychlorodibenzo-dioxines (PCDD) et Polychlorodibenzo-furanes(PCDF)**

Solides à température ambiante, peu ou pas volatiles, dispersion sous forme gazeuse, dégradation par photo-oxydation atmosphérique, stabilité dans l’atmosphère, molécules fortement lipophiles.

**PCB « dioxines-like »**

Une faible volatilité, une forte lipophilicité et une persistance élevée (stabilité chimique, thermique et biologique).

**Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**

Polluants prioritaires,la solubilité aqueuse de ces molécules tend à évoluer en sens inverse de la lipophilicité, en diminuant avec l’augmentation du poids moléculaire

Les **POP** sont semi-volatiles et circulent plus ou moins bien dans l’air, en fonction de la températurede celui-ci : dans les endroits froids, leur volatilité est réduite et ils se concentrent donc dans lesrégions tempérées et polaires.

Ils sont lipophiles (faible solubilité dans l’eau mais forte dans les graisses), avec attirancefortepour les tissus adipeux où ils se concentrent généralement (forte bioaccumulation). Ils ont égalementune durée de vie très longue (persistance dans le milieu).

**2.2.2. Propriétés physico-chimiques des polluants métalliques**

Dans l’environnement, les ETM sont retrouvés principalement associés à d’autres molécules (composés organiques ou inorganiques). Les complexes, ainsi formés, possèdent des propriétés physico-chimiques entrainement variables : le zinc complexe au phosphate est insoluble dans l’eau, alors que ce même élément associé au sulfate, est fortement soluble. De plus, selon le système considéré (sol, air, animal…), les formes complexées majoritaires diffèrent : dans l’air la forme chimique prépondérante du cadmium est l’oxyde de cadmium alors que dans le sol, le cadmium existe sous forme soluble ou sous forme de complexes insolubles inorganiques ou organique avec des substituants du sol. Quoi qu’il en soit, ces molécules ne sont pas lipophiles et se différencient ainsi des polluants organiques.

**2.2. Demi de vie des polluants**

Les différentes substances ont des durée de vie dans l’atmosphère qui sont extrêmement variables, ce quiexplique que les problèmes de pollution se situent sur des différentes échelles de temps et d’espace trèsvariables. Voici l’ordre de grandeur de la durée de vie dans l’atmosphère de quelques polluants

La durée de vie de tous ces gaz est très longue : de 50 à 200 ans pour le CO2, 10 ans pour le méthane ; 150 ans pour le protoxyde d’azote, de 65 à 130 ans pour les CFC. Quelques jours pour l’ozone, heurs à jours pour les COVM, jours à semaines pour les aerosols PM ≤ 1µm, minutes à jours pour les aerosols PM 1-10 µm

De ce fait, même si on limite les émissions de gaz, leur effet de serre continuera encore pendant très longtemps.

**2.3. Processus biogéochimiques :**

**2.3.1. Circulation atmosphérique des polluants**

**La circulation atmosphérique**

La circulation atmosphérique des polluants dépend fortement de la structure de ce compartiment. Dans l’atmosphère, la troposphère correspond à l’inversion de température et sépare la troposphère de la stratosphère. En effet, la température diminue lorsque l’on s’élève depuis le sol jusqu’à la tropause (d’environ 1°C par 100 m), puis sous l’effet des rayonnements solaires, raugmente en allant vers les couches les plus élevées de la stratosphère. Les conditions météorologiques (température, vent, turbulence de température, stabilité atmosphérique…) ont aussi une influence déterminante dans la formation, l’accumulation et la dispersion des polluants dans l’atmosphère.

Le sens et de la vitesse des courants stratosphériques sont aujourd’hui connus avec précision. Ainsi a-t-on pu montrer l’existence d’un vent dominant d’ouest qui souffle au niveau de la tropause, dans l’hémisphère Nord. Sa vitesse, de 35 m.s-1 en moyenne, permet un transit circum-terrestre de toute substance injectée à ce niveau en 12 jours. Cela explique la célérité avec laquelle les particules émises par une éruption volcanique ou par une explosion nucléaire se dispersent dans l’ensemble de l’atmosphère planétaire.

Les déplacements verticaux des masses d’air interviennent aussi de façon déterminante dans la circulation et la dispersion des polluants.

**2.3.2. Mouvements de l’hydrosphère, transferts des substances dans le sol**

Les éléments en traces qui arrivent au sol par les différentes voies sont susceptibles d’être transférés vers certaines composantes du milieu (eaux souterraines, eaux de surfaces, organismes, plantes et animaux). Les transferts empruntent les quatre voies, gazeuses, solubles, particulaires et organisées inclus dans les organismes).

Les formes gazeuses, au niveau des sols, résultent de l’activité des microorganismes et concernent des éléments comme le mercure, le sélénium et l’arsenic.

Les formes solubles, présentes dans la solution des sols, ne représentent qu’une faible fraction de la quantité totale d’élément en traces, à l’exception de certains éléments particulièrement solubles. Cette forme devrait peu contribuer aux flux d’élément en traces vers les eaux souterraines, en dehors de certaines circonstances ponctuelles (apports de doses élevées de lisiers, épandages d’eaux résiduaires pendant une longue période, milieu particulièrement acide) ou des migrations notables d’élément en traces au sein du profil peuvent être observées.

Les formes particulaires, au contraire, représentent le principal stock d’élément en traces dans le sol. Associés en majeurs partie aux particules fines (argiles et matières organiques humiliée) les éléments en traces suivent étroitement le devenir de ces constituants dans les sols. Des départs latéraux peuvent intervenir par érosion éolienne ou hydrique contribuant au transfert des éléments en traces vers d’autres écosystèmes.

Les formes organisées représentent les éléments en traces intégrés dans la biomasse.

**2.3.3. Accumulation des polluants dans le sol**

Le sol joue un rôle de stockage des éléments en traces tant que les conditions des milieux sont inchangées. A long terme, il existe donc un risque d’augmentation des teneurs des éléments en traces dans les sols. Cette accumulation, dès qu’il y apport, correspond à la manifestation de processus déjà bien identifiés pour expliquer la formation des dépôts ou de gisement « supergènes » (rôle des matières organiques, des oxyhydroxydes, des conditions réductrices… dans la fixation et l’accumulation de métaux).

Ces accumulations, si elles sont modérées et si les éléments, en raison de leur spéciation, ne sont pas mobiles et pas biodisponibles, ne semblent pas présenter d’effets ecotoxicologiques. Des changements de régime hydrologique, la reforestation et l’acidification peuvent ainsi avoir des répercussions importantes sur la mobilité des éléments en traces du sol, contribuant à leur mobilisation et transfert au sein et hors de l’écosystème. Dans ces conditions, le sol devient lui-même une source de pollution.

**2.3.4. Transfère et concentration des polluants dans la biomasse**

* **Polluants organiques**

Les PCDD/F s’accumuler dans les tissus adipeux des organismes vivants et dans les cuticules des végétaux. Les HAP peuvent être dégradé chez les animaux.

Les aliments contaminés par les PCDD/F sont principalement les produits d’origines animales, les végétaux n’étant que très faiblement pollués. Contrairement aux aliments contaminés par les HAP qui sont d’origines végétales. Cette différence de contamination entre les animaux et les végétaux peut s’expliquer de deux manières. D’une part, la grande majorité des espèces végétales sont incapables de prélever les PCDD/F et les PCB dans le sol via leur système racinaire et de les transloquer vers les parties aériennes. Les végétaux donc sont polluées en HAP majoritairement suite à un dépôt atmosphérique de ces molécules ou à des éclaboussures de particules de sol. D’autres part, La durée et l’intensité d’exposition aux PCB et aux PCDD/F est plus importante pour les animaux que pour les végétaux. Comme ces produits sont des composés stables et persistants, ils ne sont donc pas ou peu métabolisés et s’accumulent dans les tissus et les réserves lipidiques.

* **Polluants métalliques**

Les formes organisées des éléments en traces représentent les éléments en traces intégrés dans la biomasse et, en particulier, dans les végétaux. Les éléments en traces sont transférés aux végétaux à partir des formes présentes dans la solution du sol, compartiment qui prend toute son importance. Les végétaux récoltés par l’agriculture, la foresterie ou le simple entretien paysager contribuent aux flux de sortie des éléments traces des sols. La contribution des végétaux à l’exportation des éléments en traces des sols pollués est très faible en dehors du cas particulier des plantes hyperaccumulatrices. Les éléments en traces ont donc tendance à s’accumuler dans les sols cultivés. Par contre dans le cas des hyperaccumulateurs (zinc, cadmium) ou celui d’élément en trace très mobiles (technétium), les flux par la biomasse peuvent être nettement plus élevés et, par exemple, atteindre plusieurs dizaines de kg par hectare pour le zinc ou 80% du technétium présent dans le sol. Les plantes représentent alors, dans des conditions particulières, un outil potentiel pour décontaminer les sols pollués.

**2.3.5. Elimination, dégradation et persistance des polluants**

Trois vois principales de dégradation de PCDD/F: hydroxylation, oxydation avec migration d’un atome de chlore, ou ouverture du cycle benzénique pour former un dihydroxydiphényl éther éventuellement suivie par une hydrolyse pour donner un catéchol.

La solubilité aqueuse et la lipophilicité des congénères des HAP influencent la persistance de ces molécules dans l’environnement. En effet, les HAP peuvent être dégradés dans l’air par photo-oxydation et oxydation chimique. Dans le sol, les principaux mécanismes de dégradation des HAP seraient les réactions biologiques. Leur dégradation se fait par les microorganismes et les animaux supérieurs. La principale différence est le degré de métabolisme : les micro-organismes sont dotés de complexes enzymatiques permettant l’ouverture des cycles benzéniques tandis que chez les mammifères la dégradation des HAP correspond à une hydroxylation suivie ou non par une conjugaison.

**3- Pollution atmosphérique**

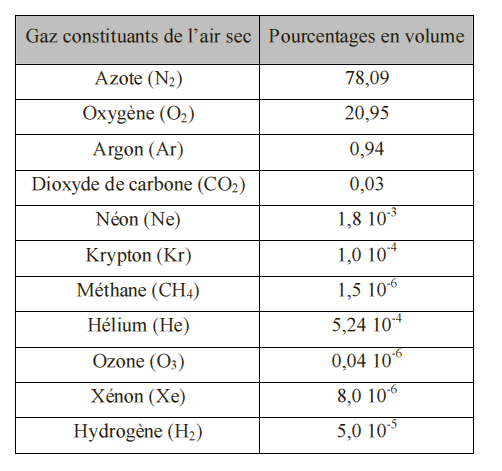
**3.1. Atmosphère et pollution atmosphérique**

**3.1.1. Composition gazeuse de l’atmosphère**

L’atmosphère est une couche d’air invisible, constituée d’un mélange gazeux quienveloppe la terre. Ce mélange comprend surtout de l’azote (N 2 , 78% en volume) et del’oxygène (O 2 , 21% du volume) qui constituent à eux deux 99% de l’air sec . De lavapeur d’eau y est présente aussi à des taux variables (Rarement au-delà de 5 à 6%).

Pour le reste, soit 1 %, on y trouve de l’argon (Ar, presque 1 %), du dioxyde de carbone (CO 2 ,0,03 %), et des traces infimes d’une multitude d’autres gaz : néon, krypton, hélium, ozone,hydrogène.

Tableau : Composition de l’atmosphère exprimée en pourcentage par rapport à l’air sec.



**1.1.2. Pollution atmosphérique**

La pollution atmosphérique consiste en le rejet de substances gazeuses, liquides ousolides dans l’atmosphère, directement ou indirectement, ayant des conséquencespréjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressourcesbiologiques et auxécosystèmes, à influer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels et à provoquer des nuisances olfactives excessives. Elle peut résulter soitd’une modification quantitative par la hausse de la concentration dans l’air de certains de sesconstituants normaux (CO 2 , NO 2 , ozone…etc), soit d’une modification qualitative due àl’introduction de substances étrangères à ce milieu (radioéléments,substances organiques desynthèse…etc). La pollution atmosphérique constitue sans aucun doute la plus évidente desdégradations de l’environnement par l’homme. Ce dernier peut être exposé aux polluants par inhalation d’air pollué, ingestion de produits liquides ou solides contaminés, ou contact cutané avec un sol pollué.

Les polluants atmosphériques sont souvent divisés en deux catégories, primaires etsecondaires. Les polluants atmosphériques primaires sont émis directementdans l’atmosphère, issus des sources de pollution (trafic routier, industries, chauffage,agriculture...). . Ils vontensuite se disperser, se diluer, se transporter voire setransformer en d’autres composés dits « secondaires »comme l’ozone ou le nitrate d’ammonium.

**3.2.Principaux polluants atmosphériques**

Différents polluants atmosphériques ont été signalés, dont la composition chimique, les propriétés de réaction, les émissions, la persistance dans l'environnement, la capacité de transport sur de longues ou de courtes distances et leurs incidences éventuelles sur la santé humaine et / ou animale. Cependant, ils partagent certaines similitudes et peuvent être regroupés en quatre catégories:

**3.2.1. Polluants gazeux**

Comprennent les composés du soufre (dioxyde de soufre (SO2) et trioxyde de soufre (SO3)), le monoxyde de carbone, les composés de l’azote (monoxyde d’azote (NO), dioxyde d’azote (NO2), ammoniac (NH3)), les composés organiques (hydrocarbures (HC), composés organiques volatils (COV), hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA), aldéhydes), les composés halogénés et les dérivés halogénés (HF et HCl), le sulfure d’hydrogène, le sulfure de carbone et les mercaptants (odeurs)

**3.2.2. Polluants Organiques Persistants (POP)**

Il existe douze composés organiques toxiques à basse concentration. Ce sont des résidus industrielssouvent toxiques, mutagènes et cancérigènes, qui interfèrent avec notre système hormonal et sexuel. La liste la plus communément admise est la suivante: Trichloroéthylène (TRI), Trichloroéthane(TCE), Tetrachloroéthylène (PER), Dioxines et furanes (Diox), Hydrocarbures AromatiquesPolycycliques (HAP), Polychlorobiphényls (PCB) et Hexachlorobenzène (HCB)

**3.2.3. Métaux lourds**

Les métaux lourds désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celuidu fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux traces ou d’élémentstraces métalliques. On considère en général les métaux lourds suivants : Arsenic (As), Cadmium(Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn).Chaque métal possède des caractéristiques et un impact propre.

Néanmoins, on distingue enparticulier le mercure, le plomb et le cadmium.

Ces 3 métaux se distinguent des autres métaux souvent considérés comme des oligo-éléments

pouvant être utiles. Les premiers sont tous très toxiques (effets sur le système nerveux) et ontunedurée de vie très grande et une conductivité électrique élevée. Les métaux ne posent pas seulement un problème pour la pollution de l’air, mais aussi pour celle de l’eau et des sols.

**3.2.4. Particules**

Ces aérosols comportent à la fois des particules solides (poussières) ou liquides

dispersés dans l’air par les diverses activités humaines. Elles sont généralement classées par

ordre de taille décroissante.

· Les particules de grand diamètre, supérieur à 10 µm, dites sédimentables.

· Les particules semi-fines peu ou pas sédimentables, de taille = 10 µm,

dénommées PM10.

· Les particules fines, insédimentables de taille = 2,5 µm (PM2,5).

· Les particules inframicroscopiques, insédimentables = 1 µm (PM1).

L’examen de ces particules atmosphériques a permis de détecter toute sorte de polluants

chimiques organiques ou inorganiques qui s’adsorbent à leurs surfaces, les rendant ainsi très

nocives pour la santé humaine.

**3.3. Provenance ou sources**

**3.3.1. Sources naturelles**

Il s’agit des sources induisant des rejets de substances polluantes mais qui ne sont pasliées à l’activité humaine. Parmi ces sources, on peut également distinguer les sourcesbiogéniques (liéesà la présence d’organismes vivants) des autres sources.

L’éruption volcanique (dégagement très important de produits souffrés) est un exemple de sourcenaturelle, de même que la production d’embruns marins (particules). Pour lessources biogéniques,il n’est pas toujours évident de classer le type de sources (cas de l’élevage d’animaux).

**3.3.2. Sources anthropiques**

Ces sources sont le fait de l’activité humaine. Parmi les **sources anthropiques**, on oppose souvent les **sources fixes**, émises par des installationsne se déplaçant pas, des **sourcesmobiles** liées aux transports.

Une autre notion est également importante pour la caractérisation des sources et de leurdistributiongéographique : c’est la notion de **source ponctuelle**, qui caractérise plutôt les grands sites iindustriels: elles sont étudiées en conjonction avec des données concernant leurlocalisation, leur capacité, leur activité... Les **sources ponctuelles**(**Corinair).** La nomenclature Corinair permet de classer les émetteurs en fonction de 11 catégories principales comme suit :

1. Combustion dans les industries de l’énergie et de la transformation de l’énergie : productiond’électricité, chauffage urbain, raffinage du pétrole, transformation decombustibles minérauxsolides, mines de charbon, extraction de gaz/pétrole, stations decompression

2. Combustion hors industrie : commerce et institutionnel, résidentiel, agriculture,sylvicultureet aquaculture

3. Combustion dans l’industrie manufacturière :chaudières, turbine, moteurs fixes, fours, procédés énergétiques

4. Procédés de production :procédés de l’industrie pétrolière, de la sidérurgie, des houillères, de l’industrie des métauxnon ferreux, de l’industrie de chimie organique, inorganique, de l’industrie du bois, del’alimentation, du papier, de la boisson..

5. Extraction et distribution de combustibles fossiles/ énergie géothermique :mines, stockage de carburant, extraction, déchargement, distribution de combustibles...

6. Utilisation de solvants et autres produits :application de peinture, dégraissage et nettoyage à sec, fabrication de produits chimiques,anesthésie et produits de nettoyage.

7. Transports routiers :voitures, véhicules utilitaires légers, poids-lourds, motocycles et motocyclettes, évaporationd’essence, pneux, freins...

8. Autres sources mobiles et machines :activités militaires, ferroviaires, navigation fluviale, trafic aérien, engins spéciaux pour l’agri-culture, la sylviculture, l’industrie, les loisirs ...

9. Traitements et élimination des déchets :incinération, décharges, crémation, traitements des eaux usées, épandages ...

10. Agriculture et sylviculture :culture avec engrais, sans engrais, fermentation entérique, déjections animales,utilisation de pesticides ...

11. Autres sources et puits :forêts naturelles de feuillus, de conifères, feux de forêts, prairies, zones humides, eaux, animaux,volcans, foudres, forêts exploitées...

**3.4. Niveau de la pollution atmospherique**

La pollution atmosphérique se divise en trois catégories :

Pollution de proximité et à **l’échelle locale :** elle concerne les sources d’émission de gaz ou d’autressubstances indésirables le plus souvent produits en milieu urbain (industries, chauffage,trafic...). Elle affecte enpremier lieu la santé des populations par son action directe à court terme mais exerce aussi une toxicité à pluslong terme pour certaines pathologies : cancer, asthme, maladie cardiovasculaire

Pollution à **l’échelle régionale:** elle concerne les zones situées à quelques dizaines de kilomètres (voire descentaines de kilomètres) des sources d’émission de pollution. Elle regroupe souvent sous ce terme les deuxphénomènes de pollution que sont les pluies acides et la pollution photochimique

Pollution **planétaire** qui concerne les deux problèmes identifiés :

- la diminution (« trou ») de la couche d’ozone stratosphérique due essentiellement à l’action descomposéshalogénés (chlore, brome, iode) libérés par les activités humaines.

- l’augmentation de l’effet de serre liée à la production excessive de certains gaz (CO = monoxyde decarbone, CO 2 = dioxyde de carbone, COV = composés organiques volatiles) entraînera de graves changementsclimatiques (élévation de la température du globe et des modifications climatiques qui ont des conséquencespour la vie terrestre).

**3.5. Effet des différentes substances sur la santé humaine**

**CO :** Il constitue un poison pour tous les animaux à sang chaud. En cas d'inhalation, il se combine avec l'hémoglobinedu sang, s’oppose à l'absorption de l'oxygène et provoque l'asphyxie. Etant inodore, le CO est un poison, qui neprovoque que des symptômes légers de maux de tête, de vomissements, ou de fatigue, suivis d'une perte deconnaissance.

**SO2 :** Des concentrations importantes en dioxyde de soufre peuvent provoquer de nombreuses pathologiesrespiratoires. Il peut entraîner des inflammations bronchiques, une altération de la fonction respiratoire, et dessymptômes de toux.

**NO et NO2 :** NO2 est toxique (40 fois plus que CO, 4 fois plus que NO) NO2 pénètre profondémentdans les poumons. Les pics de concentrations sont plus nocifs qu’une même dose surune longue période. NO est un gaz irritant pour les bronches, il réduit le pouvoir oxygénateurdu sang.

**Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) :** Beaucoup d’entre eux sont cancérigènes et dangereux pour la santé humaine.

**Les peroxyacylnitrates (PAN) :** Les PAN sont très toxiques pour les végétaux et très irritants pourles yeux et les voies respiratoires.

**COV :** certains composés organiques tels que les aromatiques, les oléfines provoquent desirritations des yeux. Les aldéhydes sont de puissants irritants des muqueuses. Certains COVtels que le benzène, sont cancérigènes. Le benzene est un hydrocarbure monocyclique (C6H6 considéré comme le plusnocif en air ambiant) et/ou comme précurseurs de l’ozonesecondaire.

**Les CFC :** Parmi les hydrocarbures ayant une action dans l’atmosphère, il faut citer les chlorofluorocarbones, dont la production est aujourd’hui interdite par des accords internationaux ; ils ont été largement utilisés comme solvant, comme gaz vecteur pour la production des aérosols, comme fluides frigorigènes. Ce sont des composés très stables, non toxiques pour l’homme et qui en cela étaient très séduisants. Ils sont détruits par le rayonnement solaire dans la stratosphère et libèrent du chlore qui va entrainer des réactions conduisant a la destruction de l’ozone dans la stratosphère.

**PCB :** Une exposition accidentelle de courtes durée à ces **PCB** n’a pas de conséquences grave pour l’homme, il à été démontré qu’une exposition chronique à forte dose est associée à des irritations de la peau (chloracné) et rarement des affections hépatiques, neurologiques, des bronchites chroniques, des mots de têtes, des vertiges, des dépressions, des troubles de la mémoire et du sommeil, de la nervosité et de la fatigue, et de l’impuissance. De plus, les effets à long termes peuvent entrainer des dommages de foie, des effets sur la reproduction et la croissance, et les possibilités de cancer. Ce sont des produits cancérigènes pour l’homme et ont toute une série d’effet néfaste chez l’animal, notamment toxicité pour la reproduction, immunotoxicité et cancérogénicité.

Certains polluants sont directement mis en cause dans l’apparition de cancers.

Au cours des dernières décennies, des liens forts ont été établis entre le tabac et le cancer broncho-pulmonaire, entre l’amiante et le mésothéliome, entre le rayonnement ultraviolet et les mélanomes, entre les trichloréthylènes et le concert du rein. D’autres cancers sont imputés aux dioxines, aux rayonnements ionisants, aux benzènes, à la consommation d’alcool.

Les effets des polluants ne se limitent pas aux cancers. Des affections cardiologiques et respiratoires sont induites tant par la pollution urbaine que par les poussières et les allergènes. Des affections neurologiques sont causées par le plomb et les pesticides, des maladies des reins par les métaux lourds (plomb, cadmium,..). Un niveau de bruit même très faible augmente la tension artérielle pendant le sommeil et pourrait avoir des conséquences cardiovasculaires. Lors de leur inhalation, les polluants atmosphériques et notamment les particules entrainent des réactions inflammatoires au niveau des poumons avec production excessive de radicaux libres, des réactions d’oxydation et un stress oxydatif. L’inflammation s’étend ensuite, altérant le système vasculaire, augmente la viscosité du sang et induisant des risques de coagulation. Ces modifications sont de plus susceptibles de déstabiliser des plaques d’athérome et de thrombose, le tout pouvant conduire à des maladies cardiovasculaires telles qu’une diminution d’apport sanguin à un organe, une obstruction des artères, un infarctus du myocarde.

Les études épidémiologiques montrent également que l’exposition chronique à la pollution atmosphérique augmente à long terme le risque de décès pour causes cardiovasculaires,

**ETM :** L’une des conséquences, en termes de santé, la plus fréquemment relevée après l’exposition humaine à ces molécules concerne les troubles du système gastro-intestinal.

**3.6. Conséquences écotoxicologiques de la pollution atmosphérique**

**a) Dioxyde de Soufre**

Les dommages causés par le SO 2 aux arbres et aux plantes cultivées dans les zones exposéesenpermanence à la pollution de l’air par ce composé se caractérisent en premier lieu par des lésions foliaires quis’étendent entre les nervures. On note parmi les plus sensibles les espèces fourragères, luzerne en particulier etdiverses composés (laitues, ..). Puis viennent les céréales et les crucifères. En revanche, le maïs, la vigne,pommier, prunier, poirier, seraient assezpollu-tolérantes à ce gaz. Il s’agit d’altérations nécrotiques provoquéespar l’accumulation de sulfites (H 2 SO 3) puis de sulfates (H 2 SO 4 ) dans le parenchyme foliaire.

**b) action de l’ozone**

Des forêts peuvent être exposées à une pollution de l’air par des composés s’étant formés dans desatmosphères polluées soumises à des smogs oxydants. L’ozone est très toxique de façon générale pour lesvégétaux, en particulier pour les conifères et les plantes cultivées. Ses effets se manifestent à partir de 20 ppb (v)et il provoque à 100 ppb (v) le dépérissement de nombreux végétaux.

Par exemple, chez les arbres à feuilles caduques, les dégâts de l’ozone se manifestent par l’apparition de petitestaches nécrotiques grisâtres.

Chez les plantes cultivées, l’ozone provoque des troubles de la respiration, une vacuolisation des cellulesfoliaires puis une défoliation totale de la plante. Le cotonnier et le pêcher sont particulièrement sensibles tandisque les betteraves, le trèfle et le sorgho sont assez résistants

**c) effet des NOX**

Parmi les oxydes d’azote, le seul qui présente une phytotoxicité est le NO 2 . Néanmoins, il est beaucoupmoins écotoxique que l’ozone. Des études ont montré un effet drastique des phyto-oxydants (Ozone + PAN +NOx) sur la productivité primaire forestière : des arbres âgés de 30 ans situés en zone polluée se sont avérésavoir une productivité cinq fois plus faible que celle d’arbres du même âge situés dans des zones moinsexposées.

**d) fluor**

Le fluor est un élément ne jouant aucun rôle dans la physiologie des végétaux.

S’il est présent dans l’air à des concentrations anormalement élevées dues à des émissions polluantes, ilcontamine la végétation selon deux modalités :

· Les dérivés gazeux du fluor pénètrent directement dans les plantes par les stomates

· Les autres retombent au sol sous forme de particules amenées par les dépôts secs ou dissoutes dans leseaux pluviales et s’accumulent peu à peu dans le système foliaire par la voie radiculaire.

L’intoxication fluorée des Phanérogames se traduit par l’apparition de nécroses apicales du parenchyme foliaire,d’abord grise puis devenant gris-verdâtre et enfin marron.

Lefluor est aussi celui qui cause les dommages les plus fréquents chez les animaux domestiquespar voiealimentaire. C’est par contamination de la chaîne trophique des animaux d’élevage que le fluor provoque uneintoxication à long terme des bovins, ovins et autres animaux domestiques causant une maladie dénomméefluorose (dents moins résistants, déformations osseuses, cachexie : affaiblissement profond de l’organisme,baisse de la production laitière).

Un autre effet méconnu de la pollution fluorée tient en sa nocivité pour les ruchers (nids d’abeilles). En effet, lefluor est un puissant insecticide pour les abeilles.

**e) les pluies acides**

Les pluies acides se produisent quand le dioxyde de soufre (SO2) et les oxydes d’azote(NOx) sont rejetés dans l’atmosphère, se combinent avec la vapeur d’eau atmosphérique pourformer des acides forts comme l’acide sulfurique (H2SO4) ou l’acide nitrique (HNO3). Ces deux acides baissent dramatiquement le pH des eaux de pluie, ce qui conduit à l’affaiblissement des arbres(augmentation de lasensibilité des arbres aux attaques d’insectes et aux maladies) par des actions indirectes, résultent d’un ensemble d’effets se manifestant au niveau foliaire, racinaire, à celui de laphysiologie des arbres exposés, commençant par un jaunissement des feuilles suivi d'une, chute de ces dernières enproportion plus ou moins importante selon la gravité du phénomène. Cettedéfoliation est directementresponsable d'une baisse de l'activité photosynthétique.

Une autre cause de diminution de productivité des forêts exposées aux pluies acides résulte de l'accroissementdu lessivage des éléments minéraux nutritifs des sols combiné à une baisse d'activité des micro-organismesnitrifiants. Ainsi, le bilan global du cycle de l'azote se traduit par une diminution des quantités d'azote nitriquedisponibles dans les sols forestiers. Une forte baisse de pH engendre un accroissement de la perte par lessivage d'ions nutritifs (Ca2+, Mg2+, K+) au niveau de la biomasse foliaire.

La combinaison des dépôts d’azote et des pluies acides est responsable d’une diminution de la densité des champignons, les arbres seraient beaucoup plus susceptibles de s’affaiblir et de mourir pendant les années de sècheresse. Les retombés acides peuvent endommager les arbres dans certaines régions et conduire à leur mort sur de vastes zones, ce qui entraine des couts énormes en termes d’impact sur la reproduction de bois, la qualité de l’eau et les loisirs.

L’acidification des cours d’eau consécutives aux pluies acides a également altéré le fonctionnement de la litière via un impact sur le décomposeur microbiens et les détritivores invertébrés (Dangles et al. 2004).

Les pluies acides, à leur tour, réduisent le pH des sols humides et des masses d’eau tels les étangs et les lacs, et elles augmentent aussi les concentrations en métaux toxiques comme l’aluminium. L’augmentation seule de l’acidité induit des dommages à de nombreuses espèces végétales et animales. Comme l’acidité de masses d’eau augmente, de nombreux poisson, ne parviennent pas à se produire ou meurent. Avec des maladies introduites (Walker et al . 2010) et la destruction et la fragmentation des habitats (Luquet et al 2012), l’augmentation de l’acidité et la pollution de l’eau sont deux facteurs qui contribuent à la diminution spectaculaire des populations d’amphibiens de par le monde (nourris 2007). La plupart des espèces d’amphibiens dépendent de plans d’eau pour au moins une partie de leur cycle de vie, et une baisse de pH de l’eau provoque une augmentation correspondante de la mortalité des œufs et des jeunes individus. L’acidité inhibe également le processus de décomposition microbienne, en abaissant le taux de recyclage des minéraux et la productivité des écosystèmes.

Le problème des pluies acides est en régression dans de nombreuses régions en Europe et aux Etats-Unis, en raison d’un meilleur contrôle de la pollution, mais dans les pays émergent comme la Chine, l’acidité des pluies augmente à la mesure que les pays brulent des combustibles fossiles pour alimenter leur développement industriel rapide.

**3.7.Problèmes environnementaux liés aux polluants atmosphériques**

Les impacts de la pollution conditionnent la plupart du temps le choix des substances retenues dans uninventaire. L’échelle géographique pertinente pour analyser les phénomènes de pollution de l’air va du très localpar exemple odeurs, effets des particules, du benzène, ... sur la santé) à l’échelle mondiale (par exemple effet deserre, couche d’ozone), en passant par des phénomènes régionaux ou continentaux (pluies acides ou pollutionphotochimique). On classe souvent les effets en fonction de l’échelle qui lesconcerne.

**3.7.1. Effet de serre : échelle mondiale**

L’effet de serre est un phénomène avant tout naturel de piégeage par l’atmosphère durayonnement dechaleur émis par la terre sous l’effet des rayons solaires. Il permet une température sur Terre bien supérieure àcelle qui régnerait en son absence. Le groupe de gaz responsables de ce phénomène est présent dansl’atmosphère à l’état de traces; il s’agit, pour l’essentiel, de la vapeur d’eau (H2O), du gaz carbonique (CO2), duméthane (CH4) et du protoxyde d’azote (N2O). C’est parce que les teneurs atmosphériques de ces gaz sontnaturellement très faibles que les émissions dues aux activités humaines sont en mesure de les modifiersensiblement, entraînant, a priori, un renforcement de l’effet de serre, et par suite, des modifications possibles duclimat.

L’homme, par ailleurs, a introduit de nouveaux gaz à effet de serre très puissants dans l’atmosphère : leschlorofluorocarbones (CFC) également responsables de la destruction de la couche d’ozone. Enfin, l’ozonetroposphérique, formé à partir des émissions d’oxydes d’azote(NOx) et de Composés Organiques Volatils (COV) joue également un rôle important.

**3.7.2.Rôle du réchauffement climatique dansl’évolution des polluants atmosphériques**

Le rôle du réchauffement climatique dans l’évolutiondes polluants atmosphériques extérieurs affectant lasanté cardio-respiratoire associés concerne essentiellementl’ozone et les particules. Ces deux polluants sont en effetresponsables de la majeure partie des dépassements desvaleurs recommandées pour la qualité de l’air, notammentaux États-Unis.

Les variations météorologiques régionales affectent laqualité régionale de l’air, notamment urbaine et doiventêtre gérées à l’échelon de la région affectée .

Les prévisions concernant l’augmentation de températured’ici la ﬁn du siècle varient suivantles projectionsd’émission des facteurs responsables de l’effet de serre :de 0,3 à 1,7 ◦C encas de baisse des émissions actuelles oujusqu’à 2,6 à 4,8◦C en cas de poursuite ou d’augmentationdes émissions actuelles.

Les pics de concentration d’ozone ambiantssont observés pendant les mois d’été, quand les conditionsmétéorologiques régionales favorisent la production photochimique,comme les valeurs élevées de la température, leshautes pressions persistantes, la stagnation de l’air et le cielclair. Au-dessus de 32◦C, une association forte a été miseen évidence entre la température et des valeurs d’ozoneambiant > 75 ppb.

C’est pendant la périodeestivale et en particulier pendant les pics d’ozone que leretentissement sur la morbidité et la mortalité respiratoireest le plus à craindre. Les fronts froids propres terminentces épisodes en refoulant l’air chaud de la surface du sol.

Sans diminution des gaz à effets de serre à leur niveauactuel, l’Environmental Protection Agency (EPA) projetteaux États-Unis en 2100 une diminution annuelle moyenne

légère de la concentration d’ozone ambiant de 1,3±0,5 ppb, mais avec une augmentationdans les zones polluées et à population dense.

Sans diminutiondes gaz à effets de serre, l’EPA projette aux États-Unisune augmentation moyenne annuelle de la concentrationdes PM 2,5 atmosphériques des PM 2,5 de 0,3±0,1.g/m3en 2050 et de 0,7 ±0,1.g/m3 en2100. L’augmentation pendant les mois d’été (juin-août)pourrait atteindre 3,0 g/m3dans la région est des États-Unis.

Les concentrations de particules ﬁnes sont affectées parles feux de forêts notamment.Les modèles climatiquesmontrent qu’avec une augmentation de la température de1 ◦ C, les risques de feux de forêts ont augmenté de 2 à 6 foisentre 1950 et 2003, dans la plupart des états américains àl’ouest du Mississipi. Bien que les feux de forêts soient leplus souvent localisés, la fumée dégagée peut s’étendre surde grandes distances. Il a été estimé que 339 000 décès prématurés/an en moyenne dans le monde, sont attribuables àla pollution dégagée par les feux de forêt, notamment dufait des particules.

Pendant les vagues de chaleur, la consommationd’électricité augmente pour assurer la climatisation. Quandl’électricité est fournie par les centrales à charbon, les émissionsde particules tendent à augmenter.

L’accroissement de l’effet de serre induira de nombreux autres bouleversements climatiques auxconséquences désastreuses : augmentation de la fréquence des vents violents, de tempêtes, inondationsaux latitudes tempérées et les cyclones dans les zones tropicales. L’élévation du niveau moyen des mers qui a atteint au cours du dernier siècle une dizaine de cm estestimée comprise entre 0,15 cm et 1 mètre d’ici la fin XXIe

**3.7.3. Réduction de la couche d’ozone « trou dans la couche d’ozone »**

L'ozone (O3) est une forme chimique particulière de l'oxygène.Il est spontanément généré dans la stratosphère par le bombardement de la molécule oxygèneO2 par les ultraviolets (UV) qui produit l’oxygène radicalaire (O), lequel réagit ensuite avec lamolécule de dioxygène pour former l’ozone selon les réactions suivantes :

O 2 + hν → 2 O

O 2 + O → O 3

Près de 90% de l’ozone se trouve dans la stratosphère, notamment dans une couche située entre vingt et vingt- cinq kilomètres d’altitude. C’est le seul composant de la stratosphère qui absorbe le rayonnement ultraviolet venant du soleil. Il protège ainsi la vie sur terre, tant les hommes que les microorganismes ou le phytoplancton marin. Si la totalité de l'ozone comprise danscette colonne d'air était ramenée à la température et à la pression de l'atmosphère standard (0°C et 1 atmosphère), on obtiendrait alors une couche d'environ 3 mm d'épaisseur.

La teneur en ozone stratosphérique s’exprime en unité Dobson (notée DU pour DobsonUniten anglais). Elle est définie comme une couche de 0.01 mm d'épaisseur à la températureet la pression de l'atmosphère standard. Donc, la colonne d'ozone au-dessus normale estd’environ 300 DU.

La couche d’ozone au-dessus de l’antarctique se réduit de façon naturelle pendantquelques mois chaque année (généralement pendant le printemps austral qui correspond àl’automne boréal). On parle de "trou" dans la couche d'ozone lorsque la valeurde la colonne intégrée en ozone est inférieure à 220 unités Dobson.

* **Causes de la destruction de la couche d’ozone**

La dégradation de cette couche d’ozone est le résultat d’une pollution lente et étendue de l’atmosphère. Elle est catalysée par le chlore dont la principale source est la famille des chlorofluorocarbones (CFC) produits par l’homme. Rawland et Molina (1973) ont décrit plus d’une centaine de réactions quiaboutissent la destruction de l’ozone dans la stratosphère dont les plus importantes sont lessuivantes :

CFCl3CFCl2 + Cl

Cl + O 3ClO + O 2

Les CFC sont des composés très stables (leur durée de vie dans l’atmosphère se chiffre en siècle) qui montent lentement vers la stratosphère oùils catalysent la destruction de l'ozone.Au contact des rayons ultraviolets (UV), ces gazlibèrent leur chlore par photolyse. De plus, les cristaux de glace présents dans les nuagesstratosphériques transforment les composés chlorés de l'atmosphère en chlore actif susceptiblede détruire l'ozone. La destruction de l'ozone stratosphérique se produit dans les régionspolaires lorsque les températures descendent en dessous de -80 °C. À ces températures desnuages se forment dans la basse stratosphère au sein desquels des réactions chimiquestransforment des composés issus des CFC en composés actifs. Ces processus conduisent à unedestruction rapide de l'ozone au retour de la lumière solaire au-dessus du pôle. Ces produits ont été ensuite remplacés par les HCFC (hydrochlorofluorocarbones) et les halons.

* **Conséquences de la destruction de la couche d’Ozone** et protocole de Montréal

Avec la diminution de la couche d’ozone, les rayons UV atteignant la surface de la terreont augmenté sensiblement depuis 1979 sur toute la planète. Une exposition troplongtemps aux rayons UV entraine plusieurs problèmes de santé chez l’homme, notammentles cancers de lapeau, les cataractes (opacification du cristallin) et l’affaiblissement dusystème immunitaire. D’après l’Organisation mondiale de la santé (OMS), chaque année, oncompte dans le monde 2 à 3 millions de nouveaux cas de cancer de la peau dont plus de 130000 nouveaux cas de cancer mélanocytaires(mélanomes malins). On estime à 66 000 lenombre annuel de décès par mélanome et autres cancers de la peau.

Les écologues sont aussi préoccupés par ces taux élevés des rayons UV qui risquentd’endommager le fonctionnement des écosystèmes terrestres et aquatiques.

**3.7.4. Changements climatiques**

♦ Selon Fortin (2001) (Canada), l’Organisation Mondiale pour la Santé et Santé

Canada ont identifié ***huit catégories d’effets sur la santé*** induit par leschangements climatiques :

- la morbidité et la mortalité liées à la température (ex : Maladies liées au chaud et au froid, maladies respiratoires et cardiovasculaires);

- les effets de conditions météorologiques extrêmes (ex : dommages causés aux infrastructuresde santé, traumatisme et maladie, stress social et psychologique dû aux

Sinistres);

- les effets liés à la pollution atmosphérique ( ex : asthmes et autres affections respiratoires, crises cardiaques, maladies cardiovasculaires, cancer) ;

- la contamination de l’eau et la nourriture (ex : Infections dues à des micro-organismesentéropathogènes);

- les maladies infectieuses à transmission vectorielle (ex : nouveau profil de maladies causéespar des bactéries, virus et autres agentspathogènes) ;

- l’exposition accrue au rayonnement ultraviolet due à l’appauvrissement dela couche d’ozone (ex : lésions cutanées et cancer de la peau, cataractes, affaiblissements desdéfensesimmunitaires) ;

- les populations particulièrement vulnérables ;

- les impacts socio-économiques sur la santé et le bien-être des populations (ex :déterminants modifiés de la santé, risques pour les économies locales, fardeau général de la maladie).

**3.7.5. Les smogs**

Le terme « smog », contraction des mots anglais smoke (fumée) et de fog (brouillard,brume) désignela pollution de l’air urbain,il y a deux grandes sortes de smog :

**- Le smog industriel** (pollution par la fumée), cumule trois effets : des conditions météorologiques d’inversion (une couche chaude surmonte des couches plus froides près du sol et y confine les polluants qui s’y accumulent), des quantités élevées de dioxyde de soufre et de poussières issues notamment des installations de combustion du charbon, et une forte humidité atmosphérique- en fait du brouillard- qui catalyse la formation du SO2 en acide sulfurique.

En décembre 1952, 4000 londoniens moururentdans le pire incident industriel lié au smog au monde. 8000 autresmoururent dans les deux mois qui suivirent.

Aujourd’hui, le smogindustriel présente un grave problème dans de nombreuses villes industrielles des pays endéveloppement.

-**Le smog photochimique**.

La lumièrejoue un grand rôle dans la formation des polluants secondaires à partir des différents polluants chimiques primaires. Les oxydes d’azote (NOx) et les COV sont impliquésdans sa formation. De l’ozone se forme au niveau du sol enprésence de NOx (issus des échappements des automobiles) par réactionsphotochimiques. L’ozone ainsi formé réagit avec lesdifférents polluants atmosphériques pour former plus de 100polluantssecondaires dont les PAN discutés précédemment. Ces smogs sont trèsirritantspour les yeux et les voies respiratoires et généralement plus importantdurant les mois d’été.

**4. Modalités et conséquences de Pollution des sols par l’agriculture moderne**

Dans une approche « milieu », le sol est interfacé avec l'eau et l'air ; la notion de pollution du sol appelle donc généralement aussi celle de contamination d'un ou plusieurs composants des écosystèmes (air, eau) ou potentiellement des organismes vivant en contact direct ou indirect avec le sol (invertébrés du sol, champignons en particulier) avec une incidence sur l'écosystème, au-delà de seuils variant selon la nature du polluant et du sol.

 La pollution du sol peut être due à l’accumulation sur le sol des substances non biodégradables, ou à l’accumulation des substances biodégradables mais dont la vitesse de biodégradabilité excède le taux d’accumulation. Alors ces substances peuvent être stockées sur le sol ou être lessivées par les eaux de ruissèlement vers les cours d’eau voisins ou vers la nappe phréatique ; ou encore s’évaporer vers l’atmosphère.

Certains sols sont souvent utilisés comme décharge pour les déchets ménagers et industriels. Dans beaucoup de régions cultivées, le lessivage des engrais et des effluents d'élevage épandus en excès provoque une augmentation importante de teneur en nitrate et autres éléments minéraux dans les nappes phréatiques.

Les effets de la pollution des sols dépendent de leur structure et de leur texture. Certains sols ont la capacité de filtrer, d'absorber et de recycler des quantités importantes de déchets ; dans d'autres sols, certains constituants toxiques ne sont pas retenus et se retrouvent dans les fleuves et dans les nappes phréatiques. Les sols sableux sont favorables au lessivage, alors que les sols argileux épais retiennent mieux les déchets. Ainsi toutes les activités humaines sur les sols doivent tenir compte des propriétés des sols et de la position de la nappe et des cours d’eau du milieu.

**4.1. Pollution des sols par les pesticides**

L'augmentation considérable de la productivité agricole à l'hectare en Europe depuis 1945 n'aurait pas étépossible sans la généralisation de l'emploi des engrais et pesticides. Mais aujourd'hui, ces produits sont misen cause dans la dégradation de l'environnement, particulièrement sensible dans les régions d'agriculture intensive,notamment à travers la pollution des rivières et des nappes par les pesticides. La lutte contre la pollution des eauxpasse par une meilleure connaissance des mécanismes de fixation, de transformation et de transport desmoléculeschimiques au niveau du sol, et par la mise au point de stratégies de gestion des risques.

Dans les années 90, 42% de la production agricole potentielleétait perdue à cause des maladies, des ravageurs, des mauvaisesherbes. Parmi les moyens de lutte contre les ennemisdes cultures, la chimie a pris une place croissante. Auxusages agricoles, s'ajoutent aussi l'entretien des espaces vertset de la voirie. En France, 100 000 tonnes de pesticides sontépandues chaque année dans les champs. Quel que soit leurmode d'utilisation, la plupart des molécules employées atteignentle sol durant ou après le traitement ; leur devenirdépend donc des caractéristiques et du fonctionnement du sol.

Les pesticides peuvent ensuite être soumis à des phénomènesde transport, liés principalement à l'écoulement des eaux. Cestransports en surface (ruissellement) ou en profondeur (lixiviation)entraînent des pollutions des eaux, même si lesquantités de pesticides mobilisées dans les processus detransfert ne concernent généralement qu'une faible fractiondes quantités épandues.

**4.1.1. Devenir des pesticides dans le sol**

Comprendre et prévoir les risques de contamination des eauximplique que soient identifiées et décrites les voies de disséminationdes produits : volatilisation, transferts associés à lacirculation de l'eau, adsorption par le sol, transformationphysico-chimique ou biologique, formation de "résidus liés".

Les mécanismes impliqués sont encore mal connus et constituentun objet de recherche majeur pour la chimie du sol. Cesquestions sont compliquées par le fait que les pesticidesappartiennent à des familles chimiques très diverses, et queles molécules actives sont en général accompagnées d'additifsou adjuvants de formulation (colorants, tensioactifs, conditionneurs...)qui peuvent modifier le comportement de lamolécule active.

Malgré la complexité du comportement global, liée à la multiplicitéde processus interconnectés et à la diversité des molécules,on peut regrouper les principaux processus qui vontconditionner le devenir d'un pesticide dans les sols et les eaux :

- mise en solution dans la solution du sol à partir d'une spécialitécommerciale ou un produit formulé. Cette phase estparticulièrement importante puisqu'elle correspond à l'apparition d'une forme mobile de la molécule, biodisponible pourles végétaux ou les micro-organismes. La mise en solutiondépend de la solubilité de la molécule, qui peut elle-mêmedépendre de l'ambiance physico-chimique du milieu (températureet pH par exemple), ainsi que du type de formulation ;

- absorption par la microflore du sol ou les végétaux dans lecas de produits systémiques (c'est-à-dire pénétrant dans lesorganismes pour agir de façon spécifique sur une de leurs

fonctions métaboliques) ;

- adsorption sur la phase solide organo-minérale du sol, enfonction de constantes d'équilibre d'adsorption et de désorptioncaractéristiques de chaque produit, mais dépendant des

conditions de milieu ;

- biodégradation par la flore microbienne du sol, qui peututiliser ces produits organiques comme source de carbone.

Cette biodégradation entraîne l'apparition de métabolitesintermédiaires qui peuvent présenter des propriétés physicochimiqueset une toxicité différentes de celle du produitd'origine. La phase ultime de la biodégradation est la minéralisationavec production de gaz carbonique par lesmicroorganismes;

- transport convectif et/ou diffusif dans la solution du sol enfonction des conditions pédoclimatiques qui vont déterminerl'intensité de ces processus, et éventuellement, volatilisation

et émission dans l'atmosphère ;

- formation de "résidus liés", plus ou moins stables, qui peuventconstituer des formes d'accumulation de résidus organiquesdans les sols aux évolutions à moyen terme malconnues, et peuvent ainsi être considérés comme des"bombes à retardement" potentielles vis-à-vis de l'environnement. De nombreuses hypothèses ont été avancées pourexpliquer les mécanismes de formation de ces "résidus liés"(liaison avec d'autres composésorganiques, incorporationdans des structures cellulaires microbiennes...), mais globalement,leur importance est corrélée à la teneur et à la naturedes matières organiques présentes dans les sols.

Au total, ces différents processus aboutissent à classer lesphénomènes décrivant le devenir d'un pesticide selon deuxconcepts principaux : la rétention et la persistance.

La rétentiond'un produit regroupe l'ensemble des mécanismes tendantà fixer le produit ou sesmétabolites sur la phase organominérale; si la rétention est forte, la mobilité est faible, cequi tend à diminuer les risques de pollution par transfertshydriques. La persistance (mesurée globalement par la demiviedu produit) regroupe l'ensemble des processus biologiquesou physico-chimiques qui conditionnent la dissipationdu produit et sa concentration dans la phase liquide ; plus unproduit est persistant, plus la probabilité d'être transporté estgrande et plus les risques de pollution des eaux sont élevés.

Les recherches actuelles visent à identifier le déterminismede ces processus en tentant de définir une typologie descomportements des pesticides en fonction des conditionsagronomiques et des facteurs de régulation associés au typede sol et aux conditions climatiques de leur utilisation. Faceaux lacunes et incertitudes concernant les "résidus liés", ilapparaît nécessaire de développer des recherches concernantl'identification de l'origine biologique et/ou physico-chimiquedes processus de stabilisation des pesticides dans les sols,pour estimer les risques d'accumulation et de réversibilité dece phénomène de stockage.

**4.1.2. Ruissellement et entraînementdes pesticides**

Les molécules de pesticides épandues sur le sol sontentraînées vers les cours d'eau par le ruissellement érosif, soitsous forme dissoute soit sous forme fixées sur les particulesde sol transportées. Le ruissellement se produit lorsque lesprécipitations dépassent les capacités derétention et d'infiltration du sol.

La dispersion des pesticides dans l’environnement représente une menace particulièrement importante pour la biodiversité,comme l’illustre la régression des populations d’oiseaux communs dans les zones agricoles. Les pesticides empêchent en effetle développement d’espèces qui interviennent dans la chaîne trophique, entraînant un appauvrissement global des populations.

L’agriculture est aussi responsable de l’émission dans l’atmosphère de pesticides, en particulier lors de l’épandage de ces derniers mais aussi par évaporation. Ils sont transportés a l’échelle locale, mais aussi régionale et planétaire.

**4.2. Pollution des sols par les engrais**

Engrais azotés - description des flux

Le recensement des externalités induites par les produits phytosanitaires et les engrais azotés utilisés dans l’agriculturenécessite en premier lieu de décrire les flux de produits en présence. Cependant, cette description prend des formesfondamentalement différentes suivant les produits considérés. Dans le cas des engrais azotés, les externalités associéesproviennent des différentes formes sous lesquelles l’azote contenu dans les engrais est libéré dans l’environnement : unedescription pertinente des flux en présence consiste donc à effectuer un bilan d’entrées et de sorties d’azote dans l’agriculture.

**4.2.1. Flux d'azote**

Le problème avec l'azote est double : d'une part, qu'il soit d'origine organique (effluents d'élevage, fumier, purin, lisier, fientes de volailles, etc.) ou synthétique (« engrais azotés » au sens restreint), une partie se transforme en oxydes gazeux dont certains sont des gaz à effet de serre. D'autre part, la forme nitrate est facilement lessivée et peut se retrouver dans les eaux de surface et souterraines.

Les nitrates sont régulièrement accusés de polluer les eaux destinées à la consommation d'une part, et les rivières et même la mer d'autre part. Il n'est donc pas étonnant de voir un service du Ministère de l'écologie produire un énième document sur la pollution par les engrais azotés. Mais cela relève d'un mouvement pavlovien, d'une certaine étroitesse d'esprit, et d'un souci de rester politiquement correct.

**4.3. Principales sources de pollutions des sols par l’industrie**

Les activités industrielles anciennes ayant contaminé les sols sont relativement nombreuses ; se sont notamment les usines à gaz, les pressings, les ateliers de mécanique, les ateliers de traitement de surface, les casses automobiles, les garages automobiles, les imprimeries, les sites ayant abrité des dépôts d’hydrocarbures ou des substances dangereuses, les stations-services, les sites chimiques et pharmaceutiques, mais aussi les anciennes décharges de déchets.

L’origine de la pollution des sols par l’industrie est due à d’anciennes pratiques sommaires d’élimination des déchets, mais aussi à des fuites ou à des épandages de produits chimiques, accidentels ou pas. Il existe aussi autour de certains sites des contaminations dues à des retombées atmosphériques accumulées au cours des années voir des décennies.

La pollution industrielle des sols se caractérise par sa concentration, à savoir des teneurs souvent élevées mais sur une surface réduite.

Les activités industrielles à l’origine de la contamination des sols sont l’industrie des métaux (19,5 %) ; l’industrie chimique et pharmaceutiques (16,9 %), le traitement d’élimination des déchets (15,6 %), l’industrie du pétrole et du gaz naturel (12,9 %) et de la cokéfaction et les usines à gaz (12,0 %).

Les sources de contamination par les métaux sont multiples : les activités minières, la sidérurgie, le transport. On les retrouve dans les piles, les batteries, comme adjuvants dans les peintures et colorants, ainsi que dans les engrais phosphorés (cadmium).

Les secteurs qui contribuent principalement aux pollutions des sols par les dioxines et les furannes (PCDD/F) en 2005 sont l’industrie manufacturière (45 %) et la transformation de l’énergie (43 %).

* **Perturbation des cycles biogéochimiques par l’emploi des fertilisants**

Deux cycles biogéochimiques sont principalement perturbés par l’emploi des fertilisants, il s’agit de l’azote et le phosphore.

La perturbation du cycle de l’azote est importante. Sur un total de 250 à 379.106 t.an-1 d’azote nitrique apporté à la biosphère, 53.106 t.an-1 le sont par les engrais nitrés c’est-à-dire environ une augmentation de 20% de l’azote circulant. Or cet excès de nitrates n’est pas entièrement dénitrifié et on estime qu’environ 40.106 t.an-1 de nitrates sont en surplus, provoquant des ruptures du cycle de l’azote. Les perturbations les plus manifestes se font sentir dans les milieux limniques.

La perturbation du cycle du phosphore est due au fait que sur les apports de phosphore par les roches extraites en vue d’en faire des engrais chimiques, environ 16.106 t.an-1, multiples par trois les apports naturels du phosphore amené chaque année des sols à l’océan pas les eaux continentales. Or l’excès du phosphore, non fixé dans les sols, provoque des phénomènes d’eutrophisation.

**5- Pollution des eaux**

**5.1. Introduction : Ressources en eaux**

L’eau sur Terre : du cycle hydrologique aux ressources en eau disponiblesLa masse d’eau totale de l’hydrosphère ne varie pas au cours des années. L’eau change d’étatau cours de son date de son apparition sur Terre. C’est l’énergie solaire qui est le moteur du cycle de l’eau enentraînant ses changements d’état.La quantité d’eau sur Terre est gigantesque : environ 1,4 milliards de km3, d’après lesestimations de Shiklomanov et Rodda, 2003 (cité dans UNESCO, 2006). Cependant, 97,5 %de cette quantité se trouve sous forme d’eau salée et 2.5 % sous forme d’eau douce, soit69,5 % de l’eau douce se présente sous forme de glace et de neige permanente, 30,1 % sousforme d’eau souterraine, 0,27 % sous forme d’eau dans les lacs et rivières, 0,13 % sous une autre forme (atmosphère, humidité dans le sol, marais, etc.).

**5.2. Différentes sources de pollution des eaux**

On distingue généralement trois sourcesprincipales de pollution: urbaine,industrielle et agricole.

**5.2.1. Pollution urbaine**

L’origine des eaux résiduaires urbaines (ERU) est principalement domestique. La pollutiondomestique est la conséquence d’une utilisation quotidienne de l'eau dans la maison (tâchesménagères, cuisine, entretien d’un jardin, toilette, etc.). Ces effluentssont un mélange d’eaux contenant des déjections humaines- urines et fèces (eaux vannes)- etd’eau de toilette et de nettoyage dessols et des aliments (eauxménagères). Les eauxdomestiques sont riches en déchets organiques, en graisses (eau de cuisine), matières minérales(eau de salle de bain), azote, phosphore, etcontiennent également des sels minéraux et desmétaux. Les détergents contiennent des matières minérales tel les phosphates, qui entraînent laprolifération des alguesdans le milieu naturel s’ils ne sont pas traités.

**5.2.2. Pollution industrielle**

La diversité des pollutions industrielles reflète la diversité des usages: elle peut secomposer principalement de déchets organiques et (industrie agro-alimentaire, papeterie, sucrerie,brasserie, abattoirs…), mais également de multiplespolluants chimiques tels que les hydrocarbures (pétro-chimie), les métaux lourds (pétro-chimie, métallurgie,construction mécanique, teinturerie, tannerie,…), les dissolvants ( phénols ….), les produits azotés(industrie des engrais, explosifs, …), les matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets médicaux radioactifs) et les eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques, rejet des eaux réchauffées dont latempératurepeut atteindre et dépasser 30°C par les industrie).

**5.2.3. Pollution agricole**

L’aggravation constante de la pollution agricole due à l’utilisation d’engrais et de produits detraitements des végétaux rend l’eau impropre à la consommation dans de nombreuses régions.

Les causes des différentes formes de pollution agricole sont :

• Les engrais et autres matières fertilisantes épandues (boues de stations d’épuration,effluents d’élevage, cendres) sur les sols agricoles.

• Les déjections animales non récupérables pour les animaux en pâture.

• Les produits phytosanitaires (herbicides et pesticides), Les engrais azotés, liés auxpratiques culturales elles-mêmes, provoquent une montée régulière des teneurs en nitratesdans les eaux souterraines. L’altération des nappes souterraines est moins réversible quela pollution des eaux superficielles du fait du lent renouvellement de ses ressources.

• Des métaux (Cu et Zn essentiellement) provenant des compléments alimentaires desanimaux d’élevage, des résidus d’antibiotiques utilisés contre les infections animales.

Ces produits sont très rarement rejetés directement dans les eaux de surface, mais leurépandage en excèsentraîne leur lessivage par les eaux de pluie et une pollution diffusedeseaux de surface et des eaux souterraines.C’est également ce lessivage de sols pollués qui peut entraîner la pollution des eaux lessivées. Les eaux ruisselant sur les chaussées polluées (hydrocarbures et plomb) constituent également une source de pollution de l’eau.

Une part importante de la pollution des eaux provient de la **pollution par voie atmosphérique** .Les eaux pluviales chargées de micropolluants atmosphériques àson arrivée sur ces surfaces, récupère des polluants supplémentaires : métaux lourds sur lestoits, hydrocarbures sur les chaussées, déjections animales sur les trottoirs, souffre et gaz carbonique (responsables notamment des pluies acides),, etc. Une partie très variable de macro-déchets part vers les cours d'eau.

Enfin, **les pollutions d’origine accidentelle** ne représentant qu’une part infime des rejets polluants, ontun impact local extrêmement fort. Il peut s’agir de déversements de produits divers suite à des accidents àl’usine’ (ruptures ou mauvaise gestion de vannes, fuites de canalisations ou de citernes, incendies, ….)ou lors de leur transport (renversement de camions, naufrage, …)

**5.3. Typologies et origines des pollutions aquatiques**

La pollution correspond à une dégradationdu milieu naturel et elle fait référence à des normes réglementaires ou tout du moinsscientifiques. Est considéré comme polluant un élément qui représente un risque avéré oupotentiel sur la santé humaine et/ou sur les milieux naturels. On distingue traditionnellementdifférents types de pollution en fonction de l’agent polluant qui peut être d’origine physique,chimique ou biologique. L’Office International de l’Eau proposeune typologie plus large baséesur plusieurs catégories de pollution :

**5.3.1. Pollution organique** est naturellement émise par les végétaux et animaux mais elle peutégalement être déversée par des élevages ou des industries. Son surplus dans le milieu entraînealors une asphyxie de celui-ci du fait de sa biodégradation (pour la partie biodégradable) quiconsomme de l'oxygène.

**5.3.2. Pollution induite par les métaux lourds** (cadmium, plomb, chrome, mercure, zincnotamment). Ils sont contenus dans les effluents de certaines industries (métallurgie, traitementde surface, automobile, industrie du chlore, plasturgie) mais aussi dans des effluentsdomestiques (par exemple, zinc dans les dentifrices) et agricoles (par exemple, cuivre et zinc encomplément alimentaire pour les animaux, cuivre pour le traitement de la vigne).

À desconcentrations très faibles, ils présentent des risques cancérigènes, tératogènes, d'atteinte dusystème nerveux ou respiratoire. Ils s'accumulent dans la chaîne alimentaire en étant stockésdans les organismes qui les ingèrent.

**5.3.3. Pollution azotée et phosphatée**qui est responsable de fréquents dépassements de normesen Europe. Elle provient des eaux usées domestiques, des effluents industriels (agro-alimentaires, papeteries...) et principalement du lessivage des engrais et effluents d'élevagedans les zones agricoles. L'azote présent sous forme organique ou ammoniacale (NH 4+) dans leseffluents se transforme en nitrate (NO 3-) dans le milieu naturel. Des nitrates peuvent égalementêtre rejetés par les stations d’épuration d’eaux résiduaires urbaines.

**5.3.4. Pollution microbienne** inhérente à la présence de bactéries et de virus dans l’eau(coliformes fécaux comme les Escherichia coli, streptocoques, entérocoques).

**5.3.5. Pollution visuelleou esthétique** en lien avec les propriétés organoleptiques de l’eau(colorants, odeurs, turbidité, algues, matières huileuses…).

**5.3.6. Pollution thermique** découlant d’un réchauffement des eaux principalement corrélé auxrejets des eaux de refroidissement.

**5.3.7. Pollution mécanique** est causée par des éléments en suspension (particules de charbon,d'amiante, de silice, de sable, de limon) provenant d'effluents industriels ou d'eaux usées.

**5.3.8. Pollution radionucléaire** due des centrales nucléaires et du traitement des déchetsmédicaux radioactifs

**5.4. Conséquences de la pollution des cours d’eau**

Les conséquences d’une pollution peuvent être classées en plusieurs catégories principales :

**5.4.1. Eutrophisation** est le phénomène lent d'asphyxie des écosystèmesaquatiques résultant de la prolifération de plantes aquatiques, qui consomment l'oxygèneindispensable à la survie de l'écosystème. Il résulte d'un apport trop riche de substancesnutritives et a plutôt lieu dans des milieux aquatiques où l’eau est stagnante comme les rivièresou lacs, mais aussi certaines rivières (ou sections de rivière) à écoulement lentique. Lesinconvénients principaux de l'eutrophisation sont la diminution de la biodiversité et de laqualité de l'eau en tant que ressource.

Comme autres conséquences on peut citer :

**5.4.2. Empoisonnement et dégradation de la flore et de la faune** par des composés toxiques (ex: par les hydrocarbures en plus des nitrates et des phosphates)

**5.4.3. Radioactivité des eaux** du fait du développement du déversement des résidusradioactifsdangereux.

**5.5. Devenir et effets des sels minéraux dans les milieux aquatiques**

Les nutriments favorisent la prolifération végétale(algues et plantes aquatiques). Comme nous, les plantes respirent, jour et nuit, une certaine quantitéd’oxygène. De plus, les plantes font la photosynthèsependant la journée: par ce processus, elles puisent le dioxyde de carbone (CO 2 ) et produisent de l’oxygène(O 2 ). Tant que le soleil brille et que les plantes peuvent faire la photosynthèse, il n’y a pas de problèmes.Mais la nuit, la photosynthèse s’arrête, et les plantes consomment l’oxygène par respiration; le milieu risquel’asphyxie. Il en va de même en fin de cycle végétatif (à l’automne), lorsqu’une grande partie des végétauxmeurent entrainant ainsi une forte pollution organique.

**5.6. Devenir et effets de la matière organique dans les milieux aquatiques**

la matière organique est plus ou moins facilement biodégradable. Leslignineset certains lipidescomme les hydrocarbures sont dégradéstrès lentement. Au contraire, glucideset les acides aminésse dégradentrapidement. Mais cette dégradation par des bactéries engendre unesurconsommation d’oxygène et donc une baisse très importante de laquantité d’oxygène dissous dans l’eau et, si la quantité de MO rejetée esttrop importante, l’asphyxie du milieu. En dessous de 3mg/l d’oxygène dissous, la plupart des espèces animalesdisparaissent excepté certains organismes très résistants (sangsues, larves de diptères, vers de vase,…).

Par ailleurs, la décomposition de MO riche en azote peut par exemple donner naissance à des composéstels que l’ammoniaque (NH 3 ) et les nitrites (NO 2 ), qui sont des poisons violents pour les êtres vivants (ycompris les bactéries, l’ammoniaque étant d’ailleurs utilisée comme désinfectant ‘industriel’). En présenced’oxygène, ces composés sont rapidement oxydés et transformés en nitrates (NO 3), mais si il y a trop depollution organique, l’oxygène disparaît et ces poisons subsistent dans le milieu.

**5.7. Autoépurations des eaux**

Un certain nombre de processus naturels permettent aux écosystèmes aquatiquesde transformer ou d’éliminer des substances apportées au milieu. Par exemple, lesfeuilles des arbres qui tombent dans le ruisseau ou les cadavres et métabolites desêtres vivants sont dégradés par ce processus. Si les organismes vivants jouent un rôleessentiel dans ce processus, un certain nombre de processus chimiques et physiques yapportent une contribution non négligeable.