



2022 / 2023

ETUDES D'IMPACTS ET EVALUATION DES RISQUES DE ECOLOGIQUES

M2 Ecologie Fondamentale et Appliquée



Dr. R. MOHDEB

UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BENYAHYA, JIJEL.

Intitulé de la matière: ETUDES D'IMPACTS ET EVALUATION DES RISQUES ECOLOGIQUES

Crédits : 4

Coefficients : 2

Contenu de la matière (1 cours et 1 TD)/ semaine

- Evaluation des risques pour l'homme et l'environnement
 - Evaluation des dangers et des expositions
- Détermination des limites et concentrations admissibles, valeurs de références, seuils de toxicité
 - Effets des polluants sur les écosystèmes
- Méthodes d'aide à la décision pour l'évaluation des risques : environnement-santé
- Evaluation des risques liés aux sols pollués et objectifs de réhabilitation
- Méthodes épidémiologiques et éco épidémiologiques ; Etudes de cas : biocides-produits phytosanitaires-métaux lourds
- Caractéristiques de l'étude d'impact et recherche de facteurs décisionnels
 - Démarche d'élaboration d'une étude d'impact

Mode d'évaluation : Contrôle continu (des exposés, Interrogation), examen semestriel

CHAPITRE I. RISQUES SANITAIRES : EVALUATION, ANALYSE ET GESTION.

I.1. Définition

Un risque sanitaire est la probabilité que des effets sur la santé surviennent, à la suite d'une *exposition* à une source de contamination. Le risque dépend de l'agent pathogène en cause (toxicité plus ou moins importante), de la quantité ingérée (grande/petite quantité, intoxication aigüe ou chronique) et de la personne infectée (personne âgée, etc.).

I.2. Les types du risque sanitaires:

Les risques sanitaires peuvent être:

- a) Chimiques (composés organiques volatils (COV), ...) dominé par deux problèmes majeurs : les intoxications au monoxyde de carbone (CO) et le saturnisme infantile,
- b) Physiques: radiations, etc.
- c) Biologiques: les allergènes, les moisissures, etc.

Actuellement, les risques sanitaires liés aux émissions de différents polluants dans l'habitat deviennent préoccupants. Ce problème sanitaire fait partie des préoccupations majeures de santé publique.

I.3. Evaluation des risques sanitaires:

L'évaluation du risque sanitaire dans les études d'impact a pour objectifs d'étudier les effets potentiels sur la santé d'une activité et de proposer des mesures compensatoires adaptées. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision. Pour améliorer la lisibilité de l'évaluation du risque sanitaire, une synthèse reprenant les différentes voies d'exposition est nécessaire.

I.3.1. Principes de l'évaluation:

Les principes de l'évaluation des risques sanitaires sont les suivants:

- a) La prudence scientifique : consiste à adopter, en cas d'absence de données reconnues, des *hypothèses* raisonnablement majorants définies pour chaque cas à prendre en compte.
- b) La proportionnalité: veille à ce qu'il y ait *cohérence* entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'importance des incidences prévisibles de la pollution.

c) La *spécificité*: assure la pertinence de l'étude par rapport à l'usage et aux caractéristiques du site et de son environnement. Elle doit prendre en compte le mieux possible les caractéristiques propres du site, de la source de pollution et des populations potentiellement exposées.

d) La *transparence* : les hypothèses, outils utilisés, font l'objet de choix cohérents et expliqués par l'évaluateur, afin que la logique du raisonnement puisse être suivie et discutée par les différentes parties intéressées.

L'évaluation des risques sanitaires doit donc être établie :

- Sur la base de valeurs réelles (lorsque l'installation n'existe pas encore il y lieu de se baser sur celles de sites similaires déjà exploités).
- Avec prise en compte du point «zéro»: qualité des milieux environnants (air, sol, eau...) à proximité du site avant toute activité notamment (si le site existe déjà, mesurer ce point «zéro» lorsqu'il est à l'arrêt).

I.3.2. Etapes d'évaluation:

Etape 1: évaluation des risques sanitaires

La démarche d'évaluation des risques comporte quatre étapes théoriques visant à répondre à un certain nombre de questions:

a) Identification de danger:

Le danger d'une substance chimique, d'un phénomène physique ou d'un agent biologique est sa capacité intrinsèque à produire des effets sanitaires indésirables. Le danger est défini pour une voie d'exposition donnée (ingestion, inhalation ou contact cutané).

Le danger peut être :

- Infectieux
- Toxique
- Cancérogène ou physique.

Il existe différents types de dangers selon l'intensité et la durée du contact. Ils peuvent entraîner des effets aigus (tels que toux, irritations des muqueuses, troubles

neurologiques, diarrhées) ou chroniques (tels qu'atteintes organiques, cancers, hémopathies).

Le danger d'un agent est identifié à partir d'études ayant permis d'établir une relation causale entre l'exposition à cet agent et la survenue d'un ou plusieurs effets sur un organisme vivant. Il s'agit notamment d'études expérimentales *in vivo* ou *in vitro* et d'études épidémiologiques.

Les données disponibles peuvent être nombreuses et parfois contradictoires. La qualité de ces informations doit donc être analysée afin d'identifier les dangers les plus plausibles. A titre d'exemple, les données obtenues chez l'homme seront privilégiées à celles obtenues chez l'animal. De même, les études épidémiologiques concernant la population générale sont préférées aux études réalisées dans un contexte d'exposition professionnelle pour lequel les niveaux rencontrés sont souvent beaucoup plus élevés. En outre dans ces études, le nombre d'individus nécessaire pour mettre en évidence des différences significatives est souvent insuffisant, entraînant des incertitudes sur les résultats. Par ailleurs, les données relatives aux dangers d'un agent sont parfois inexistantes.

b) Choix des valeurs toxicologiques de référence

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) sont des indices caractérisant le lien entre l'exposition de l'homme à une substance toxique et l'occurrence ou la sévérité d'un effet nocif observé. Les VTR sont principalement établies par des instances internationales ou nationales.

On distingue les agents pour lesquels il existe un seuil en dessous duquel aucun effet n'existe (effets «à seuil» ou déterministes) et les agents pour lesquels les effets apparaissent dès les niveaux d'exposition les plus faibles (effets «sans seuil» ou probabilistes) (fig. 2 et 3).

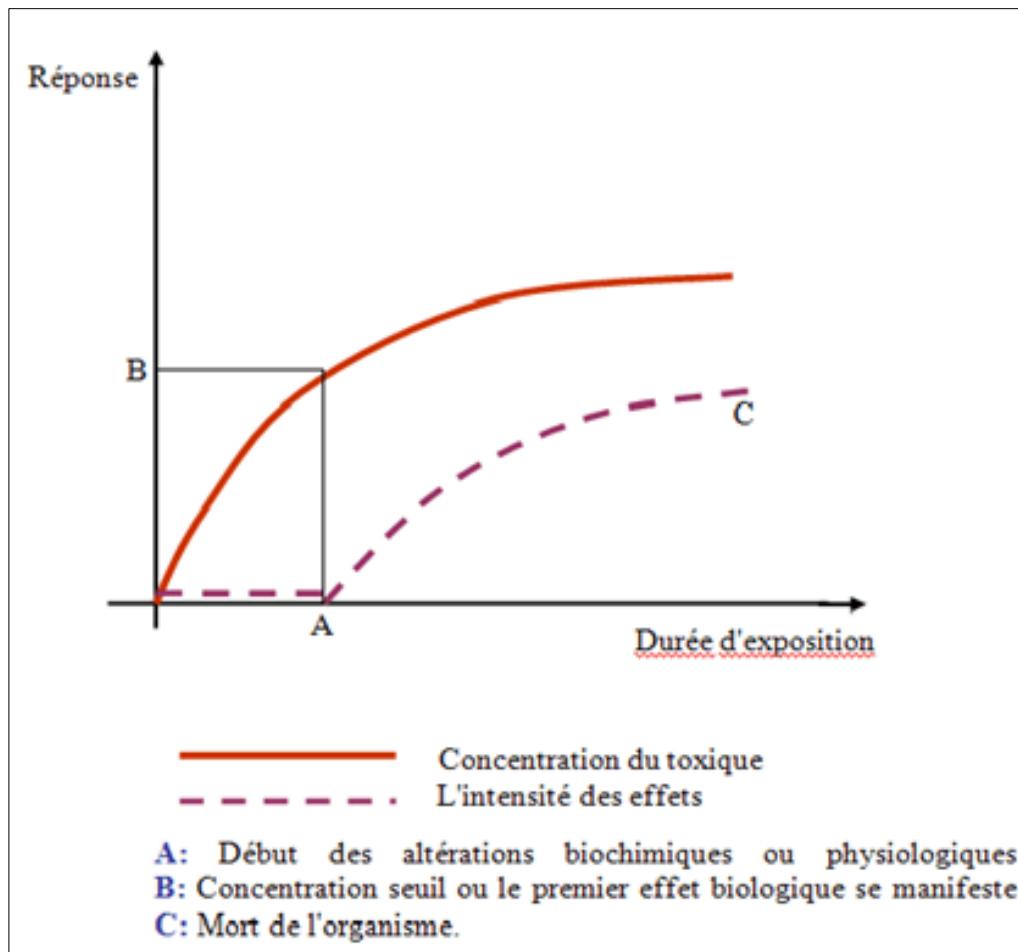


Figure 2. Relation exposition/réponse.

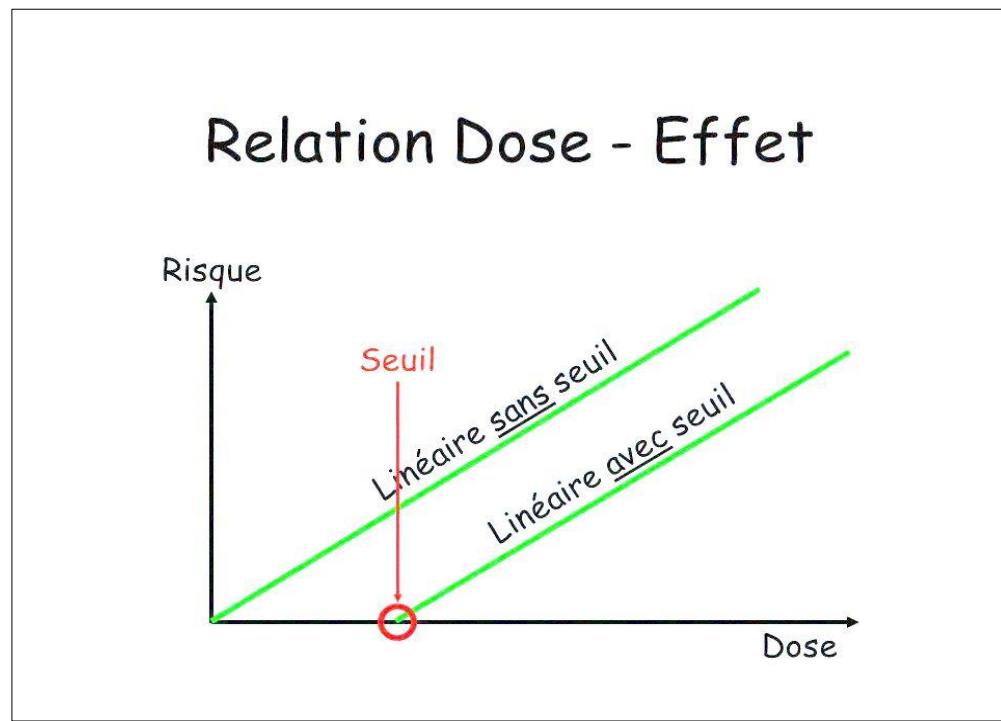


Figure 3. Effets déterministe et probabiliste.

c) Estimation des expositions:

L'estimation des expositions est confrontées à de multiples difficultés, les polluants sont nombreux et de natures diverses. Ils sont retrouvés, la plupart du temps, en faibles quantités et en faibles concentrations à des niveaux variables dans le temps et dans l'espace. Enfin, il existe de multiples microenvironnements et des conditions du milieu qui influencent le devenir de l'agent (pH, température et autres caractéristiques). Cette étape doit permettre d'identifier les milieux contaminés, les populations exposées (type, taille), les voies d'exposition (ingestion, inhalation, contact) et enfin, les durées et les niveaux d'exposition. Il faut donc connaître le comportement du polluant dans l'environnement et la forme sous laquelle il peut se présenter.

Une campagne de mesures permettra de connaître la concentration dans un milieu donné. Les milieux échantillonnés doivent être représentatifs des milieux en contact avec les populations, de même que la période où le prélèvement est effectué (durée et moment). Dans certains cas, ces données peuvent être complétées par le biais de la modélisation. L'estimation de l'exposition est obtenue en croisant les données *environnementales* et les facteurs *humains* (activités, comportement des populations). Cette estimation est donc, le plus souvent, *indirecte*, par opposition aux mesures directes, réalisées à l'aide de capteurs individuels.

d) Caractérisation du risque sanitaire:

Cette dernière étape fait la synthèse des étapes précédentes. Elle exprime le *risque attendu* en fonction des expositions. Concernant les effets avec seuil, un ratio de danger (RD), rapport de la dose journalière d'exposition (DJE) et de la dose journalière acceptable (DJA), est calculé (b) :

Si le ratio de danger est supérieur à 1, des effets sont susceptibles de se produire parmi la population exposée.

Concernant les effets sans seuil, un excès de risque individuel (ERI) est calculé. Il résulte du produit de la dose journalière reçue par l'individu par l'excès de risque sanitaire

attribuable à la substance pour une voie et un effet considéré (c). L'excès de risque individuel est théoriquement compris entre 0 et 1 s'agissant d'une probabilité.

➤ Caractérisation du risque sanitaire:

- maladie émergent, ré-émergent?
- risques immédiats, dans le moyen et long terme?
- risques vitales?
- contagiosité?
- Possibilité de protection ?
- Possibilité thérapeutique ?

Etape 2 : Gestion des risques sanitaires

La gestion de sécurité sanitaire a été construite en séparant la surveillance de l'état de santé de la surveillance des risques, qu'il s'agisse des risques liés aux produits de santé, à l'alimentation ou à l'environnement.

La surveillance et l'observation permanentes de l'état de santé de la population, l'alerte sanitaire, et la contribution à la gestion des situations de crises sanitaires couvrent:

- les maladies infectieuses
- les effets de l'environnement sur la santé
- les risques d'origine professionnelle
- les maladies chroniques et les traumatismes
- les risques internationaux et tropicaux.

Etape 3: communication sur le risque

Lors d'une pandémie ou d'une autre urgence de santé publique, les autorités doivent mobiliser les individus, les communautés et les entreprises, écouter les préoccupations et y répondre, et soutenir tout un chacun en travaillant dans l'unité pour prévenir la propagation de la maladie.

C'est ce flux dynamique d'informations vitales que l'on appelle la communication des risques.

La communication des risques empêche la propagation de la maladie, sauve des vies et protège les économies nationales et locales. Sans une communication des risques efficace, les populations ne disposent pas d'informations suffisantes pour se protéger elles-mêmes, leurs familles et leurs moyens de subsistance.

Quand les gens savent comment se protéger, ils peuvent contribuer à stopper la propagation de la maladie, et limiter l'impact économique et social d'une flambée ou d'une situation d'urgence.

Université Mohamed Seddik Benyahya, Jijel
M2 Ecologie Fondamentale et Appliquée

2021/2022

Cours de
«Etudes d'Impact et Evaluation
des Risques Ecologiques»

Préparé par Dr. MOHDEB R.

Chapitre II. Evaluation de la toxicité de composés chimiques

II.1. Voies d'exposition aux toxiques

Les xénobiotiques se trouvent dans notre environnement sous différents états physiques qui conditionnent leur contact avec l'organisme. Ce n'est qu'après une exposition, c'est-à-dire un contact avec l'organisme, qu'une molécule *peut* y pénétrer. C'est ce contact qui déplace le scénario du danger au risque. Nous pouvons globalement envisager trois grandes voies d'absorption:

- La voie cutanée:

Concerne les substances capables de traverser la peau.

- La voie respiratoire:

Concerne les substances gazeuses et les aérosols, qui contaminent l'environnement et les milieux de travail.

- La voie digestive:

Elle concerne surtout la toxicologie nutritionnelle (et aussi celle des médicaments pris par voie orale) (voir Tab. 1 & Fig. 1).

Figure 1. Schéma des différentes voies d'absorption usuelles

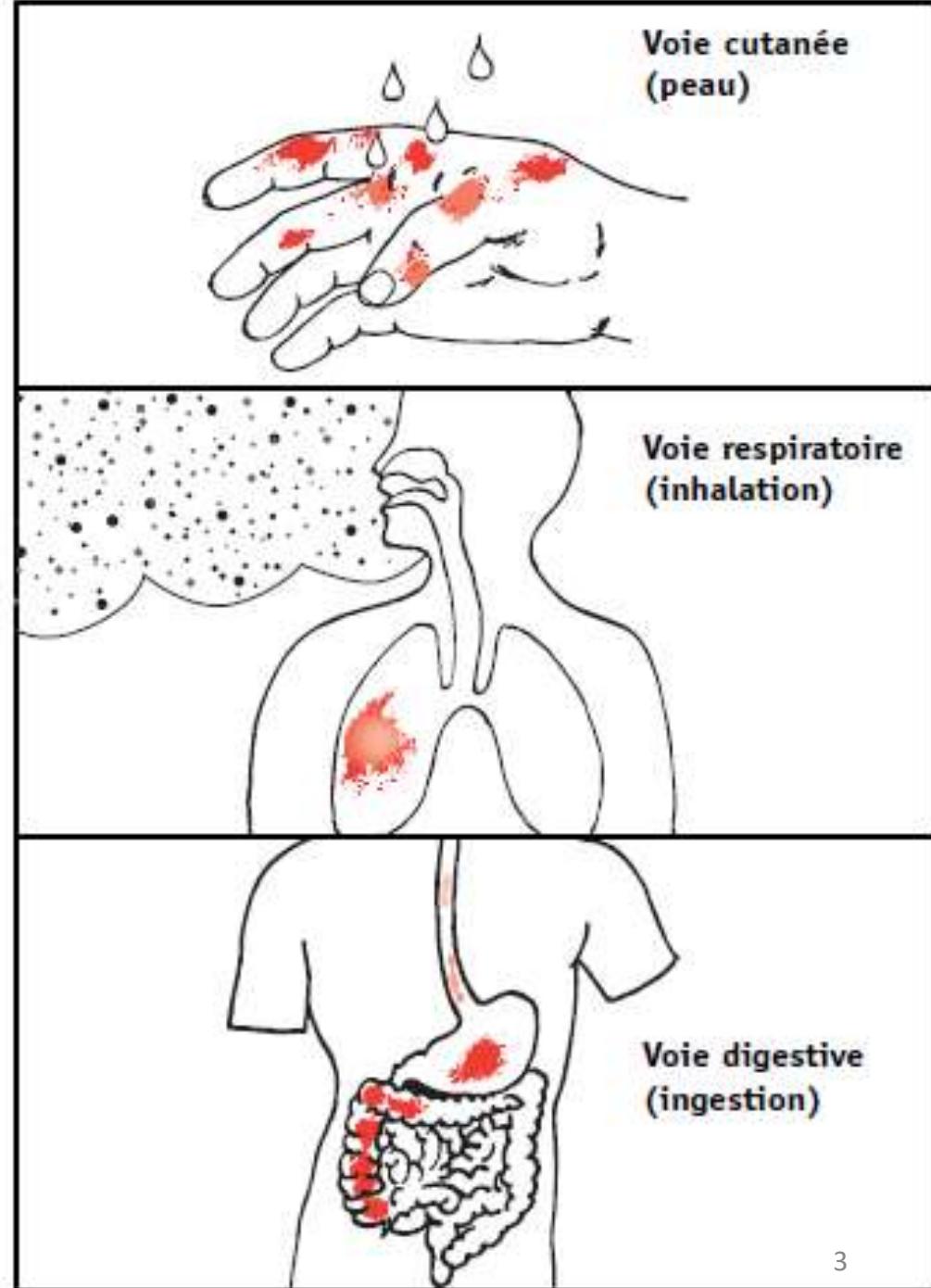


Tableau 1. Voies d'absorption de certains produits.

SUBSTANCE	ÉTAT PHYSIQUE	VOIE RESPIRATOIRE	VOIE CUTANÉE	VOIE DIGESTIVE
Acide phosphonique	Solide	Faible	Faible	Faible
Alcool éthylique	Liquide	Oui	Faible	Oui
Béryllium	Solide	Oui	Faible	Faible
Chlorpyrifos	Solide	Oui	Oui	Oui
Mercure	Liquide	Oui	Oui	Faible
Monoxyde de carbone	Gaz	Oui	Non	Non
Toluène	Liquide	Oui	Oui	Oui

II.1.1. LA VOIE RESPIRATOIRE (INHALATION)

Les poumons sont les organes où se font les échanges gazeux entre l'air des alvéoles et le sang des vaisseaux capillaires qui tapissent les alvéoles pulmonaires. Ils sont le siège de la respiration, qui permet l'absorption et l'élimination des gaz.

Dans la majorité des milieux de travail, la voie respiratoire représente la principale voie d'entrée des contaminants. La forte possibilité que l'air ambiant soit contaminé par des vapeurs, des gaz, des fumées, des poussières, etc. explique cette situation. Il suffit de penser notamment à l'inhalation de fumées de soudure. De nombreux facteurs sont à considérer dans l'absorption d'un produit par les poumons.

Pour les gaz et les vapeurs, il s'agira de la concentration, de la durée d'exposition, de la solubilité dans l'eau et les tissus, de la réactivité et du débit sanguin (Tab. 2), et, pour les particules (ex. : poussières, fibres, fumées, brouillards, brume, pollen, spores), il s'agira des caractéristiques physiques (le diamètre, la forme, etc.) et de l'anatomie de l'arbre respiratoire (Fig. 3).

Tableau 2. Déposition des gaz et des vapeurs dans les voies respiratoires.

SUBSTANCE	SOLUBILITÉ DANS L'EAU	ABSORPTION	REMARQUE
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Très soluble	Pénètre peu profondément dans le système respiratoire	Se limite au nez. Absorption par le mucus et le tissu.
Monoxyde de carbone (CO)	Peu soluble	Pénètre profondément dans le système respiratoire	Passe dans le sang et est distribué dans l'organisme.

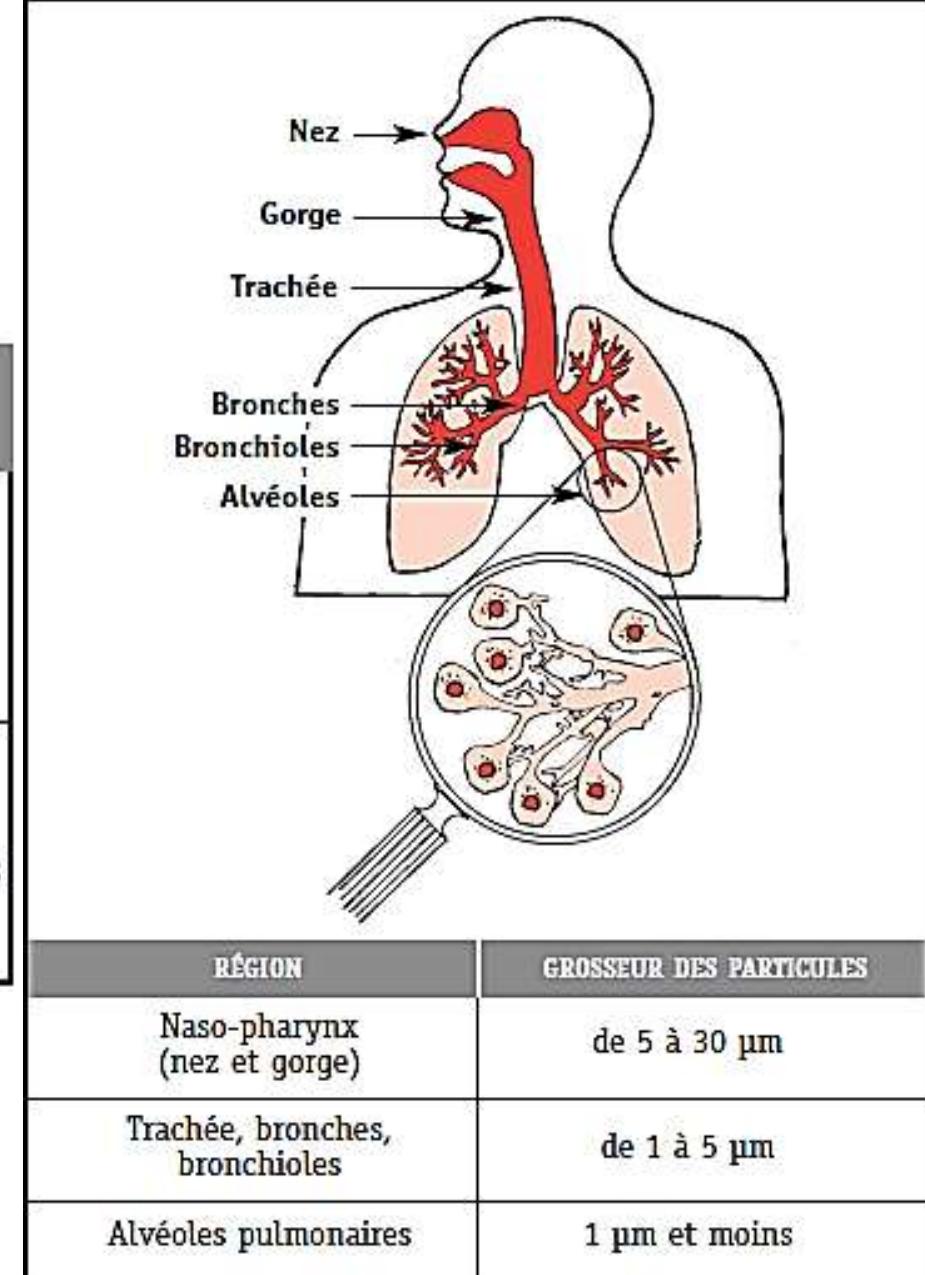


Figure 2. Déposition des poussières dans les voies respiratoires.

II.1.2. La voie cutanée

La peau est une barrière imperméable qui recouvre toute la surface du corps et qui le protège. Cette enveloppe protectrice fait obstacle à la pénétration de nombreux contaminants. Toutefois, cette barrière n'offre pas une protection complète, car elle présente des failles, dont la base des poils et les pores.

C'est un passage important, puisque plusieurs toxiques peuvent pénétrer dans l'organisme en traversant la peau à la suite d'un contact avec un liquide, un solide ou des vapeurs (ex. : certains solvants employés pour nettoyer des pièces mécaniques ou encore des diluants ou des décapants qui sont utilisés sans protection).

L'absorption cutanée est influencée par de nombreux facteurs tant physico-chimiques (ex. : pureté, grosseur de la molécule, solubilité) qu'individuels (ex. : hydratation de la peau, présence de lésions cutanées) et anatomiques (ex. : endroit du corps mis en contact avec le toxique) (Tab. 3).

Tableau 3. Effet de l'absorption du malathion chez l'humain en fonction du point de contact

Point de contact	Absorption
Front	23,2
Avant-bras	6,8
Dos de la main	12,5
Paume de la main	5,8
Abdomen	9,4
Plante du pied	6,8

II.1.3. LA VOIE ORALE (INGESTION)

En milieu de travail, l'ingestion n'est généralement pas considérée comme une voie d'exposition importante. Il ne faut cependant pas la négliger, car des méthodes de travail inadéquates peuvent conduire à une ingestion accidentelle. De plus, de mauvaises habitudes peuvent également être à l'origine d'une exposition par ingestion, notamment manger, boire ou fumer dans des lieux de travail contaminés.

II.1.4. LES AUTRES VOIES

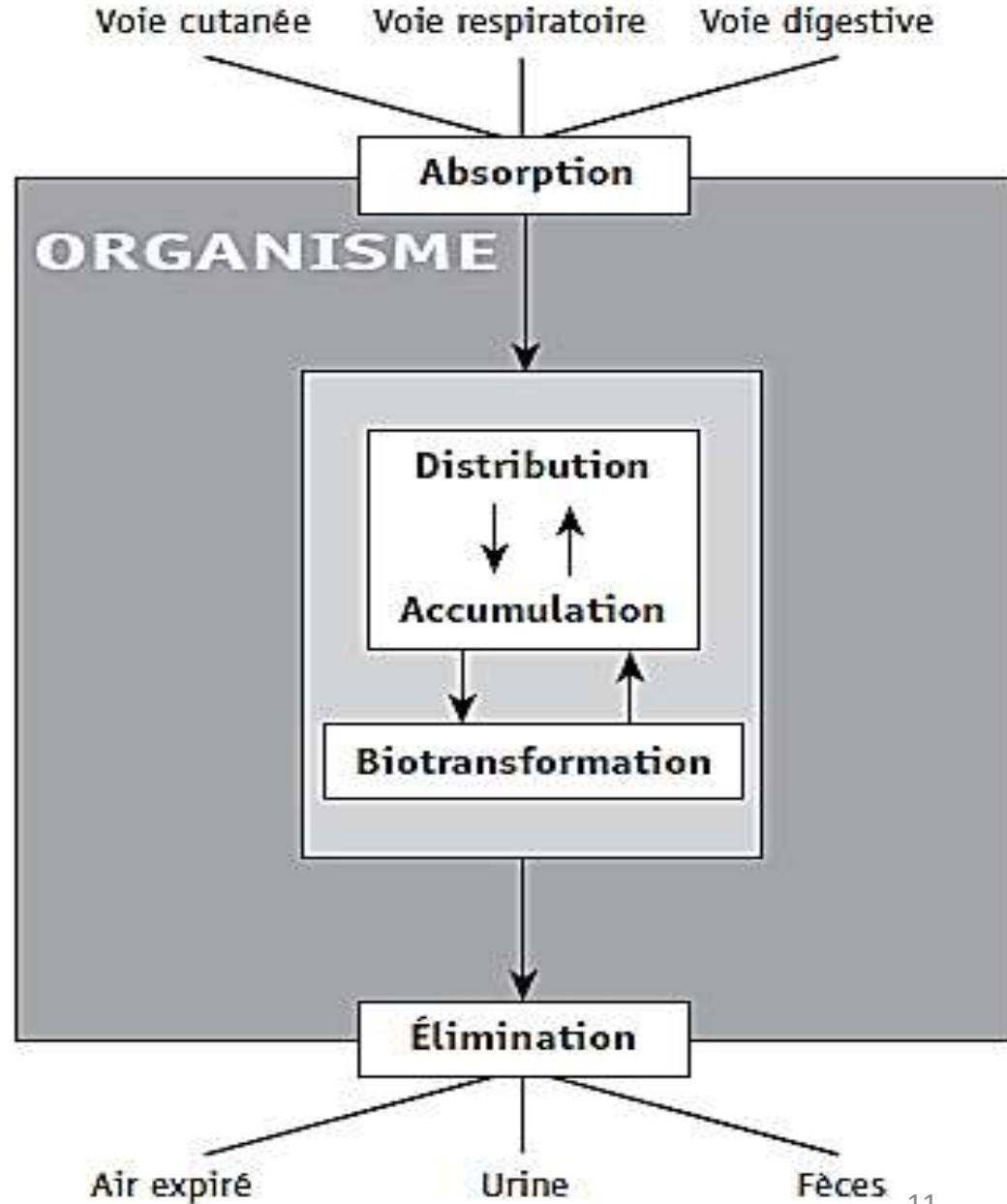
Il existe d'autres voies d'entrée, appelées parentérales, d'une importance généralement moindre et propres à certains milieux de travail, par exemple les injections accidentelles d'un médicament et les piqûres d'aiguilles en milieu hospitalier.

II.2. Cheminement d'un toxique dans l'organisme

Un produit qui pénètre dans l'organisme peut avoir des effets bénéfiques (médicaments) ou néfastes (toxiques). Inversement, l'organisme peut agir sur ce produit : c'est ce qu'on appelle le métabolisme. La réponse de l'organisme à un toxique dépend, entre autres, de la quantité du produit présent dans un tissu ou un organe. Plusieurs facteurs interviennent dans les processus d'action toxique, notamment les phases toxicodynamiques et toxicocinétiques.

- La **toxicodynamie** s'intéresse à l'influence qu'exerce un toxique sur l'organisme et aux facteurs qui interviennent dans la réponse toxique.
- La **toxicocinétique** s'intéresse à l'influence qu'exerce l'organisme sur un toxique. Cette influence découle des processus (l'absorption, la distribution, le métabolisme, l'élimination) qui gouvernent le cheminement du toxique dans l'organisme (Fig. 3).

Figure 3. Cheminement d'un produit毒ique dans l'organisme.



II.2.1 L'entrée (ou l'absorption)

On appelle absorption le processus de **pénétration** d'un produit dans l'organisme. Il s'agit d'une étape importante, car, tant qu'il n'a pas pénétré dans la circulation sanguine, un produit ne peut causer d'action毒ique systémique, c'est-à-dire à des endroits éloignés du point de contact initial. Divers facteurs peuvent influencer le processus d'absorption d'un produit : sa nature, sa solubilité, la perméabilité des tissus biologiques au point de contact, la durée et la fréquence de l'exposition, etc.

II.2.2 Le transport et la distribution (ou la répartition)

Après avoir atteint la circulation sanguine, le produit peut être transporté dans tout l'organisme. C'est ce qu'on appelle la **distribution**. En plus de l'oxygène, de divers éléments nutritifs essentiels au fonctionnement de l'organisme et des déchets, le sang transporte aussi des toxiques. Ceux-ci peuvent alors entrer en contact avec des cellules et se fixer dans certains tissus.

Ainsi, les pesticides organochlorés comme le DDT se concentrent dans les tissus adipeux. Ils peuvent y rester emmagasinés sans causer d'effets toxiques pendant une période plus ou moins longue.

En revanche, ils peuvent causer des effets toxiques dans d'autres tissus ou organes où ils sont présents en quantités moindres. La nature, l'intensité et la localisation de ces perturbations dans l'organisme diffèrent d'un produit à l'autre et dépendent souvent de la dose.

II.2.3. La biotransformation (ou le métabolisme)

Pendant ou après son transport dans le sang, le toxique peut entrer en contact avec différentes cellules de l'organisme qui ont la capacité de le transformer.

L'ensemble des réactions de la transformation métabolique est appelée **biotransformation**, tandis que les produits de la biotransformation sont appelés métabolites. Il peut en résulter un produit moins toxique (détoxicification) ou plus toxique (activation), l'accumulation ou l'élimination.

La transformation des toxiques est surtout effectuée par le foie, véritable laboratoire chimique de l'organisme, qui contient une multitude d'enzymes (substance protéique qui catalyse une réaction chimique dans l'organisme). Il enrichit le sang d'éléments nutritifs et le purifie en concentrant et en éliminant beaucoup de substances. D'autres organes tels que les poumons et les reins peuvent aussi transformer des toxiques.

II.2.4. L'excrétion

Ce processus consiste à rejeter le produit inchangé ou ses métabolites à l'extérieur de l'organisme.

L'excrétion peut se faire par voie rénale (l'urine), gastro-intestinale (les selles), pulmonaire (l'air expiré), cutanée (la sueur) ou lactée (le lait).

Par exemple, le sang transporte de nombreux produits vers les reins, dont plusieurs déchets provenant du métabolisme. Les reins filtrent le sang, remplissant ainsi une fonction essentielle au maintien de l'équilibre des éléments sanguins, et assurent l'élimination de nombreux produits.

II.3. Effets toxiques

II.3.1. L'effet toxique

Lorsqu'un individu absorbe des produits chimiques, divers effets biologiques peuvent se produire et se révéler bénéfiques (ex. : l'amélioration de la santé après l'administration d'un médicament) ou néfastes (ex. : une atteinte pulmonaire suivant l'inhalation d'un gaz corrosif).

La notion d'effet toxique suppose des conséquences nocives pour l'organisme. Le fait d'inhaler, de toucher et même d'ingérer des substances chimiques n'entraîne pas nécessairement un effet toxique. Par exemple, le dioxyde de carbone (CO_2) est un métabolite du corps humain expiré par les poumons qui se trouve également dans l'environnement. Il cause l'asphyxie s'il est présent en quantité suffisante dans un espace clos ou mal ventilé.

Paradoxalement, l'absorption d'une substance en faible quantité peut s'avérer très toxique et provoquer des lésions graves, tandis que l'absorption en grande quantité d'une autre substance peu toxique peut produire un effet bénin. L'effet toxique est ainsi lié à la notion de toxicité.

La toxicité englobe l'ensemble des effets néfastes d'un toxique sur un organisme vivant. Autrement dit, il s'agit de la capacité inhérente à une substance chimique de produire des effets nocifs chez un organisme vivant (Tab. 4) et qui en font une substance dangereuse.

L'effet néfaste est lié à la dose, à la voie d'absorption, au type et à la gravité des lésions ainsi qu'au temps nécessaire à l'apparition d'une lésion.

Un effet aigu se fait sentir dans un temps relativement court (minutes, heures, jours), tandis qu'un effet chronique ne se manifeste qu'après un temps d'exposition relativement long et de façon permanente (semaines, mois, années).

Un effet local survient au point de contact, tandis qu'un effet systémique survient à un endroit éloigné du point de contact initial.

Tableau 4. Effets toxiques sur certains organes et systèmes biologiques.

Oeil	Irritation, corrosion
Peau	Irritation, corrosion, dermatose
Système digestif	Irritation, corrosion
Système cardiovasculaire	Anomalie du rythme cardiaque
Système nerveux central	Dépression (nausée, vomissement, étourdissement)
Système nerveux périphérique	Neuropathie (perte de sensation, trouble de la coordination)
Système respiratoire	Irritation, corrosion, essoufflement
Système sanguin	Carboxyhémoglobinémie
Système urinaire	Urine très foncée, sang dans les urines

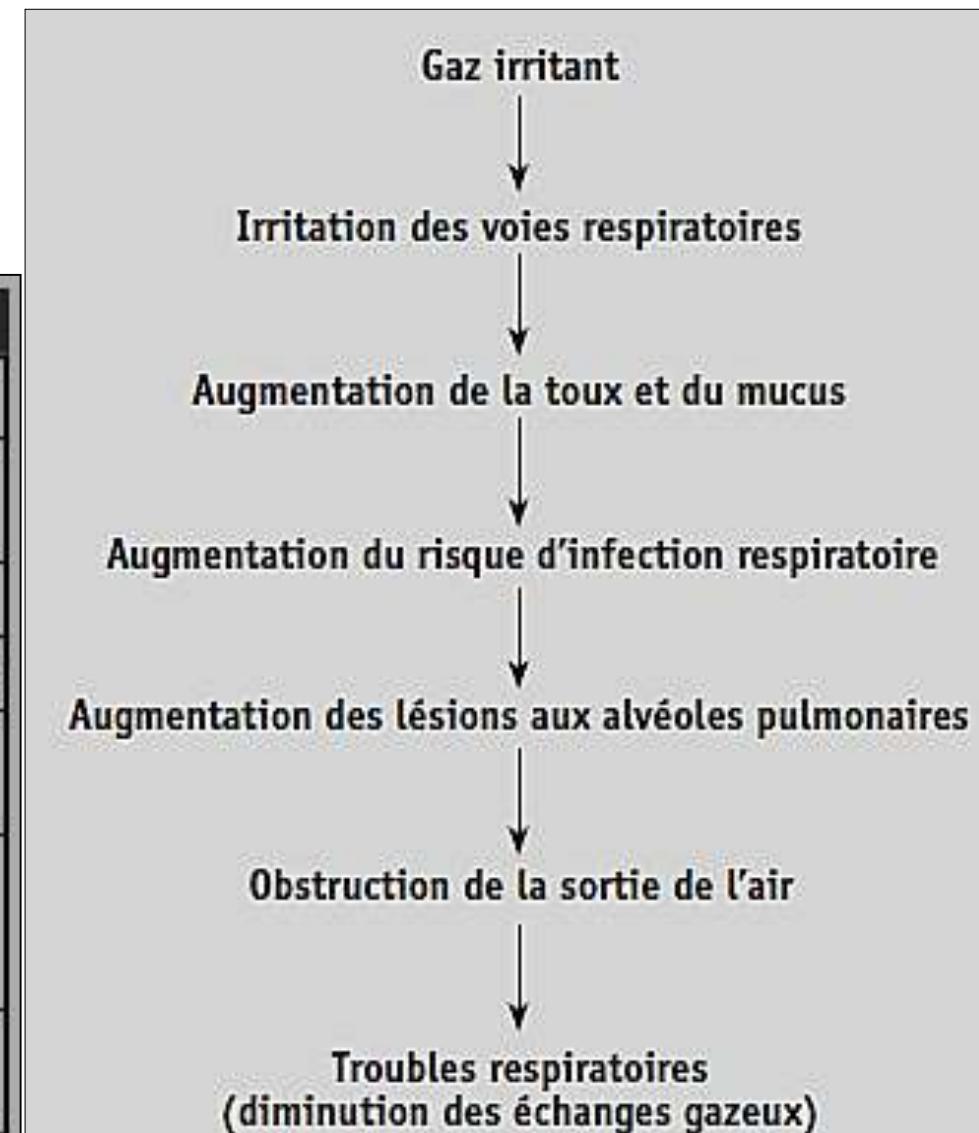


Figure 4. Effets d'un gaz irritant sur le système respiratoire.

II.4. comment survient et évolue un effet toxique

II.4.1. La notion d'exposition

La majorité des toxiques doit généralement pénétrer dans l'organisme pour produire des effets néfastes, sauf ceux causant des effets locaux.

Généralement, pour qu'un effet toxique puisse se produire, il faut que l'organisme soit exposé à un toxique, que ce toxique y pénètre et que l'organisme en absorbe une quantité suffisante pour perturber son fonctionnement. La figure 5 résume la séquence de ces événements.

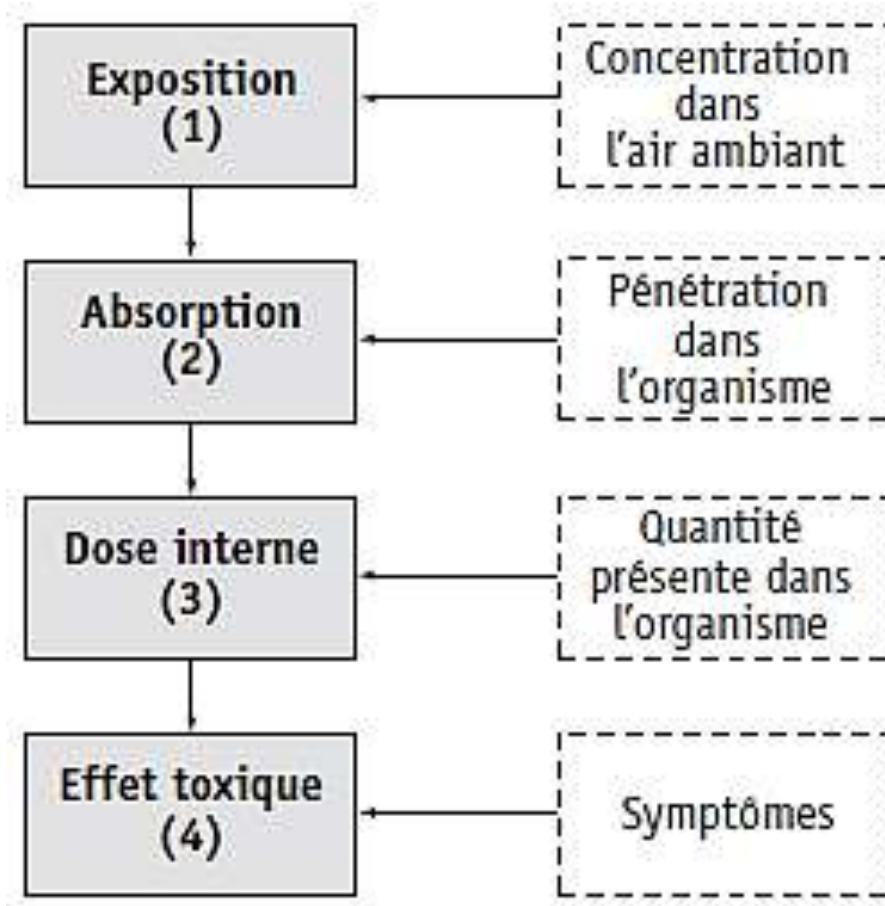


Figure 5. De l'exposition à l'effet toxique.

II.4.2. L'atteinte toxique

Les organismes fonctionnent dans des conditions relativement constantes (pH, oxygène, autres). C'est ce que l'on appelle l'homéostasie ou la constance du milieu intérieur. Les organismes vivants cherchent à maintenir cet équilibre afin de conserver un degré optimal de fonctionnement.

Le corps humain est un ensemble de systèmes finement rodés qui peut s'adapter à de nombreuses situations d'agression, tant biologiques que physiques ou chimiques. Les processus d'adaptation de l'organisme fonctionnent continuellement pour veiller à maintenir cet équilibre. Quand cet équilibre est perturbé, cela entraîne un dysfonctionnement, c'est l'effet toxique.

Il y a alors mobilisation d'une partie de l'organisme et parfois de tout l'organisme ; des réactions diverses sont déclenchées pour répondre à l'agression et rétablir l'équilibre rompu. L'organisme peut résister à une agression toxique en autant qu'elle s'effectue à l'intérieur des limites de ses mécanismes de détoxication, d'homéostasie et de réparation. Au-delà, les mécanismes de compensation ne peuvent suffire à la tâche. Le système de défense ne peut alors contrer les effets toxiques et des manifestations, réversibles ou non, peuvent s'ensuivre.

II.4.3. Les organes cibles

La gravité, l'intensité et la nature des symptômes liés à une exposition à un toxique varient en fonction de plusieurs facteurs tels que la toxicité du produit, la dose reçue, la voie d'exposition et la susceptibilité de l'organisme. L'évaluation et le pronostic sont très variables et sont liés aux symptômes ainsi qu'à leur évolution (tableau 5).

Tableau 5. Gravité d'un effet toxique.

DEGRÉ DE GRAVITÉ	EFFET	EXEMPLE
Bénin	Modification biochimique	Inhibition des cholinestérases causée par l'exposition au malathion
Modéré	Augmentation du volume et du poids d'un organe	Hyperplasie du foie causée par l'exposition au chlorure de vinyle
Grave	Atteinte morphologique d'un organe	Neuropathie avec trouble de la motricité résultant de l'exposition à l'hexane
Fatal	Décès	Arrêt respiratoire causé par une intoxication grave aux cyanures

II.4.4. Effets lésionnels et fonctionnels

Les effets causés par un toxique peuvent se traduire en changements fonctionnels ou lésionnels (morphologie).

Les premiers touchent l'atteinte transitoire d'une fonction de l'organisme ou d'un organe (ex. : une modification de la fréquence respiratoire au cours de l'exposition à un asphyxiant simple) sans créer de lésions et ils sont généralement réversibles.

Les seconds causent une lésion à un ou à plusieurs tissus ou organes (ex. : fibrose pulmonaire causée par l'exposition chronique à la silice cristalline) sans que le sujet présente des signes cliniques et sont souvent irréversibles.

Enfin, des altérations biochimiques peuvent également se produire sans être accompagnées de changements morphologiques apparents (ex. : l'inhibition des cholinestérases causée par les insecticides organophosphorés).

II.4.5. Les organes cibles

Les toxiques ne produisent pas des effets de même intensité sur tous les organes (ex. : le rein) ou les tissus (ex. : le sang). Ils s'attaquent à des organes en particulier, les organes cibles, pour des raisons qui ne sont pas toujours comprises.

Il peut y avoir plusieurs raisons, dont une sensibilité plus grande de ces organes, une concentration plus élevée du toxique et/ou de ses métabolites, etc. Par exemple, le foie est un organe cible pour le chlorure de vinyle.

II.4.6. La réversibilité et l'irréversibilité

Certains effets toxiques sont **réversibles** (ils disparaissent plus ou moins rapidement après l'arrêt de l'exposition) tandis que d'autres sont **irréversibles** (ils persistent ou s'aggravent après l'arrêt de l'exposition).

Des changements adaptatifs causés par un produit chimique dans un tissu ou un organe peuvent être accompagnés de changements fonctionnels et morphologiques. De tels changements peuvent être réversibles si on prévient ou arrête l'exposition. Cependant, dans certains cas, l'interruption de l'exposition n'est pas suivie d'une récupération. Il s'agit alors de changements irréversibles (Fig. 6).

Ainsi, pour un tissu tel que celui du foie, qui a une importante capacité de régénération, la majorité des atteintes sont réversibles ; au contraire, elles sont généralement irréversibles lorsqu'il s'agit d'une atteinte du système nerveux central, les neurones ne pouvant pas être facilement remplacés. Des effets tels que la cancérogénicité sont généralement considérés comme des effets irréversibles.

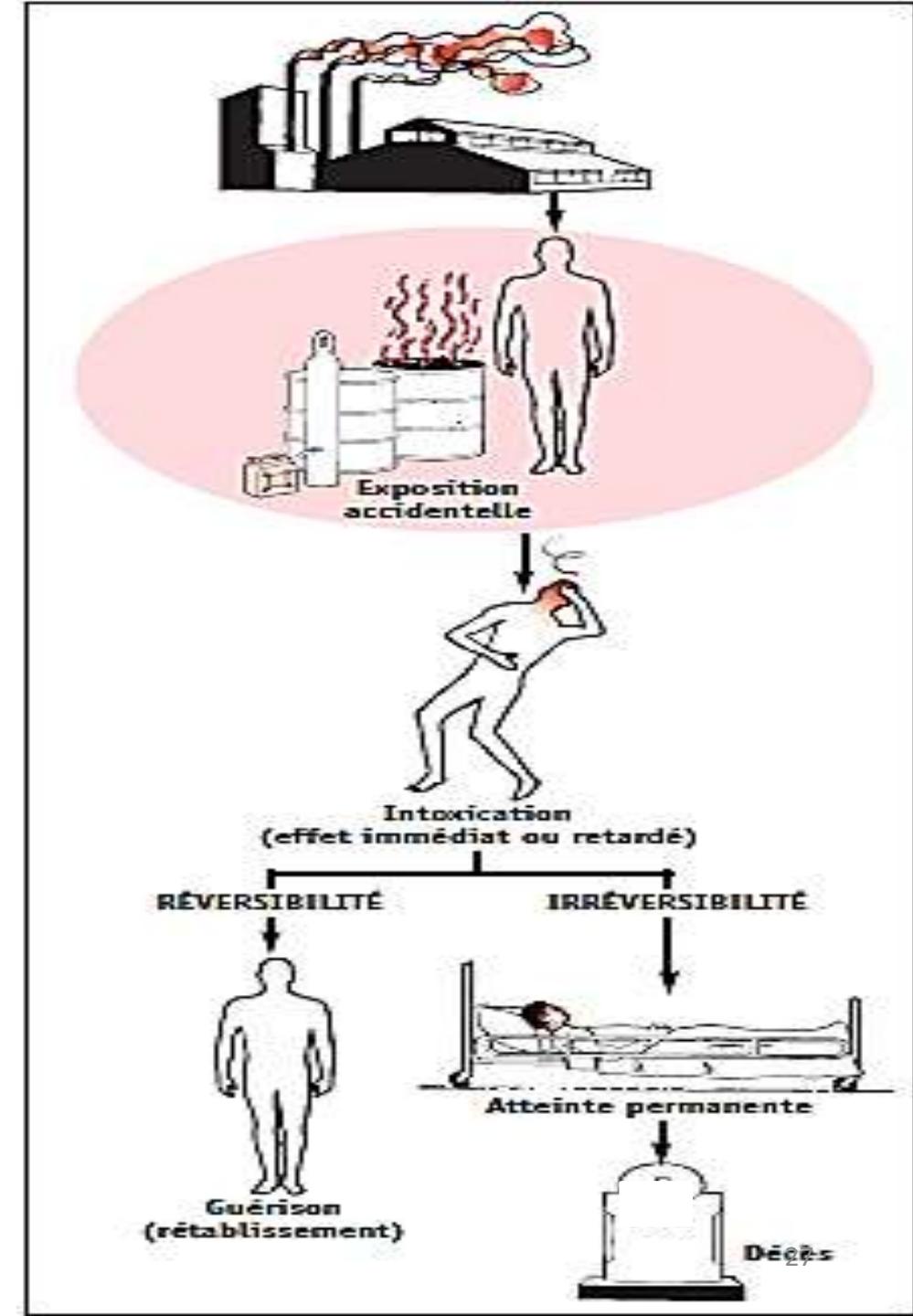


Figure 6. La réversibilité et l'irréversibilité d'une atteinte résultant d'une intoxication.

II.4.7. La spécificité de l'intoxication

Les intoxications ne sont pas toujours imputables au travail. Par exemple : de nombreux toxiques sont utilisés sans précautions au cours de loisirs tels que le bricolage (ex. : solvants, colles) et le jardinage (ex. : insecticides, herbicides) ; l'intoxication par le plomb peut être causée par de l'eau potable contaminée; et l'intoxication par le monoxyde de carbone peut être causée par un système de chauffage défectueux (ex. : poêle au gaz propane).

II.5. LA CLASSIFICATION DES EFFETS TOXIQUES

Les effets toxiques peuvent être classés de différentes façons, selon, par exemple :

- la durée : aiguë, chronique;
- le type d'action : locale, systémique;
- le mécanisme d'action : stimulant, inhibiteur ;
- la voie de pénétration : respiratoire, cutanée, digestive;
- le tissu ou l'organe affecté : sang (hématotoxique), foie (hépatotoxique), rein (néphrotoxique), le système nerveux (neurotoxique);
- la nature de l'effet : irritant, sensibilisant, asphyxiant, cancérogène;
- l'utilisation : pesticides, savons, solvants ;
- l'étiquetage : matière corrosive; et
- la famille chimique : hydrocarbures aromatiques, alcools.

La classification des toxiques est donc abordée de plusieurs points de vue. Elle dépend souvent du domaine d'application, de l'objectif poursuivi par un organisme ou même du champ d'activité d'un individu. Le tableau 6 présente quelques exemples de classification utilisant des critères présentés plus haut.

NATURE DE L'EFFET	
Asphyxie :	<ul style="list-style-type: none"> acétylène monoxyde de carbone
Cancer :	<ul style="list-style-type: none"> benzène chlorure de vinyle
Corrosion :	<ul style="list-style-type: none"> acide sulfurique hydroxyde de sodium
TISSU, ORGANE DU SYSTÈME BILOGIQUE AFFECTÉ	
Rein :	<ul style="list-style-type: none"> diéthylène glycol mercure
Sang :	<ul style="list-style-type: none"> aniline benzène
Système nerveux :	<ul style="list-style-type: none"> toluène xylène
UTILISATION DU PRODUIT	
Colorant :	<ul style="list-style-type: none"> bleu de méthylène vert malachite
Pesticide :	<ul style="list-style-type: none"> aldrine 2,4-D
Solvant :	<ul style="list-style-type: none"> diéthylène glycol xylène
FAMILLE CHIMIQUE DU PRODUIT	
Acides :	<ul style="list-style-type: none"> acide acétique acide sulfurique
Hydrocarbures aliphatiques :	<ul style="list-style-type: none"> éthane propane
Hydrocarbures aromatiques :	<ul style="list-style-type: none"> benzène xylène

Tableau 6. Classification des produits chimiques

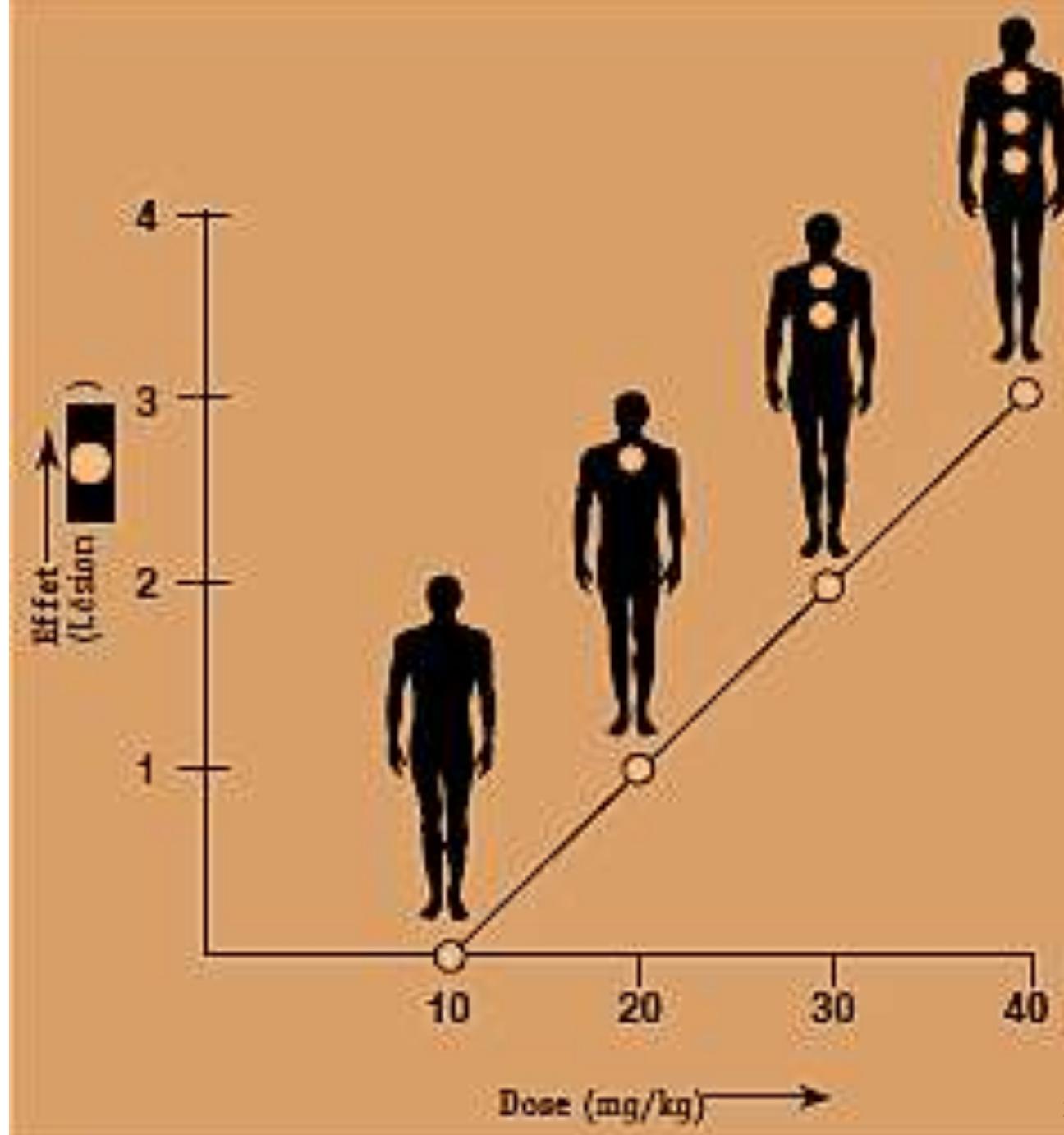
II.6. Relations de la dose avec les effets toxiques ?

Un principe important en toxicologie veut que **toutes les substances chimiques soient toxiques**, car il existe toujours une dose pouvant causer un effet nocif. Mais le fait d'inhaler, de toucher et même d'ingérer des substances chimiques n'entraîne pas nécessairement l'apparition d'un tel effet.

La dose est la quantité d'une substance à laquelle un organisme est exposé.

Des doses croissantes résultent généralement en une augmentation de l'intensité et de la diversité des effets toxiques. C'est ce qu'on appelle la **relation dose-effet** ou **exposition-effet** (relation entre l'exposition et l'intensité d'un effet). L'exemple suivant illustre bien cette relation : si une personne inhale accidentellement une substance très volatile, la manifestation des effets toxiques dépend de la quantité de vapeurs inhalées et du seuil d'apparition de ces effets (figure 7). Ainsi, au delà de la dose seuil, les effets seront d'autant plus toxiques que la personne aura inhalé davantage de vapeurs.

Figure 7.
Relation entre la
dose et l'effet.



La notion de seuil toxique est importante, car elle peut servir à fixer des normes. La valeur seuil représente la quantité minimale sous laquelle il ne se produit pas d'effet. Au-dessus de ce seuil, l'effet observé dépend de la dose, et ce, bien qu'il y ait théoriquement des exceptions : par exemple, les cancérogènes génotoxiques. Ce seuil s'explique par le fait que le corps humain est constitué d'un grand nombre de cellules, de tissus et d'organes ayant une sensibilité variable et qu'il possède des mécanismes de défense ou d'adaptation.

Le même principe s'applique à une population d'individus, car l'effet ou les nombreux effets possibles peuvent se manifester différemment chez plusieurs personnes exposées à une même dose d'un toxique. C'est ce qu'on appelle la **relation dose-réponse** ou **exposition-réponse**, soit la relation entre l'exposition et le nombre d'individus qui présentent un effet donné. La figure 8 illustre bien qu'à certaines doses toutes les personnes ne sont pas atteintes.

Ainsi,

- une augmentation de la dose peut entraîner une augmentation des effets chez un individu ;
- et la proportion des individus affectés par une dose donnée devrait augmenter avec l'accroissement de la dose.

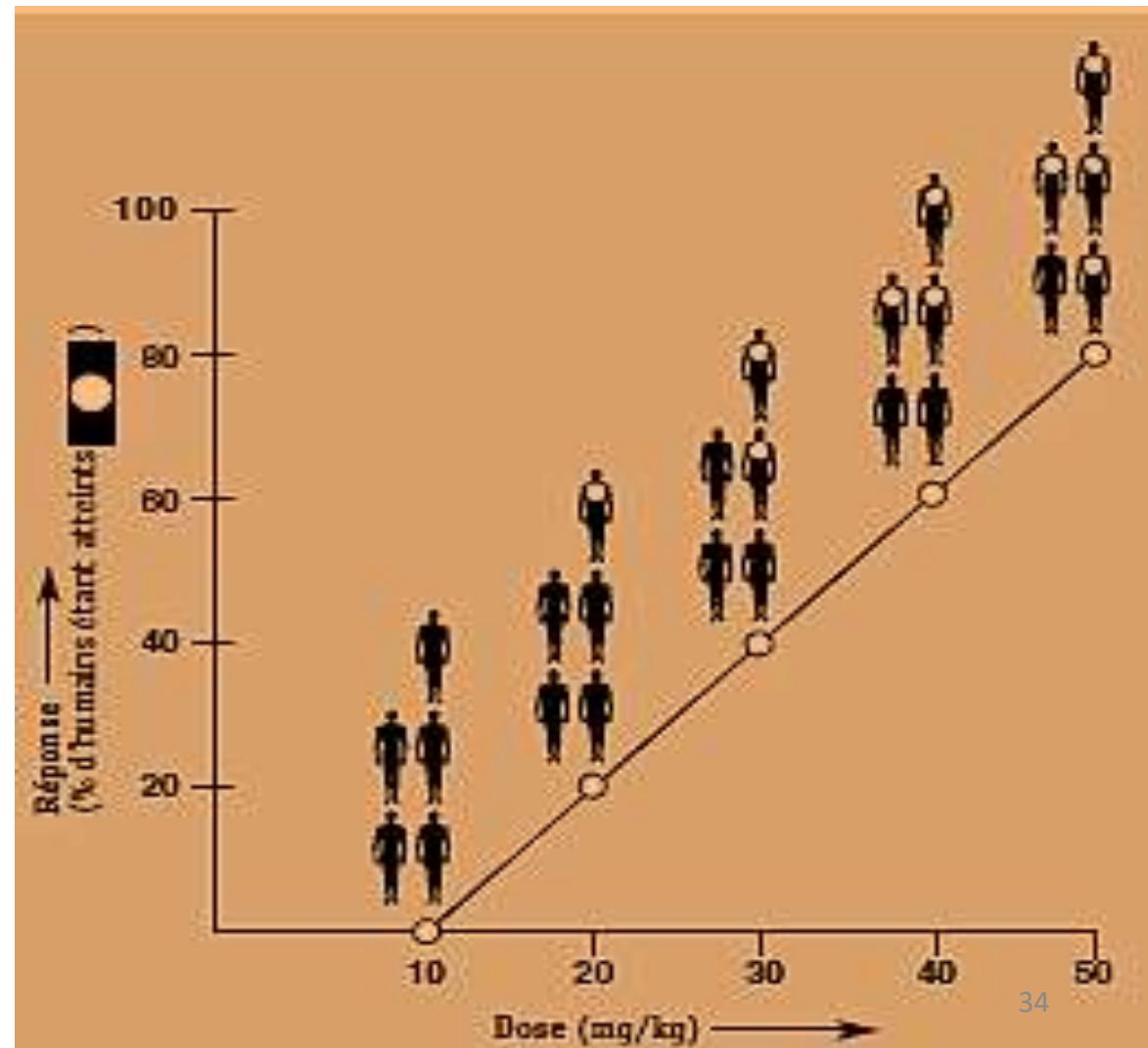


Figure 8. Relation dose / réponse.

Chapitre III. Effets des polluants sur les écosystèmes

I. Types de pollution

Les activités anthropiques génèrent divers types de polluants, de nature différente (Figure 01). Le devenir de ces polluants dans les écosystèmes est schématisé sur la figure 02.

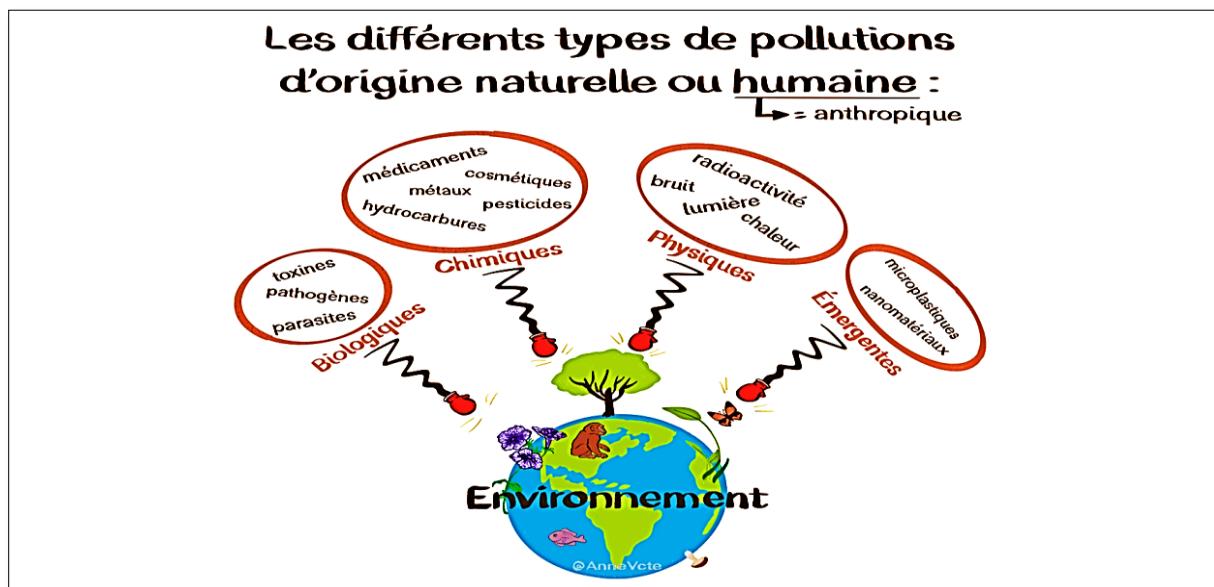


Figure 01. Types de polluants

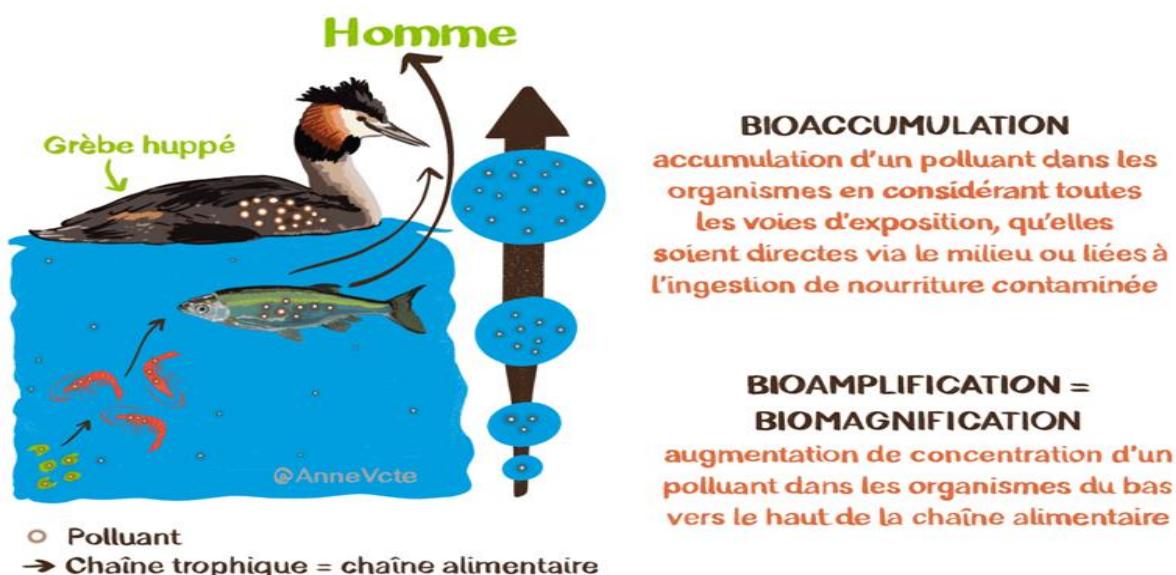


Figure 02. Phénomènes de bioaccumulation et bioamplification.

II. Impacts de la pollution atmosphérique sur les plantes

Les effets principaux des polluants atmosphériques sur la végétation sont résumés dans la figure 03.

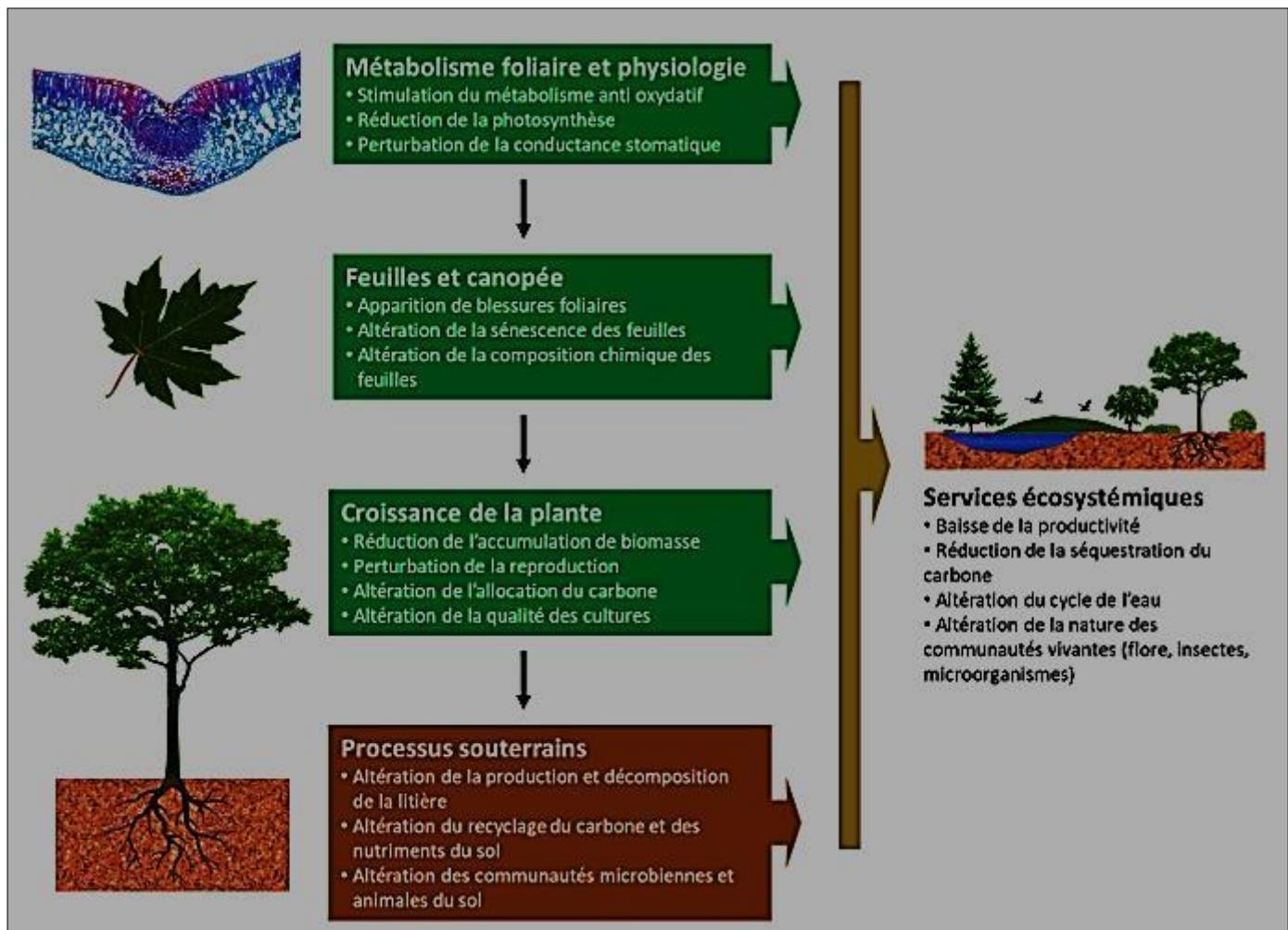


Figure 03. Impact des polluants atmosphériques sur la végétation

III. Impact des polluants sur les écosystèmes aquatiques

Les estuaires et les zones côtières constituent des territoires à forts enjeux stratégiques pour les économies et pour l'environnement. Ils assurent de nombreuses fonctions biologiques et écologiques, dont celle de nourricerie de poisson. Le bon fonctionnement écologique de ces nourriceries est indispensable pour permettre le déroulement normal du cycle biologique de nombreuses espèces marines d'intérêts économiques majeurs (Figure 04).

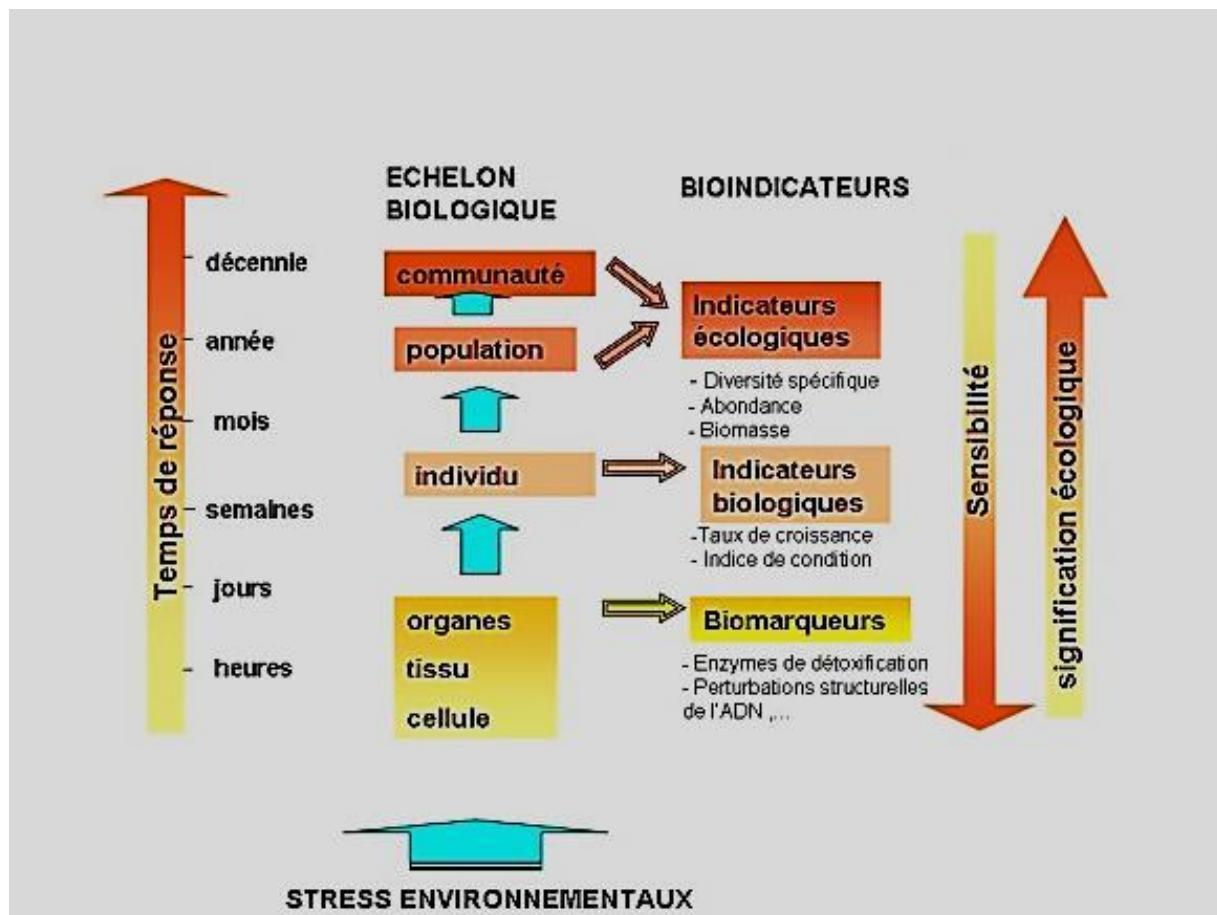


Figure 04. Impact de la pollution sur les écosystèmes côtiers

IV. Émergence de l'écotoxicologie

Pour empêcher que ces catastrophes ne se reproduisent, il apparaissait alors nécessaire d'étudier les effets des polluants sur l'environnement. Ainsi naissait l'écotoxicologie, qualifiée par le Professeur Jean-Michel Jouany en 1971, comme «l'étude de l'influence des nuisances sur les relations individu-environnement».

L'écotoxicologie se situe à l'interface entre la toxicologie et l'écologie. La discipline vise à évaluer les potentiels risques que représentent les différentes pollutions pour l'environnement. Elle permet également d'aider à la gestion des risques en évaluant le potentiel écotoxique des nouvelles substances avant leur introduction sur le marché et en apportant des recommandations aux politiques pour tenter de limiter certaines pollutions. Malgré tout, l'environnement est inévitablement soumis à des pollutions accidentelles, volontaires ou non identifiées en tant que pollutions avant qu'elles ne deviennent problématiques (ex : les microplastiques). L'écotoxicologie permet alors d'évaluer « l'état » de la qualité des milieux afin de protéger la santé des populations qui y vivent.

Principaux objectifs de l'écotoxicologie :

- ✓ Étudier le devenir des polluants dans l'environnement
- ✓ Évaluer les effets des polluants sur les êtres vivants et leurs interactions
- ✓ Identifier les mécanismes d'action des polluants
- ✓ Assurer la prévention des risques pour protéger l'environnement

Chapitre IV. Evaluation du risque des sols pollués

1. Concepts

Sol: partie superficielle meuble de l'écorce terrestre soumise à l'action des agents climatiques et des êtres vivants (végétaux, organismes, animaux) (fraction minérale + fraction organique).

Présence des 3 phases : liquide, gazeuse et solide (fractions Minérale & organique)

La bioaccumulation: accumulation progressive d'un polluant dans un même organisme suite à des expositions répétées.

La bioamplification: accumulation progressive de polluant au sein de la chaîne alimentaire.

L'eau dans le sol

Il y a l'eau souterraine + eau de précipitation (eau de ruissellement, eau de gravité et eau retenue) (Fig. 05).

La circulation lente de l'eau concerne l'eau capillaire et l'eau gravitaire à écoulement lent (sol argileux). Dans ce cas, le sol joue le rôle de filtre et de réacteur biologique et physico-chimique.

Cependant, La circulation rapide concerne l'eau gravitaire à écoulement rapide (sol sableux, fissure). Là, le risque de la pollution est élevé.

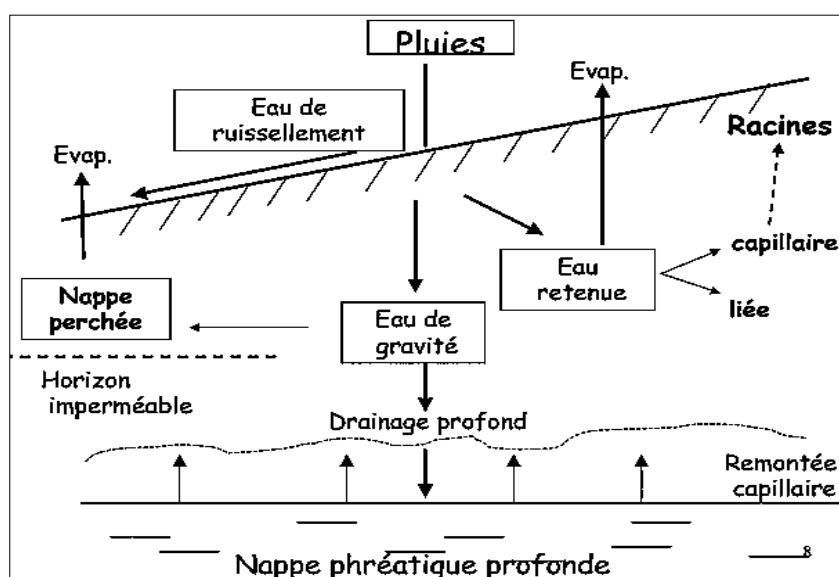


Figure 05. Mouvement hydrique dans le sol

2. La pollution du sol

2.1. Définition

«La pollution du sol est une modification défavorable de ce dernier qui apparaît comme le sous-produit d'une action humaine, au travers d'effets directs et indirects. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers de ressources en produits agricoles, en eau, et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il détient, les possibilités recréatrices du milieu ou encore en enlaidissant la nature».

2.2. Exposition

Les diverses voies d'exposition de l'homme aux polluants provenus du sol sont résumées dans la figure 06.

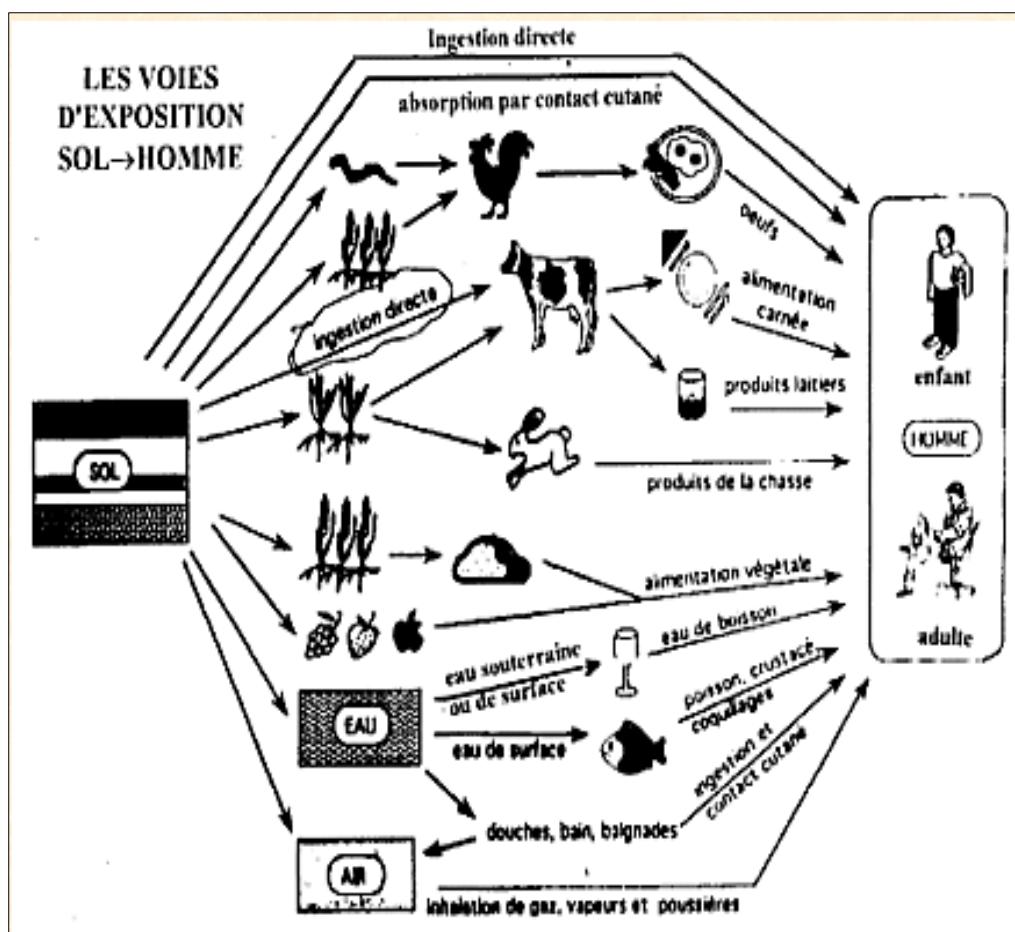


Figure 6. Voies d'exposition Sol-Homme.

2.3. Types de la pollution du sol

• Pollutions diffuses

Caractérisées par de faibles concentrations en polluants, des surfaces importantes, origine mal définie, risque à court et long terme, difficile à réhabiliter.

• Pollutions ponctuelles

Caractéristiques :

Concentrations très élevées, surface affectée faible, source de la pollution bien définie, risque à court terme, pollution plus facile à réhabiliter

Types : pollutions accidentelles, pollutions chroniques

2.4. Types de polluants

Résumés dans le tableau 01.

Tableau 01. Types de polluants du sol

Polluants	Minéraux	Organiques
Exemples	<ul style="list-style-type: none">• Azote (Nitrates)• Phosphore (Phosphates)• Éléments traces métalliques (Cu, Pb, As, Zn, ...)• Radionucléides	<p><i>Pesticides</i></p> <ul style="list-style-type: none">• <i>Hydrocarbures aliphatiques</i>• <i>PCB</i> (isolants des transformateurs électriques, encres d'imprimerie, peinture). Production interdite depuis 1977• <i>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)</i> : combustion de carburants (véhicule et chauffage)

2.5. Sources

- *Engrais* - Azote, phosphore, éléments traces métalliques

- Traitements phytosanitaires - Organochlorés (interdits), organophosphorés, carbamates, - Métaux (cuivre) (Figure 07)
- Épandage de boues de STEP - Métaux (Zn, Pb, Cd), polluants organiques (PCB, HAP,...)
- Lisiers - Métaux (Zn, Cu)
- Axes routiers - Hydrocarbures (aliphatiques, aromatiques) - Métaux
- Composts urbains - Métaux (Zn, Cu, Pb)
- Retombées atmosphériques (centres industriels, chauffage urbain, circulation automobile, UIOM) - Métaux, - Polluants organiques (HAP, PCB, PCDD, PCDF)

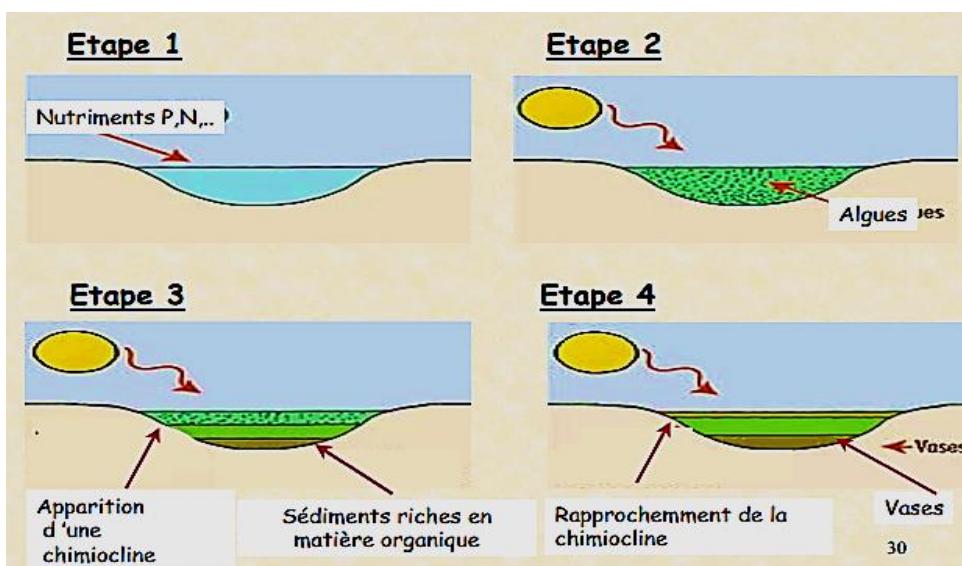


Figure 07. Exemple de l'eutrophisation.

2.6. Sol contaminé ou pollué ?

La contamination est simplement la présence d'une substance qui ne devrait pas être là compte tenu de son origine (cas des substances créées par l'Homme comme les PCB). La pollution est la contamination qui en résulte et qui peut entraîner des effets biologiques néfastes sur les populations et/ou les écosystèmes. Tous les polluants sont des contaminants, mais tous les contaminants ne sont pas des polluants.

2.7. Interactions toxicologiques

(Expliquées auparavant)

3. Evaluation de risque du sol pollué

Comme indiqué précédemment, l'évaluation des risques sanitaires se déroule en 4 étapes.

De manière simplifiée, pour les substances non-cancérogènes, le risque est caractérisé par comparaison de la dose d'exposition avec la valeur toxicologique de référence:

Risque= Exposition/VTR

⊕ Pour les substances cancérogènes c'est un excès de risque individuel (ERI) qui est calculé selon: $ERI = \text{Exposition} / \text{ERU}$

⊕ Pour les risques environnementaux, l'équation suivante est utilisée:

Risque= Exposition/PNEC

4. Gestion de risque lié au sol

Selon que le site est considéré comme contaminé ou pollué, des opérations différencierées de gestion des sols sont mises en œuvre.

⊕ Si possible, éliminer (par excavation ou traitement) la source de pollution. Cette solution réduit l'exposition chronique des populations et participe à l'amélioration de la qualité des milieux.

⊕ En second lieu, « désactiver » une ou des voies de transfert et vérifier le résultat via un suivi régulier. Si une pollution résiduelle est avérée, on procèdera à un confinement renforcé, etc.

⊕ Enfin guider l'option de gestion en fonction de l'usage prévu des sols ou en suggérer un nouveau. On pourra modifier les aménagements et les usages pour réduire au maximum les expositions résiduelles, s'il n'est pas possible de supprimer totalement la source de pollution (Ex: jardin urbain associatif remplacé par un parking) (Figure 07).

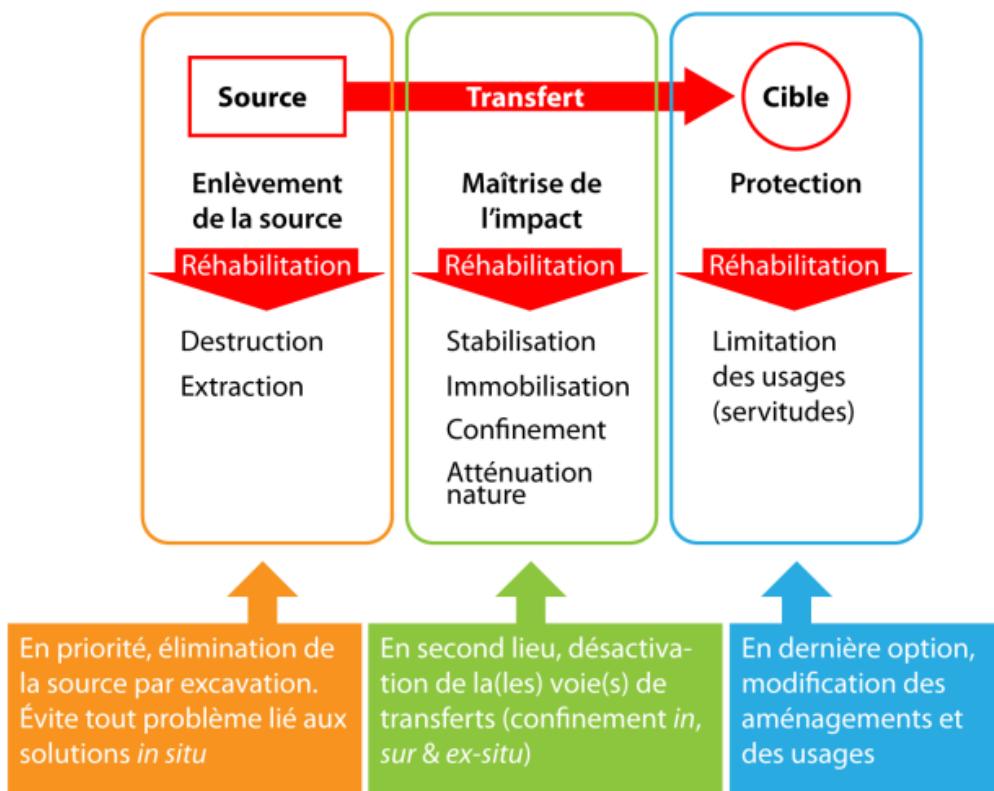
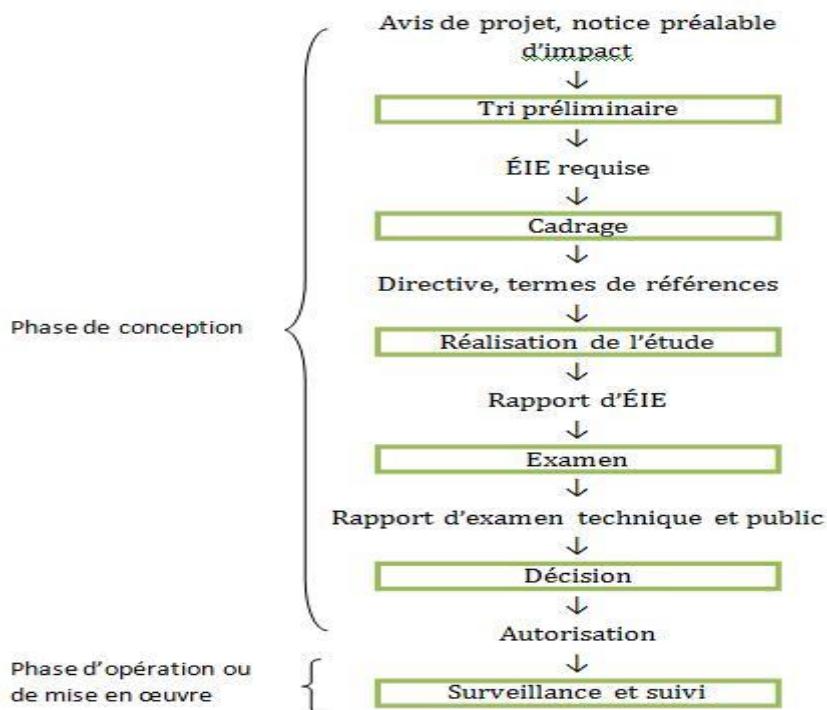


Figure 07. Options de maîtrise des risques liés à la pollution des sols

Chapitre V. Processus général d'une étude d'impact

La réalisation de l'étude d'impact, dont le maître d'ouvrage est responsable, se fonde sur les directives, qui en constituent le squelette. La figure 1 décrit les phases d'un processus général d'Étude d'Impact sur l'Environnement (ÉIE) et son ordonnancement. Il revient à des experts de différents domaines de déterminer les conditions de base de l'environnement biophysique et humain, d'évaluer l'importance et la signification des impacts du projet sur les composantes de l'environnement préalablement définies, de proposer des mesures afin d'éviter, d'atténuer ou de compenser les impacts observés.

Le maître d'ouvrage de la présente étude est la Régie de distribution des Eaux de la Haute Vallée du Sègre, représentée par son Président, M. Robert AUTONES. Le suivi de l'étude sera réalisé par les élus du Conseil Syndical de la Haute Vallée du Sègre, la Direction Départementale des Territoires et de la Mer des Pyrénées-Orientales, l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, le Conseil Général des Pyrénées-Orientales, ainsi que la chargée de mission « Contrat de rivière du Sègre »



Processus type d'Etude d'impact sur l'environnement

Cette figure représente les différentes étapes de conception et de mise en œuvre du projet. Depuis 2011, la réforme sur l'étude d'impact a été revue. Les rubriques suivantes doivent désormais apparaître :

- Dans l'analyse des effets du projet, les effets cumulés du projet avec d'autres projets doivent être étudiés
- La compatibilité du projet avec les documents d'urbanisme, les SDAGE, les SAGE et le schéma régional de cohérence écologique doit être vérifiée.

Avant d'être dans le dossier d'enquête publique, l'étude d'impact fait l'objet d'un avis de l'autorité compétente en environnement depuis 2009. La simple déclaration de pièces ou de rubriques manquantes peut à tout moment suspendre le projet sur simple déclaration.

L'étude d'impact doit comporter les points suivants :

- Une description globale de l'état initial des sites susceptibles d'être affectés par le projet de construction d'une STEP, notamment ses composantes physique, biologique et humaine. Tous les points sont indispensables car en cas de contentieux le moindre oubli peut se retourner contre le projet.

- Une description des principales composantes, caractéristiques et étapes de réalisation du projet.

- Une évaluation des impacts positifs, négatifs et nocifs du projet sur le milieu récepteur :

- Les effets sur l'environnement : effets permanents et temporaires (chantier), effets directs/indirects, effets cumulatifs. (ne se limite pas seulement au périmètre du terrain où le projet doit être réalisé, et doit avoir une vue globale sur l'environnement).

- Les effets sur la santé

- Les raisons pour lesquelles, du point de vue de l'environnement, le projet a été retenu. Les différentes alternatives possibles sont comparées , et la solution retenue est justifiée.

- Les mesures envisagées pour supprimer, réduire ou compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement, avec par exemple une estimation des dépenses. A chaque effet, des mesures sont envisagées. La compensation est l'hypothèse où il n'existe aucune solution pour supprimer les conséquences sur l'environnement. Une autre mesure est alors proposée pour compenser, le déplacement d'une espèce protégée par exemple. C'est la dernière alternative, et elle doit être réalisée au plus proche du projet. La réforme de 2011 impose le respect de toutes les mesures compensatoires.

- Un programme de surveillance et de suivi de projet.

- Une présentation concise portant sur le plan juridique et institutionnel.
- Une note de synthèse récapitulant le contenu et les conclusions de l'étude.
- Un résumé simplifié (ou technique) des informations et des principales données contenues dans l'étude destiné au public.

Nous ne pourrons pas réaliser une étude complète dans le cadre de notre projet, mais nous allons faire une analyse de l'état initial et des impacts prévisibles des aménagements projetés. Nous verrons également les mesures envisageables pour réduire ou compenser les dommages causés à l'environnement.