



Journée Technique d'information et de retour d'expérience de la gestion des sols pollués

Pourquoi et comment rechercher et traiter une source de pollution et son impact ?

BRGM : JR. Mossmann, D. Hubé, V. Guérin, S. Colombano et A. Archambault



Qu'est-ce qu'agir sur une source de pollution ?
Qu'est-ce que gérer un impact ?

Plan

- > **I - Notions de source de pollution et d'impact**
- > **II - Zones sources de pollution : pourquoi et comment gérer ?**
- > **III - « Délimitation » et maîtrise de la source de pollution et de son impact**
- > **IV - Exemple : cas d'un site avec une source importante et un impact faible**

4 Elaborer un plan de gestion

4.1 Les objectifs

4.1.1 La maîtrise des sources de pollution

La maîtrise des sources de pollution est un aspect fondamental du plan de gestion car :

- elle participe à la démarche globale de réduction des émissions de substances responsables de l'exposition chronique des populations ;
- elle participe à la démarche globale d'amélioration continue des milieux.

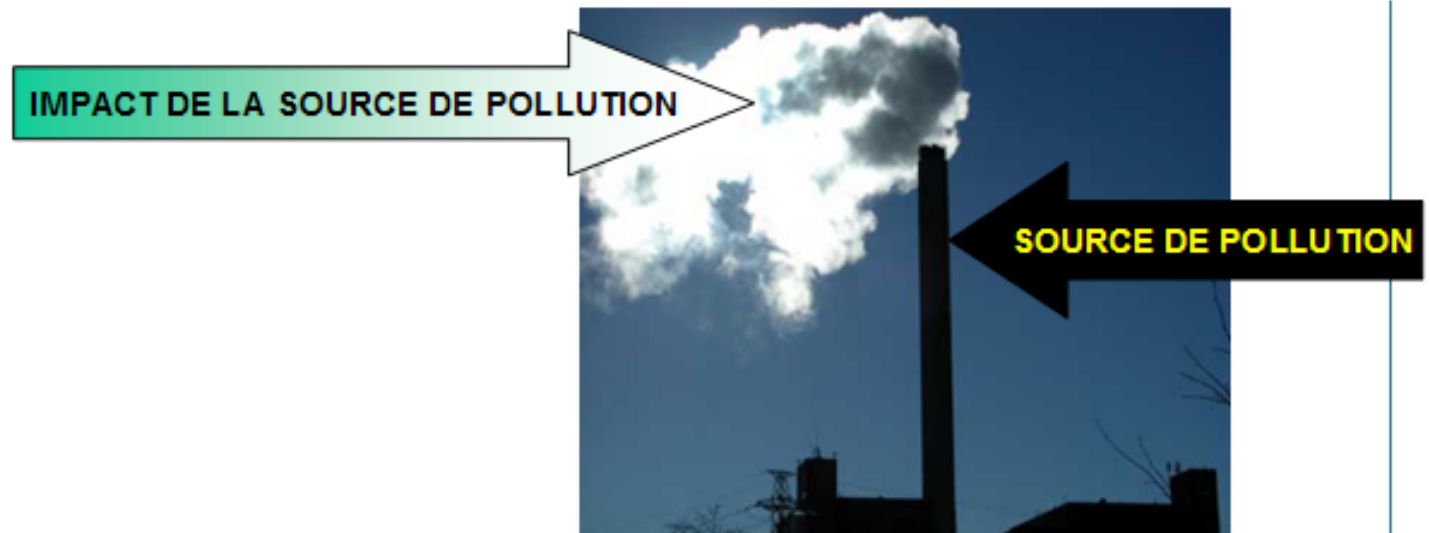
Aussi, en tout premier lieu, les possibilités de suppression des sources de pollution et de leurs impacts doivent être dûment recherchées. Sans maîtrise des sources de pollution, il n'est pas économiquement ou techniquement pertinent de chercher à maîtriser les impacts. (...)

ANNEXE 2 (page 35)

 **Qu'est-ce que maîtriser des sources de pollution ?**



Au dessus de la surface du sol



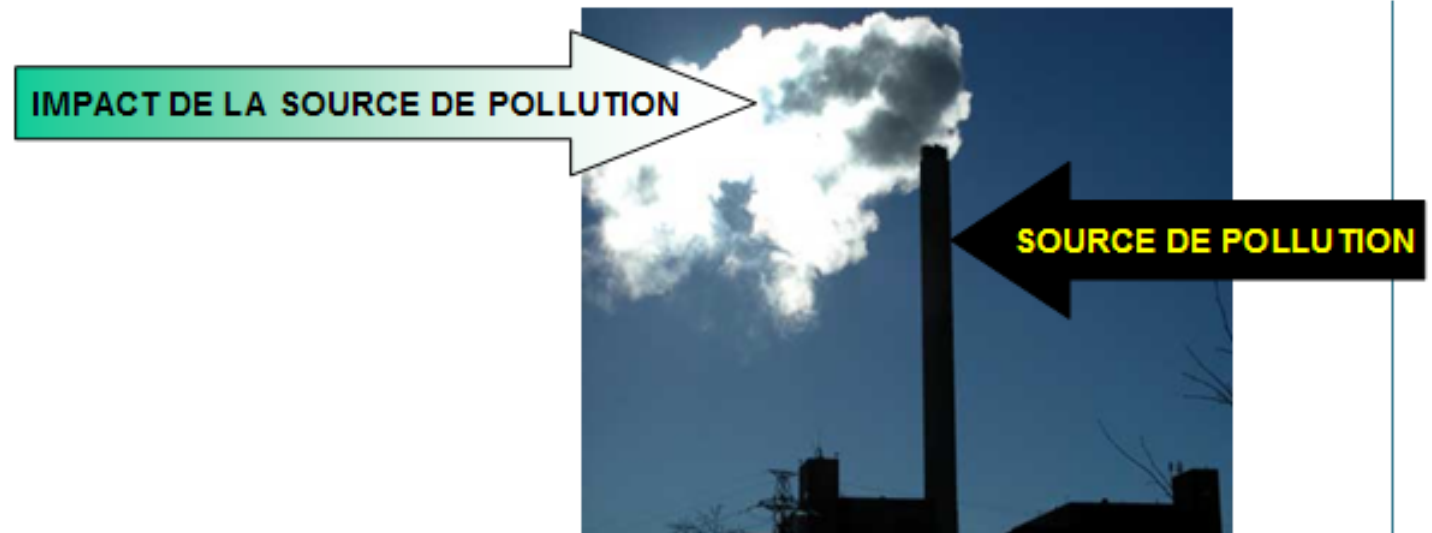
La cheminée, qui émet de la fumée est une source de pollution

Le panache de fumée qui sort de la cheminée représente un impact de la cheminée dans l'air

Dans ce cas, on est dans un contexte où :

- *Le fonctionnement des installations conduit à des émissions permanentes : sources de pollution*
- *Les sources sont traitées dans des installations dédiées*
- *Les émissions résiduelles sont contrôlées (ainsi que leur impact)*
- *L'étude d'impact (régulièrement actualisée pour les installations IPPC) a établi l'acceptabilité des impacts sanitaires et environnementaux*

Au dessus de la surface du sol



La cheminée, qui émet de la fumée est une source de pollution

Le panache de fumée qui sort de la cheminée représente un impact de la cheminée dans l'air

L'ensemble du dispositif

- *Technique et organisationnel*
- *L'encadrement réglementaire*
- *La réduction permanente des émissions...*

permet de garantir l'acceptabilité des impacts sur le plan sanitaire et environnemental alors que la source est en fonctionnement

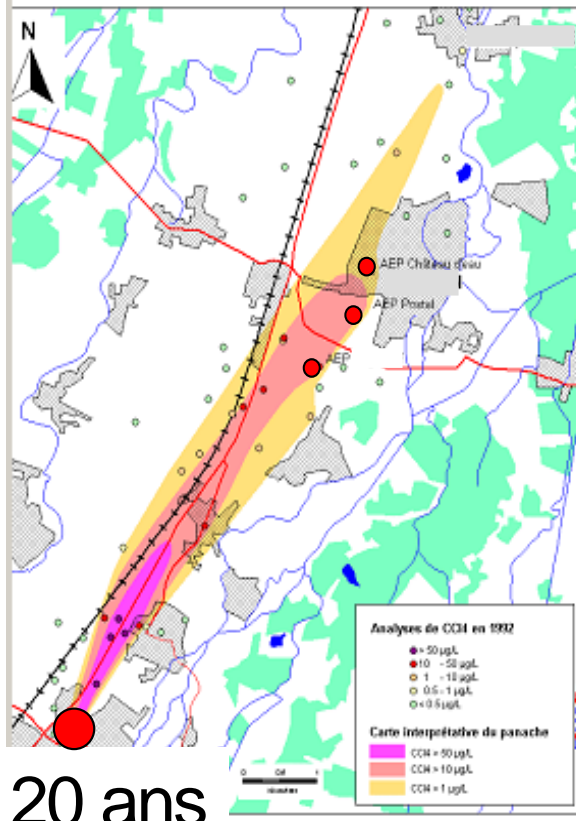
Dans le monde souterrain... « couper le robinet est nécessaire mais pas suffisant »

1) La source est intimement liée à la porosité du sol, sources et impacts sont tributaires de la structure du milieu poreux souterrain (\neq rejets air, eaux de surface),

2) Rémanence des sources et impacts sur le longues périodes de temps ($> 10-100$ ans),

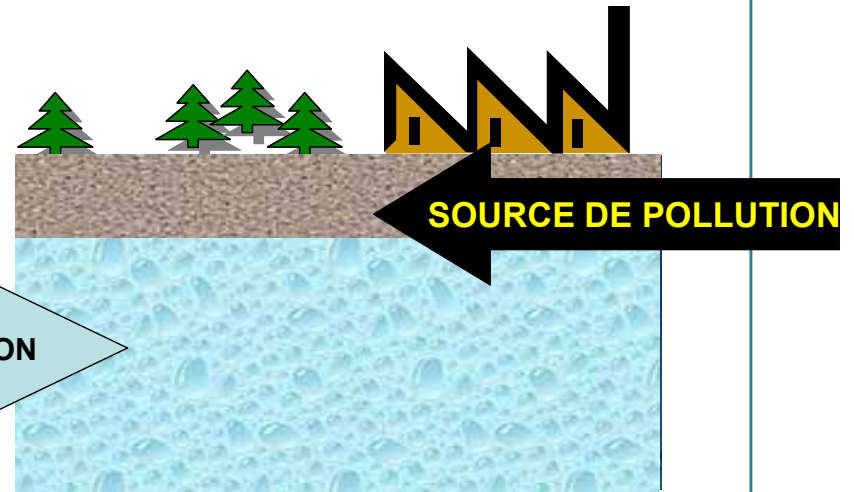
3) Grande variabilité spatiale et temporelle de phénomènes continus et complexes dont nous n'avons pas accès ou de façon très ponctuelles \rightarrow incertitudes :

- *On ne sait pas toujours bien où elle est localisée,*
- *On ne sait pas toujours bien si elle est en phase d'expansion, de stabilisation ou de régression,*
- *On ne sait pas si (ni comment) elle affecte d'autres milieux...*



20 ans

IMPACT DE LA SOURCE DE POLLUTION



→ *On est là dans un mode de fonctionnement qu'on ne maîtrise pas ou mal...et qu'on se doit de maîtriser.*

Que doit-on faire pour se placer dans une situation où l'on maîtrise suffisamment les différents paramètres pour (s')assurer du contrôle de la situation ?

On a besoin de connaître l'évènement à l'origine du problème pour savoir :

1. S'il est **toujours actif**

- > Une pollution des sols, des eaux souterraines **n'est pas une « fatalité »** : Elle résulte de la défaillance d'installations, d'accidents...
- > Elle peut être :
 - « **Historique** » une défaillance du passé, qui peut-être perdure encore
 - **Récente**...une défaillance d'aujourd'hui qui risque de perdurer
 - **Ou encore alimentée**...fuite diffuse en cours non identifiée

2. S'il peut être **supprimé / neutralisé**

- > Quelles sont les conséquences au niveau des autres milieux ?
- > La situation peut-elle être améliorée et dans quelles conditions ?

Ce qui est attendu :

1. On ne PEUT PAS laisser une pollution sur laquelle on peut agir

2. Supprimer / désactiver le facteur à l'origine du problème et préserver les intérêts menacés :

- > Santé publique
- > Qualité des milieux

Contexte de gestion au cas par cas



Plan

- > I - Notions de source de pollution et d'impact
- > II - Zones sources de pollution : pourquoi et comment gérer ?
- > III - « Délimitation » et maîtrise de la source de pollution et de son impact
- > IV - Exemple : cas d'un site avec une source importante et un impact faible

Zones sources de pollution :

Pourquoi & comment gérer ?



Paramètres à considérer dans la « délimitation » de la source de pollution et de son impact

Une définition technique possible de la source est « un domaine du milieu poreux souterrain qui renferme des substances polluantes intrinsèquement dangereuses et qui sont émises hors du domaine vers des milieux de transfert et/ou d'exposition » : émissions gazeuses (ZS, ZNS), émissions aqueuses.

La configuration, la dynamique, et la rémanence des sources et impacts dépendent de 3 grandes catégories de facteurs :

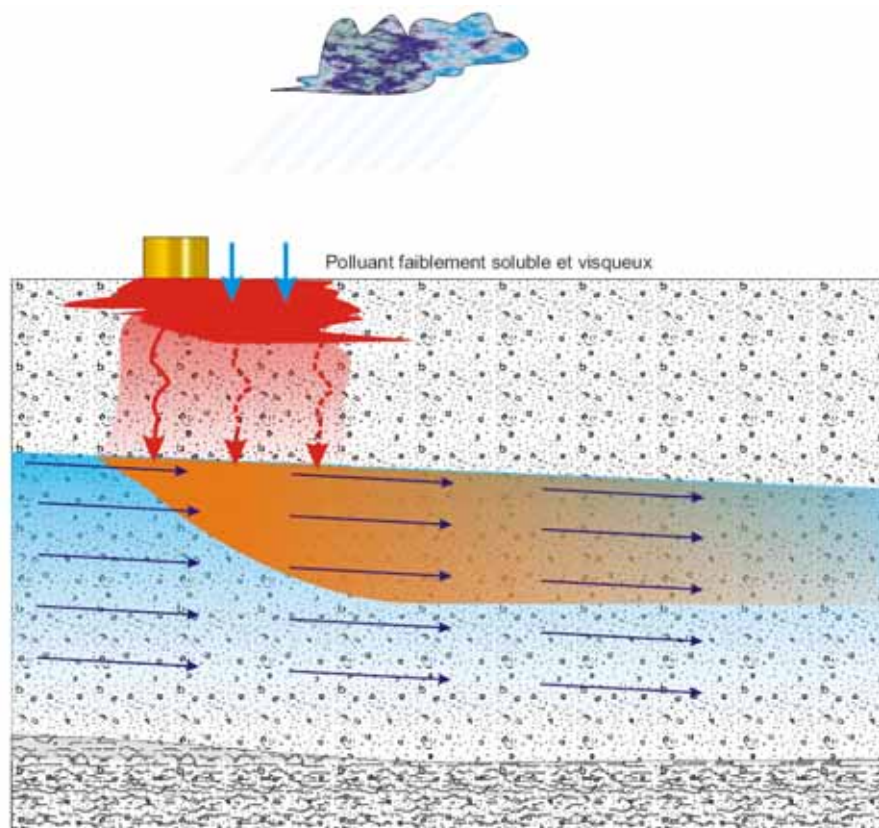
- 1) Des propriétés intrinsèques des polluants (mobilité / persistance / toxicité) : **le contenu,**
- 2) Des propriétés du milieu poreux (nature, structure, perméabilités, etc.) et de la dynamique des fluides interstitiels qui l'occupent (eau, gaz du sol) : **le contenant,**
- 3) Des conditions physico chimiques voire microbiologiques du milieu : **le chef d'orchestre.**

Source en zone non saturée : polluants organiques ou inorganiques

Mobilisation des fractions solubles

- par infiltrations des pluies efficaces.
- par battement de nappe.
- métaux, HAP, hydrocarbures, BTEX, COHV, nitrates, etc.

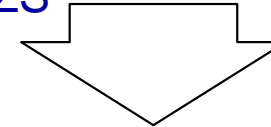
Mobilisation des fractions volatiles



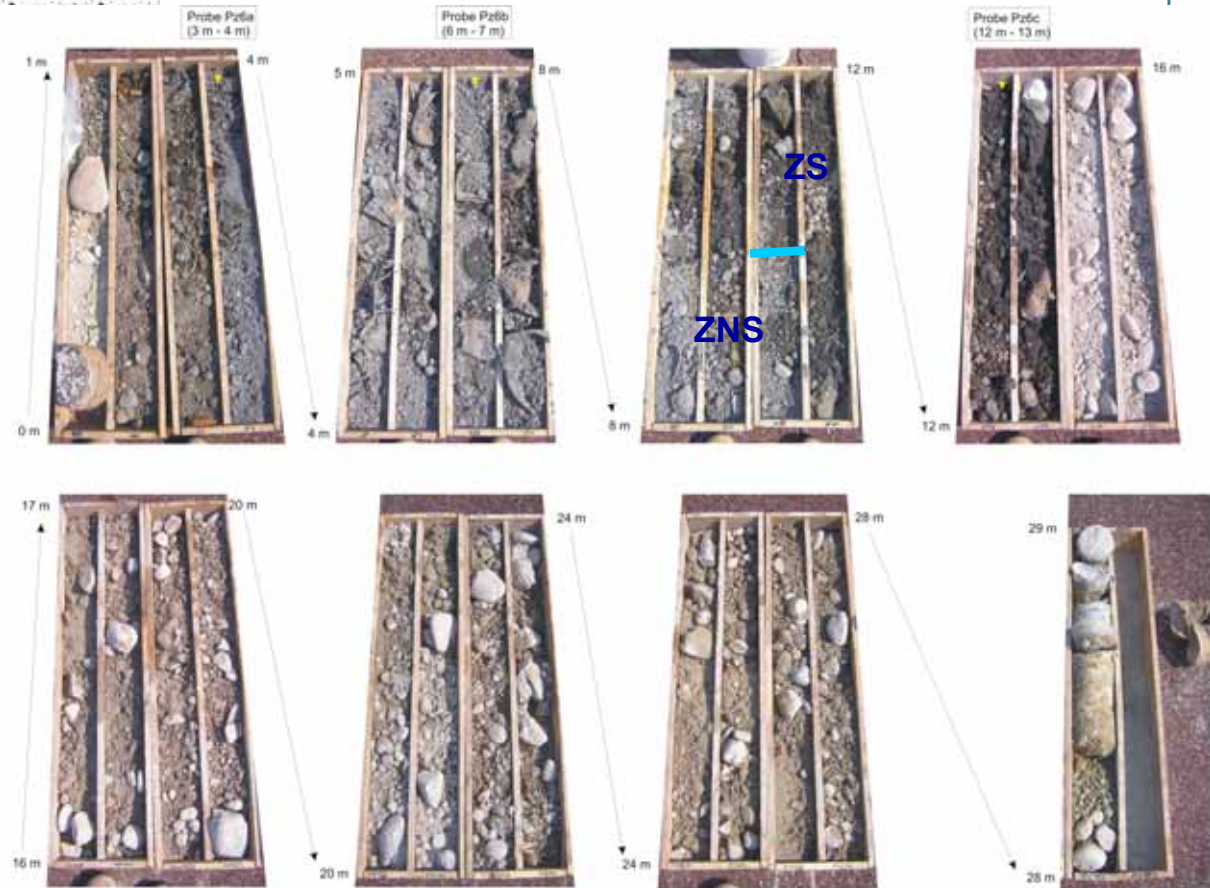
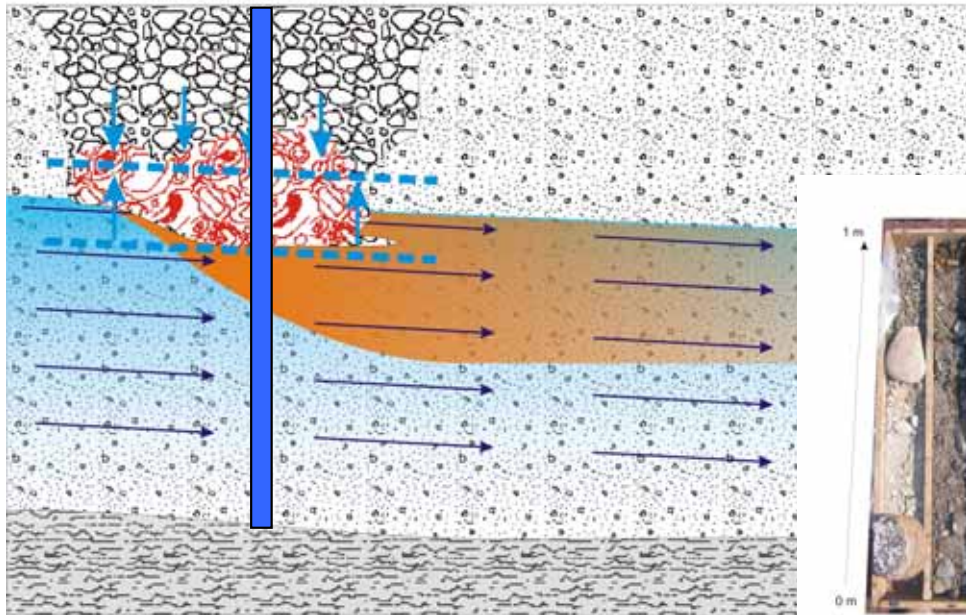
Pertinence d'un diagnostic ciblé
et proportionné à l'identification
et la caractérisation des zones
sources



Massif de 14 m de mâchefers +
déchets industriels disséminés
Dont 5 m en ZS



Ancienne gravière remblayée



Source solide, interface zone non saturée / saturée : polluants organiques ou inorganiques des remblais. Mobilisation des fractions solubles

- par infiltrations des pluies efficaces
- par battement de nappe.

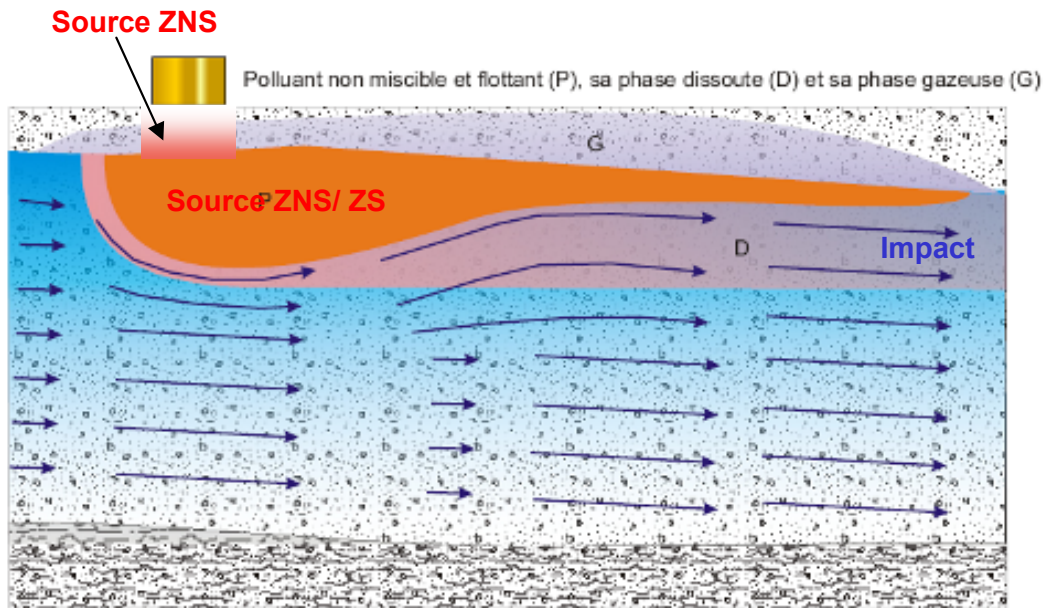
Des remblais qui émettent

Panache (xylidines
et toluenesulfonamides,
barbituriques, etc.)



- Puits AEI
- Piézomètre mis en place en août-septembre 2005
- Piézomètre mis en place en 1994
- Piézomètre d'autosurveillance de la société FISCHBACH
- Piézomètre du territoire suisse

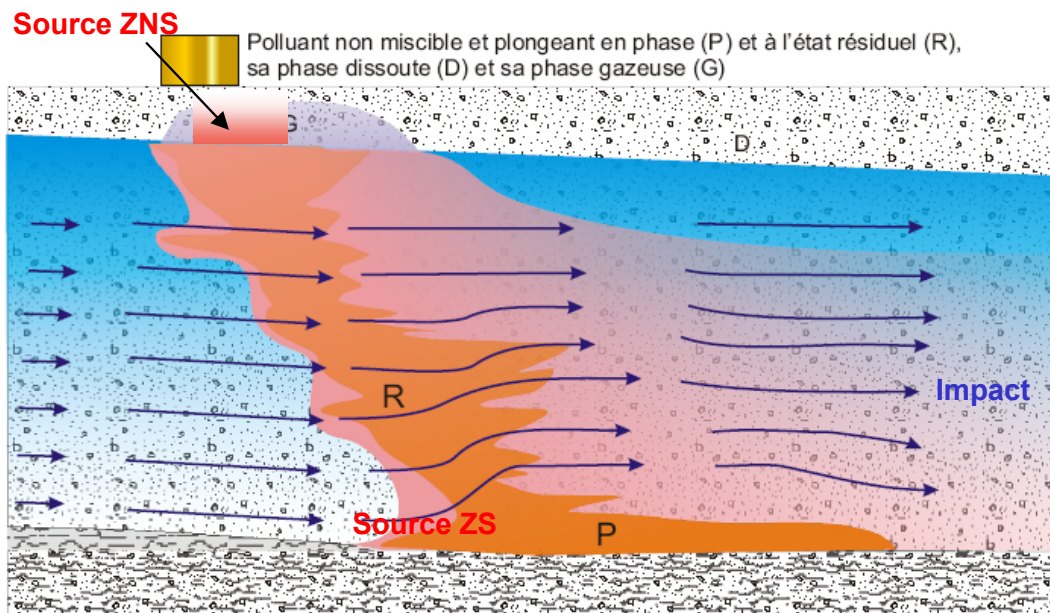
0 100 m



**Source à l'interface ZS / ZNS :
polluants organiques.**
Mobilisation des fractions
solubles

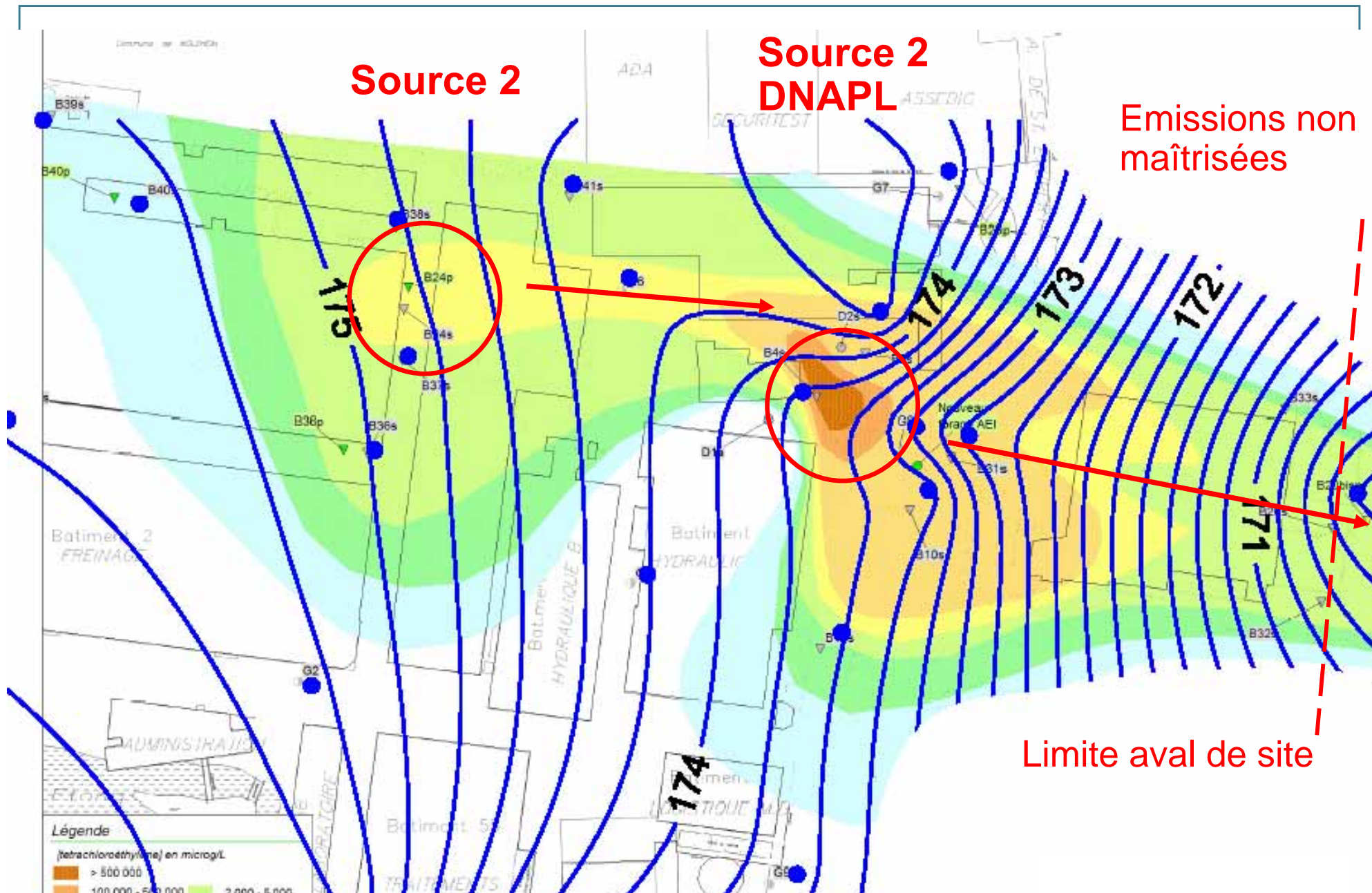
→ par dissolution par le flux des
eaux souterraines au contact
huile-eau
→ hydrocarbures, BTEX,

Mobilisation des fractions
volatiles



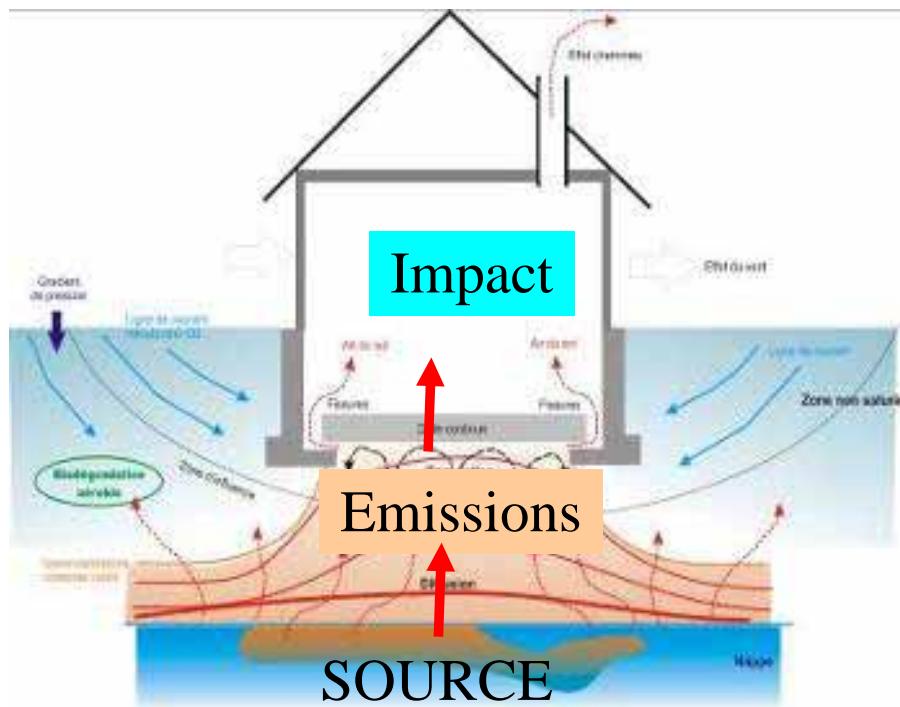
**Source en ZS : polluants
organiques.**
Mobilisation des fractions
solubles

→ par dissolution par le flux des
eaux souterraines au contact
huile - eau
→ COHV, créosotes, goudrons,
..

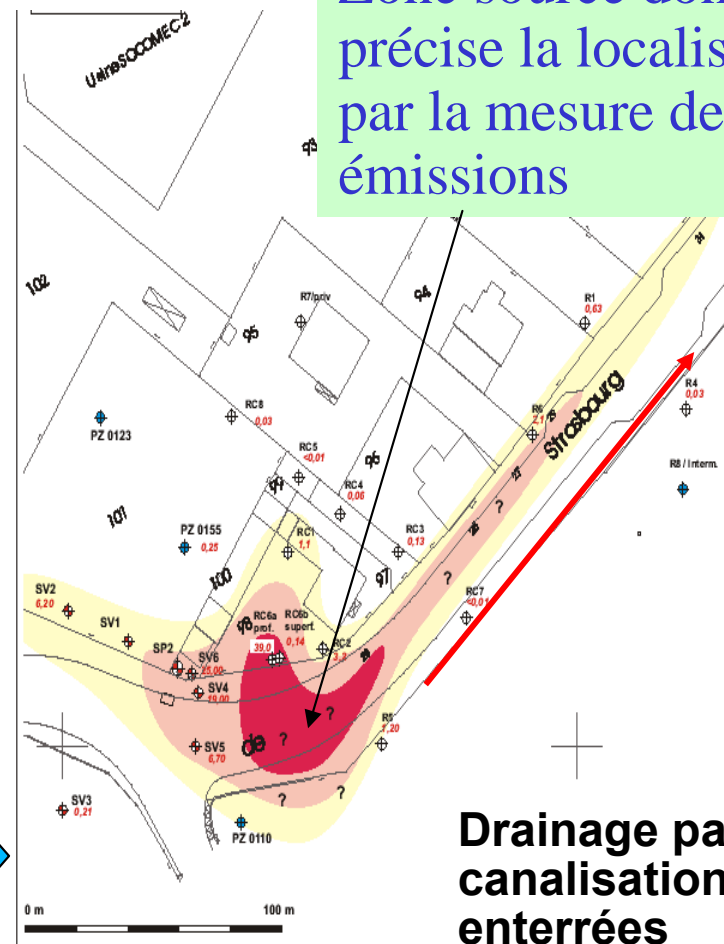


Sources et émissions gazeuses

- Milieu très dynamique et complexe (ZNS, système di-triphasique),
- Migration par convection,
- Tributaire des structures et des gradients de pressions.



Zone source dont on précise la localisation par la mesure des émissions



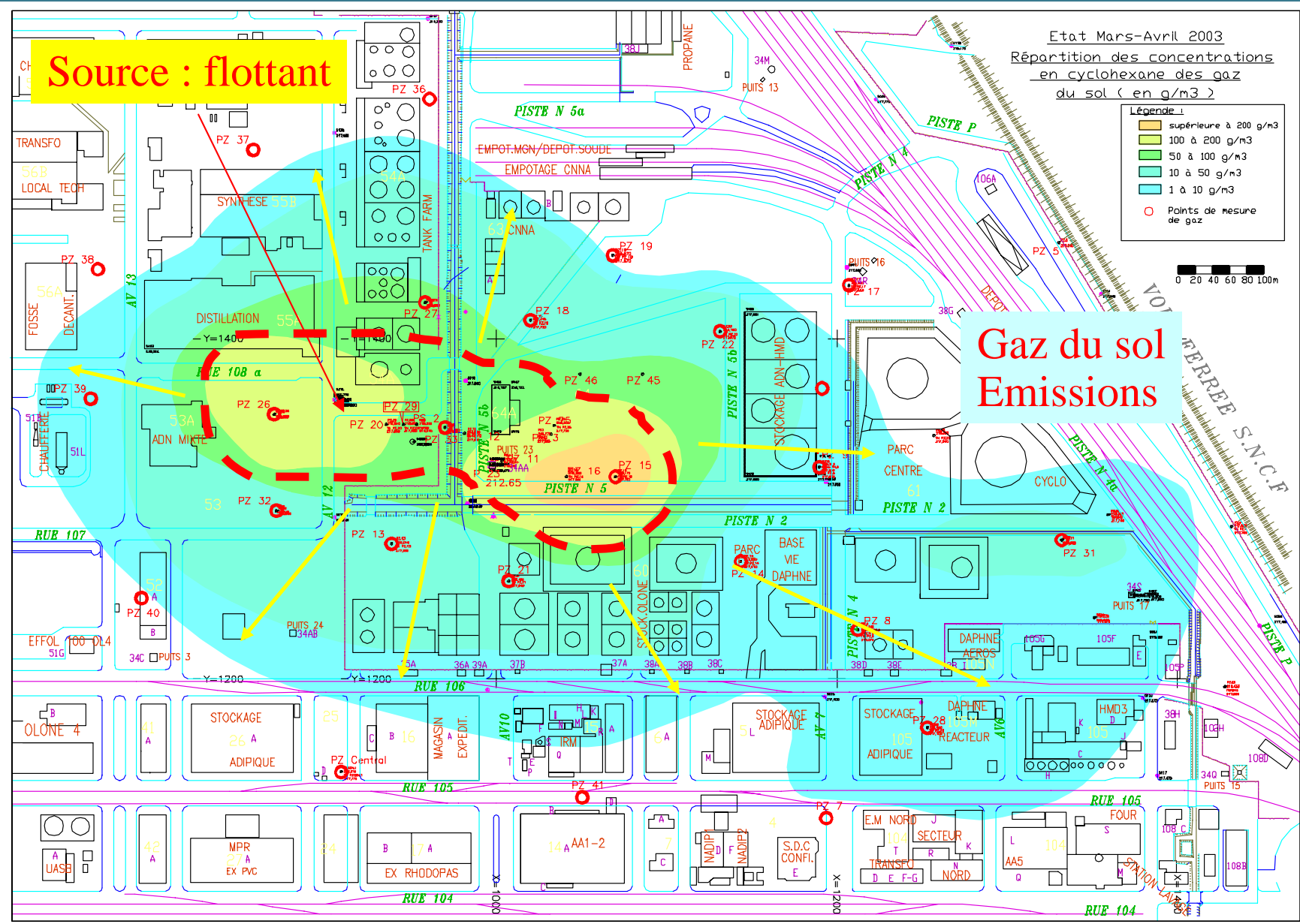
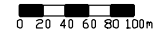
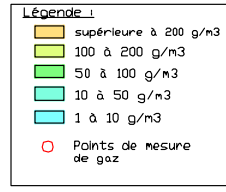
Drainage par des canalisations enterrées

Distribution du tétrachlorométhane dans les gaz du sol à Benfeld (67)

Service EPI/SSP

Source : flottant

Etat Mars-Avril 2003
Répartition des concentrations
en cyclohexane des gaz
du sol (en g/m3)

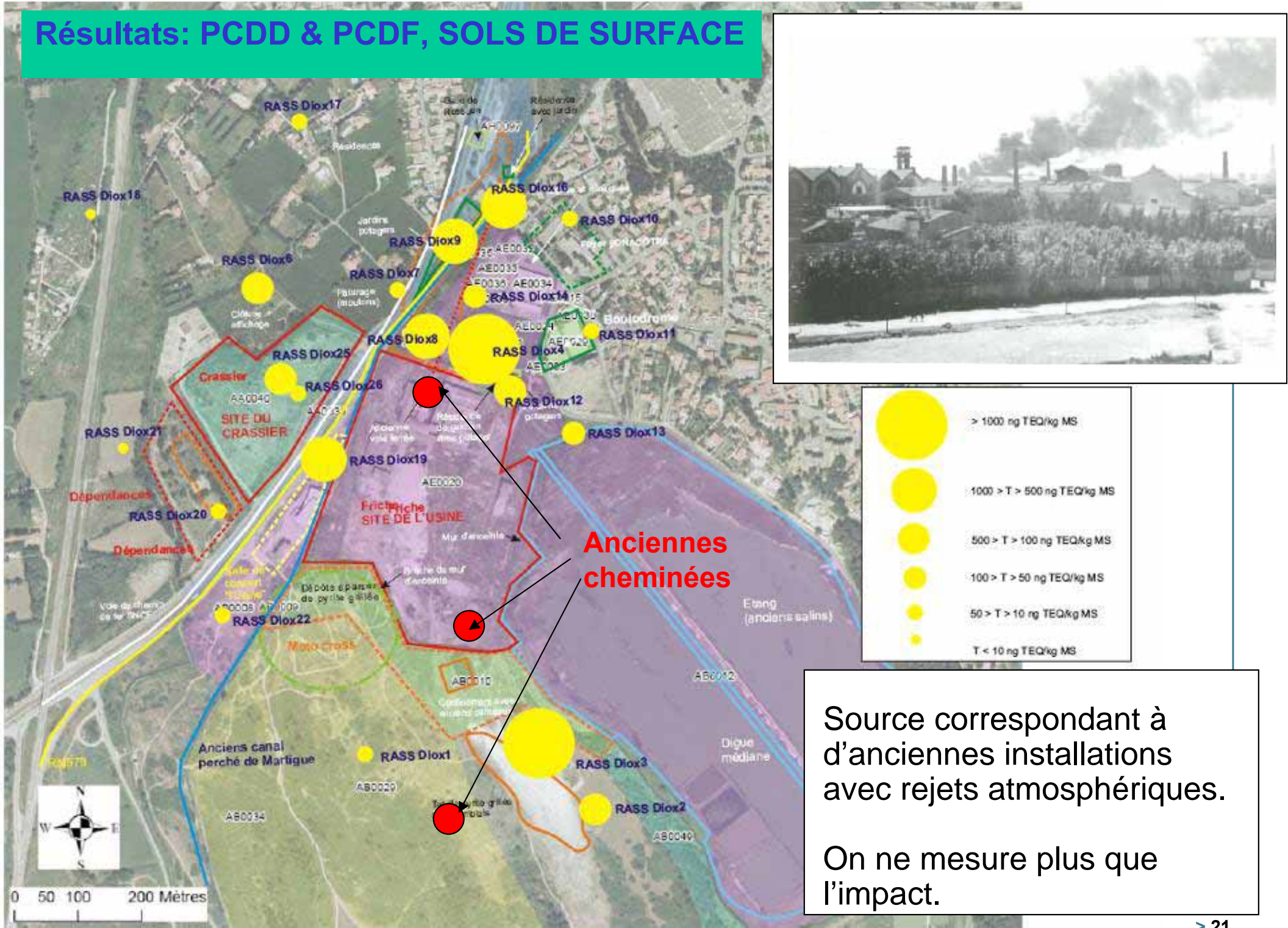


Gaz du sol
Emissions

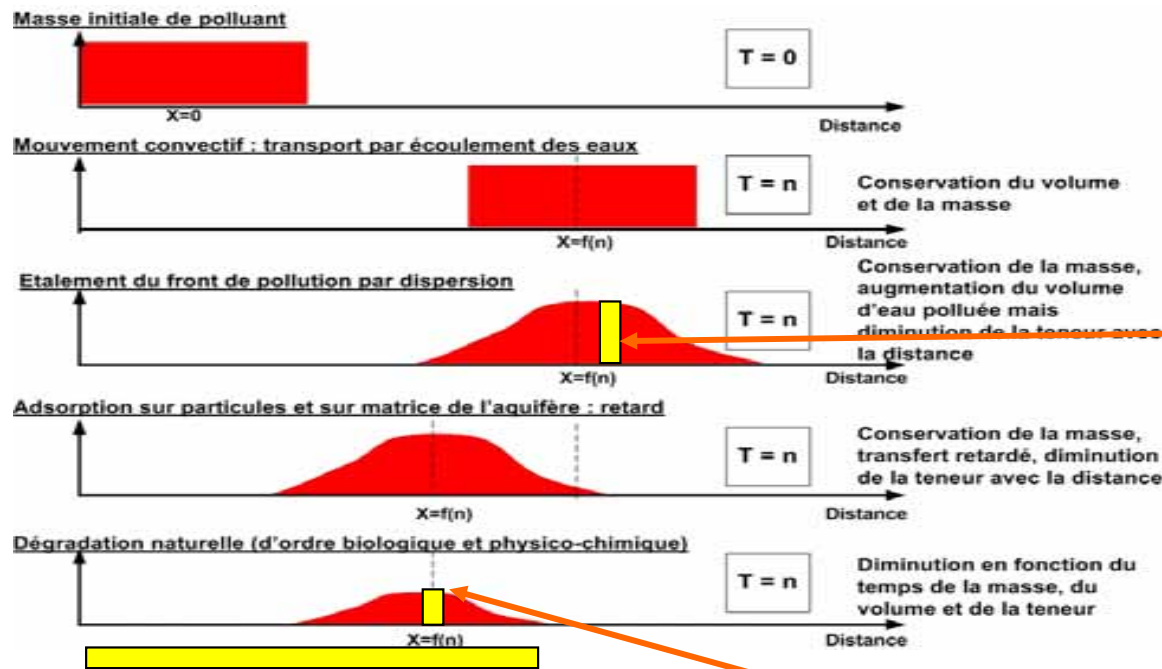
Hydrocarbures volatils : Cyclane



Résultats: PCDD & PCDF, SOLS DE SURFACE



Source & impacts : les 3 dimensions

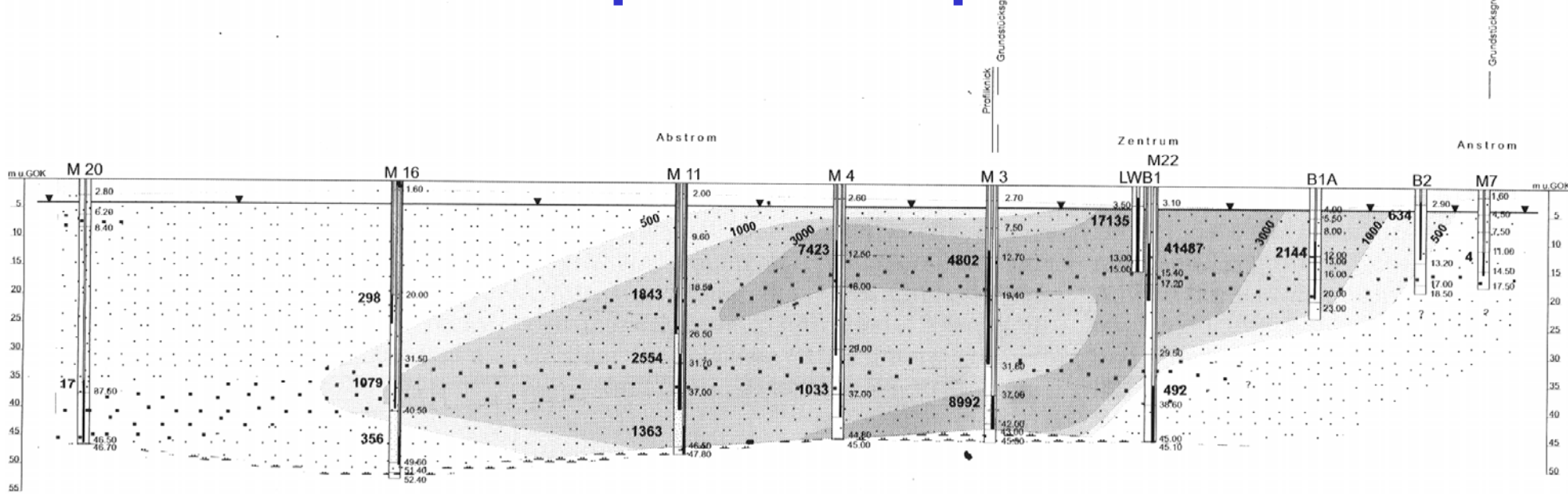


L'amplitude de l'impact (concentrations max)

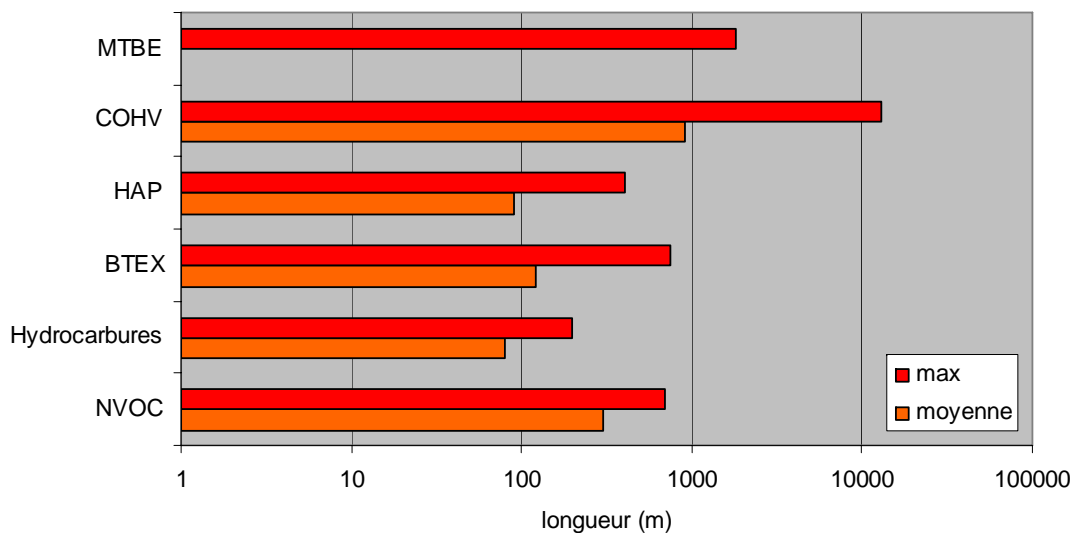
La durée de l'impact

La portée / étendue de l'impact (volumes impacts)

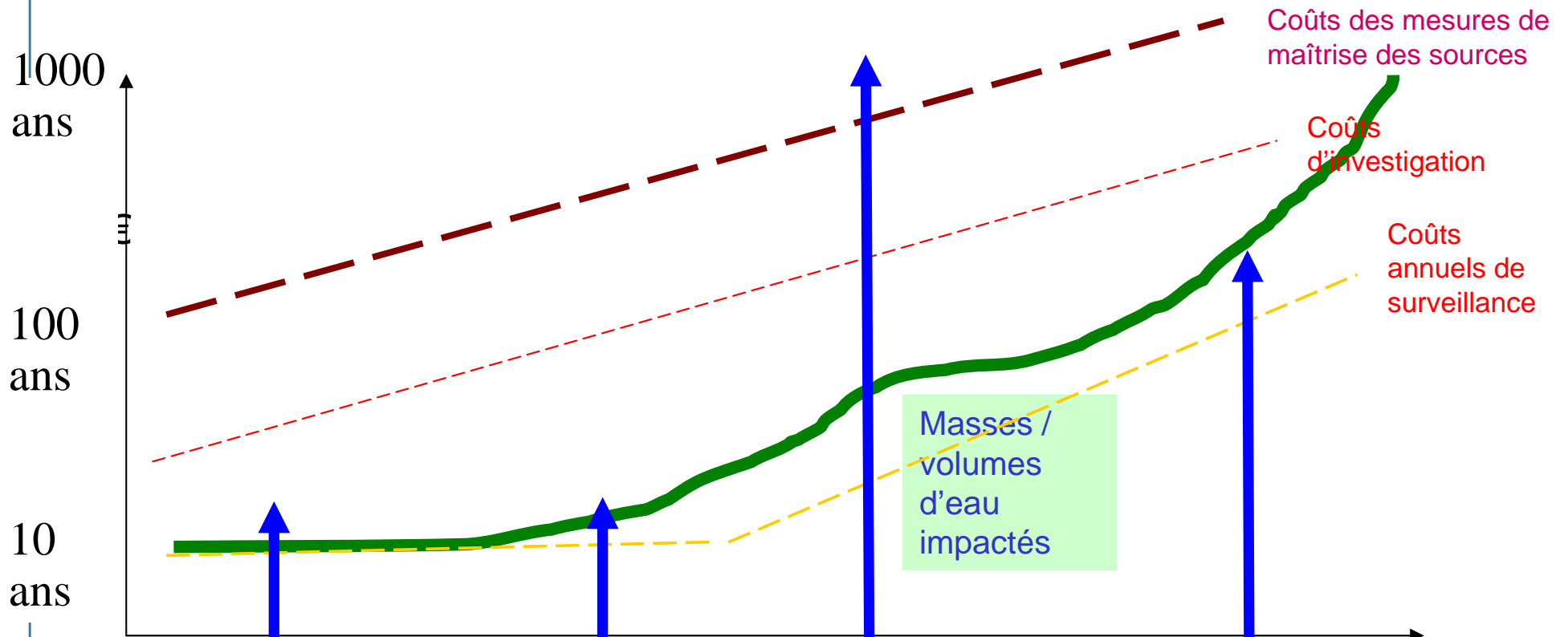
NW Masses d'eau impactées et portées E



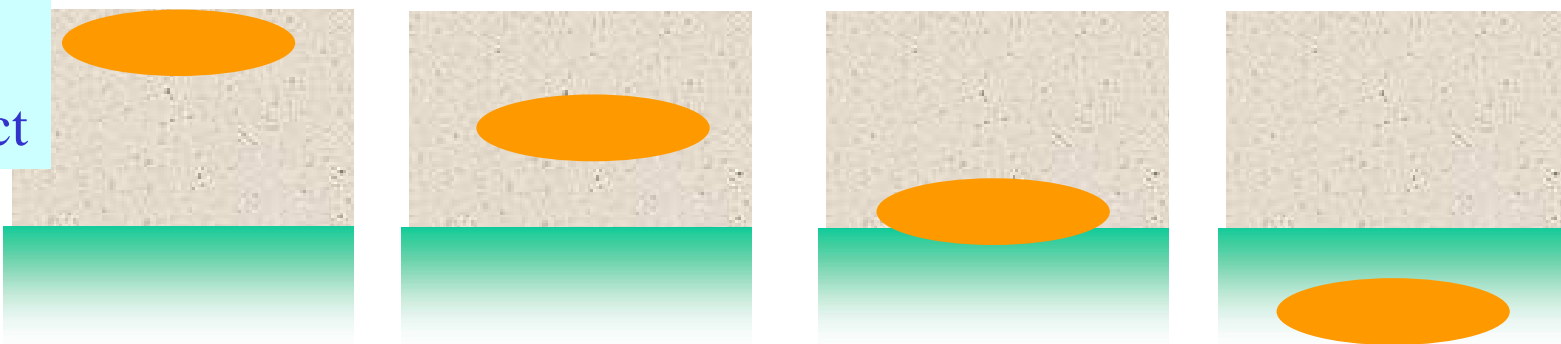
longueur moyenne et maximale des panaches (m) (d'après Stupp & Paus (1999) modifié et Christensen et al. (2001)) NVOC = Non Volatil Organic Carbon



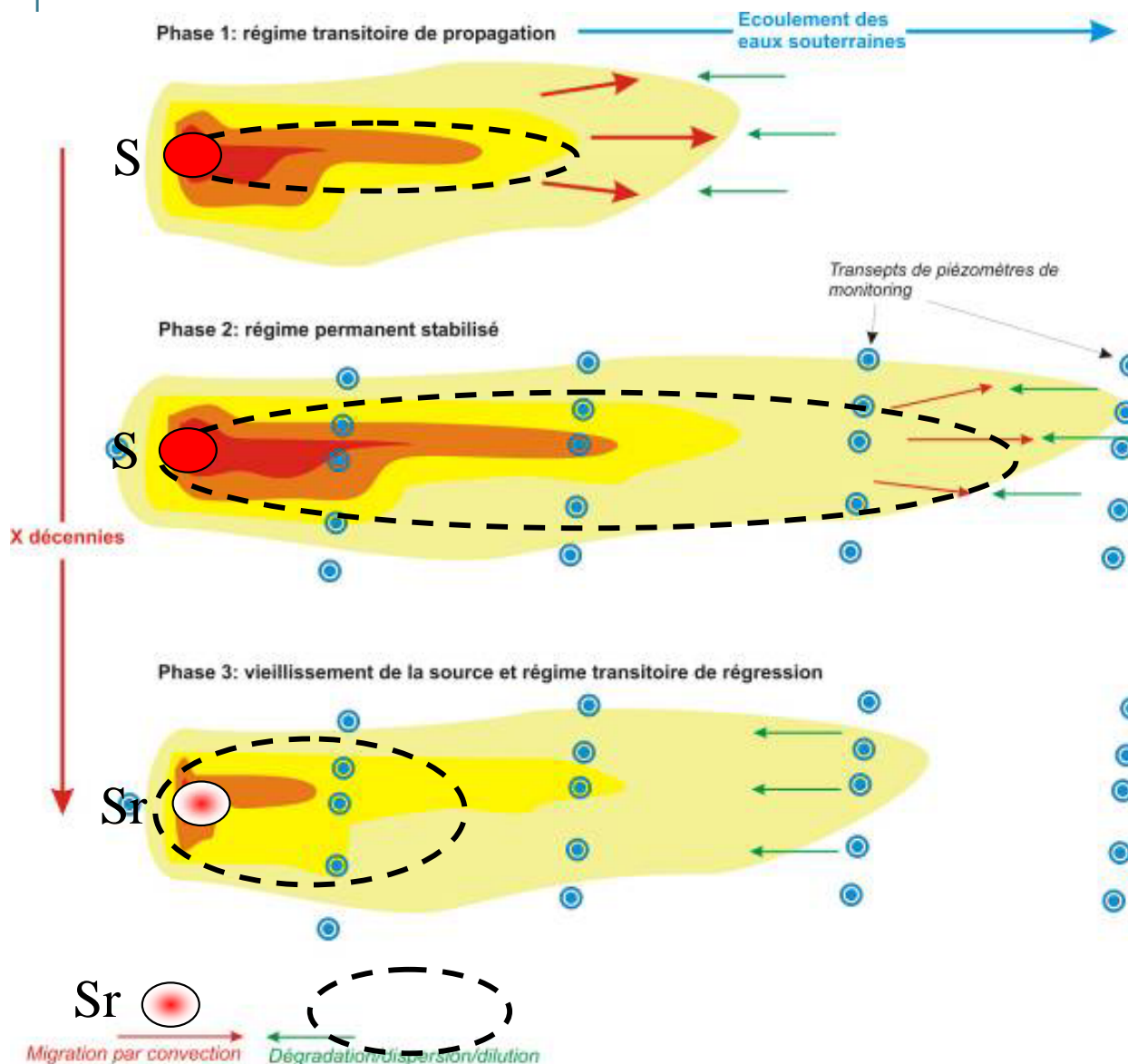
Panache de COHV en nappe. L'évolution du panache se fait également verticalement.



Durée de l'impact



Relations source – impact (1)



- **Propagation de la zone d'impacts (état transitoire)** / immission à la source

- **Stabilisation de la zone d'impact (état permanent « steady state »)** / source stabilisé à l'équilibre, émission des fractions mobilisables. Cas de la majorité des pollutions historiques.

- **Régression de la zone d'impact (état transitoire « shrinkage »)** / vieillissement de la source, épuisement du stock mobilisable, état résiduel.

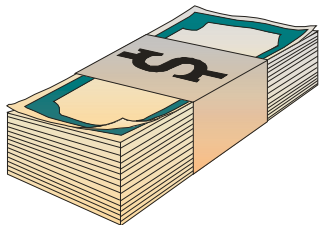
Relations source – impact (2)

Toute modification des conditions physico-chimiques et/ou hydrogéologiques de l'équilibre dans lequel s'inscrivent les sources stabilisées peut avoir pour conséquences une réactivation des émissions et un passage en un nouvel état transitoire (dégradé ou amélioré) (ex. : variations de l'écoulement de la nappe et/ou déplacement des équilibres de dissolution).

→ **Le qualificatif de zone source et de zone source maîtrisée est indissociable du contexte dans lequel s'inscrit la source au moment de son observation.**

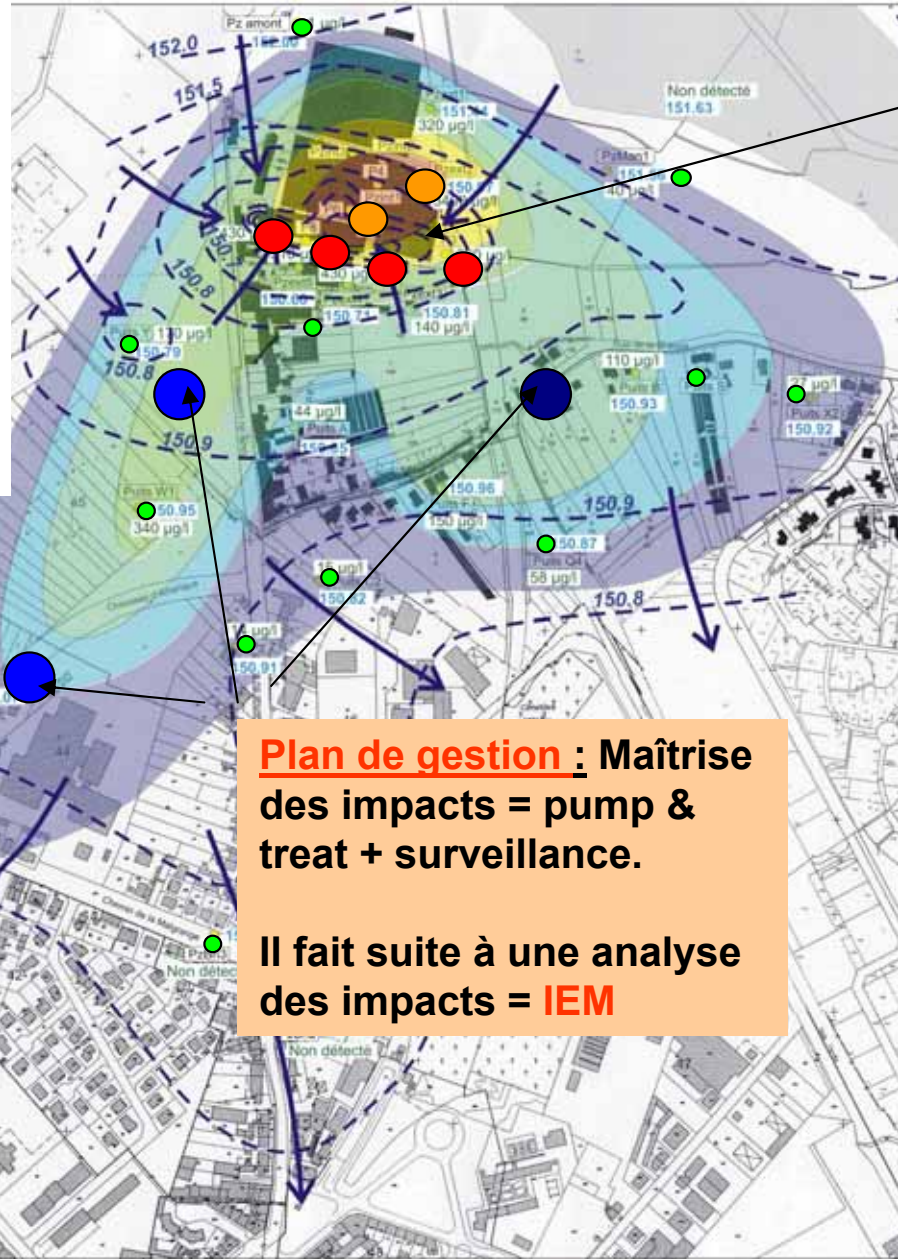
Pourquoi identifier et gérer les sources ?

- 1) A l'origine d'**émissions** de polluants potentiellement dangereux susceptibles de **dégrader durablement la qualité des milieux** et la libre jouissance de leurs **usages**,
- 2) **Une sources non maîtrisée** → impacts sur de longues périodes de temps (> 10-100 ans),
- 3) Les coûts (€/g de polluant) et moyens à mettre en œuvre pour récupérer les pollutions en nappe augmentent avec le temps, la dispersion et la dilution,
- 4) La **maîtrise des impacts et transferts ne sont bien souvent économiquement et techniquement faisables et viables que s'ils s'accompagnent d'une maîtrise des sources.**



Service EPI/SSP

- Puits de fixation aval et traitement venturi
- Barrière hydraulique et traitement stripping
- Puits mixte pompage/venting



Plan de gestion :
Maîtrise de la source +
maîtrise des transferts
= confinement +



Plan de gestion : Maîtrise des impacts = pump & treat + surveillance.
 Il fait suite à une analyse des impacts = **IEM**

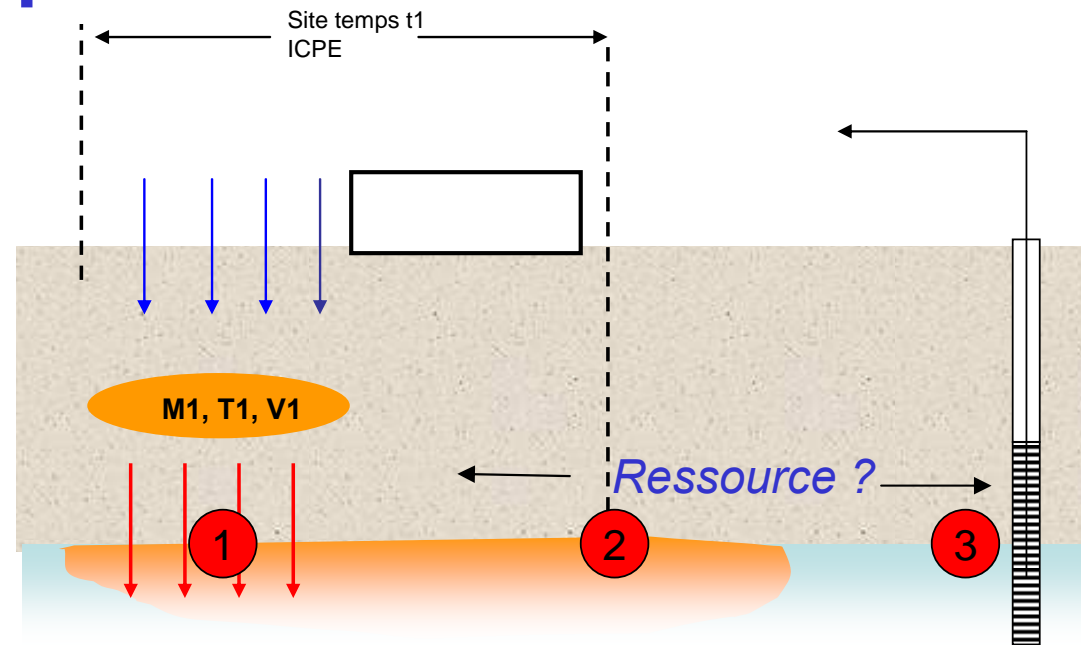


Plan de gestion :
 on surveille
 eaux, végétaux
 et viande

Comment identifier les sources ?

- 1) ***C'est démontrer la présence d'émissions polluantes (gaz et/ou eau) attribuables à un domaine du milieu souterrain bien précis renfermant ces polluants,***
- 2) *Spatialement : sources ponctuelles # sources diffuses,*
- 3) *Temporellement : sources chroniques/graduelle # source accidentelle,*
- 4) ***C'est la combinaison de techniques d'investigations directes et/ou indirectes qui permet d'identifier, de circonscrire et caractériser quantitativement et qualitativement les zones sources :***
 - *sondages de reconnaissance / échantillons sols / analyses,*
 - *piézomètres, piézairs / échantillons eau/gaz / analyses,*
 - *mesures indirectes géophysiques,*
 - *MIP type Geoprobe © hydrocarbures et/ou COHV,*
 - *essais (tests d'extraction gaz et/ou eau, « baildown test », lixiviation, etc.).*

Identifier source – impact



- 1) Point de mesure **qualifiant la zone source**, transition immission / émission (« SOURCE »)
- 2) Point de mesure **qualifiant la zone source non maîtrisée**, transition sur site / hors site (« TRANSFERTS »)
- 3) Point **qualifiant l'impact** transition milieu / usages (« CIBLES »)

Certaines sources sont difficiles à localiser et/ou caractériser; on ne mesure que l'impact (ex. : COHV)

Comment caractériser l'évolution des sources ?

1) **Prise en compte des caractéristiques physico chimiques des polluants, du milieu poreux hôte, et de la variabilité spatiale et temporelle des phénomènes dynamiques susceptibles de mobiliser les polluants.**

2) **Potentiel d'émission vers la nappe et/ou air du sol (vieillissement par mobilisation aqueuse / gazeuse) :** mesures (bougies poreuses, lysimètres, etc.) et/ou modélisation des transferts en ZNS ; protocoles (par ex. : « Sickerwasserprognose » de la Loi allemande sur la protection des sols « Bodenschutzgesetz » des Eaux),

3) **Potentiel d'émission d'atténuation (vieillissement par dégradation) :** protocoles multi-approches comme MACAOH (BURGEAP/ADEME), ATTENA (BRGM/ADEME/...), protocoles étrangers, etc.

Comment gérer et maîtriser les sources ? (1)

Dépollution :

→ **excavation** (*mesures sécurisation HSE*) et traitement sur site, hors site,

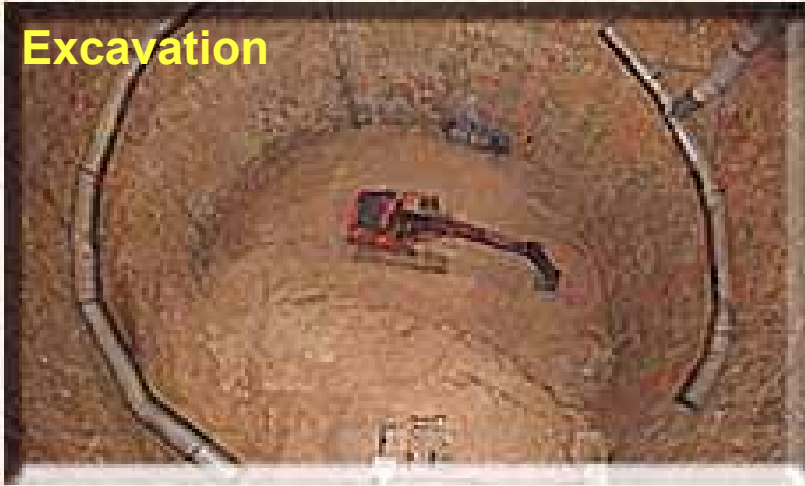
→ **extraction fluide** et traitement sur site et/ou hors site : pompage / écrémage ou «slurping»/aspiration simples ou multi-phases, venting, air-sparging, avec ou sans soutien (thermique, chimique/tensio-actifs, etc.),

→ **in situ** par des techniques physico-chimiques (oxydation iSOC, ISCO, etc.), affinées par des techniques biologiques,

→ **gestion des incertitudes** : dimensionnement en conséquence, unités souples et modulables capables de s'adapter aux modifications des milieux et/ou charges polluantes dans les nouvelles conditions imposées par la dépollution,

→ la connaissance de la source se précise au cours de la dépollution (monitoring = optimisation du pilotage des installations).

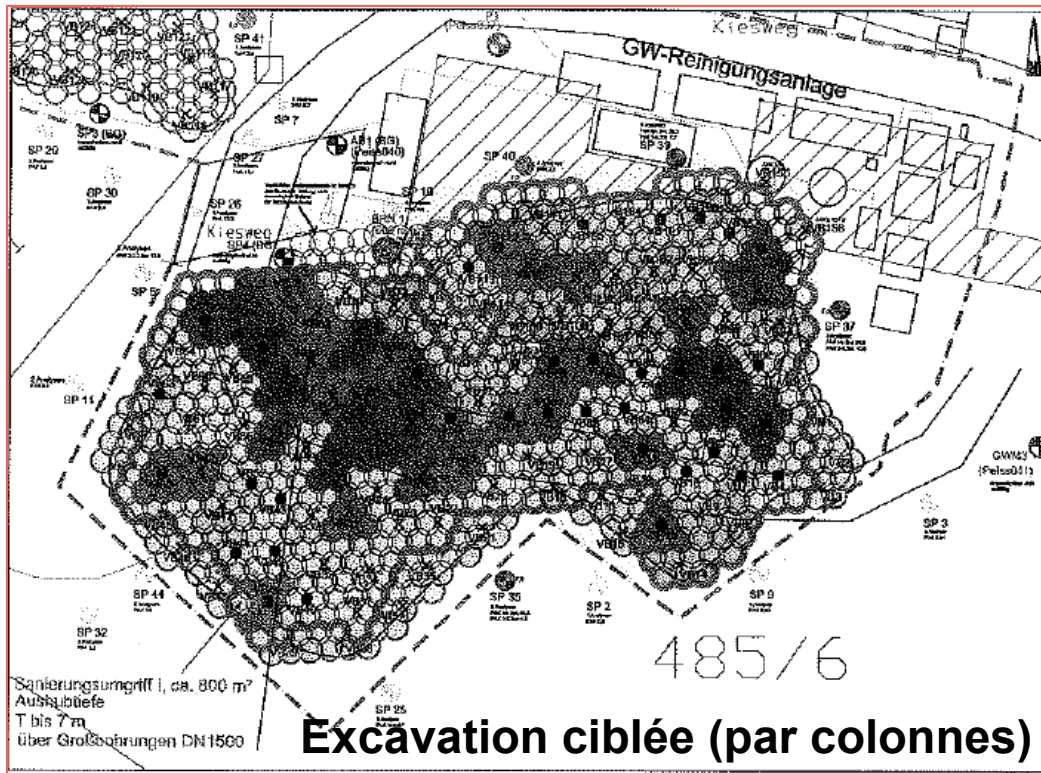
Excavation



Soutien thermique (TUBA)



Pump & treat



Excavation ciblée (par colonnes)



Ecrémage

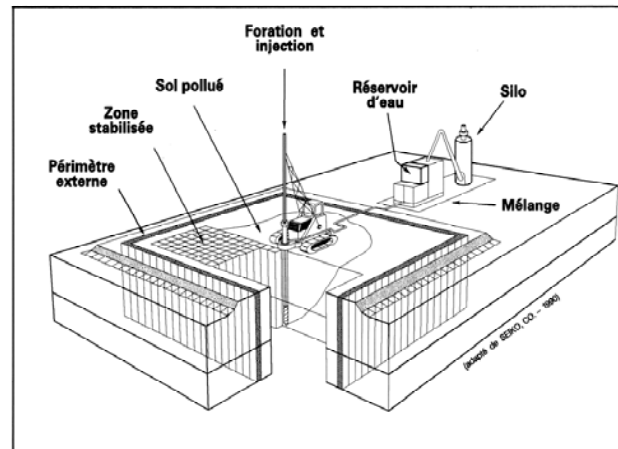
Service EPI/SSP

Vendredi 12/12/2008

Comment gérer et maîtriser les sources ? (2)

Confinement :

→ **couper les émissions**, physiquement (parois moulées, « mise au tombeau ») et/ou hydrauliquement / pneumatiquement (fixation par pompage & traitement),



→ **supprimer ou réduire les mécanismes à l'origine de la mobilisation des polluants** : dénoyage, stabilisation, recouvrement imperméables,

→ le confinement suppose la mise en place de servitudes, qui constituent un moyen technique et réglementaire de gestion des sources résiduelles mais peuvent être perçues comme des contraintes juridiques.

Plan

- > I - Notions de source de pollution et d'impact
- > II - Sources de pollution : pourquoi et comment gérer ?
- > III - « Délimitation » et maîtrise de la source de pollution et de son impact
- > IV - Exemple : cas d'un site avec une source importante et un impact faible

Pour agir le plus efficacement possible

Une fois le problème cerné (schéma conceptuel)

> Nous disposons pour agir de technologies et de métrologies :

- qui ont leurs performances / limites
- qui évoluent (s'améliorent) / mais ont un coût
- qui sont adaptées / moins bien adaptées
- qui sont faciles et rapides à mettre en œuvre / lourdes et compliquées...

➔ L'ampleur des actions qui sont mises en œuvre pour maîtriser le problème de pollution dépend donc :

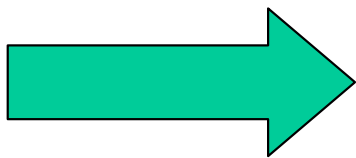
- de la compréhension qu'on en a (schéma conceptuel)
- des moyens qu'on peut mobiliser

ET DE LEUR PERFORMANCES



En pratique, « délimiter » une source

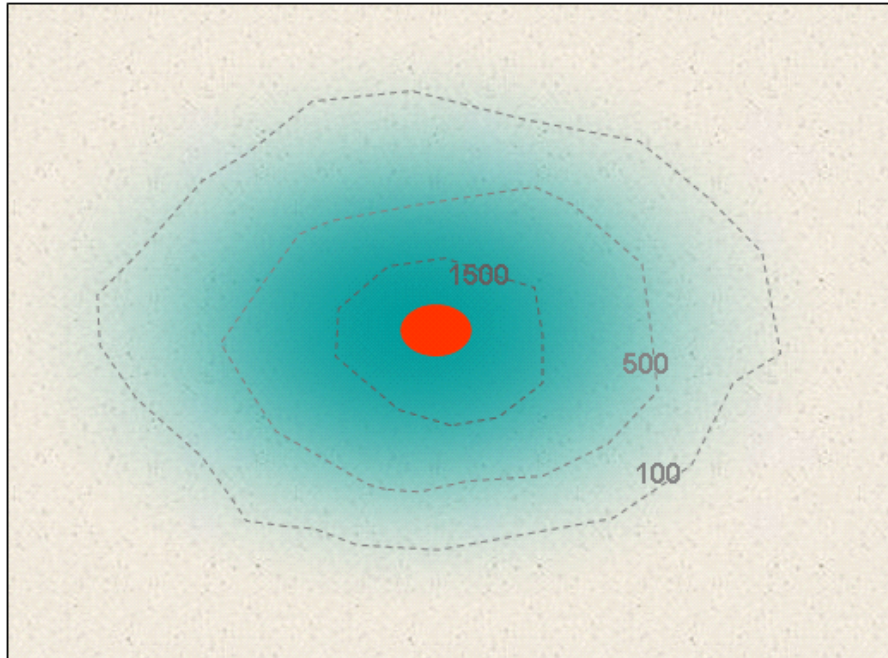
C'est déterminer le périmètre des actions qui doivent être mises en œuvre pour supprimer ou réduire les émissions de polluants en fonction des possibilités technico-économiques qui peuvent être mises en œuvre dans **un contexte donné pour aboutir, à partir d'une situation en dérive, à une situation maîtrisée et adaptée aux enjeux à protéger.**



Exemples



Hot Spot



Sols gorgés de polluants (flottant ou surnageant dans les eaux souterraines) → (hot spot).

On peut rapidement mettre en œuvre des actions pour enlever le plus gros

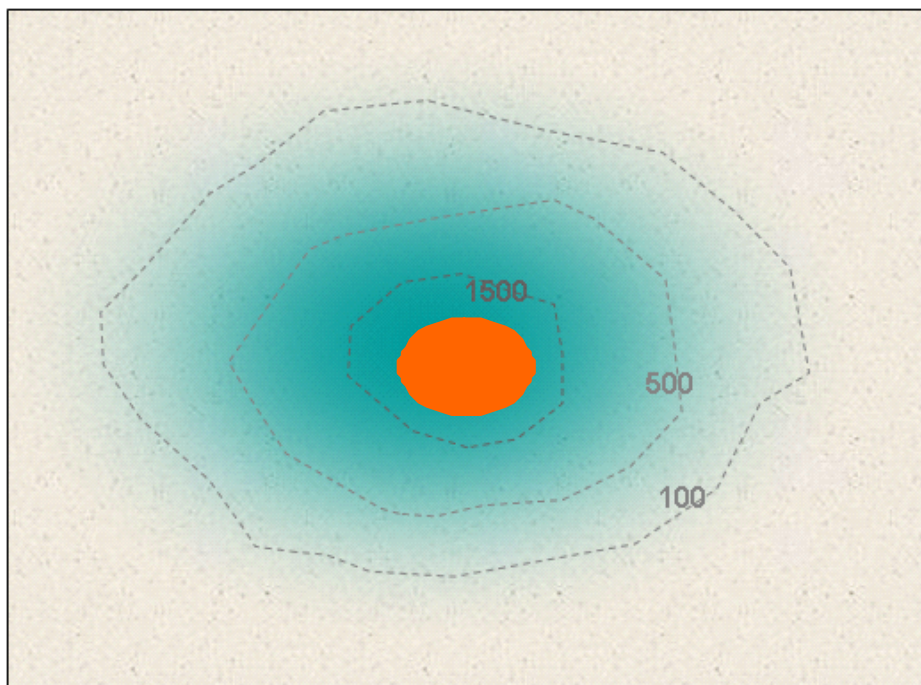
Enlèvement de déchets



Service EP

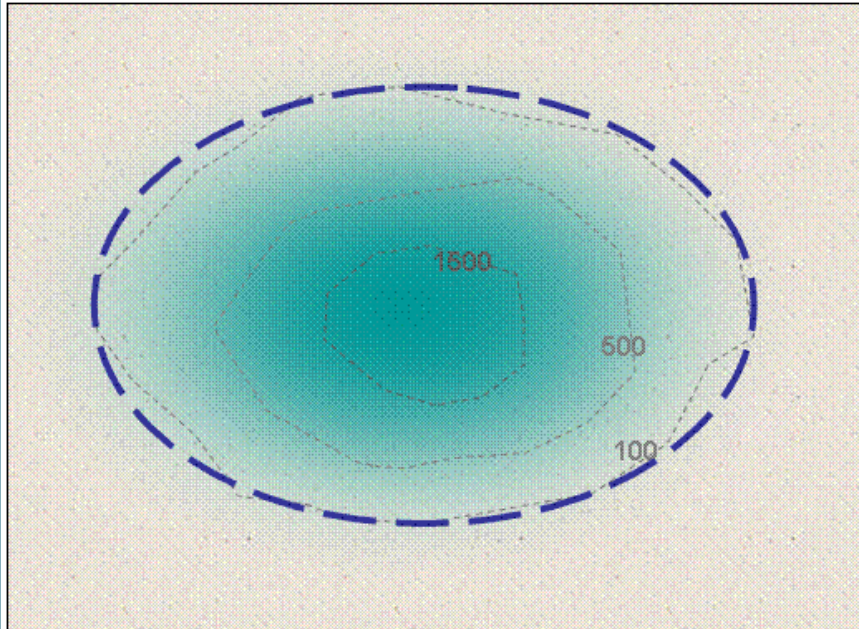


Bilan coûts / avantages



Eliminer la partie la plus concentrée de la source de pollution permet souvent d'éliminer la plus grande partie de son impact.

Il n'est peut-être pas judicieux, compte tenu des performances des techniques disponibles ou des coûts que l'on ne peut pas supporter, de chercher à vouloir aller au-delà du possible.



Inversement, le bilan coût avantage peut conclure à la nécessité de se comparer à un état de référence adapté aux enjeux à protéger qui peut être un fond géochimique.



Service EPI/SSr

Vendredi 12/12/2008

Délimiter un impact

> C'est quoi ?

répondre à la question : à partir de quand et où n'ai-je plus d'impact ?

> En quoi un impact pose-t-il problème ?

Quand il remet en cause un usage du milieu au regard des critères sanitaires édictés au niveau national.

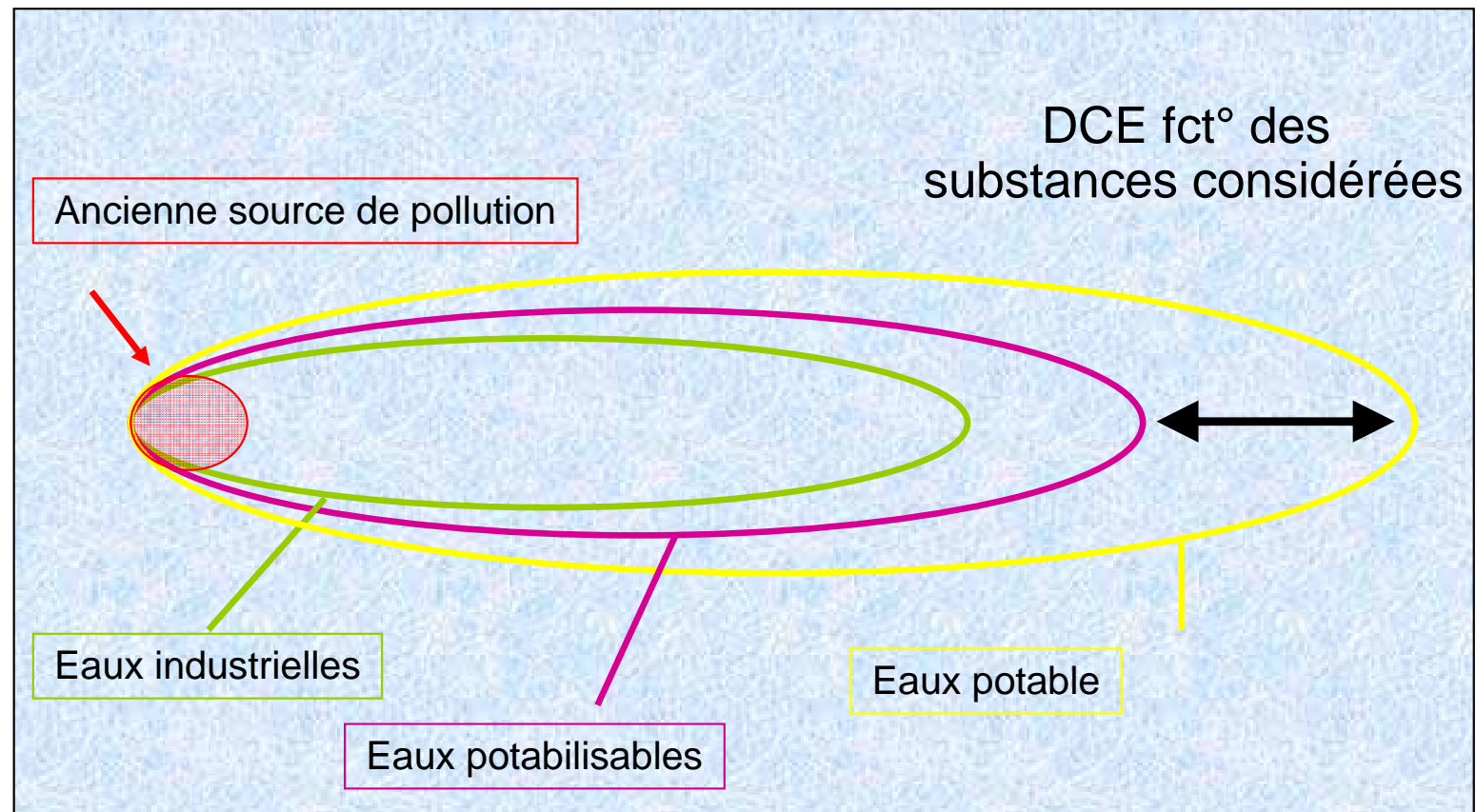


On a un impact là où les usages de milieux sont compromis.



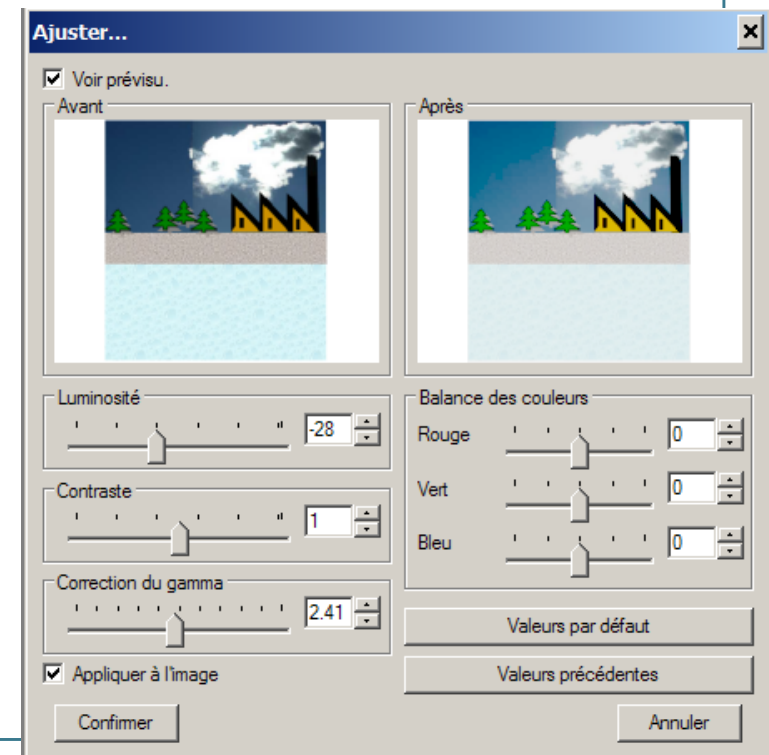
Délimiter un impact

- > La limite de l'acceptabilité des impacts (selon des critères sanitaires ou environnementaux) dépend de l'usage qu'on veut (peut) maintenir ou préserver.



Conclusion

- > **Evaluer l'ampleur de la source à traiter ne se définit pas *a priori***
- > **Résulte de la combinaison de nombreux paramètres**
 - Niveau de connaissance du problème
 - Contexte de gestion : chaque **cas est un cas particulier**
 - Moyens mobilisables
 - Performances techniques possibles
 - **Moyens financiers mobilisables**
- > **Bilan coûts / avantages :**
 - Meilleures positions des curseurs
 - **Processus itératif dans bien des cas**



Plan

- > I - Notions de source de pollution et d'impact
- > II - Zones sources de pollution : pourquoi et comment gérer ?
- > III - « Délimitation » et maîtrise de la source de pollution et de son impact
- > IV - Exemple : cas d'un site avec une source importante et un impact faible

Cas d'un site avec une source importante et un impact faible

> Site présentant une pollution aux Métaux

> Contexte environnemental

- Zone d'habitation avec jardin potager à – de 200 m
- Site utilisé pour un usage récréatif (moto-cross), par des adultes mais aussi des enfants
- Chasseurs présents sur une partie du site
- Nappe à fort enjeu (nappe AEP) libre sous le site
- Pas de végétation sur une partie du site
- Pluviométrie moyenne (650 mm/an)



Diagnostic sols

- Réalisation d'un maillage 40*20 avec mesure de surface à l'aide d'un outil de diagnostic rapide (XRF) + analyses laboratoire
- Réalisation de sondages



But : - délimitation de la zone source en 3D
- identification d'un impact sur les terrains sous-jacents

- Délimitation de la source sur la base d'un constat visuel (3 ha sur 2 m max) (absence de végétation en surface ; différence de granulométrie entre matériaux remblayés et terrain naturel)
- Identification d'un impact sur 2 m des terrains sous-jacents à la source

Diagnostic des eaux souterraines

> Installation d'un réseau de piézomètres

But : - vérification de l'impact sur la nappe

- identification du sens d'écoulement de la nappe



- Pas d'impact constaté actuel des eaux de la nappe
- Gradient hydraulique faible (0,5 ‰) inversé / au sens d'écoulement régional
- Pas de drainage vers le cours d'eau latéral

Service EPI/SSP

Constats

Risque de transfert vers la chaîne alimentaire

Peu de végétation sur le site
Peu de traces d'animaux
Analyse de chair de lapin chassé sur le site

Zone avec de fortes teneurs en métaux

Risque de transfert par inhalation (envol de poussières)



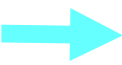
Constat visuel
Usage non contrôlé
Impact mesuré sur les bryophytes

Des impacts possibles

Risque de transfert vers les eaux souterraines

Pas de constat actuel : pourquoi ?
Vulnérabilité de la nappe dans le futur ?
- Potentiel d'émission ?
- Potentiel d'atténuation du milieu récepteur ?
- Caractéristiques hydrodynamiques ?

Etude de la voie d'exposition "eaux souterraines"

Il faut évaluer les transferts (  ) d'un compartiment à l'autre

Y-a-t-il toujours un potentiel d'émission depuis la source (après 30 ans) ?

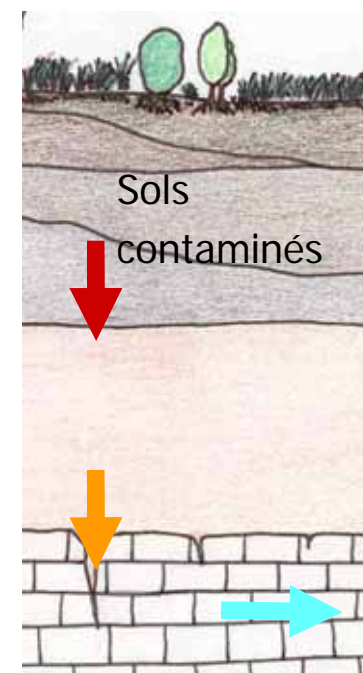
⇒ Essais de lixiviation

Évaluation du **pouvoir de rétention/relargage** du terrain sous-jacent

⇒ Essais de sorption/désorption

Evaluation du devenir des polluants dans la nappe

⇒ Modélisation



Potentiel d'émission depuis la source

> Réalisation d'essai de lixiviation

- Lixiviats concentrés en éléments facilement mobilisables ; sulfates (~300 mg/L), calcium (~150 mg/L), zinc (4,5 mg/L) et cadmium (0,25 mg/L)

> Présence de nappes perchées au sein du sol fortement contaminées

- Indice d'une mobilisation d'éléments importante



Confirmation de la mobilisation
Source qui émet

Réactivité du milieu sous-jacent

- > Essais en batch
 - % éléments fixés sur le sol : Cd 60%, Zn 70%, Pb 99%
- > Nature géologique du milieu sous-jacent explique le piégeage des éléments
- > Cohérent avec le constat d'une migration d'éléments uniquement sur 2 m sous le niveau fortement contaminé
- > Néanmoins, milieu avec un potentiel de relargage important en cas d'acidification du milieu : fixation réversible



La source émet mais ne génère pas d'impact inacceptable à l'heure actuelle

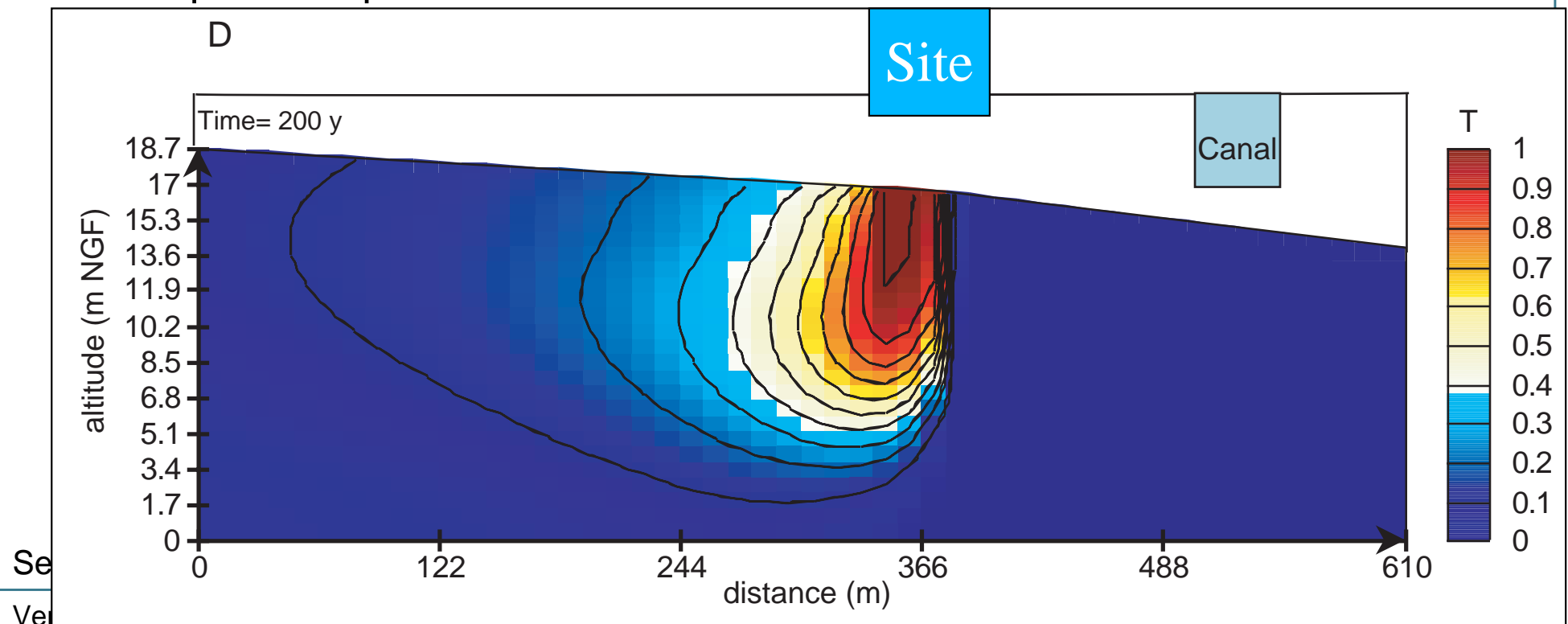
Caractéristiques de la nappe

> Absence de capacité à remobiliser les éléments ayant migrés

- Les variations naturelles connues de la nappe dans la région montrent que jamais la nappe ne remontera jusqu'au niveau actuellement impacté

> Faible gradient hydraulique (inversé par rapport à celui donné par la carte hydrogéologique)

- Modélisation (2D-ZS) montre qu'une pollution qui atteindrait la nappe se déplacerait peu



Caractéristiques de la nappe

> Absence de capacité à remobiliser les éléments ayant migrés

- Les variations naturelles connues de la nappe dans la région montrent que jamais la nappe ne remontera jusqu'au niveau actuellement impacté

> Faible gradient hydraulique (inversé par rapport à celui donné par la carte hydrogéologique)

- Modélisation (2D-ZS) montre qu'une pollution qui atteindrait la nappe se déplacerait peu



La configuration hydrogéologique du site fait que même à long terme, le site ne générerait pas d'impact inacceptable

Conclusions

- > La compréhension du fonctionnement du site montre que l'absence d'impact actuel sur la nappe est compréhensible du fait des mécanismes de transfert identifiés. Même à long terme, l'impact serait acceptable

Choix possible de gestion :

Couverture avec de la terre végétale : fin de la voie «envol de poussière»

Surveillance des eaux souterraines



Volontairement, il a été décidé de renforcer le degré de protection de la nappe au-delà du strict nécessaire dans un souci d'amélioration de l'état des milieux

Choix final :

Couverture étanche : fin de la voie «envol de poussière» et de l'infiltration

Remodelage du terrain sur la partie centrale : favorise le ruissellement

Surveillance des eaux souterraines

Au final :

> Pourquoi rechercher une source de pollution et son impact ?

Parce que si on ne connaît pas on ne maîtrise pas

> Comment rechercher et traiter une source de pollution et son impact ?

Sur la base des outils et techniques disponibles (avec leur limites) et du bilan coûts / avantages

Des actions au cas par cas

Pas de règles universelles applicables partout



Merci de votre
attention!!

