

# Sols Pollués : Evaluation des risques et Surveillance des personnels

Catherine NISSE  
*Pathologie Professionnelle et Environnement  
Université de Lille 2 - CHRU*

*30<sup>eme</sup> Journées Nationales de Santé au Travail dans le Bâtiment et les Travaux Publics  
Blois 10-11-12 juin 2009*

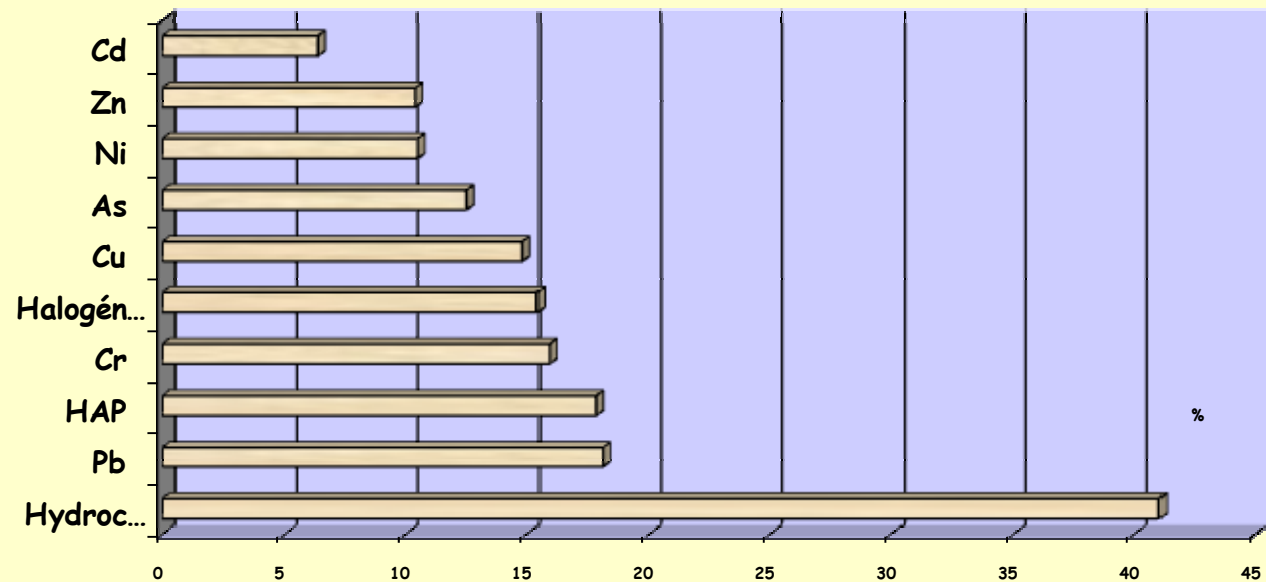
# Introduction

- Interventions sur sols pollués en pleine expansion
  - Contexte
    - ⇒ investigations en vue d'une étude de risques (site suspect, fin d'exploitation...)
    - ⇒ dépollution programmée
    - ⇒ projet de construction immobilière
- 3 mécanismes pourvoyeurs de pollution des sols sont :
- décharges (officielles ou sauvages), dépôts de résidus de production (résidus miniers, scories...)
  - infiltrations ou déversement de substances (pratiques sommaires d'élimination des déchets ou déversements accidentels)
  - accumulations dues aux rejets atmosphériques

Basias : inventaire national des sites industriels ou services actuels et passés : <http://basias.brgm.fr>

Basol :  
3740 sites  
montrant une  
pollution des  
sols ou des  
eaux appelant  
une action  
des pouvoirs  
publics

Principaux polluants des sols en date du 19/12/2007 selon BASOL



<http://basol.environnement.gouv.fr/tableaux/home.htm>

# Techniques de remédiation :

fonction type de polluant et de la nature du terrain

**In situ**

**Ex situ**



- ☞ Confinement
- ☞ ventilation forcée
- ☞ traitement biologique
- ☞ lavage in situ
- ☞ phytostabilisation
- ☞ stabilisation physicochimique

**excavation**

**sur site**

**hors site :  
en  
installation**

**Désorption  
thermique**

- ☞ traitement biologique,
- ☞ désorption thermique,
- ☞ incinération,
- ☞ cimenterie,
- ☞ stockage de déchets

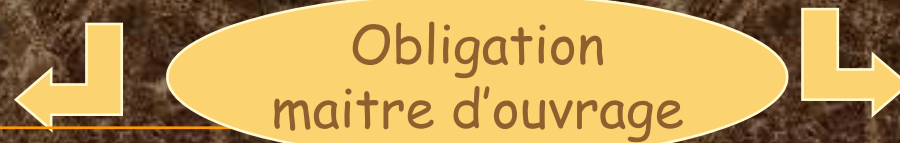


# Législation en matière d'hygiène, sécurité et santé lors d'interventions sur sols pollués

- Pas de législation spécifique aux chantiers de réhabilitation de sols pollués
- Application du code du travail pour les chantiers temporaires et mobiles, les entreprises extérieures, le risque chimique, les CMR...

Intéressant dans ce contexte :

les principes de prévention du bâtiment et génie civil (Art L4531-1 et suivants)



- déclarer les opérations de plus de 500 homme-jours
- désigner un coordonnateur de sécurité
- mise en œuvre des principes de prévention,
- élaborer plan de coordination dès la phase de conception (PGCSS)

**Création d'1 CISSCT** : Collège Interentreprises de Sécurité, de Santé et des Conditions de Travail : chantiers de + 10000 homme-jours et de + de 10 entreprises intervenantes (bâtiment) ou + de 5 (génie civil).

## Spécificité des interventions sur sites et sols pollués

- situation spécifique a chaque site
- ⇒ multiplicité des risques rencontrés :
  - présence de polluants chimiques
  - risque biologique
  - risque physique (radiations ionisantes, risque électrique, vibrations, explosifs...)
  - activités et techniques de remédiation utilisées
  - co activité
- ⇒ multiplicité des intervenants
  - Equipe d'excavation
  - Equipe de dépollution
  - Equipe de phyto remédiation
  - gardiennage
  - transport

# Risque chimique

- **Principaux polluants des sols :**
  - Des métaux et métalloïdes,
  - des Composés organiques volatiles (aromatiques : BTEX ou halogénés : solvants chlorés),
  - des hydrocarbures totaux (solvants pétroliers),
  - des Hydrocarbures aromatiques polycycliques,
  - des Polychlorobiphényles, dioxines et furanes,
  - des pesticides (herbicides ou insecticides).
  - Penser à ceux qui peuvent se former :  $H_2S$ ...
- **Caractéristiques pertinentes :**
  - ☞ Toxicité, capacité de persistance et bioaccumulation
  - ☞ Spéciation chimique des métaux, biodisponibilité
- **Voies de contamination** dépend du polluant, des EPI, du type de pollution générée (poussières, vapeurs)
  - ☞ Respiratoire et digestive +++
  - ☞ Cutanée ( HAP, amines aromatiques, certains solvants...)
- **Toxicité** : aigue ? A long terme ?

# Problématique de l'évaluation des risques chimiques lors d'interventions sur des sites pollués

- **Délicate en raison**

- incertitudes concernant les polluants
- variations géographiques ou temporelles des concentrations (hétérogénéité)
- multiplicité des intervenants
- caractère temporaire du chantier

- **Principe** : Démarche hiérarchisée

1° repérage des nuisances chimiques

2° identification des dangers

3° évaluation de l'exposition et du risque

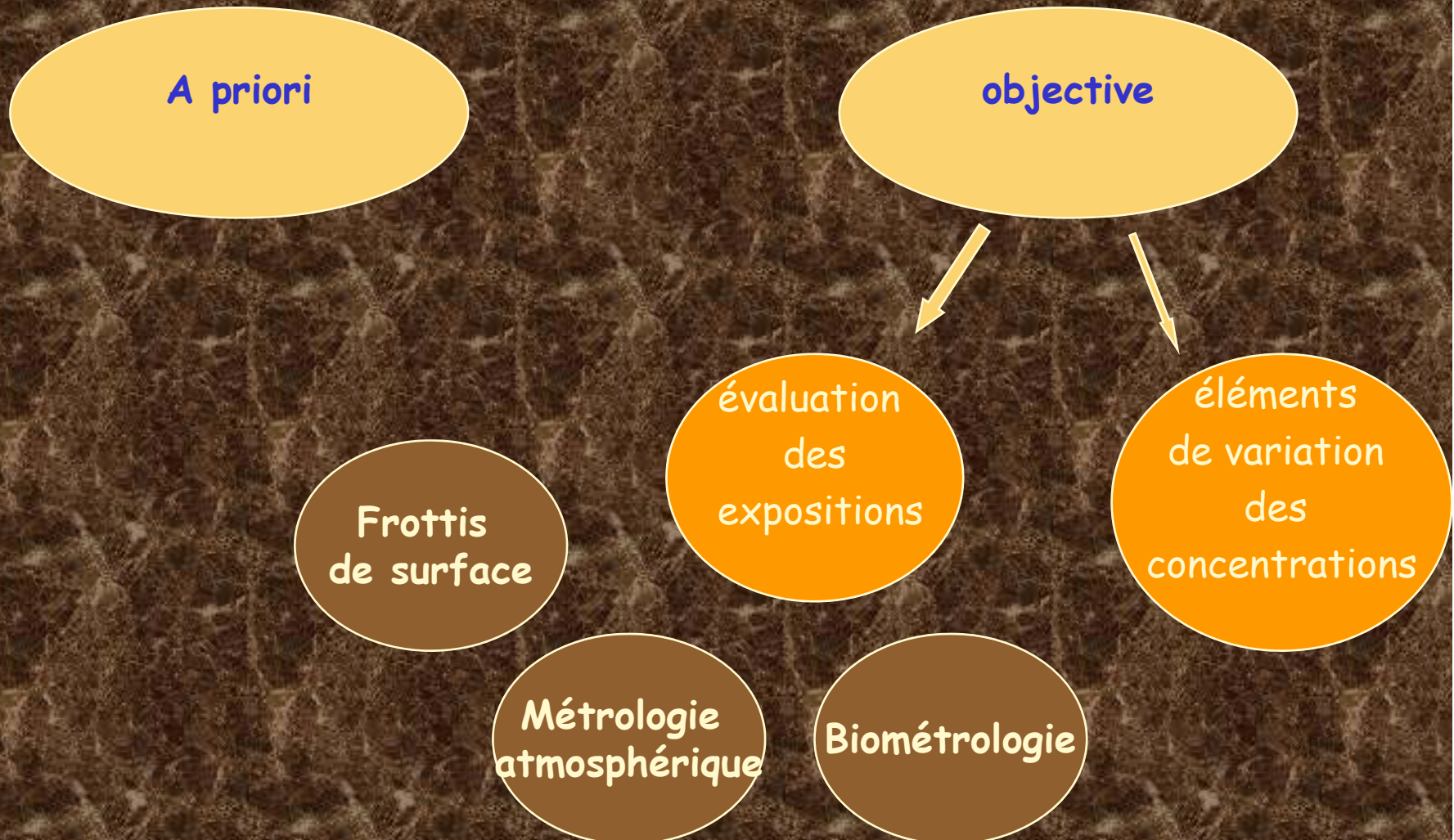


## Problématique de l'évaluation des risques chimiques lors d'interventions sur des sites pollués (2)

- 1° repérage des nuisances chimiques = caractérisation de l'état de pollution
  - préalable au démarrage de chantier
  - à partir de différentes données :
    - historique des activités sur le site,
    - inventaire des produits fabriqués, utilisés, rejetés
    - évaluation des quantités et de l'ancienneté,
    - connaissance du contexte géologique et hydrogéologique,
    - modes de transfert des polluants,
    - Résultats des rejets atmosphériques, des mesures de concentration de polluants dans les sols et les eaux. (représentativité ? Exhaustivité ?)

# Problématique de l'évaluation des risques chimiques lors d'interventions sur des sites pollués (3)

## 2<sup>o</sup> Evaluation du risque



# Evaluation objective de l'exposition

## 1) Repérer les facteurs de variation de l'exposition

- Connaissance de la localisation de la pollution sur le terrain : travail de cartographie avec sondage et carottages de sols
- Existence d'un balisage permettant de repérer les zones contaminées et les zones propres
- Type d'EPI utilisés, modalités de changement et d'entretien, adaptation de ces EPI aux polluants et à la tâche effectuée
- Type de prévention collective : arrosage ou brumisation, captage de polluants (anneaux aspirants, couvercles), travail sous tente
- Proximité directe des sources de polluants : manutention non mécanisée, engins de chantier, unités mobiles de traitement
- Travail en cabine d'engin : type de ventilation, de filtration, de pressurisation de cette cabine.
- Organisation du travail : Durée, Fréquence, Ancienneté du travail, rotation des tâches, pauses
- Organisation de la base-vie et protocoles établis, lave-bottes, décontamination extérieure, vestiaires, douches, sas de décontamination, réfectoire, circulation en zones propre et sale...

## 2) Evaluer l'exposition

**Les mesures atmosphériques** = concentrations dans l'air ambiant.

Intérêt = informer sur les niveaux d'exposition et la nécessité de protections respiratoires  
vérifier l'efficacité des systèmes de filtration des cabines d'engins.

Inconvénient = variation selon les jours, les conditions météo, l'activité

Caractéristiques : techniques de prélèvement habituelles

### Interprétation des résultats

- pour chaque molécule / VLEP
- calcul de l'Indice de toxicité du mélange ( $\sum [\text{conc}] / \text{VLEP}$ ) < 1.

passifs

dynamiques

PID

☞ polluant par polluant  
ou screening (COV)

☞ pollution globale (COV ou à molécules inorganiques (H<sub>2</sub>S, AsH<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, PH<sub>3</sub>...))  
☞ identifier postes/  
phases de travail  
exposants ☞ fonction  
alarme (exposition aigue)

## Les prélèvements surfaciques :

- Utilisés pour contrôler la contamination ( poussières) à l'intérieur des EPI (gants, masques), ou des lieux présumés non pollués où les opérateurs évoluent sans EPI : base vie, cabine d'engin
- Les résultats de ces frottis ont un intérêt didactique en matière d'hygiène.

*La biométrie* = Mesure la dose interne.  
Prescription médicale

Intérêt : intègre l'ensemble des voies de pénétration  
tient compte des EPI,

Toxiques à demi-vie courte = exposition récente

Toxiques cumulatifs = intègre cumul d'exposition

Screening (dosage multiélémentaire de métaux par ICP-MS).

Interprétation / VLB ou population générale

Information sur l'imprégnation  $\Rightarrow$  impact sur aptitude et déroulement  
du chantier

### Inconvénients

- ne dissocie pas imprégnations professionnelle/extraprofessionnelle
- nombre limité disponible,
- Respect des contraintes de prélèvement : moment de prélèvement, choix des milieux et des supports de prélèvement, conservation et acheminement des échantillons, absence de contamination, existence de Valeur Limite Biologique recommandée, choix du laboratoire
- protocoles d'échantillonnage difficiles sur chantier (examen de référence en début de chantier, détermination de la fréquence)

# Problématique de l'évaluation des risques chimiques lors d'interventions sur des sites pollués (4)

## 2 ° Evaluation du risque

Mais Qui

Fait Quoi

et Quand ?

# Surveillance Médicale

justifiée et difficile  
à mettre en œuvre

## Incertitude

manque d'informations

- Types de polluants
- Niveaux d'exposition
- Chantier distant (visite de chantier?)
- Parfois instauré dans la précipitation

## Difficultés

de coordination

- Nombreux intervenants
- Moyens différents /entreprises
- Inhomogénéité des pratiques médicales



# Surveillance Médicale

justifiée et difficile

- **Justifiée** : SMR le plus souvent ( CMR, .....)
- Impact possible à court terme : besoin d'information des salariés
- Impact possible à long terme : besoin d'éléments pour traçabilité et suivi post exposition

# Surveillance Médicale

## Éléments essentiels :

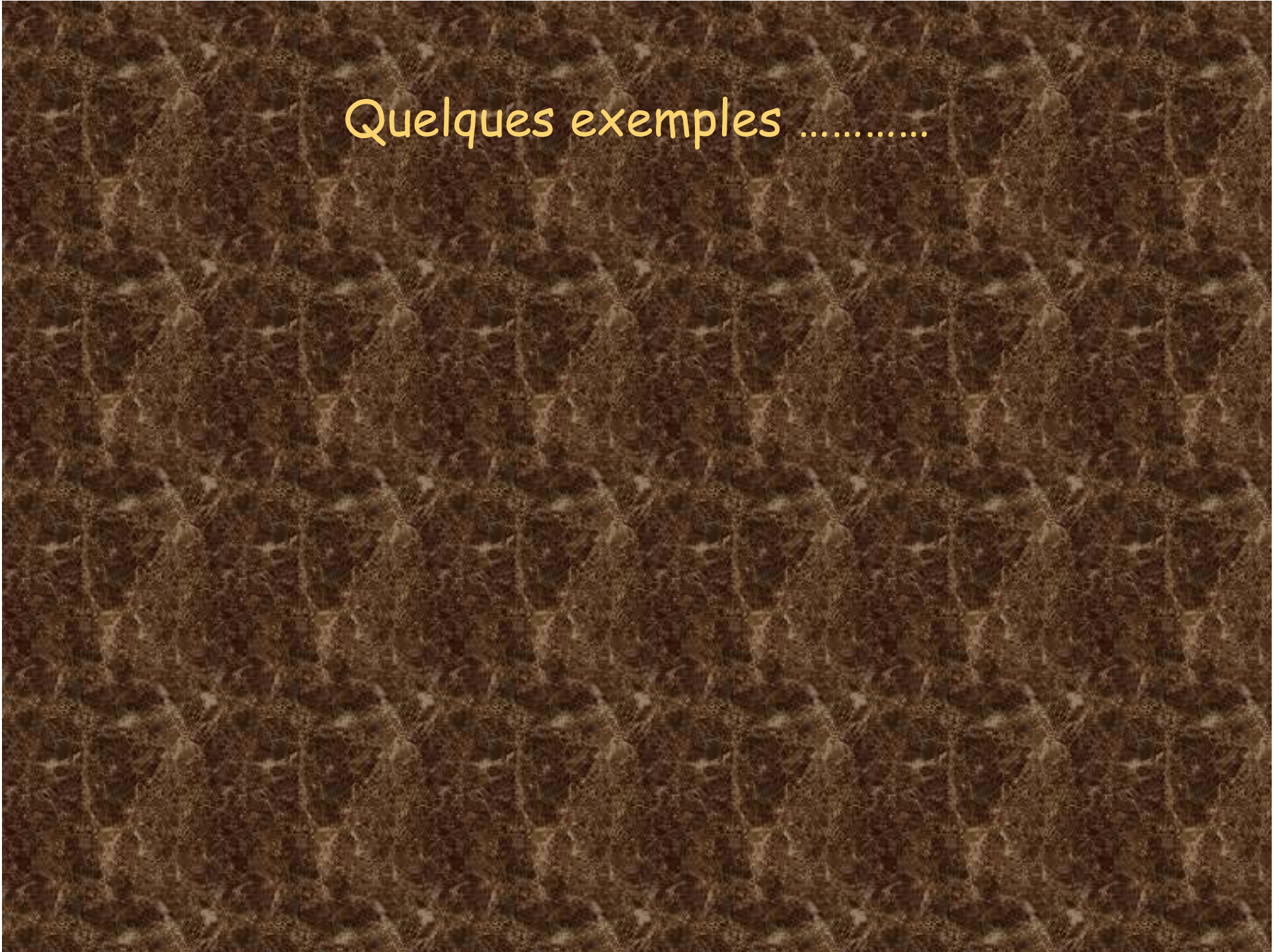
1. Obtenir les informations sur les expositions (maitre d'ouvrage)
2. Participer le plus en amont possible à la mise en place des Mesures techniques = choix des EPI, avis sur l'organisation du travail, sur les équipements d'hygiène, vestiaires, décontamination ...
  - ⇒ Obtenir les plans de prévention : PPSS et les argumenter
  - ⇒ Obtenir le plan de coordination PGCSS
3. Participer à l'évaluation de l'exposition : biométrie = tracabilité, influence décisions sur l'évolution du chantier en matière de prévention et surveillance post expo et post pro
4. Adapter si besoin le dépistage d'effets en fonction des niveaux et des organes cibles
5. Organiser une coordination des activités médicales si co-activité : homogénéiser les avis et pratiques des médecins = partage des informations, élaboration de protocoles de suivis

## Données de la littérature sur l'évaluation des risques lors d'intervention sur sols pollués

- Très peu de données publiées sur la surveillance atmosphérique ou biologique de l'exposition de travailleurs sur sites pollués
- Pour la plupart dans différents secteurs d'activité (reconditionnements de futs, dépollutions de terres contaminées par des solvants, par des HAP, par des métaux) =
  - niveaux d'exposition inférieurs aux valeurs limites d'exposition professionnelle,
  - parfois des pics d'exposition de courtes durées.

1. Levine SP, Costello RJ, Geraci CL, Conlin KA. Air monitoring at the drum bulking process of a hazardous waste remedial action site. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1985 Apr;46(4):192-6.
2. Maison A, Hery M, Mouton C. Protection des travailleurs sur les chantiers de réhabilitation de sites industriels pollués. ED 866. INRS-ADEME. 2002 ; 209p.
3. Priha E, Ahonen I, Oksa P. Control of chemical risks during the treatment of soil contaminated with chlorophenol, creosote and copper-chrome-arsenic-wood preservatives. *Am J Ind Med.* 2001 Apr;39(4):402-9.
4. Dor F, Person A, Zmirou D, Empereur-Bissonnet P, Nedellec V, Haguenoer JM, Jongeneelen F, Ferguson C, Dab W. Personal exposure of workers to atmospheric PAHs on gasworks sites-- The SOLEX study. *Appl Occup Environ Hyg.* 2001 Jun;16(6):655-9.
5. Elovaara E, Mikkola J, Mäkelä M, Paldanius B, Priha E. Assessment of soil remediation workers' exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH): biomonitoring of naphthols, phenanthrols, and 1-hydroxypyrene in urine. *Toxicol Lett.* 2006 Apr 10;162(2-3):158-63.

Quelques exemples .....



# Exposition à l'ortho-toluidine (1)

*Leleu B et al.*

*XIV e congrès annuel de la SFTA -2006*

Dépollution d'un site industriel : fabrication de SO<sub>2</sub>

Entreprise sous traitante d'un spécialiste de la dépollution

**Exposition o-toluidine :**

**DANGER ?** ⇒ méthémoglobinisant

⇒ cancérogène vessie (2B IARC /2 CEE)

Justifie mise en SMR ( arrêté du 5 avril 1985)

**RISQUE sur le chantier ?**

Evaluation de l'exposition : dosage de o-toluidine urinaire

• Pas de VLB

• Valeur en population générale <4 µg/g créat (le plus souvent <0.5)

## Exposition à l'ortho-toluidine (2) : *Evaluation de l'exposition*

Résultats 1 ère CAMPAGNE : travaux en cours

DP =  
0.4 à  
2.5



FP =  
65 à 587

*µg/g de créatinine*



*Décision d'arrêt immédiat du chantier*



*nouvelles procédures de travail, hygiène,  
formation, information, protections  
individuelles...*



.../...

## Exposition à l'ortho-toluidine (3)

*évolution de la biométrie en  $\mu\text{g/g}$  de créatinine*

### 1 ère CAMPAGNE :

travaux en cours

6 salariés

DP =

0.4 à  
2.5



FP =

65 à 587

### 2 ème CAMPAGNE

après prévention

4 salariés

DP =

0.2 à  
0.3



FP =

2.3 à 20.1

### 3 ème CAMPAGNE

Fin de chantier

6 salariés

DP =

0.1 à  
0.3



FP =

0.4 à 31



## Exposition aux HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)

Dépollution du site d'une ancienne cokerie : sols imprégnés de goudrons.

Travaux de dépollution : excavation / tri / dépollution biologique et désorption thermique = 3 entreprises différentes

**Quels polluants ? :**

Analyses de sols : métaux, cyanures, hydrocarbures, HAP (excès)

**DANGER ?** ⇒ certains sont cancérogènes

Justifie mise en SMR

**RISQUE sur le chantier ?** Plaintes multiples....

Evaluation de l'exposition :

Métrologie d'atmosphère ( BTEX, Hydrocarbures C10-C40, BaP)

Biométrie dosage du 1 OH-pyrène urinaire

Concentrations  
dans les sols :  
BaP = 10 à 210 mg/kg

Manutention  
Mécanique  
criblage

Traitement  
thermique

Remédiation  
biologique



# 1° Métrologie atmosphérique

## Labo privé

BaP > VLEP

Poussières  
inhalables < VLEP

BTEX < VLD

Manutention  
Mécanique  
criblage

## Cram NPCP

Cabine  
cribleuse :

BaP < VLD

Benzene 0.1  
%VLEP

Traitement  
thermique

## Cram (fin de chantier)

BaP = 40 % VLEP

Poussières inhalables  
= 25 % VLEP

BTEX < 0.1 % VLEP

Remédiation  
biologique

2° Biométrie 1 OHpyrène  
(Valeur en population générale  
NF < 200 ; F < 550 ng/g créat)

Manutention  
Mécanique  
criblage

Conducteur d'engin,  
piéton chantier :

DP = 350 à 2 200

FP = 50 à 7 780  
ng/g créat

Traitement  
thermique

Conducteur de four

Max = 43 620 ng/g créat

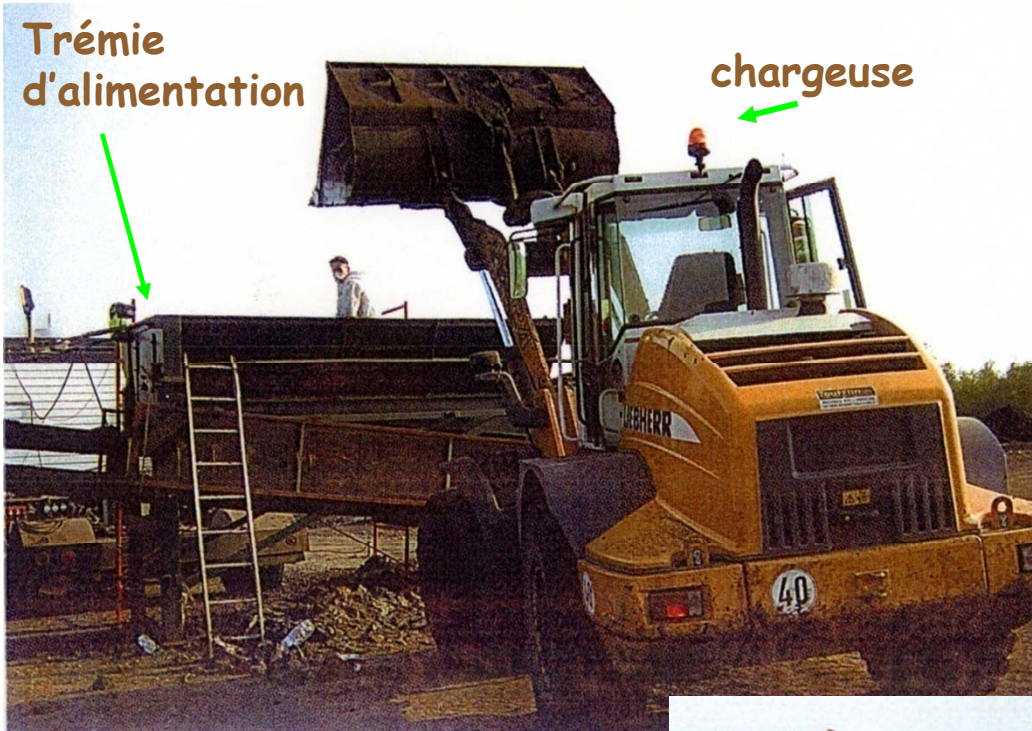
Manœuvre

10 600 à 25 200 ng/g créat

Remédiation  
biologique

Trémie  
d'alimentation

chargeuse



Four rotatif  
450° à 600°C +  
four de post  
combustion pour  
les polluants



Sortie des terres sous  
courant d'eau

### 3° Etude des postes : inégalités devant le risque !

#### Traitement thermique

Combinaisons  
bottes gants

Masque P3

Boisson dans la  
cabine de conduite  
du four !!

Vestiaire :

Propre/douche/salle

Retrait masque avant  
combinaison

lave bottes à 10m de  
l'entrée

Pas lavabo pour lavage  
mains/visage...

#### Manutention Mécanique criblage

Engins = Cabines non  
climatisées et air  
non filtré

Masque =  $\frac{1}{2}$  masque  
cartouches

Constat : plusieurs entreprises

absence de coordination en prévention/santé

## Exposition aux HAP : exemple n°2

Dépollution site carbochimique = distillation goudrons de houille pour production de brai, naphtalène, anthracène, liants routiers

Sols imprégnés par : HAP, brais, phénols, BTEX....

Travaux de dépollution : excavation / criblage/ traitement biologiques en Andains et phytoremédiation (plantation de saules et lombriculture)

Exposition possible aux HAP, BTEX :

**DANGER ?** ⇒ HAP, benzène .....cancérogènes

Justifie mise en SMR

**RISQUE** sur le chantier ?

Evaluation de l'exposition : protocole de suivi trimestriel :

dosages atmosphériques : HAP, BTEX, phénols, mercure...

dosage urinaires du 1 OH-pyrène urinaire, ac tt muconique, phénols..

Concentrations  
dans les sols :  
EqBaP = max 500 mg/kg

excavation  
criblage



Traitement  
biologique



Phyto  
remédiation





## 2° métrologie atmosphérique

(Valeur en population générale

NF < 200 ; F < 550 ng/g créat)

excavation  
criblage

Conducteur d'engin,

:HAP totaux =

80 000 à 500 000 ng/m<sup>3</sup>

BaP = 15 à 80 ng/m<sup>3</sup>

Traitement  
Biologique  
Andains

Retourneur d'andains

BaP = 10 ng/g créat

Phyto  
remédiation

BaP = < 1 ng/m<sup>3</sup>

2° Biométrie (1 OHpyrène  
= Valeur en population générale  
NF < 200 ; F < 550 ng/g créat)

excavation  
criblage

Conducteur d'engin,  
1OHpyr =  
max 3400 ng/gcréat

Traitement  
biologique

Retourneur d'andains

1OHpyr = max 1200 ng/gcréat

Phyto  
remédiation

Personnel administratif:  
1OHpyr = au max 400

Piéton jardinier

1OHpyr = max 700 ng/gcréat

### 3° Démarche de prévention

Coordination : création d'un CISSCT même si effectif < réglementation

Coordination du suivi médical : 4 entreprises - 4 médecins

Réunions d'information des personnels

Laboratoire pour dosage des HAP dans les sols

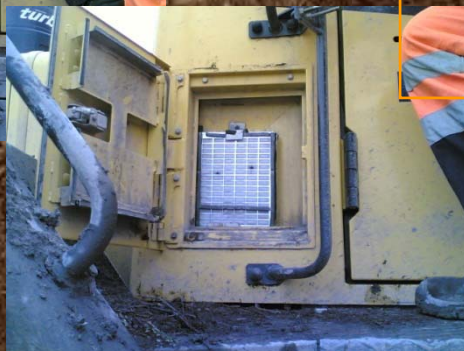
Métrologie trimestrielle - bio (HAP, phénols, BTEX) + atmosphère

Démarche de prévention:

Étude des postes et adaptation des pratiques pour limiter l'empoussièrement : circulation dans la base-vie, nettoyage des engins...

Amélioration des système de filtration des engins

Port de PID permanent pour les COV



Préfiltre  
poussières  
+  
filtre CA

# Conclusions

- Grand développement des interventions sur sols pollués
- Réelle difficulté pour évaluer les risques
- Possible impact sur la santé immédiat ou différé en fonction des polluants présents
- 
- Points importants de la prévention des risques professionnels dans ce type d'activité.
  - Améliorer les **connaissances sur l'exposition**
  - Assurer une **circulation des informations** sur les expositions potentielles ou avérées
  - Assurer une **coordination** des actions en matière d'hygiène, sécurité et **santé au travail**

