



Université Paris 7-Denis Diderot

Master IPG Paris - Univ. Paris 7
IUP Génie de l'Environnement
"Génie de l'Environnement & Industrie"
"Géophysique de Surface et de Sub-surface"
+ autres composantes STEP
UE optionnelle



Stockage géologique des déchets

Partie 1
Cours – Année 2007-2008

Éric Pili
Commissariat à l'Énergie Atomique
Laboratoire Hydrogéochimie et Études de Sites
Eric.Pili@cea.fr

Stockage géologique des déchets

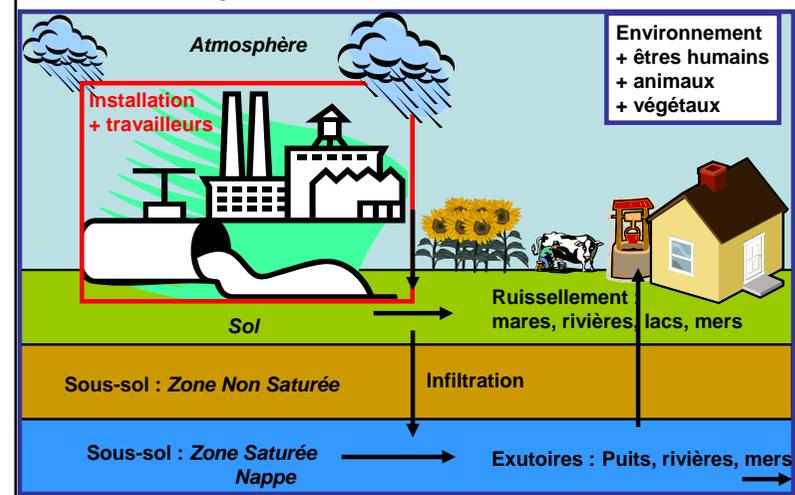
- Faire comprendre les enjeux et les mécanismes physiques et chimiques associé aux déchets dans leurs interactions avec la géosphère.
- Seront passées en revue 3 grandes formes caractéristiques de stockages géologiques :
 - En structures souterraines : exemple des déchets nucléaires
 - En milieu souterrain naturel profond : exemple de la séquestration du CO₂ (cours A. Bonneville)
 - En milieu souterrain naturel de sub-surface : exemple des contaminations environnementales
- Les filières de stockage en structures artificielles (CSDU ...) de surface et en fonctionnement normal ne font pas partie du thème.
- Les anomalies de fonctionnement des installations de surface sont traitées avec les contaminations environnementales qu'elles induisent.

Pollutions des sols et du sous-sol : de la source à l'homme.

Aperçu du cours

- Pollutions & risques : pourquoi et comment agir ?
- Caractérisation des contaminations & référentiels
- Milieux de transfert et comportement des polluants, de l'atmosphère aux nappes et rivières
- Études de cas

Cadre & enjeux des études environnementales



Pollutions & contaminations : définitions

- POLLUTION**

Introduction, directe ou indirecte, par l'activité humaine, de substances, préparations, de chaleur ou de bruit dans l'environnement, susceptibles de contribuer ou de causer :

- un danger pour la santé de l'homme,
- des détériorations aux ressources biologiques, aux écosystèmes ou aux biens matériels,
- une entrave à un usage légitime de l'environnement.

- CONTAMINATION**

Présence anormale d'une substance ou de micro-organismes, sur ou dans un milieu, un objet, ou un être vivant. Notion historiquement appliquée aux micro-organismes et aux substances radioactives.

Source : MATE, 2000a

Vers une définition unique et progressive ?

- Substance ajoutée (par rapport à un référentiel)
- Répartition non contrôlée
- Origine anthropique
=> CONTAMINATION
- Effet négatif sur l'environnement et l'homme
=> POLLUTION

NB : Importance de la dangerosité des substances

Catégories de danger

Catégorie de danger	Phrases de risques	Indication de danger
Explosive	R2, R3	E
Comburent	R7, R8, R9	O
Extrêmement inflammable	R12	F+
Facilement inflammable	R11, R15, R17	F
Inflammable	R10	-
Très toxique	R28, R27, R26, R39	T+
Toxique	R25, R24, R23, R39, R48	T
Nocif	R22, R21, R20, R40, R48	Xn
Corrosif	R35, R34	C
Irritant	R38, R36, R41, R37	Xi
Sensibilisant	R42, R43	Xn, Xi
Cancérogène	R45 ou R49, R40	T, Xn
Mutagène	R46, R40	T, Xn
Toxique pour la reproduction	R60, R61, R62, R63	T, Xn
Dangereux pour l'environnement	R 50, R51, R52, R53	N

Source : INRS, 1998

Quelques description de phrases de risque

Phrase	Description	Phrase	Description
R 3	Grand risque d'explosion par le choc, la friction, le feu ou d'autres sources d'ignition.	R 37	Irritant pour les voies respiratoires.
R 15	Au contact de l'eau, dégage des gaz extrêmement inflammables.	R 40	Possibilité d'effets irréversibles.
R 28	Très toxique en cas d'ingestion.	R 45	Peut causer le cancer.
R 29	Au contact de l'eau, dégage des gaz toxiques.	R 46	Peut causer des altérations génétiques héréditaires.
R 5.	Danger d'explosion sous l'action de la chaleur	R 48	Risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée.
R 6	Danger d'explosion en contact ou sans contact avec l'air.	R 48/23/24/25	Toxique : risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion.
R 32	Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique	R 39/26/27	Très toxique : danger d'effets irréversibles très graves par inhalation et par contact avec la peau.
R 33	Danger d'effets cumulatifs.	R 50/53	Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.

Source : INRS, 1998

Du danger au risque

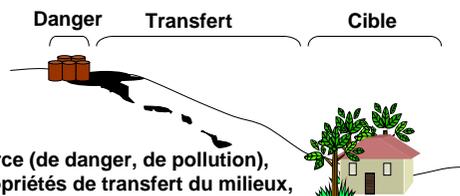
Risque = Probabilité d'occurrence de dommages significatifs aux personnes ou à l'environnement dans des conditions d'exposition données.

Défini par la présence simultanée :

- d'un **Danger** (source de pollution) ;
- de potentialités de **Transfert** et de mobilisation de cette pollution ;
- de la présence d'une ou plusieurs **Cibles**.

Le Transfert permet l'**Exposition** (concentration, temps)

$$R = f(D, T, C)$$



Caractériser :

la source (de danger, de pollution),
les propriétés de transfert du milieu,
les cibles.

Source : MATE, 2000 a, c

Caractériser une pollution pour quantifier un risque

Substances	Quantification de la pollution	Quantification du risque
chimiques	masse, concentration (surfaccique, volumique)	dose = quantité de substance ayant passé les barrières de l'organisme, DL50 : dose létale pour 50 % de la population risque = probabilité d'effet grave indésirable non réversible
radioactives	masse, concentration activité (Bq, Ci, dpm), (surfaccique, volumique)	équivalent de dose (Sv) = dose absorbée par unité de matière x facteur qualité des rayonnements x susceptibilité des organismes

Acteurs et actions "Sites & Sols Pollués" en France

Administrations centrales

- **ASN** Autorité de Sûreté Nucléaire www.asn.gouv.fr
- **MAAPAR** Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales www.agriculture.gouv.fr
- **MEDAD** Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables www.ecologie.gouv.fr
- **MSJS** Ministère de la Santé, de la Jeunesse, et des Sports www.sante.gouv.fr

Administrations décentralisées

- **DRASS** Directions Régionales des Affaires Sanitaires et Sociales ☹️
www.social.gouv.fr
- **DDASS** Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales ☺️
www.sante.gouv.fr
- **DIREN** Directions Régionales de l'Environnement www.ecologie.gouv.fr
- **DRIRE** Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement www.drire.gouv.fr
- **SPPPI** Secrétariats Permanents pour la Prévention des Pollutions Industrielles
www.drire.gouv.fr/national/environnement/spppi.html
- **CLI** Commissions (Locales) d'Information
exemple du Site CEA de Saclay: <http://www-centre-saclay.cea.fr/surveillance/CLI.htm>

1/2

Établissements publics

- **ADEME** Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie www.ademe.fr
- **Agences de l'Eau** Agences de Bassin www.eaufrance.com
- **ANDRA** Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs www.andra.fr
- **BRGM** Géosciences pour une Terre durable www.brgm.fr
- **CEMAGREF** Rech. pour l'Ingénierie de l'Agriculture et de l'Enviro www.cemagref.fr
- **CNRS SP** Centre Nat. de Recherche sur les Sites et Sols Pollués www.cnrs-sp.org ☹️
- **IFEN** Institut Français de l'Environnement www.ifen.fr
- **INERIS** Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques www.ineris.fr
- **INRA** Institut National de la Recherche Agronomique www.inra.fr
- **IRSN** Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire www.irsn.org

Associations

- **AFITE** Association Française des Ingénieurs & Techniciens de l'Enviro www.afite.org
- **AFNOR** Association Française de Normalisation www.afnor.fr
- **FNADE** Féd. Nationale des Activités de la Dépollution et de l'Enviro www.fnade.com
- **UCIE** Union des Consultants et Ingénieurs en Environnement www.ucie.org
- **UFG** Union Française des Géologues www.ufg.asso.fr

Portail "Sites Pollués" www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr

- **Groupes de Discussion** + **Salon Pollutec** www.pollutec.com
- **ModHydroPoll** <http://fr.groups.yahoo.com/group/modhydropoll>

2/2

Un effort récent d'unification des approches en France

Quelques acteurs institutionnels, niveaux et actions

Niveaux	Acteurs	Actions
International	OMS/WHO, IAEA ... Structures nationales étrangères (US-EPA, USGS, BGS ...)	Recommandations, Exemples, émulations, pressions économiques ou médiatiques ...
Européen	Union Européenne Programmes européens	Directives Méthodes, Base De Données ...
National	Ministères, Parlement, ANDRA, BRGM, INERIS, INRA, IRSN, ASN ...	Lois, décrets, Codes ... Programmes de recherches, Méthodes, BDD, contrôles ...
Bassin	Agences de bassin	Schémas d'aménagement, réseaux de mesures
Régional	DRIRE, DIREN, Services Géologiques Régionaux ...	Inventaires, inspections, mesures & analyses
Départemental	DDE, DDASS, DDAF ...	Inventaires, inspections, mesures & analyses
Local	Industries, entreprises, agriculteurs ... + sociétés de services en environnement	Déclarations, autorisations, surveillance, bonnes pratiques, ISO/SME ...

Que dit la Loi ? 1/3

- **Codes législatifs :**
 - Codes Civil, Rural, Pénal, du Travail ... ,
 - Code de la Santé Publique,
 - Code de l'Environnement,
 - Code Minier ...
 - **Loi sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)** du 19 juillet 1976
 - **Loi sur l'eau** du 3 janvier 1992 (abrogée, intégrée au Code de l'Environnement)
Contexte : augmentation de la consommation
diversification des usages
dégradation de la qualité des eaux
- Enjeux :** répression des pollutions (intégré au Code Pénal)
prévention de la dégradation des eaux souterraines
- Décrets :** déclaration ou autorisation des Installations, Ouvrages, Travaux, Activités (29 mars 1993)
déclaration des forages piézométriques (11 septembre 2003 pour le 12 septembre 2004)

Source : aida.ineris.fr

Que dit la Loi ? 2/3

- **Loi du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement** (abrogée, intégrée au Code de l'Environnement)
Le droit de chacun à un environnement sain,
Le devoir de chacun de veiller à la protection de l'environnement,
Rôle des associations.
- **Directive n° 98-83 CE relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine**
Limites et références de qualité,
Fréquences d'échantillonnage, paramètres à surveiller ...
- **Décret 1220-2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine**, transcription de la directive européenne (abrogé, intégré au Code de la Santé Publique).
- **Loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages**
Mieux anticiper pendant la vie des entreprises la problématique des sols pollués, en particulier au travers de diagnostics sols réalisés pendant l'exploitation et en précisant au niveau législatif les obligations des exploitants en matière de remise en état,
Mettre en place un mécanisme de garanties financière lorsque les capacités des entreprises sont insuffisantes (éviter les situations similaires à celles de Metaleurop).

Source : aida.ineris.fr

Que dit la Loi ? 3/3

- **Charte de l'environnement. Loi constitutionnelle n°2005-205 du 1er mars 2005**
Intégration dans la Constitution des problématiques environnementales,
Vise à l'accessibilité et à l'intelligibilité du droit (10 articles).
- **Information et participation des citoyens :**
Projets d'aménagement,
Études d'impact, évaluation des incidences ...
- **Enquêtes publiques relatives aux opérations susceptibles d'affecter l'environnement,**
- **Liberté d'accès à l'information à l'environnement :**
Procédure d'accès aux documents administratifs
Droit à l'information en matière de déchets
Constitution de Commissions Locales d'Information, Surveillance, Concertation
- **Mots-clefs : Droits et devoirs des personnes, formations et informations, recherches et innovations, missions des pouvoirs publiques.**

Source : www.ecologie.gouv.fr



Le peuple français
proclame solennellement
son attachement aux Droits
de l'Homme et aux principes de la
souveraineté nationale tels qu'ils ont été
définis par la Déclaration de 1789,
confirmée et complétée par
le préambule de la Constitution
de 1946, ainsi qu'aux droits
et devoirs définis dans la Charte
de l'environnement
de 2004.

Charte de l'environnement

« proclame :

Article 1

Chacun a le droit de vivre dans un environnement équilibré et respectueux de la santé.

Article 2

Toute personne a le devoir de prendre part à la préservation et à l'amélioration de l'environnement.

Article 3

Toute personne doit, dans les conditions définies par la loi, prévenir les atteintes qu'elle est susceptible de porter à l'environnement ou, à défaut, en limiter les conséquences.

Article 4

Toute personne doit contribuer à la réparation des dommages qu'elle cause à l'environnement, dans les conditions définies par la loi.

Article 5

Lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement, les autorités publiques veillent, par application du principe de précaution et dans leurs domaines d'attributions, à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques et à l'adoption de mesures provisoires et

loi constitutionnelle n° 2005 - 205 du 1er mars 2005

« Le peuple français,

« Considérant,

« Que les ressources et les équilibres naturels ont conditionné l'émergence de l'humanité ;

« Que l'avenir et l'existence même de l'humanité sont indissociables de son milieu naturel ;

« Que l'environnement est le patrimoine commun des êtres humains ;

« Que l'homme exerce une influence croissante sur les conditions de la vie et sur sa propre évolution ;

« Que la diversité biologique, l'épanouissement de la personne et le progrès des sociétés humaines sont affectés par certains modes de consommation ou de production et par l'exploitation excessive des ressources naturelles ;

« Que la préservation de l'environnement doit être recherchée au même titre que les autres intérêts fondamentaux de la Nation ;

« Qu'afin d'assurer un développement durable, les choix destinés à répondre aux besoins du présent ne doivent pas compromettre la capacité des générations futures et des autres peuples à satisfaire leurs propres besoins ;

proportionnées afin de parer à la réalisation du dommage.

Article 6

Les politiques publiques doivent promouvoir un développement durable. À cet effet, elles concilient la protection et la mise en valeur de l'environnement, le développement économique et le progrès social.

Article 7

Toute personne a le droit, dans les conditions et les limites définies par la loi, d'accéder aux informations relatives à l'environnement détenues par les autorités publiques et de participer à l'élaboration des décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement.

Article 8

L'éducation et la formation à l'environnement doivent contribuer à l'exercice des droits et devoirs définis par la présente Charte.

Article 9

La recherche et l'innovation doivent apporter leur concours à la préservation et à la mise en valeur de l'environnement.

Article 10

La présente Charte inspire l'action européenne et internationale de la France. »

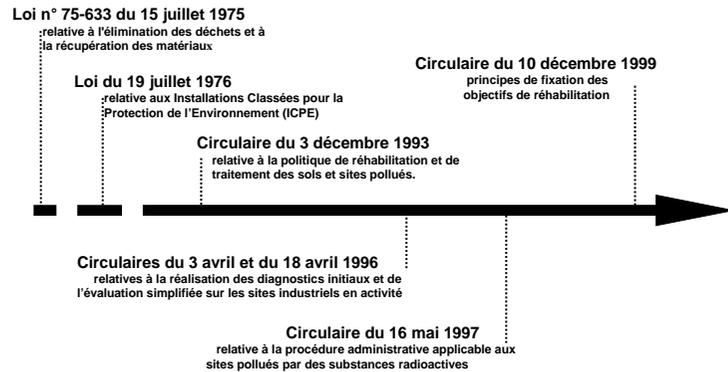
En somme :

- ✓ Les rejets sont généralement autorisés,
- ✓ Les pollutions sont interdites,
- ✓ Le vieil adage « la solution à la pollution est la dilution » n'a plus cours dans les textes mais encore dans les gestes,
- ✓ Les rejets, même autorisés, finissent par polluer.

QUE FAIRE ?

- Diminuer les rejets, traiter les pollutions
- Augmenter les déchets, les traiter, les gérer.

Historique d'une Politique Nationale en Matière de Sites Pollués



d'après Miltenberger et al, 2003

Principes de la Politique Nationale en Matière de Sites Pollués

- Ce n'est pas tant la présence de polluants dans les sols qui est problématique, mais le fait que cette **pollution** est **mobilisable** et donc susceptible d'affecter l'environnement ou une population exposée : **l'eau prime sur le sol**,
- Aborder plus de **deux siècles d'histoire industrielle** de la France de manière pragmatique, tout en tenant compte des **exigences sociales et économiques actuelles**,
- Éviter de renouveler les **erreurs du passé**, prévenir les **pollutions futures**,
- Fournir un **traitement adapté** à l'impact effectif du site sur l'environnement et à **l'usage** auquel il est destiné, basé sur une démarche **d'évaluation des risques**.

Source : MATE, 2000c

Objectifs et Moyens de la Politique Nationale en Matière de Sites Pollués

1/2

- 1. Prévenir les pollutions** sur les sites en activité
 - Dispositions réglementaires : législation sur les installations classées, autorisations de rejets, plans de surveillance.
 - Dispositifs de surveillance de l'environnement (principalement des eaux souterraines) autour de sites industriels en activité, et contrôles + validation des mesures.
 - Réalisation de Plans de Gestion et d'Inventaires de l'Etat des Milieux (ex-Evaluation Simplifiée des Risques)
- 2. Connaître les pollutions et les risques associés**
 - Identification de la nature, de l'origine, et de la localisation des polluants.
 - Connaissance des mécanismes de mobilisation et de transfert
 - Réalisation de Plans de Gestion et d'Inventaires de l'Etat des Milieux (ex-Evaluation Détaillée des Risques)

Adapté de MATE, 2000c

Objectifs et Moyens de la Politique Nationale en Matière de Sites Pollués

2/2

- 3. Traiter et réhabiliter les sites pollués**
 - Prévenir l'apparition ou la persistance de nuisances ou de risques pour l'homme et l'environnement.
 - Hiérarchiser les actions : repérer les mesures d'urgences (délimitation et clôture de la zone polluée, isolation des déchets stockés à l'air libre, mise en place d'une surveillance, pompages ...)
 - Les actions tiennent compte de l'usage auquel le détenteur du site le destine, des techniques disponibles, et des coûts.
- 4. Préserver et diffuser la mémoire :**
 - Ne pas affecter un site à un nouvel usage incompatible avec la pollution résiduelle.
 - Exhaustivité et accessibilité des évaluations de risques (diffusion des résultats des études aux propriétaires et futurs propriétaires du terrain, riverains, maires des communes concernées ...)

Adapté de MATE, 2000c

Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables

Rechercher [OK]

Nos missions :

Vous êtes ici : Accueil / Risques et pollutions / Sites et sol pollués /

Risques et pollutions

- > Air
- > Bruit
- > Climat
- > Déchets
- > Elevage
- > Inspection des installations classées
- > OGM
- > Pollutions radioactives
- > Pollutions maritimes
- > Produits chimiques
- > Rejets industriels
- > Risques industriels
- > Risques naturels
- > Santé et environnement
- > Sites et sol pollués

Les nouveaux textes relatifs à la prévention et à la gestion des sols pollués

Créé le 14 février 2007
Actualisé le 19 février 2007

Lors de sa communication en Conseil des Ministres du 14 février 2007, Madame Nelly OLLIN, Ministre de l'Écologie et du Développement Durable, a présenté les nouveaux textes réglementaires et outils méthodologiques relatifs à la gestion des sites et sols pollués en France. Ces textes sont tous datés du 8 février 2007.

- Note aux préfets relative aux sites et sols pollués - Modalité de gestion et de réaménagement des sites pollués
 - Annexe 1 : La politique et la gestion des sites pollués en France. Historique, bilan et nouvelles démarches de gestion proposées
 - Annexe 2 : Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués. Comment identifier un site (potentiellement) pollué. Comment gérer un problème de site pollué
 - Annexe 3 : Les outils en appui aux démarches de gestion. Les documents utiles pour la gestion des sites pollués
- Circulaire relative aux Installations Classées. Prévention de la pollution des sols. Gestion des sols pollués
- Circulaire relative à l'implantation sur des sols pollués d'établissements accueillant des populations sensibles
- Circulaire BPSPR/2005-371/LO relative à la cessation d'activité d'une Installation Classée - Chaîne de responsabilité - Défaillance des responsables
- Circulaire BPSPR/2006-77/LO relative aux Installations Classées - Modalité d'application de la

Garder (ou reconstituer) la mémoire des sites pollués

Constitution d'inventaires :

BASOL : Base de données sur les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des responsables de ces sites et des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif (MEDD, basol.environnement.gouv.fr).

BASIAS : inventaire historique reconstituant le passé industriel des régions (BRGM, basias.brgm.fr, prévision de 400 000 sites à recenser).

- recenser, de façon large et systématique, tous les sites industriels, abandonnés ou non, susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement,
- conserver la mémoire de ces sites,
- fournir des informations utiles aux acteurs de l'urbanisme, du foncier et de la protection de l'environnement.

ANDRA : Où sont les déchets radioactifs en France ? Rapport annuel de l'Observatoire National de l'ANDRA (www.andra.fr)

Exemples de sources de pollutions

Frèche industrielle, usine abandonnée, sol à pollution multiples : débris de scories, cendres et autres déchets en crassiers et entraînements des polluants par les eaux de pluie ; sols abandonnés contenant des solvants toxiques ou des résidus de traitement de surface.

Usine moderne : les effluents liquides et gazeux sont épurés, les résidus sont équilibrés au mixage et les déchets éliminés. L'absence de pollution des sols est garantie par la mise en place, autour des stockages et dans les zones à risques de fuites, de bassins de rétention interdisant le transfert au milieu naturel.

Pompage et distribution d'eau potable : Une conséquence fréquente de la pollution du sol est la pollution des nappes phréatiques qui peut altérer pour longtemps une ressource importante d'eau potable ou d'irrigation.

Même une simple station-service peut être à l'origine d'une pollution des sols : fuites non détectées de citernes ou accidents de remplissage.

Site pétrolier ou chimique ancien : Là encore, héritage de décennies d'infiltration de produits de toutes sortes dans le sous-sol : pannes, événements, fuites ou ruptures de canalisations, incidents de nettoyage, fonds de cuves, accidents, incendie, etc.

Site industriel ancien, encore en activité, avec héritage d'un siècle d'infiltrations diverses et de retombées atmosphériques avant la mise en place d'équipements d'épuration des effluents liquides et gazeux.

Ancienne décharge non contrôlée d'ordures ménagères incluant des déchets industriels spéciaux.

Accident de transport : un semi-remorque renversé, une citerne éventrée et son contenu s'infilte dans le sol.

Installation moderne de stockage des déchets ultimes, suivant la réglementation actuelle, garantissant l'absence de pollution du sol : sous-sol imperméabilisé, géomembrane et drainage des lixiviats, couverture des alvéoles et contrôles permanents.

DIFFÉRENTES SOURCES DE POLLUTION DES SOLS ET DES EAUX SOUTERRAINES

Source : MATE, 2000a

Typologie des pollutions

Pollution	Localisée (faible extension au sol, source ponctuelle)	Diffuse (forte extension au sol et/ou sources multiples)
Accidentelle (rejet sur période courte)	Accident de transport	Accident de réacteur nucléaire
Chronique (rejet sur période longue: continu, périodique, sporadique)	Fuite de conduite	Transports, comportements individuels, Traitements phyto. & engrais, Rejets industriels atmosphériques

Caractéristiques des pollutions

- **Topologie :**
 - aérienne (atmosphérique, surfacique), souterraine, immergée.
- **Chronologie :**
 - actuelle ou passée,
 - unique ou superposée,
 - directe ou indirecte (la pollution vient d'un autre point ou le polluant évolue dans le temps)
 - état de la réglementation de l'époque.
- **Phases :**
 - gazeuse, liquide, solide, solide pulvérulent, aérosols liquides ...
- **Nature :**
 - chimique (organique / inorganique, métallique, minérale ...), radiologique, biologique,
 - simple / multiple (nombre de substances, nombre de familles de substances)

Principaux Polluants en Milieux Aquatiques

1. Composés **organohalogénés** et substances susceptibles de former des composés de ce type (produits phytosanitaires, produits de traitement du bois, matières colorantes, produits pharmaceutiques, arômes, parfums et produits intermédiaires de synthèse).
2. Composés **organophosphorés** (produits phytosanitaires).
3. Composés **organostanniques** (Tributylétain, produits phytosanitaires, antifouling ...)
4. Substances et préparations, ou leurs produits de décomposition, à caractère **cancérigène** ou **mutagène** ou aux propriétés pouvant affecter les **fonctions stéroïdogénique, thyroïdienne ou reproductive ou d'autres fonctions endocriniennes**.
5. **Hydrocarbures persistants** et **substances organiques toxiques persistantes et bio-accumulables**.
6. **Cyanures**.
7. **Métaux** et leurs composés.
8. **Arsenic** et ses composés.
9. Produits **biocides** et **phytopharmaceutiques**.
10. **Matières en suspension**.
11. Substances contribuant à l'**eutrophisation** (en particulier, **nitrites** et **phosphates**).
12. Substances ayant une **influence négative sur le bilan d'oxygène** (et pouvant être mesurées à l'aide de paramètres tels que la DBO, la DCO, etc.).

Source : directive 2000/60/CE

Regard sur les métaux lourds et éléments associés

Tableau périodique des éléments chimiques. Les éléments sont colorés par famille : Métaux alcalins, Métaux alcalino-terreux, Lanthanides, Actinides, Métaux de transition, Métaux pauvres, Métalloïdes, Non-métaux, Halogènes, Gaz rares.

Les éléments suivants sont encadrés en noir (Métaux lourds) : Hg, Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Cr, As, Se, Tl, Bi, Sn, Sb, Mo, Ba, Be, U, V, Co, Ti, Te, Ag.

Les éléments suivants sont encadrés en orange (Métalloïdes & autres éléments associés) : B, Si, Ge, Sn, Pb, Bi, Po, At, Fr, Ra, Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr.

- "Éléments traces métalliques" (ETM) et "métaux lourds" sont confondus (à tort).
- Trois catégories parmi les éléments potentiellement toxiques, du + vers le - :
 - le cadmium (Cd)
 - le plomb (Pb), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le mercure (Hg), l'arsenic (As), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le sélénium (Se), le thallium (Tl)
- L'Arrêté du 10 Juillet 1990 relatif aux rejets dans les eaux souterraines en provenance d'installations classées donne une liste de 22 éléments interdits de rejets : Hg, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Se, As, Sb, Mo, Ti, Sn, Ba, Be, B, U, V, Co, Ti, Te et Ag.

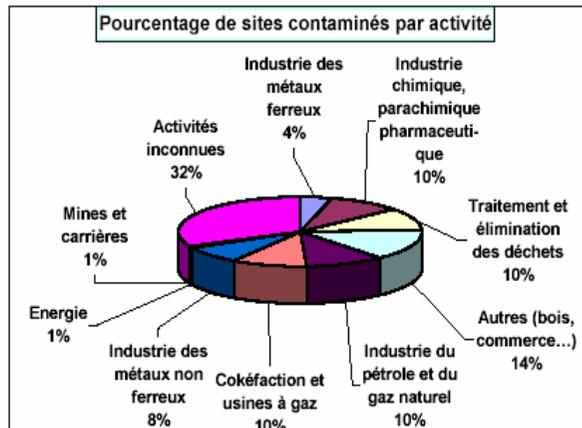
Quelques activités majeures sources de pollution (sols & eaux)

- **Industrie :**
 - minière : métaux, métalloïdes, additifs (Hg ...), descendants mobiles (Ra pour U ...), minéraux accessoires solubilisés (pyrite ...)
 - production & stockage d'hydrocarbures liquides ou gazeux : HC, S, CN, ...
 - métallurgique (Pb, Cd, Zn, F ...), ex. Metaleurop, depuis 1894, production 170 000 T Pb/an (2000)
 - chimique (pétrochimie, pharmacie, peintures, agrochimie ...) : HC, organométalliques, alcools, phénols, éthers-oxydes, acides carboxyliques, esters, aldéhydes, cétones, amines, As, Bi, B, Cd, Co, Mn, Pb, Zn ...
 - manufacturière :
 - cuir, bois : Cl, S, CN, Ti, HC, organométalliques ... - papier
 - horlogerie : Ra - pyrotechnie: S, N, Cl,
 - nucléaire civile & militaire (radionucléides, F ...)
- **Agriculture, élevage :** NO₃, PO₄, As, Cu, Zn, U, organométalliques, phénols, amines ...
- **Traitement des eaux usées urbaines :** Cd, Hg, Ni, Pb, Zn, micro-organismes ...

Source : MATE, 2000b.

Quelques activités moins citées, également sources de pollution (sols & eaux)

- **Transports** (routier, ferroviaire, maritime, aérien, spatial),
 - HC, organométalliques (antifouling), Pb, Hg, Cl
- **Services** :
 - stations service : HC, Br, Pb, Cl, P, organométalliques, alcools, phénols ...
 - blanchisseries : Cl, Na, PO4, HC, alcools, phénols, ac. Carboxyliques, amines ...
- **Médecine** :
 - contraception hormonale
 - déchets hospitaliers : Ra, Co, Am ...
- **Guerres, terrains militaires** :
 - 1914-1918 : guerre chimique (As, Cl, Cu, Pb ...)
 - années 1990-2000 : uranium appauvri
- **Recherche**



Cas de la France, donnée de l'inventaire BASOL de juin 2002

D'après Bizet et al., 2002

Matrice Activités - Polluants

Code NAF	Activités industrielles originelles	Polluants métalliques																											
		As	Br	Ca	Cl	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	P	S	Se	Si	Sn	Ti	V	Zn	Al	Co	Fe	K	Li	Mg	Na	Sr	Zr	
A	AGRICULTURE, CHASSE, SYLVICULTURE																												
AA	AGRICULTURE, CHASSE, SYLVICULTURE																												
01	Agriculture, Chasse, Services Annexes																												
01.1	Culture																												

Code NAF	Activités industrielles originelles	Polluants minéraux																	
		Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Na	P	S	Se	Si	Sn	Ti	V	Zn	
A	AGRICULTURE, CHASSE, SYLVICULTURE																		
AA	AGRICULTURE, CHASSE, SYLVICULTURE																		
01	Agriculture, Chasse, Services Annexes																		
01.1	Culture																		

Code NAF	Activités industrielles originelles	Polluants organiques																											
		Hydrocarbures aromatiques																											
A	AGRICULTURE, CHASSE, SYLVICULTURE																												
AA	AGRICULTURE, CHASSE, SYLVICULTURE																												
01	Agriculture, Chasse, Services Annexes																												
01.1	Culture																												
01.2	Élevage																												
01.3	Culture et élevages associés																												
01.4	Services annexes à l'agriculture																												
01.5	Chasse																												
02	Sylviculture, Exploitation Forestière, Services Annexes																												
02.2	Sylviculture, exploitation forestière, services annexes																												

Source : MATE, 2000b.

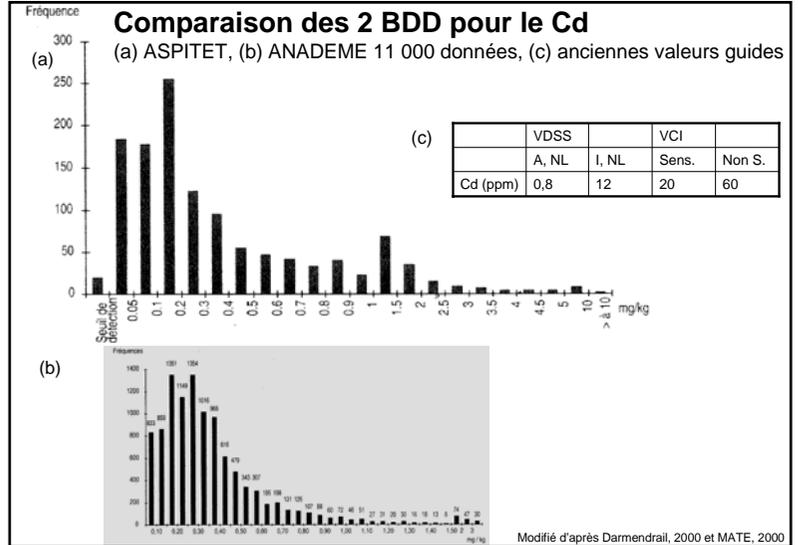
Le fond géochimique

- **Appelé à tort Bruit de Fond** :
 - ce n'est pas un bruit, c'est le signal (naturel) !
 - notion erronée de 3 fois cette valeur pour une détection
 - référence fautive au bruit blanc (toutes les fréquences sont présentes avec des amplitudes égales)
- Un référentiel intrinsèque au système étudié, du local au national ;
- Variabilité spatiale, temporelle ?
- Nécessité de nombreuses mesures et de bases de données ;
- N'est pas connu partout ;
- A été modifié avant d'avoir été mesuré dans les secteurs à fortes activités (industrielle, agricole ...).

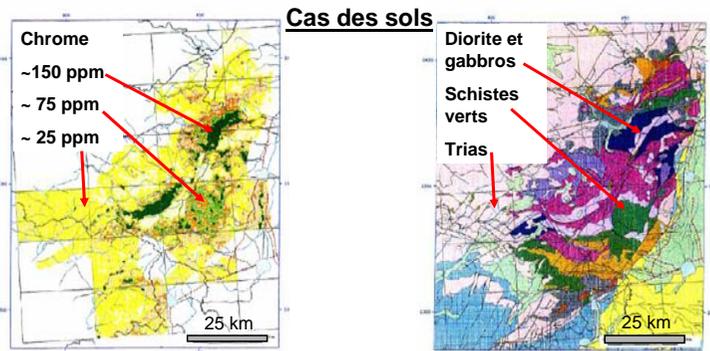
Bases de données fond géochimique en France

- Inventaire Minier National (années 70)
 - Exclu les bassins sédimentaires et les secteurs habités ou industrialisés,
 - 280 000 analyses, 100 000 km²
 - Sol ~20% (prof. 30-50 cm), sédiments ~80 %
 - Absence de Se, Tl, Hg,
 - LD élevées
- ANADEME (ADEME-INRA)
 - sols agricoles avant l'épandage des boues
 - 11 000 analyses,
 - Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, Se
- ASPITET
 - Horizons des sols
 - Nord de la France, surtout B. Parisien
 - Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, As, Co, Hg, Se, Tl
- Utilisation de valeurs pour un site donné :
 - Densité recommandée pour ESR : 1 point / 10 km²
 - Problème des interpolations

D'après Darmendrail, 2000



Contrôle lithologique des teneurs en certains métaux : Cr, Ni, Co, Ba, Zr, Ti, Li, B, Ba, Terres Rares ...



Comparaison entre la distribution cartographique des teneurs en Cr dans les sols du massif des Vosges (inventaire minier) et la carte géologique de la même zone.

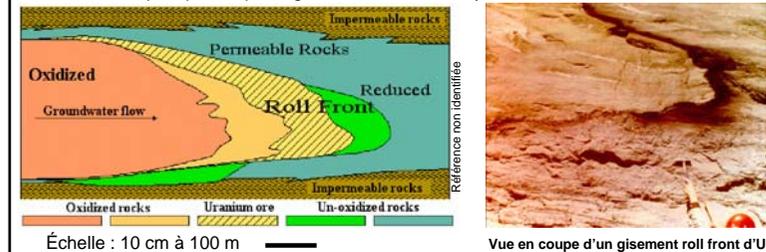
D'après Coste, 1997

Autres contrôles géologiques des teneurs en métaux : As, Se, Cu, Pb, Zn, Mo, W, Cd, U ...

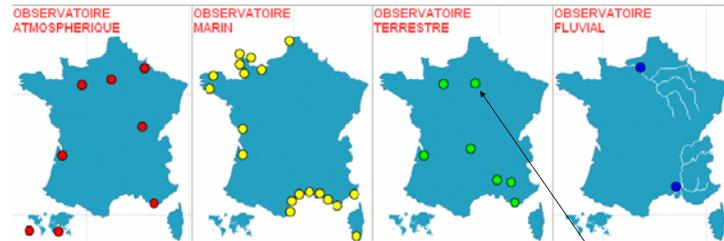
- Déformation : plis, failles
- Minéralisations hydrothermales, circulations fluides

Cas des eaux souterraines

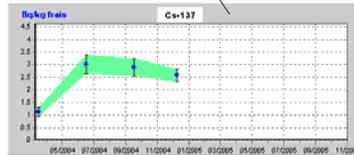
- Variations de solubilité : exemple des effets rédox à l'origine des gisements d'uranium (et autres métaux, Mo, V, Se, As, ...) de type « roll front ». Le métal en solution (oxydé) dans une eau souterraine précipite au passage d'une interface d'oxydation/réduction.



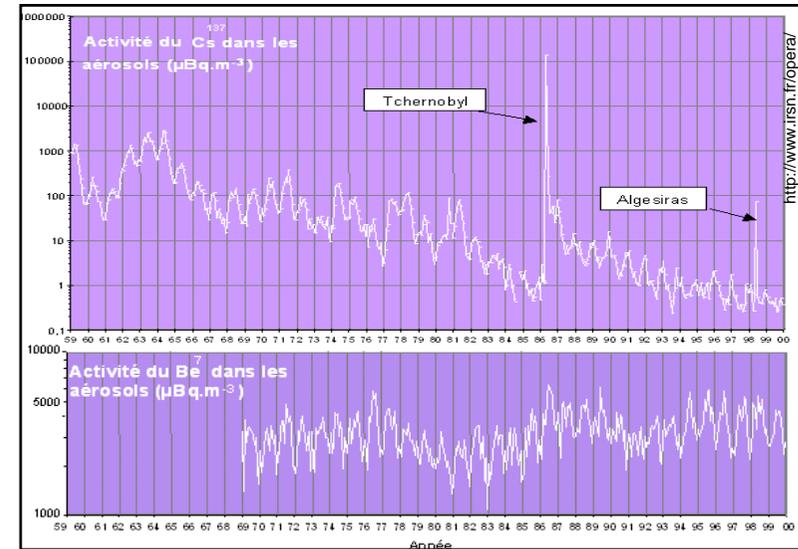
Observatoires de la radioactivité de l'environnement : le programme OPERA de l'IRSN



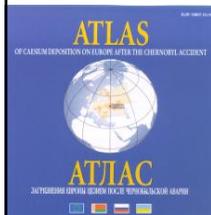
Une initiative nécessaire mais insuffisante, lancée en 1959, basée sur une structure légère non dimensionnée au problème car peu financée par les pouvoirs publics.



<http://www.irsn.fr/opera/>

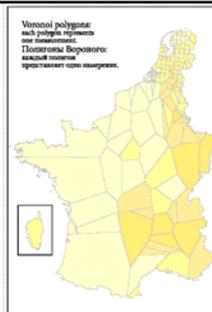


Les bases de données européennes pour le suivi de la radioactivité



Atlas of Caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident (de Cort, 1998)

<http://rem.jrc.cec.eu.int>



EUROPEAN COMMISSION
Joint Research Centre
Radioactivity Environmental Monitoring

EURDEP home Restricted access Public EURDEP map EURDEP project

What is EURDEP
Data flow
Browser test
Links
Support

Abstract
EURDEP (European Radiological Data Exchange Platform) makes unvalidated radiological monitoring data from most European countries available in nearly real-time. The participation of the EU member states is regulated by the Council Decision 87/600 and the Recommendation 2000/413/Euratom. The participation of non-EU countries is on a voluntary basis. Countries sending their national data have access to the data of all the other participating countries. In addition there is the gentlemen's agreement that participating to EURDEP automatically means that data delivery will continue during an emergency but with a higher data transmission frequency.

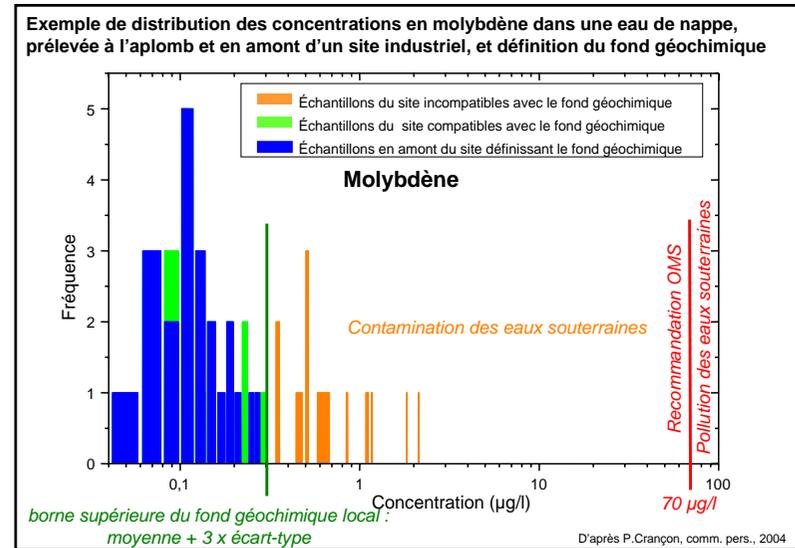
Latest News:
2005-06-01 09:30
Zipped EURDEP data
The central EURDEP software at the JRC is now able to handle ZIPPED data. It means that you are allowed to send (or make available) EURDEP data both zipped and unzipped. If you are on the mailing list for automatically receiving EURDEP data by Email, you will have...
more

Les référentiels réglementaires

- Référence = une même valeur pour tous.
- Le calcul de risque prime sur la mesure.
- Des référentiels variables :
 - selon les polluants
 - selon les ressources (eaux de boisson, de pisciculture, de baignade ...)
 - selon les usages du site
 - selon les pays
 - selon les organismes (CEE, OMS, US-EPA, INERIS ...)
 - selon les époques
- Multiplicité des sources documentaires
- Souvent mal employés :
 - Confusion avec les critères de réhabilitation
 - Confusion avec les critères de rejets (lois ICPE, directives CEE)
 - Confusion dans les usages (boisson, baignade, pisciculture ...)

Constituents of health significance in drinking-water	Health-based guideline value (mg/litre)	Remarks
antimony	0.005	Provisional guideline value : some evidence of a potential hazard but the available information on health effects is limited
arsenic	0.01	For excess skin cancer risk of 6×10^{-4} , Provisional guideline value
cadmium	0.003	
chromium	0.05	Provisional guideline value
copper	2	Based on acute gastrointestinal effects
fluoride	1.5	Climatic conditions, volume of water consumed, and intake from other sources should be considered when setting national standards
lead	0.01	Although not all water will meet the guideline value immediately, all measures to reduce the total exposure to lead should be implemented
manganese	0.5	Provisional guideline value. Concentrations below the guideline value may affect the appearance, taste, or odour of the water
mercury (total)	0.001	
molybdenum	0.07	
nickel	0.02	Provisional guideline value
nitrate (as NO ₃ ⁻)	50 (acute)	
nitrite (as NO ₂ ⁻)	3 (acute) 0.2 (chronic)	Provisional guideline value
selenium	0.01	
uranium	0.002	Provisional guideline value

Source : World Health Organization, 1998



En résumé :

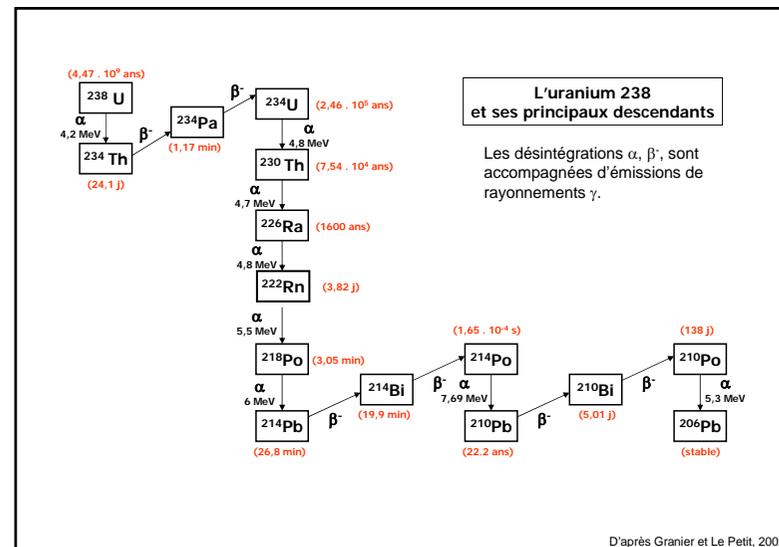
- les pollutions résultent d'une contamination ;
 - les sols sont des intégrateurs des contaminations, ils permettent généralement de remonter aux sources ;
 - les eaux de surface et les eaux souterraines sont des vecteurs rapides pour les contaminants et des ressources pour l'homme ;
 - les sols et la zone non saturée constituent la dernière barrière de confinement des pollutions avant atteinte de la ressource en eau ;
 - sols et nappes présentent naturellement ou artificiellement, par contamination préalable, des concentrations en contaminants.
- => Nécessité de savoir détecter et caractériser les contaminations dans les sols, le sous-sol, et les nappes.

Réflexion

Donner les différentes familles de contaminants et les principales caractéristiques physiques ou chimiques permettant de les identifier et/ou de les mesurer

Famille	Membre	Caractéristiques	Identification / mesure

Famille	Membres	Caractéristiques	Identification / mesure
chimique, métallique	Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Ti, Pb	Émissions X sous excitation X	Fluorescence X (sols)
chimique, minérale	Ca, Mg, Na, K, As (+ NO ₃ , PO ₄ , Fe, Si, Sr, S, CN ...) Cl, F	Émissions X sous excitation X Éléments majeurs pouvant affecter la salinité des eaux Sorptions sélective et DDP	Fluorescence X (sols) Conductivité (eaux), résistivité (sols) Électrode sélective (eaux)
chimique, organique	COV HAP, explosifs Tensio-actifs	Émission de vapeur Complexes AC-AG colorés Sorptions sélective et DDP	Détection de gaz organiques, chromatographe Colorimétrie Électrode sélective (eaux)
radioactive, naturelle	Uranium-238, uranium-235, thorium-232	Émissions α , γ , descendants à l'équilibre : ²²² Rn, ²¹⁴ Bi	Comptage, spectrométrie α ou γ , de l'uranium ou de ses descendants (Rn : gaz, Bi : très énergétique)
radioactive, traitée	Uranium appauvri	Émissions α , γ , absence de certains descendants	Comptage, spectrométrie γ de la chaîne de l'uranium
radioactive, artificielle	Césium (¹³⁷ Cs, ¹³⁴ Cs)	Émissions γ	Spectrométrie γ



Bibliographie (1/2)

- aida.ineris.fr : portail internet de l'INERIS, pour l'accès aux textes législatifs. Voir aussi Legifrance et Admynet. NB : seule la version papier du JO (disponible en mairie, préfecture, B.U. ...) fait foi.
- ANDRA, Où sont les déchets radioactifs en France ? Rapport de l'Observatoire National de l'ANDRA, pp. 646, 2000.
- Bizet, E., C. Nowak, D. Darmendrail, et J. Thorette, Participation aux travaux de l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE). Choix des indicateurs pour la pollution locale des sols, rapport BRGM/RP-51843-FR, pp. 142, 2002.
- CEE, Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, *Journal Officiel*, n° L 327, 2000.
- INRS, Classification, emballage et étiquetage des substances et préparations chimiques dangereuses. textes réglementaires et commentaires, pp. 30, Institut National de Recherche et de Sécurité, 1998.
- IRSN, Gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives, version 0. Editions IRSN, pp.110, 2001.
- MATE, Classeur Gestion des Sites (Potentiellement) Pollués - Diagnostic Initial et Evaluation Simplifiée des Risques, BRGM Editions, 2000a.
- MATE, Classeur Gestion des Sites Pollués - Diagnostic Approfondi et Évaluation Détaillée des Risques, BRGM Editions, 2000b.
- MATE, Mode d'emploi des outils méthodologiques applicables aux sites et sols pollués, pp. 27, Ministère de l'écologie et du développement durable, 2000c.
- Miltenberger, M., E. Pili, et G. Guinois, Méthode globale d'évaluation simplifiée des risques (ESR) et d'évaluation détaillée des risques (EDR) pour les sols (potentiellement) pollués par des substances chimiques et radioactives, pp. 65, CEA, Bruyères-le-Châtel, 2003.

Bibliographie (2/2)

- Coste, B., Cartographie des concentrations et des fonds géochimiques métalliques du massif des Vosges, rapport BRGM/RR-39979-FR, pp. 21, 1997.
- Darmendrail, D., D. Baize, J. Barbier, P. Freyssinet, C. Mouyet, I. Salpéteur, et P. Wavrer, Fond Géochimique Naturel. État des connaissances à l'échelle nationale, rapport BRGM/RP-50518-FR, pp. 93, 2000.
- de Cort M. (1998) Atlas of caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident. European Union.
- Granier, G., et G. Le Petit, *Spectrométrie gamma appliquée aux échantillons de l'environnement (Dossier de recommandations pour l'optimisation des mesures)*, 238 pp., Lavoisier, 2002.
- Jeannot, R., B. Lemièrre, S. Chiron, F. Augustin, et D. Darmendrail, Guide Méthodologique pour l'Analyse des Sols Pollués, document BRGM 298, pp. 84, éditions BRGM, 2001.
- MATE, Classeur Gestion des Sites (Potentiellement) Pollués - Diagnostic Initial et Évaluation Simplifiée des Risques, BRGM Editions, 2000.
- MATE, Guide méthodologique pour la mise en place et l'utilisation d'un réseau de forages permettant d'évaluer la qualité de l'eau souterraine au droit ou à proximité d'un site (potentiellement pollué). Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, pp. 61, 2003.
- Pottevin, M., et L. Thomas, Inventaire des normes sur la qualité des sols. Description et domaines d'application, pp. 57, AFNOR, 2003.
- World Health Organization, *Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Vol. 2 Health criteria and other supporting information, 1996 (pp. 940-949) and Addendum to Vol. 2. 1998 (pp. 281-283), Geneva, www.who.int*