

Cours de cinquième année 2019/2020



La pollution du sol

Les sols : pourquoi et comment ?

1. Définitions

✓ Sol pollué ou contaminé!!!

- «**Contamination**» doit être employée pour les sols lorsqu'il y a des apports anthropiques importants mais sans effet apparent pour l'environnement
- «**Pollution**» lorsque des apports liés à des activités humaines ont des effets négatifs visibles sur l'environnement

A la notion de contamination on peut associer deux idées:

- un accroissement des teneurs suite aux activités humaines, locales ou générales et un accroissement du risque de nuire aux fonctions des sols naturels
- Pour le polluant est défini comme un élément dangereux susceptible de présenter un risque pour les milieux et les organismes vivants

Toutefois les termes «polluant» et «contaminant» sont la plupart du temps synonymes

2. Types de pollution

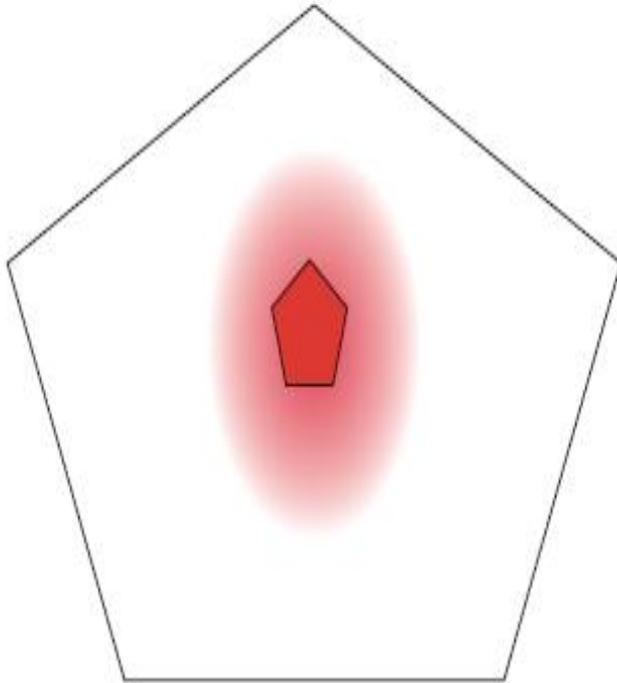


Fig. 1 - Pollution ponctuelle.

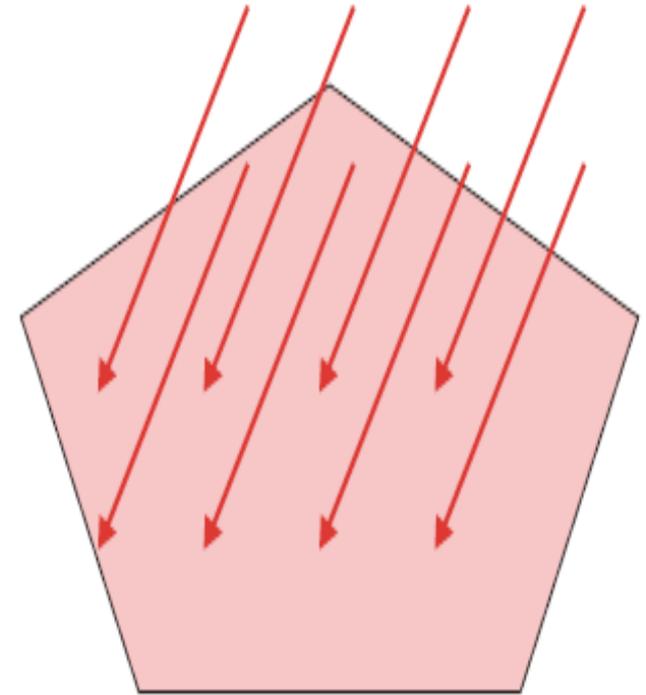
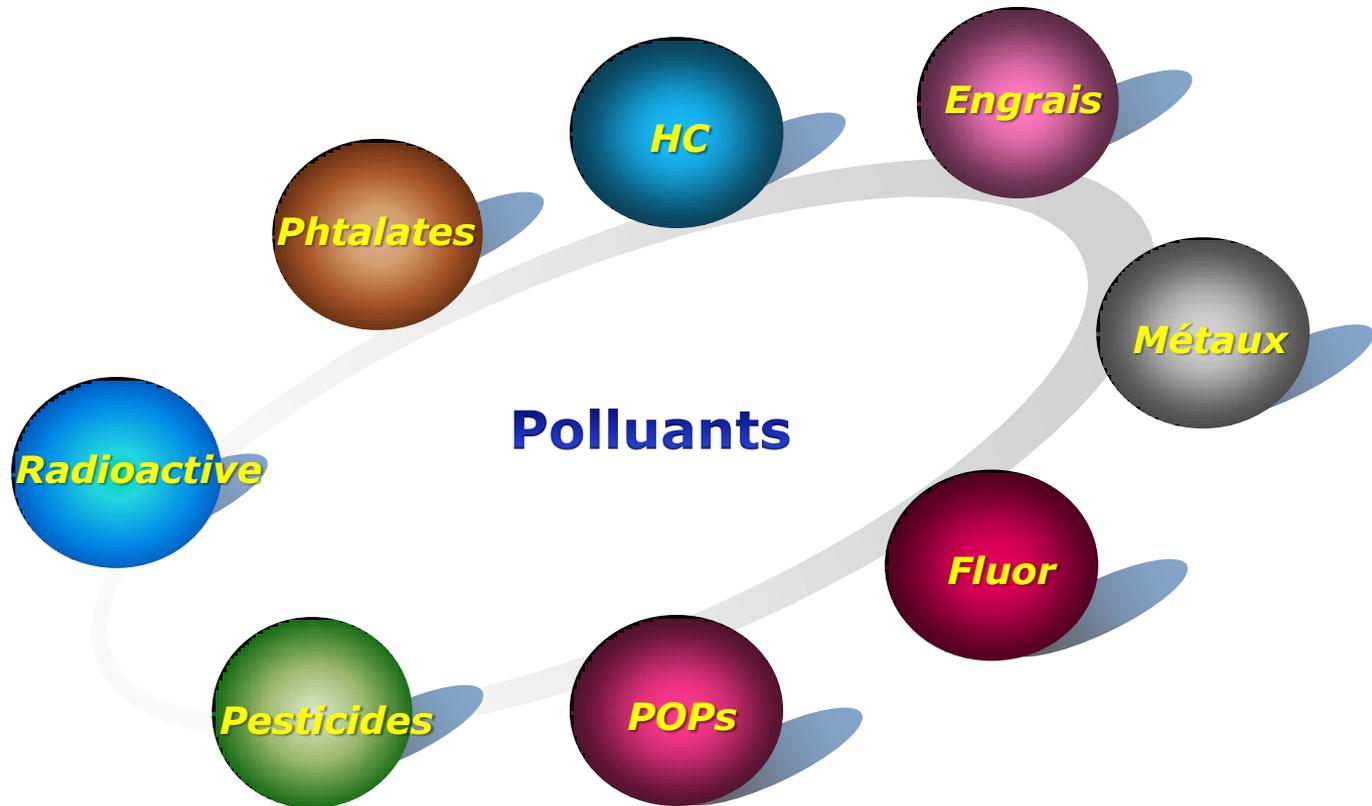


Fig. 2 - Pollution diffuse.

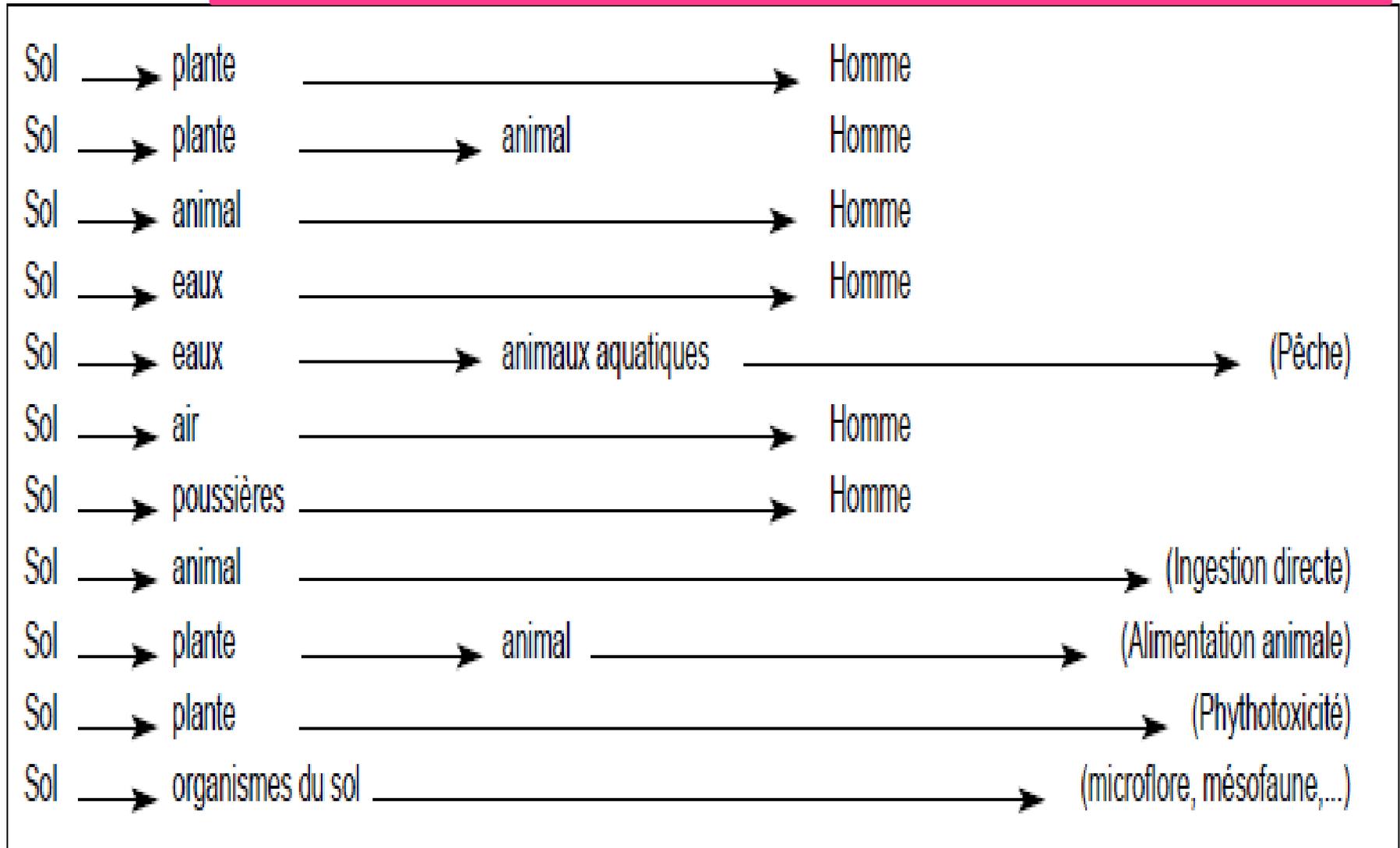
4. Principaux polluants



Effets de la pollution

**De l'homme ... à la planète, les dommages
causés par la pollution**

Les voies de contamination



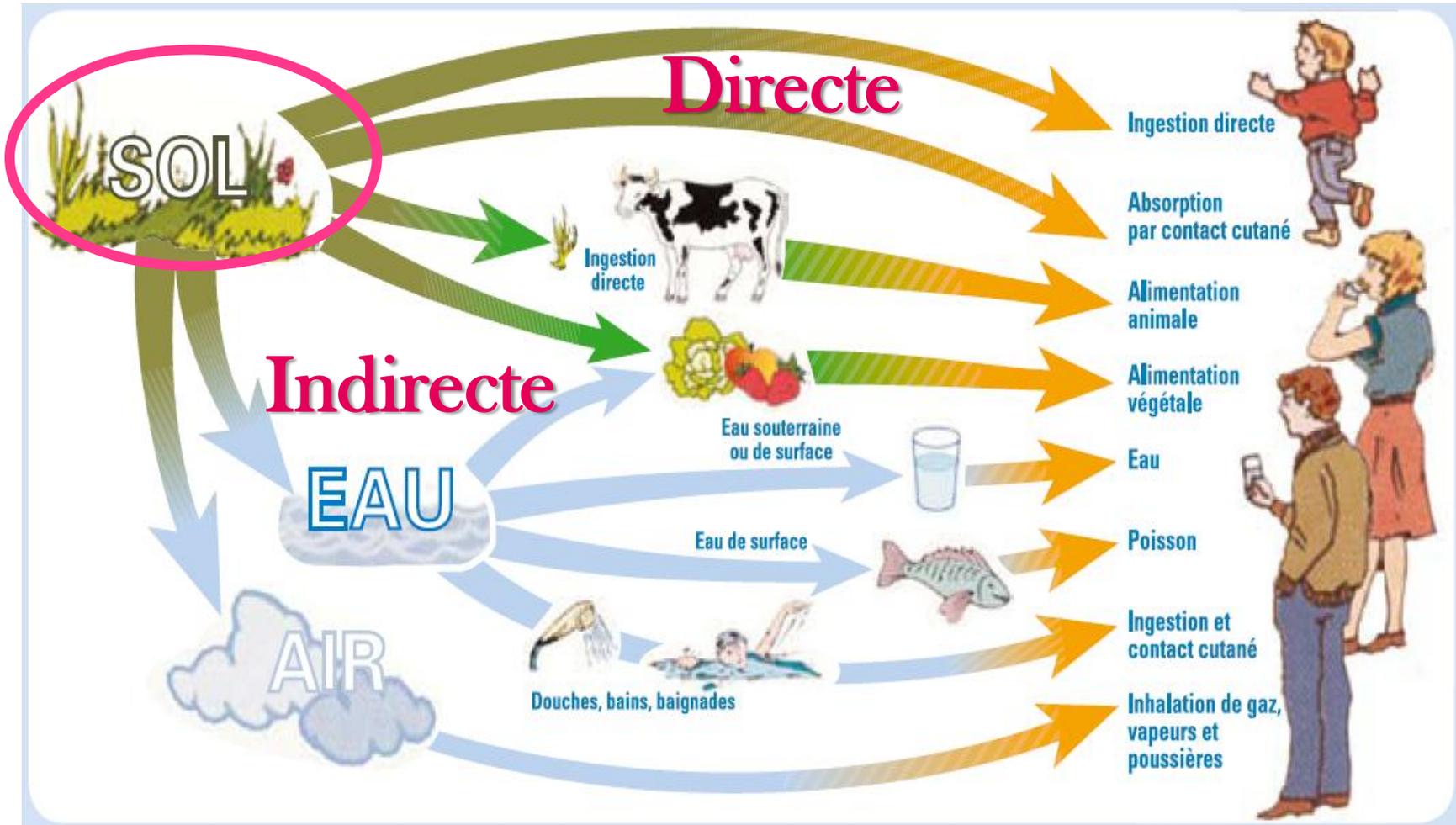
Un sol pollué représente trois types de risques environnementaux :

1 Mise en contact direct des polluants avec l'occupant du sol
(ex. : jeux d'enfants sur un site pollué)

2 Lessivage des polluants par les eaux d'infiltration et transfert des polluants vers les eaux souterraines et superficielles (pollution possible des ressources en eau)



Réintroduction des polluants dans la chaîne alimentaire par les végétaux et les organismes vivants du sol



Les dégradations des sols ont des conséquences considérables sur les milieux en relation avec les sols

1

Biotope

L'ensemble des caractéristiques physico-chimiques d'un milieu.

Exemple, le sol

Ecosystème



... en interaction

2

Biocénose

L'ensemble des êtres vivants dans un milieu.

Exemples, les animaux, les végétaux

Biotope

✓ *Sur le sol*

1. Altération chimique :
 - A- Acidification
 - B- Salinisation
2. Altération physique
 - A- Érosion
 - B- Tassement
 - C- Formation de croûtes de battance

✓ *Sur l'eau*

1. Eutrophisation:
2. Pollution des nappes phréatique:

✓ *Sur l'atmosphère*

Effet de serre:

Biotope

✓ *Sur le sol*

1. Altération chimique :

B-Salinisation :

L'accumulation des sels dans les sols

Origines naturelles= primaires

Origines anthropiques =secondaires



Un exemple de **salinisation** dans le Colorado



Augmentation de la P osmotique, une toxicité pour les végétaux due à l'accumulation de certains ions, dont Na⁺, et une dégradation du sol
C'est une cause de dégradation de l'agriculture et de la biodiversité

Biotope

✓ *Sur le sol*

2. Altération physique

A-Érosion :

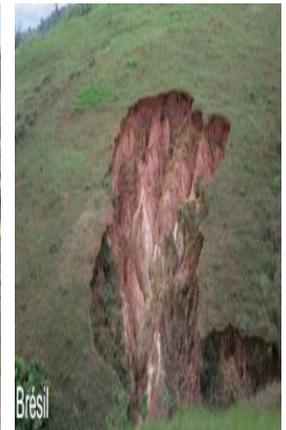
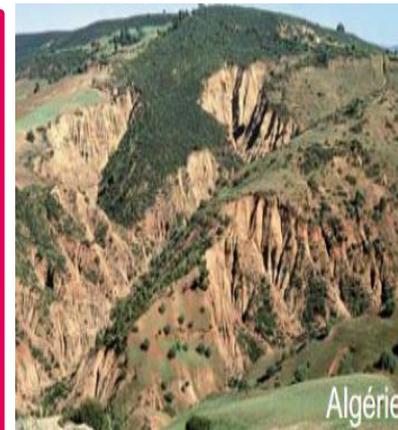
Lorsque la vitesse d'élimination des sols (par l'eau et / ou le vent) dépasse leur vitesse de formation

Peut être d'origine :

1- Naturelle

2- Anthropique :

- *L'agriculture*
- *L'extension des zones urbaines*
- *Le développement industriel*
- *La construction de routes*



Biotope

✓ *Sur le sol*

2. Altération physique

B- Tassement du sol :

- Se produit à la suite d'une pression à la surface du sol et il en résulte entre autre des problèmes d'aération et d'activité des micro-organismes du sol et de la capacité de stockage de l'eau par le sol
- Il est dû par exemple :
 - Passage des tracteurs et autres outils agricoles (récolte, épandage..)
 - Poids des bâtiments et autres constructions
 - Les routes et autoroutes entraînent le tassement du fait du trafic automobile



Biotope

✓ Sur le sol

2. Altération physique

C- Formation de croûtes de battance :

C'est la formation d'une croûte mince sur la surface du sol

Elles peuvent se former par :

- Le tassement des grains du sol, dû à l'impact des gouttes de pluie
- Des forces d'aspiration d'interface sur de particules d'argile
- Aug de l'acidité du sol, le rendant + vulnérable à la formation de la croûte



Ce phénomène réduit nettement la *microporosité* de la couche extérieure de sol, qui imperméabilise la surface

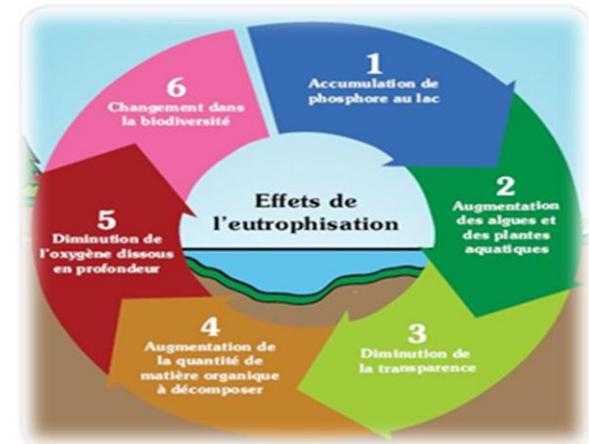
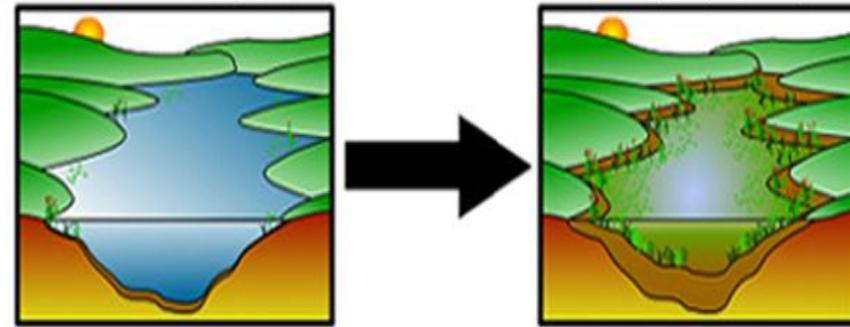


Biotope

✓ Sur l'eau

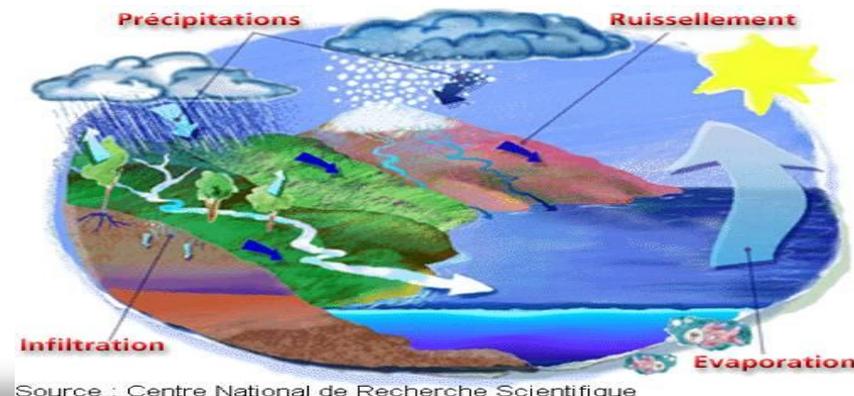
Eutrophisation

Essentiellement due aux engrais azotés



Pollution des nappes phréatiques

par **infiltration** des polluants présents dans le sol



Source : Centre National de Recherche Scientifique

Biocénose

Les polluants présents dans le sol **menacent** :

- Les organismes vivants du sol
- Leur **biodiversité**
- Les **fonctions** qu'ils remplissent

Il ya également des risques pour les **espèces supérieurs de la chaîne trophique** : mammifères, oiseaux, amphibiens, qui se nourrissent de végétaux ou d'invertébrés du sol

La toxicité d'un polluant donné dans le sol est très **variable** d'une espèce à l'autre, y compris **l'Homme**

Biocénose

Les métaux

Microorganismes : ↓ de la biomasse microbienne jusqu'à 50%

Plantes (phytotoxicité) : Cd, Hg, Pb

Le fluor

- Il **s'accumule** à des taux considérables dans les plantes, en particulier dans le système foliaire => **une coloration grise verdâtre du parenchyme puis nécrose**
- Les animaux qui consomment des plantes contenant du fluor peuvent accumuler des quantités importantes de fluor dans leur organisme => **fluorose**

Les pesticides

L'usage du DDT contre les ravageurs des « citrus » aboutit la prolifération d'une cochenille des agrumes, par suite de destruction des prédateurs et parasite de cette espèce

Biocénose sur Homme

Analyse du sol

Bien mesurer ... pour mieux informer et prévoir !

✓ Pourquoi on mesure ?

il s'agit d'un ensemble d'éléments ou de composés dont l'accumulation est responsable d'une pollution du sol définie par rapport à :

- La santé humaine ou animale du fait de la contamination des récoltes ou de l'ingestion de poussières qui peuvent entraîner un dépassement des doses maximales admissibles
- Des phénomènes de phytotoxicité généralement rencontrés dans les zones les (+) contaminées. Ex : sur des sols industriels ...
- L'apparition d'effets (-) sur différents êtres vivants, notamment sur la microflore et la mésofaune du sol
- Des transferts vers les milieux adjacents : eaux superficielles et profondes (risques écotoxicologiques), et de l'air (ingestion de particules contaminées) dont la qualité s'en trouve affectée

✓ **But**

L'analyse des sols est un procédé complexe de par la multiplicité des paramètres à mesurer pour caractériser complètement un échantillon :

Teneur en eau, granulométrie, composition minéralogique, caractérisation des MO, composition élémentaire (organique et totale), pH, carbonates, capacité d'échange cationique et anionique, concentration en métaux, etc



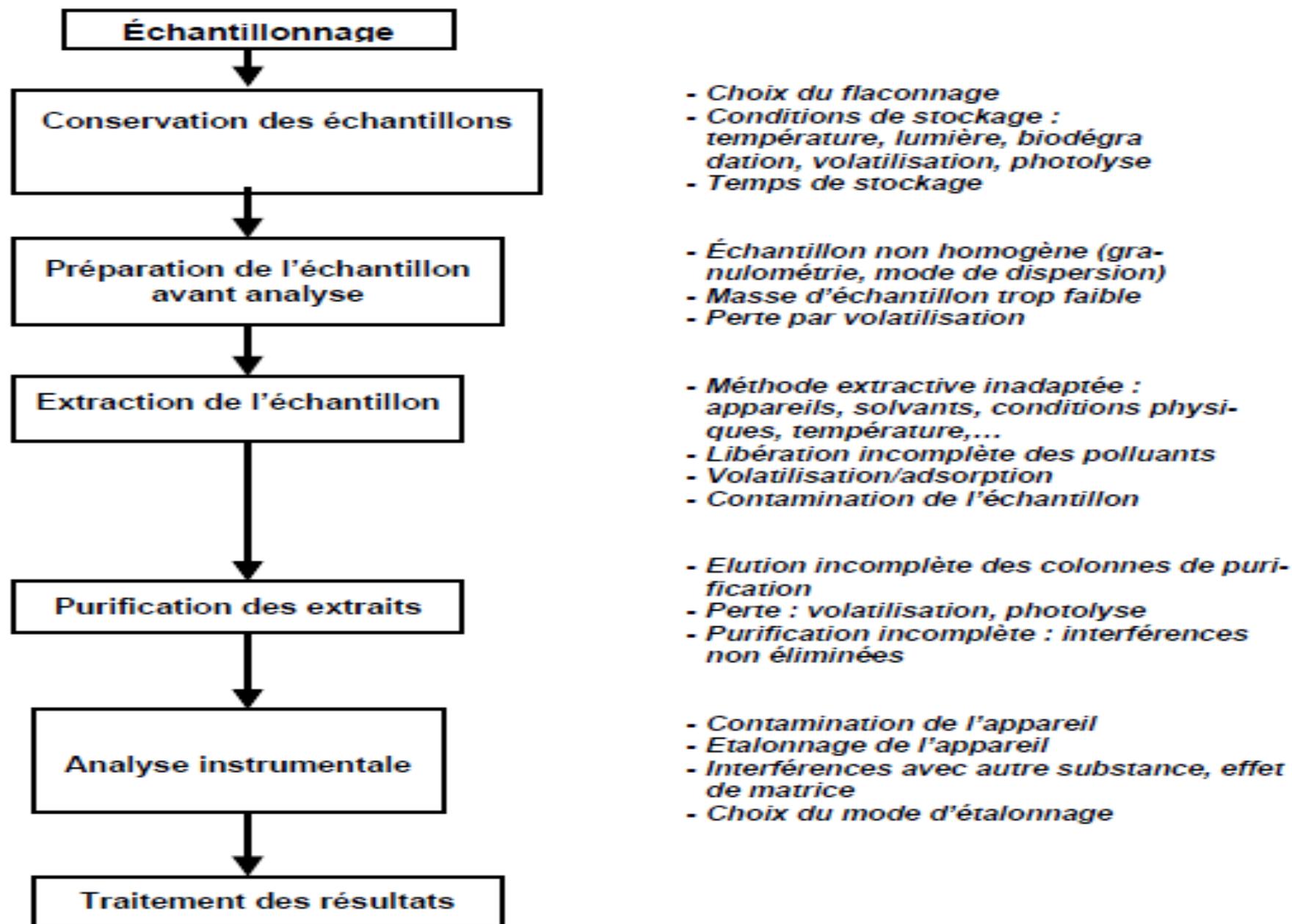
Les indicateurs de la qualité de sol sont nombreux :

1. Les indicateurs visuels (changement de la couleur de sol....)
2. Les indicateurs physiques
3. Les indicateurs chimiques
4. Les indicateurs biologiques

PLAN GÉNÉRAL D'UNE ANALYSE DE SOL

Sources d'erreurs au cours du processus analytique

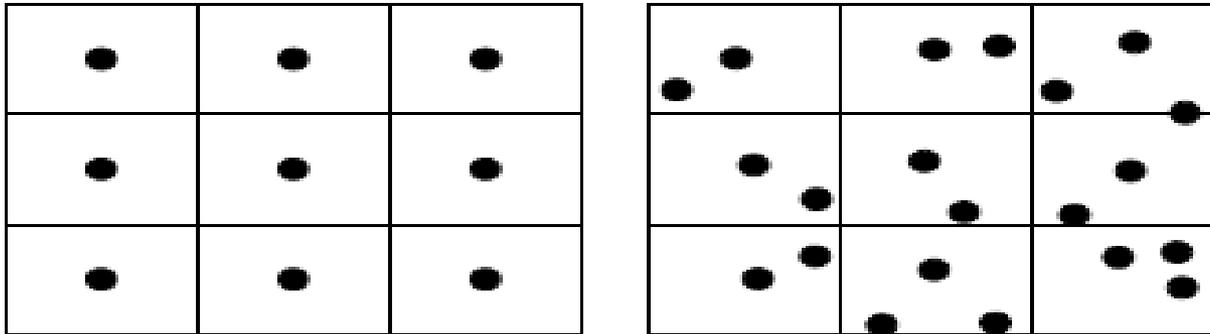
Sources d'erreurs



1. Échantillonnage

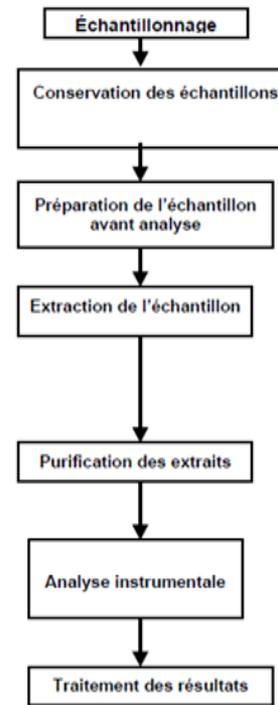
Méthode d'échantillonnage

- Consiste à diviser le sol en unités de surfaces égales. Dans chaque unité d'échantillonnage, le prélèvement est aléatoire ou régulier



Matériel de prélèvement

- Une tarière hélicoïdale, électrique ou manuelle selon le type du sol et la profondeur à atteindre
- Le manche de la tarière doit être gradué pour vérifier la profondeur de prélèvement





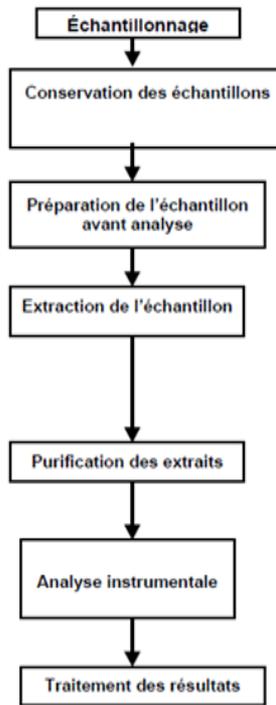
2.

Conditionnement des éch, conditions de stockage, conservation

Objectifs

Il est indispensable de minimiser toutes les causes de pertes liées aux propriétés physico-chimiques des micropolluants recherchés, au conditionnement et aux conditions de stockage :

- adsorption des polluants sur les parois des flacons de prélèvement
- volatilisation des polluants ayant un point d'ébullition < à 300 °C
- transformations physiques et photochimiques
- transformations chimiques : oxydation, réduction
- transformations biologiques pour les substances biodégradables



2.

Conditionnement des échantillons, conditions de stockage, conservation

Choix du flaconnage

- Pour l'analyse des micropolluants organiques, il faut éviter tout flacon en plastique
- Si les composés sont photosensibles, il est indispensable de ne prendre que du verre brun

Conditions de stockage

- En règle générale, les échantillons doivent être conservés à une $T^{\circ} < 10^{\circ} \text{C}$ jusqu'à l'analyse
- À l'abri de la lumière

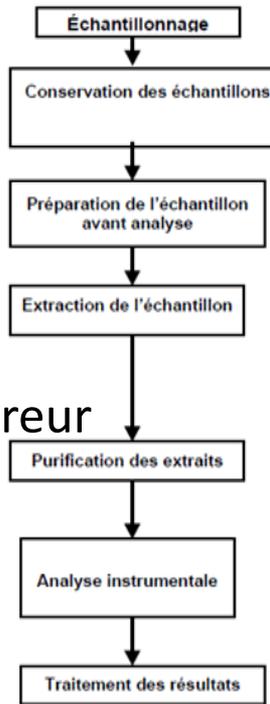
Temps de stockage

- Les temps de stockage maximum variables selon les paramètres devant être analysés
- Dépendent des risques de volatilisation, de biodégradation, de transformations chimiques, ...
- Les échantillons sont maintenus dans des flacons de verre hermétiquement clos
- Il est préconisé de ne pas dépasser 4 jours de stockage (ISO FDIS 14 507)
- Toutefois cette durée peut être prolongée en cas de congélation des échantillons

3. Préparation des échantillons avant analyses

Objectifs

- Obtenir un échantillon représentatif du sol d'origine
- Souvent l'étape la plus longue et surtout celle qui génère le plus de sources d'erreur dans la chaîne analytique
- Souvent considérée comme le maillon faible de la chaîne analytique
- Comprend différentes tâches précédant l'analyse proprement dite :



1 2 3

- prétraitement des échantillons : séchage, broyage, tamisage, quartage
- extraction des polluants des échantillons
- purification des extraits avant analyse : étape optionnelle

La masse d'échantillon doit être au moins égale à 10 g dans le cas courant avec une granulométrie fixée à 2 mm, cette masse pouvant être > ou < pour différentes autres granulométries

3.

Préparation des échantillons avant analyses

✓ Prétraitement des éch: : séchage, broyage, tamisage, quartage

- **Séchage à une T° compatible avec les** caractéristiques des polluants recherchés, ou séchage chimique ou lyophilisation
- **Tamisage pour éventuellement éliminer les gros** fragments solides (cette règle peut faire l'objet d'exceptions dans les cas où les phases porteuses des polluants sont de grosses particules : morceaux de briques par ex,)
- **Homogénéisation de l'éch par mélange et** broyage pouvant être réalisée dans des conditions cryogéniques, afin d'obtenir une taille de particule inférieure à 2 mm (NF ISO.11464)

3. Préparation des échantillons avant analyses

✓ Méthodes d'extraction des polluants

Deux démarches générales sont envisageables

1

- Tenter de mettre en solution le polluant/ une lixiviation -extraction ménagée
- L'analyse représentera la quantité de polluant susceptible d'être libérée ou adsorbée (étude de comportement), d'être mobilisable par les végétaux, le lessivages

2

- Analyser tout l'éch (sol compris) ou effectuer une extraction aussi exhaustive que possible
- C'est la quantité totale de polluant présent= la fraction libérable du contaminant+la fraction du contaminant fixée par la matrice du sol, qui sera dosée

3.

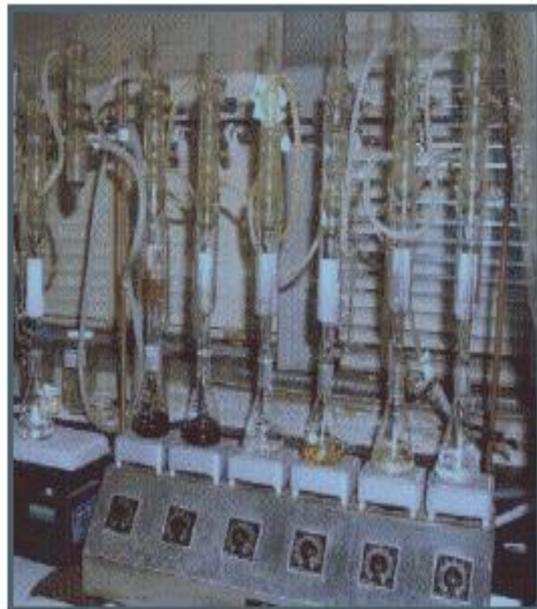
Préparation des échantillons avant analyses

✓ Méthodes d'extraction des polluants

- 1 - La minéralisation par attaques acides pour les éléments métalliques
- 2 - La méthode de l'espace de tête (dynamique ou statique) pour les cov
- 3 - Les méthodes suivantes pour les composés org semi-volatils ou non volatils :
 - La méthode soxhlet avec une variante, la méthode soxtec
 - L'agitation mécanique
 - L'extraction par ultrasons
 - L'extraction accélérée par solvants à haute température sous pression
 - L'extraction assistée par micro-ondes
 - L'extraction par fluide supercritiques



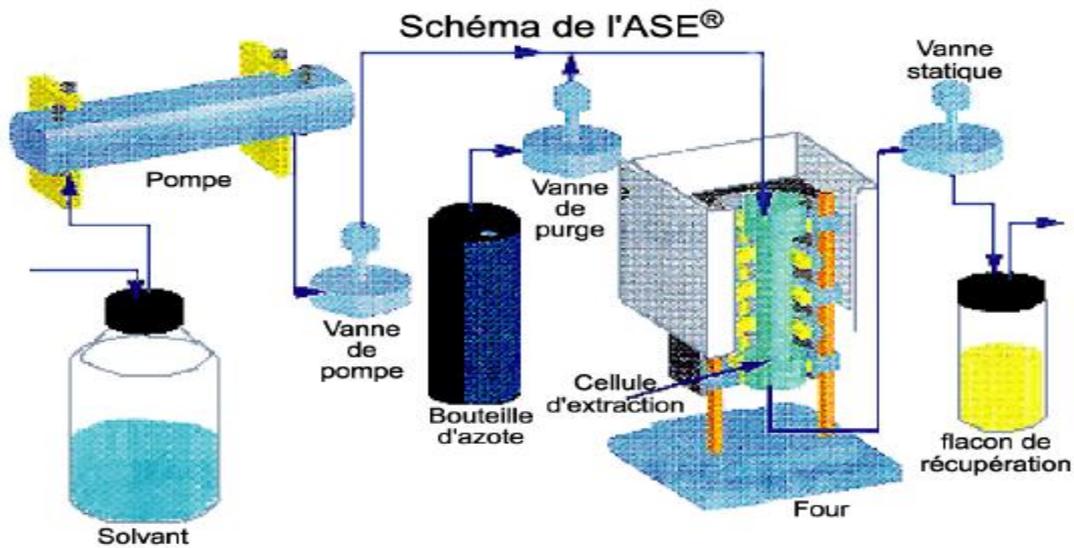
Échantillonneur automatique 16 postes pour analyse des COV en mode « Purge & Trap », placé en amont de l'appareillage de la figure 13.



Équipement d'extraction soxhlet.



- Équipement PSE.



i - Schéma du système d'extraction par un solvant chaud sous pression (PSE).



- Extraction assistée par micro-ondes en systèmes ouvert et fermé.

3.

Préparation des échantillons avant analyses

✓ Purification

▪ **Objectif :** éliminer les sub co-extraites avec les polluants, qui peuvent interférer lors de l'analyse instrumentale + protéger les colonnes chromatographiques et d'augmenter leur durée de vie

- La méthode à suivre dépend de la nature du polluant recherché et de celle des constituants de l'éch co-extraits
- On procède généralement par chromatographie d'adsorption sur alumine, silice ou Florisil, et plus rarement par chromatographie de perméation de gel (fx de taille des molécules)
- Les opérations de purification sont suivies de la C des extraits par évaporation du solvant sous flux d'azote

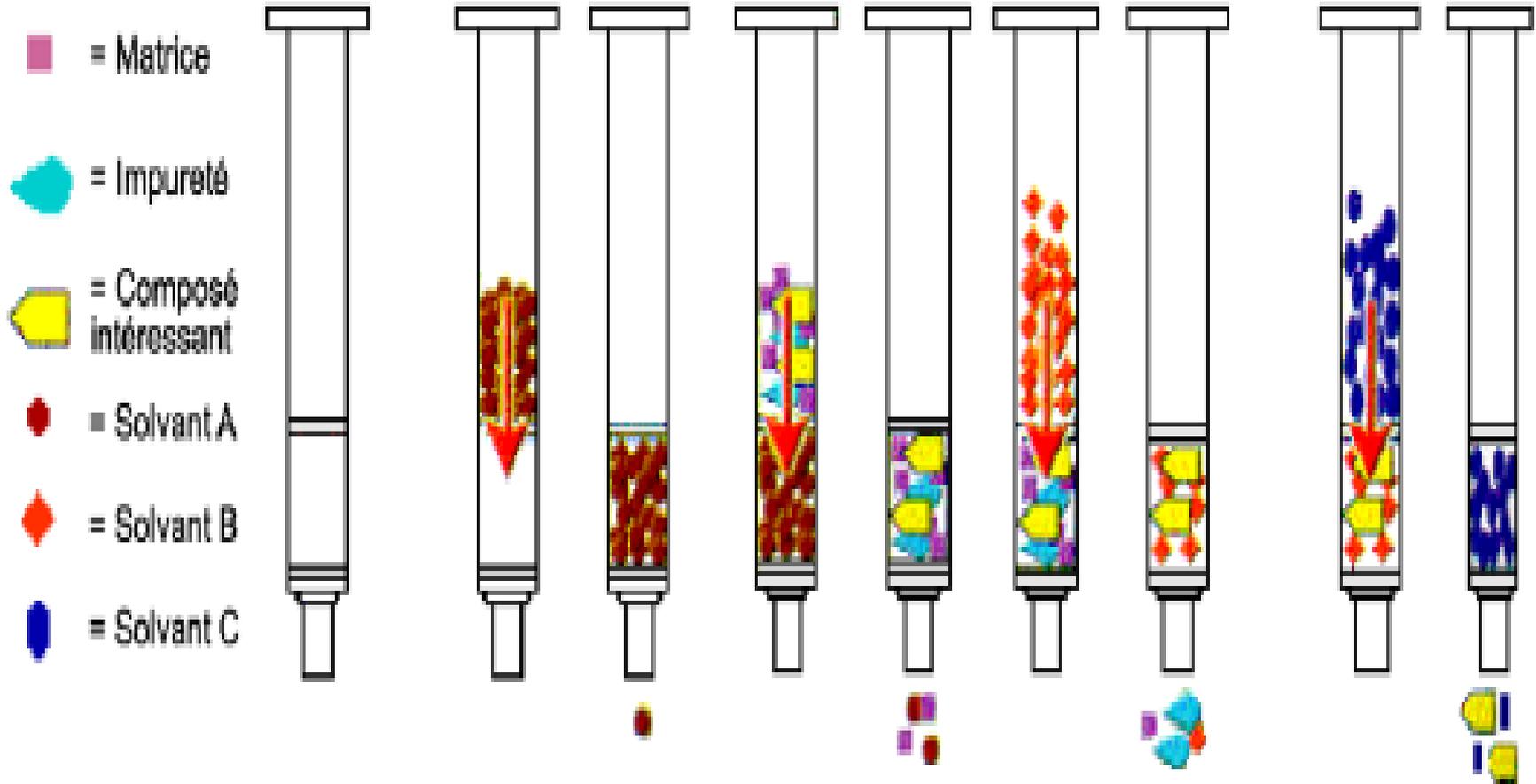


Schéma représentant la purification des solutions d'extraits sur cartouche.

4. Analyse

Indicateurs Physiques

Densité de la masse de sol :

↑ densité → ↓ infiltration de l'eau, aération, croissance des racines
↑ érosion

Infiltration de l'eau :

Est importante pour réduire l'écoulement et l'érosion conséquente

↑ du tassement de sol → ↓ vitesses d'infiltration de l'eau dans les sols

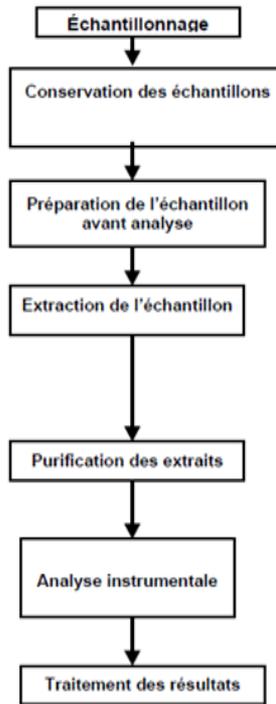
Indicateurs Chimiques

Les plus importants sont :

Le pH :

Détecter une acidification ou alcalinisation

Recherche et dosage des polluants :

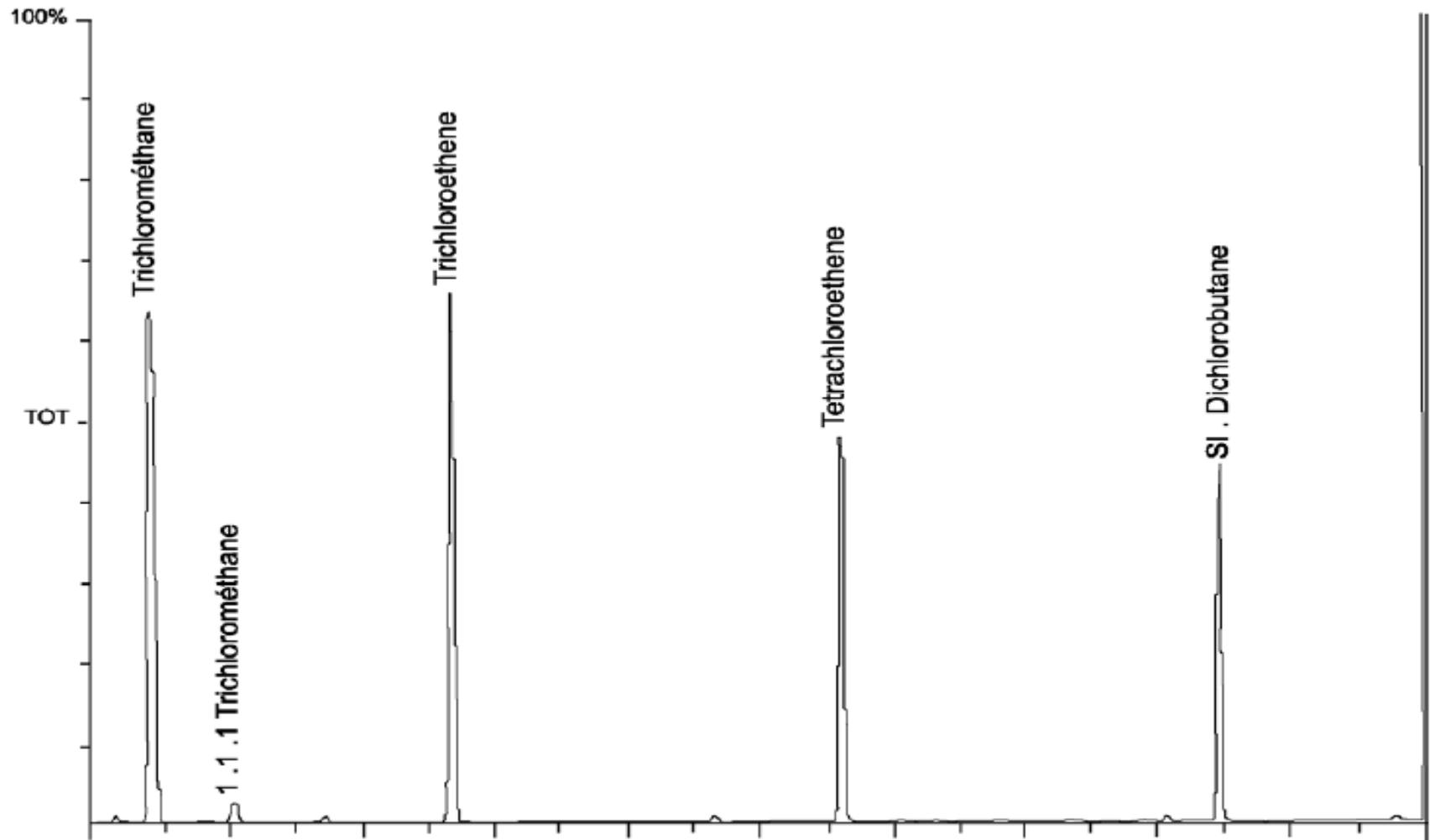


4. Analyse

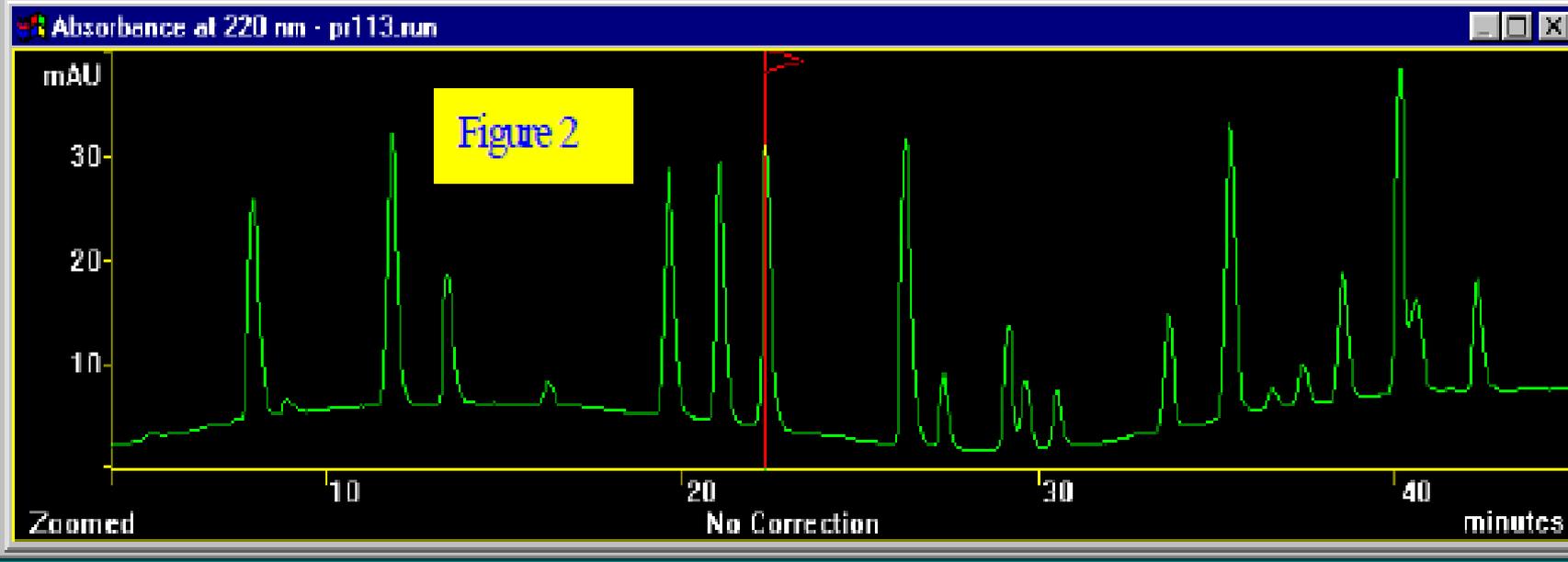
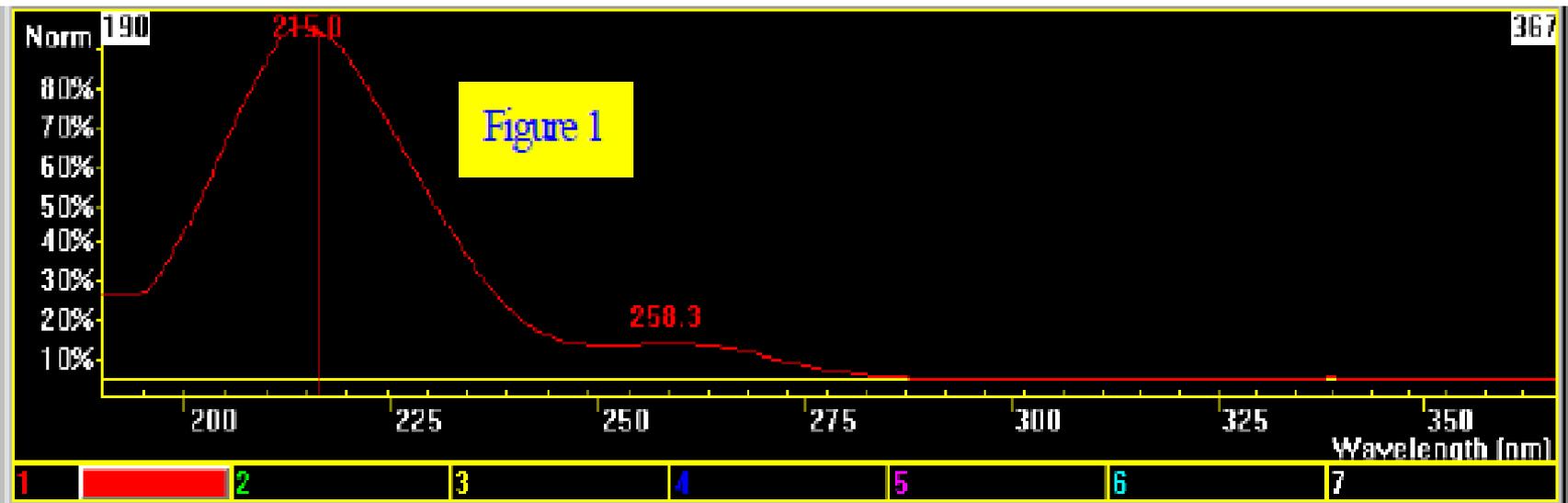
Indicateurs Chimiques

Recherche et dosage des polluants

Composés	Méthode de dosage
Métaux	ETAAS,FAAS, ICP
HAP	Extraction par le chlorure de méthylène →CPG /HPLC
Les dioxines et furanes	Extraction , purification, concentration →CPG
Sels minéraux	Entraînement à la vapeur ou par titrimétrie
Composés aromatiques	Volatils→CPG/Colorimétriques



Chromatogramme obtenu pour la détermination des composés organiques volatils par espace de tête dynamique et chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.



1. Spectre UV d'atrazine. 2. Chromatogramme d'un mélange d'herbicides (triazines et phénylurées) obtenu en chromatographie liquide associée à une détection UV, à la longueur d'onde de 220 nm.

Synthèse des méthodes de référence utilisées pour les analyses de sols en provenance de sites potentiellement pollués

Eléments et composés analysés	Références des méthodes ISO/AFNOR	Principe des méthodes	Limites de quantification
PH	ISO 10390 (X31-117)	Suspension du sol dans l'eau et mesure du pH de l'extrait par potentiométrie	
Carbone total	ISO 10694 (X31-409)	Combustion sèche en courant d'oxygène et analyse du CO ₂ par détection infra-rouge	0,05%
Carbone organique	ISO 10694 (X31-409)	Combustion sèche en courant d'oxygène et analyse du CO ₂ par détection infra-rouge après décarbonatation	0,01 %
Carbone organique	NF X31-109	Oxydation sulfochromique et analyse par spectrophotométrie	0,01 %
Carbone organique	NF X31-419	Oxydation sulfochromique et analyse par spectrophotométrie	0,01 %
Azote total (Kjeldahl modifiée)	ISO 11261 (X31-111)	Minéralisation en milieu acide sulfurique avec le dioxyde de titane, suivie d'une détermination quantitative de l'ammoniac par titrimétrie	0,01 %
Phosphore soluble	ISO 11263 (X31-403)	Solubilisation des formes phosphorées dans une solution d'hydrogénocarbonate de sodium et dosage final de la solution par spectrophotométrie	0,01 %
Fluorures	NF X 31-148	Mise en solution du fluor par fusion alcaline et analyse du fluor total par électrode spécifique	50 mg/kg
Soufre total	ISO/DIS 15178	Combustion sèche et dosage du dioxyde de soufre par détection infrarouge	0,01 %
Sulfates	ISO 11048	Solubilisation en milieu acide chlorhydrique et analyse par méthode gravimétrique	0,05 %
Teneur pondérale en matière sèche et en eau	ISO 11465 (X31-102)	Perte de masse à 105 °C	

Éléments et composés analysés	Références des méthodes ISO/AFNOR	Principe des méthodes	Limites de quantification
Métaux par attaque acide	NF X 31-151	Attaque du sol à l'eau régale ou avec un mélange acide fluorhydrique/perchlorique et analyse des métaux dans la solution d'attaque par spectrométrie d'absorption atomique	1-10 mg/kg selon les éléments
Métaux traces solubles dans eau régale	ISO 11466 (NF X31-415)	Attaque du sol à l'eau régale et analyse des métaux dans la solution d'attaque par spectrométrie d'absorption atomique	1-10 mg/kg selon les éléments
Métaux : mise en solution totale	NF X 31-147	Attaque du sol par un mélange acide fluorhydrique/perchlorique et analyse des métaux dans la solution d'attaque par spectrométrie absorption atomique	1-10 mg/kg selon les éléments
Cyanures totaux	NF X 31-407	Décomposition des cyanures complexes en milieu acide sulfurique et analyse des cyanures sous forme libre par spectrophotométrie	0,1 mg/kg
Indice phénol	FD X 31-144	Extraction des phénols à l'eau, distillation et analyse par spectrophotométrie	0,2 mg/kg
Hydrocarbures aromatiques volatils et hydrohalogénés volatils	NF X31-426	Espace de tête dynamique et chromatographie en phase gazeuse	0,01 mg/kg
Pesticides et PCB	Projet ISO/DIS 10382	Extraction éther de pétrole/acétone et analyse par CPG avec détecteur à capture d'électrons	1-10 mg/kg selon les composés
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	ISO 13877	Extraction par toluène ou acétone et analyse par HPLC/UV et fluorescence	0,1 mg/kg
Huiles minérales	NF X31-410	Extraction des hydrocarbures au fréon 113 - et analyse quantitative par CPG avec détecteur à ionisation de flamme ou par spectrophotométrie infrarouge	100 mg /kg

Différentes normes et références françaises de teneurs totales en métaux lourds
dans les sols exprimées en mg/Kg /MS ^[19].

	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Se
P.Godin (1983)									
Seuil d'anormalie	2	30	150	100	50	100	300	270	
Seuil d'investigation	4	60	300	200	100	200	600		
Seuil de traitement	10	150	750	500	250	500	1500		
Seuil d'urgence	20	300	1500	1000	500	1000	3000	3000	
Norme AFNOR NF U44-041(1985)	2		150	100	50	100	300		10
Article 11 de l'arrêté du 8/ 01 / 1998	2		150	100	50	100	300		

4. Analyse

Indicateurs Chimiques

Les méthodes rapides de terrain

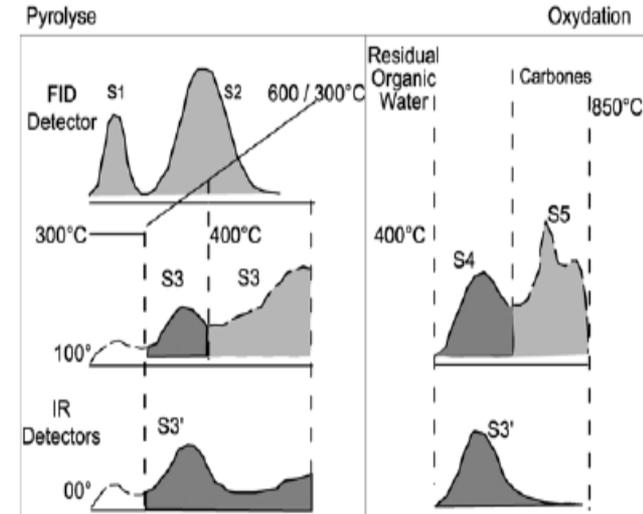
La méthode Rock-Eval



Composés hydrocarbonés



- Pyrolyseur Rock-Eval 6.



Exemples d'enregistrements obtenus à partir d'une roche mère.

4. Analyse

Indicateurs
Chimiques

Les méthodes rapides de terrain

Tests immuno-enzymatiques
(ELISA)

- kits pour identifier certains pesticides, les PCB (US-EPA 4020), les HAP (US-EPA 4035), les chlorophénols (particulièrement le pentachlorophénol, US-EPA 4010A) et les HC pétroliers aromatiques ou non (US-EPA 4030)
- Une NF (FD X 31-610) décrit l'utilisation de tests immuno-enzymatiques pour la détermination des HAP dans les sols et les eaux

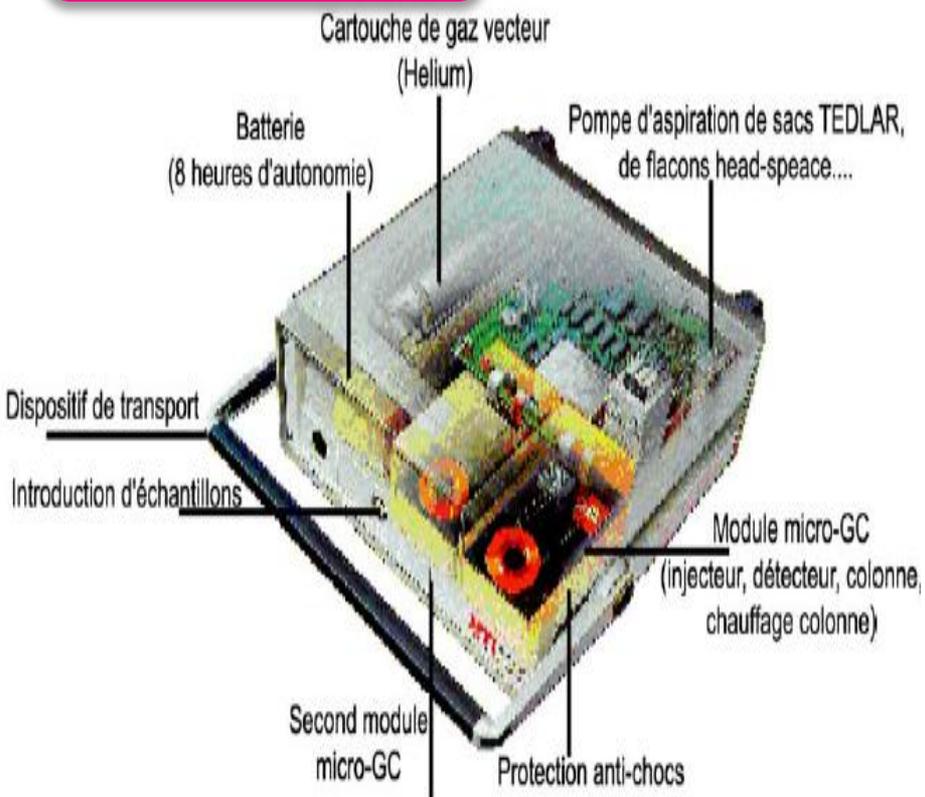


• Exemple de kit immuno-enzymatique.

4. Analyse

Indicateurs Chimiques

Méthodes de laboratoire adaptées au terrain



· Chromatographe en phase gazeuse portable.

Chromatographe couplé GC/MS sur le terrain.

4. Analyse

Indicateurs Chimiques

Les méthodes in situ en développement **Les biocapteurs**

- Un instrument miniaturisé: un capteur biologique immobilisé et un traducteur de signal
- Le traducteur de signal peut être de nature optique, électrochimique ou acoustique

1

Les immunocapteurs : le capteur biologique est un anticorps

2

Les capteurs à cellules ou organites :

- Le capteur biologique est un microorganisme ou un organite
- Les +connus sont les biocapteurs qui permettent une mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO) et ceux qui évaluent l'activité photosynthétique

3

Les capteurs à enzymes :

- Le capteur biologique est une enzyme
- Les plus avancés traitent les pesticides et les métaux lourds

4. Analyse

Indicateurs Chimiques

Les méthodes in situ en développement

Les capteurs chimiques à fibres optiques (FOCS)

▪ **Les méthodes basées sur la spectroscopie de fluorescence ou phosphorescence constituent une approche très prometteuse pour concevoir des appareils de mesure de terrain**

▪ Ces méthodes utilisent la propriété de certaines molécules d'émettre une photoluminescence lorsqu'elles sont éclairées par une source lumineuse de longueur d'onde donnée

▪ Ces méthodes s'appliquent aux polluants fluorescents tels les HAP, les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylène), certains phénols ou pesticides

▪ La source excitatrice est généralement un laser à azote ou une lampe au mercure

▪ La transmission des faisceaux lumineux d'excitation et d'émission est possible via la technologie des fibres optiques

4. Analyse

Indicateurs Biologiques

Taux respiratoires du sol :

- C'est l'indicateur principal des activités biologiques dans le sol
- Évalué en mesurant l'évolution CO₂ résultant de la décomposition de la MO (efficacité des processus biologiques ayant lieu dans le sol)

Bio-indicateurs

Définition

Un organisme (partie d'un organisme) qui renseigne sur l'état d'un écosystème

Bio-indicateur d'accumulation :

Bio-indicateur d'effet ou d'impact :

Modifications : morphologiques, métaboliques, comportementaux

Caractéristiques

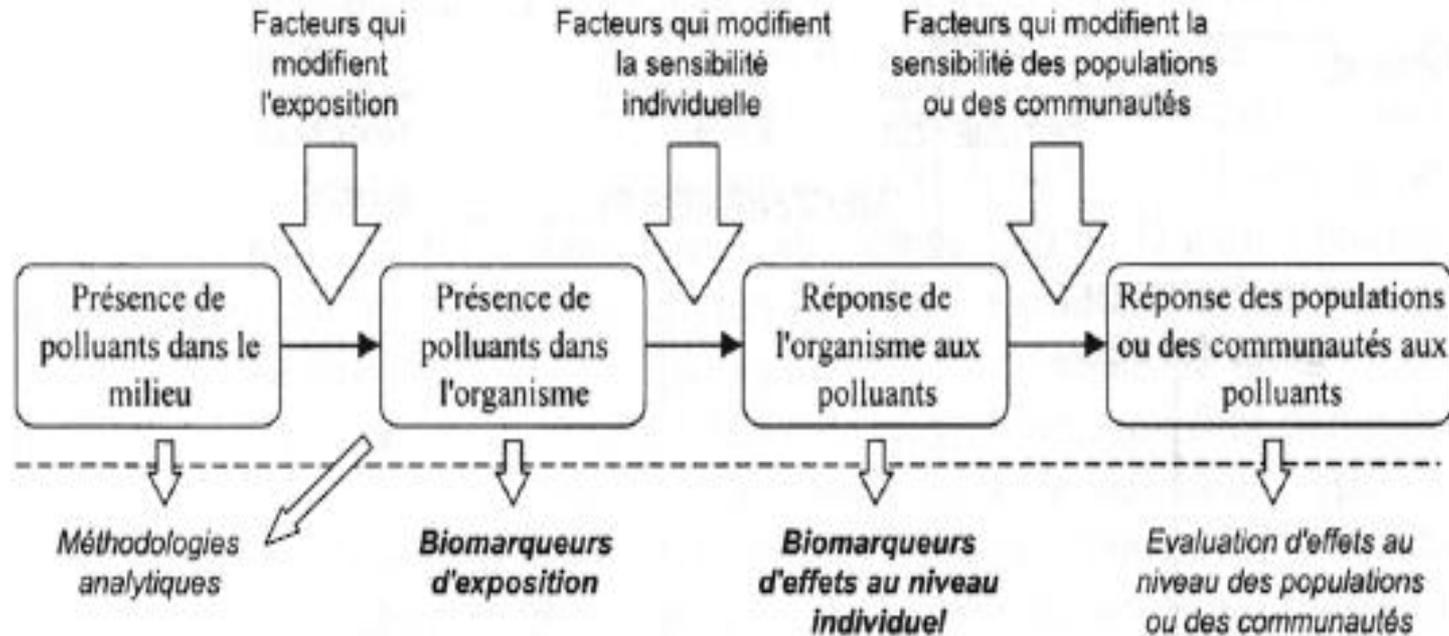
- Son écologie/ physiologie doivent être connues ;
- Participer activement au fonctionnement de l'écosystème ;
- Être largement distribué et facile à identifier et à échantillonner ;
- Être validé (connaître l'amplitude des réponses liées aux variations naturelles) ;
- Présenter des qualités de mesure (précision, fiabilité, robustesse) ;
- Pouvoir rendre compte notamment des méthodes de gestion des sols et des différents types de pollution des sols

Test d'écotoxicité

Consistent à exposer des espèces bien définies à des polluants à fin de mesurer les effets sur:

la mortalité, la croissance, la reproduction

Evènements écotoxicologiques



Méthodologies d'évaluation des effets écotoxicologiques

Source : Lagadic et al., 1997

Représentation des méthodologies faisant appel à l'utilisation des biomarqueurs dans l'évaluation des risques écotoxicologiques

4. Analyse

Indicateurs Biologiques

Tests d'écotoxicité

Ces essais, contrairement aux analyses chimiques; sont destinés à évaluer l'existence d'un danger

1

L'approche directe: l'organisme est mis en contact direct avec le sol contaminé

2

L'approche indirecte : extraire les polluants du sol avec de l'eau afin de déterminer la fraction **biodisponible** des polluants et à exposer, ensuite, des organismes à cet extrait

4. Analyse

Tests d'écotoxicité

Indicateurs
Biologiques

Sur la microflore

- Détermination de la biomasse bactérienne (ISO 14240-1)
- Potentiel de nitrification du sol (ISO 14238)
- Test d'inhibition de la luminescence du *Vibrio fischeri* pour évaluer la toxicité des molécules dissoutes (NFT 90-320) +++
- Test d'Ames (NFT 03-351)

Sur la faune

- Tests de mortalité ou de reproduction du ver de terre ou sur collembole (NFX 31-251 et ISO/TC190/SC4/WG2/N46)
- Test d'accumulation chez les escargots (*Helix aspersa* ou *Cantareus aspersus*) (ISO 15952, 2006)

Sur la flore

- Test d'inhibition de croissance de la *Pseudokirschneriella ubcapitata* (algue) (NF 906304)
- Tests de germination (X31-201)
- Tests de croissance (X31-202)

4. Analyse

Tests d'écotoxicité

Indicateurs
Biologiques

Détermination de la biomasse bactérienne (ISO 14240-1)

- Étude des microorganismes du sol
- La biomasse est estimée par l'intermédiaire de la respiration induite
- Le substrat d'essai est amendé par une série de C croissantes de glucose jusqu'à atteindre une vitesse de respiration maximale
- La biomasse microbienne active peut être ensuite estimée à partir de cette respiration maximale

4. Analyse

Tests d'écotoxicité

Indicateurs
Biologiques

Tests de germination (AFNOR X31-201)

Étudier l'inhibition de la germination des semences + déterminer la C inhibant la germination de 50% des graines mises en expérimentation

Liste des espèces préconisées pour l'étude de l'inhibition de la germination et délai de germination (AFNOR X 31-201)

- Dans ce but, des graines de diverses espèces végétales sont introduites dans un substrat contenant différentes proportions de l'éch à étudier
- Après un temps correspondant à la durée normale de germination de l'espèce considérée
- Le nombre de graines ayant réellement germées pour chacune des C étudiées est noté et la C inhibitrice 50% est déterminée

Espèce	Délai de germination (en jours)
Avoine	7
Carotte	15
Concombre	7
Cresson alénois	6 à 7
Laitue	7
Lentille	7
Mais	7
Orge	7
Radis	7
Ray grass	14
Tomate	18 à 21

Conclusion

Les sols pour l'avenir de la planète Terre

GESTION DES SITES POLLUÉS

en 3 types d'actions

=

Prévention des pollutions par un suivi
des sites industriels en activité

+

Connaissance des sites pollués existants
et la mise en place d'une surveillance
de l'eau et / ou des sols

+

Réhabilitation des sites pollués.

Merci
POUR
votre attention



1. Burges A ,et al. Impact of repeated single-metal and multi-metal pollution events on soil quality. *Chemosphere* 120 (2015) 8–15.
2. Andrews, S. M., Cooke, J. A. & Johnson, M. S. (1982). Fluoride in small mammals and their potential food sources in contaminated grasslands. *Fluoride*, 15, 56-63.
3. Liu X, et al. Arsenic pollution of agricultural soils by concentrated animal feeding operations (CAFOs). *Chemosphere* 119 (2015) 273–281.
4. Chassin P. Les éléments traces métalliques et la qualité des sols Impact à moyen et à long terme. Forum « Le sol, un patrimoine menacé ? » Paris, 24 octobre 1996.
5. *Abderrazzak BA*. Etude de contamination et d'accumulation de quelques métaux lourds dans des céréales, des légumes et des sols agricoles irrigués par des eaux usées de la ville DE HAMMAM BOUGHRARA [Thèse]. *Chimie de l'Environnement: TLEMCEM* ; 2012. 202.
6. Les sols pour l'avenir de la planète Terre. l'AFES, Alain Ruellan.
7. Lemièrre B, et al. Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Documents du BRGM 300. Nouvelle édition 2008.

8. SCHRECKs E. Influence des modes d'entretien du sol en milieu viticole sur le transfert des pesticides vers les eaux d'infiltration – Impact sur les lombriciens [Thèse]. *Ecotoxicologie: Toulouse*; 2008. 301.
9. Sirven JB. Détection de métaux lourds dans les sols par spectroscopie d'émission sur plasma induit par laser (LIBS) [Thèse]. *lasers et matière dense: BORDEAUX 1*; 2006. 253.
10. Thybaud E. Les tests d'écotoxicité terrestre. Séminaire National sur l'Ecotoxicologie des sols et des déchets, Dec 1998, Paris, France. pp.46-56. <ineris-00972157>
11. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, BRGM (2000) - Gestion des sites (potentiellement) pollués, version 2. *BRGM Editions* - Orléans. 143 pages, 20 annexes.
12. AFNOR : <http://catafnor.afnor.fr>
13. Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués. R. Jeannot, et al. Documents du BRGM 298. 2001. Éditions BRGM. France .



C'est une triste chose
de songer que la nature parle
et que le genre humain
n'écoute pas.

- Victor Hugo -