



ACADÉMIE DES SCIENCES

*Pollution localisée
des sols et des sous-sols
par les hydrocarbures
et par les solvants chlorés*



Rapport n°44

MARS 2000

Editions
TEC
& **DOC**

ACADÉMIE DES SCIENCES

2-628-191-1



2-628-191-1

Pollution localisée des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés

Groupe de Travail animé et coordonné par
François COLIN
Professeur des Universités

à l'initiative du Comité de l'environnement
de l'Académie des sciences

Académie des sciences
Rapport n° 44

LONDRES

Editions
TEC
& **DOC**
PARIS

NEW YORK

11, rue Lavoisier
F 75384 Paris Cedex 08

Table des matières

Avant-propos	V
Auteurs et contributeurs	VII
Résumé opérationnel	XVII
Executive summary	XXIII
Introduction générale	XXIX

Première partie

LE CONSTAT DE LA CONTAMINATION ET DE SES EFFETS

Chapitre I – Problématique de la contamination	3
1. La pollution des sols et sous-sols	3
2. Le cas des pollutions ponctuelles par des hydrocarbures ou des solvants chlorés	5
3. Quelques définitions importantes	6
4. Les besoins liés à l'évaluation du risque.....	8
5. Bibliographie	12
Chapitre II – Activités et sources de pollution	13
1. Données globales	13
2. Les filières concernées	14
2.1. L'industrie pétrolière.....	15
2.2. L'industrie du charbon	23
2.3. L'industrie de la chimie organique	27
2.4. Les autres activités utilisant ces produits.....	32
2.5. Les activités de recyclage, de dépollution et d'élimination des déchets	34
3. Les produits concernés.....	34
3.1. Nature des substances	34

3.3. Fréquence de pollution rencontrée	35
3.2. Caractéristiques des substances	37
4. Sources de contamination ou de pollution	37
4.1. Les sites industriels en activité et le transport des matières dangereuses	37
4.2. Les anciens sites industriels et les friches	38
4.3. Les dépôts de déchets	39
5. Conclusions et recommandations	40
6. Bibliographie	40
Chapitre III – Caractérisation des sites contaminés	43
1. Délimitation des sites et caractérisation <i>in situ</i>	44
1.1. Méthodes d'application externe	44
1.2. Mesures <i>in situ</i> par sondes et/ou capteurs pénétrométriques (prélèvement ou mesure en profondeur)	49
1.3. Forages de reconnaissance, prélèvements et analyses sur site	55
1.4. Traitement et interprétation des résultats	58
2. Caractérisation détaillée par mesures de laboratoire	59
2.1. Stratégie et procédures d'échantillonnage.....	59
2.2. Conditionnement, transport, conservation des échantillons	60
2.3. Approche analytique de laboratoire	61
2.4. Approches complémentaires à l'analyse chimique	68
3. État de l'harmonisation et formalisation des techniques.....	69
4. Interprétation des résultats de caractérisation des sites.....	72
5. Conclusions et recommandations.....	73
6. Bibliographie	74
Chapitre IV – Mécanismes et phénomènes de transport et d'évolution des hydrocarbures et des solvants chlorés dans le milieu souterrain	81
1. Milieu souterrain	81
1.1. Zonation du milieu souterrain.....	81
1.2. Différents types de nappes	83
1.3. Piézométrie	85
1.4. Caractéristiques dynamiques du milieu souterrain	86
1.5. Hétérogénéité et anisotropie du milieu souterrain	88
1.6. Activité biologique du milieu souterrain	88
1.7. Lenteur des phénomènes dans le milieu souterrain	92
2. Caractéristiques physiques chimiques et biochimiques commandant le comportement des polluants dans le milieu souterrain ...	93
3. Différents modes de transport et de transformation des polluants	95
3.1. Dans la zone non saturée	96
3.2. Dans la zone saturée	98

4. Évolution des polluants à partir d'une phase individualisée	102
4.1. Évolution en phase gazeuse	102
4.2. Évolution en phase aqueuse	102
5. Méthodes de calculs et modèles.....	107
5.1. Calculs en ordre de grandeur	109
5.2. Modèles mathématiques classiques en hydrogéologie	110
5.3. Modèles multiphasiques	110
6. Conclusions	113
6.1. Pollutions par les hydrocarbures légers.....	113
6.2. Pollutions par les solvants organohalogénés.....	114
6.3. Pollutions par les hydrocarbures lourds.....	114
7. Recommandations	115
8. Bibliographie	116

Chapitre V – Impacts polluants : effets sur l'homme et sur les écosystèmes.....	119
1. Introduction	119
1.1. Pourquoi l'impact des pollutions des sols suscite-t-il un intérêt croissant ?	119
1.2. Le problème actuel concerne plus la gestion des pollutions anciennes que la prévention de nouveaux rejets.....	120
1.3. Particularités des pollutions organiques du sol	121
1.4. L'étude de l'impact sur l'homme et sur les écosystèmes : une séparation artificielle mais nécessaire	123
2. Étude de l'impact sur la santé humaine	124
2.1. Les pollutions organiques des sols et leur impact sanitaire en France.....	124
2.2. L'intérêt grandissant de la démarche d'évaluation des risques sanitaires	126
2.3. L'évaluation quantitative des risques sanitaires appliquée aux pollutions organiques des sols	128
2.4. La pratique en France de l'EQRS appliquée aux pollutions organiques des sols	146
3. Étude de l'impact sur l'écosystème.....	148
3.1. L'impact écologique des pollutions organiques des sols français	148
3.2. Généralités sur l'écotoxicologie	149
3.3. Application aux pollutions organiques des sols	158
4. Conclusions	165
5. Recommandations	167
5.1. Concernant l'impact sur la santé humaine.....	167
5.2. Concernant l'impact sur les écosystèmes	171
6. Bibliographie	172

Deuxième partie
POSSIBILITÉS D'ACTION

Chapitre VI – De l'évaluation des sites à leur gestion technique et économique	183
1. De l'évaluation à l'aide à la décision	183
2. Les principaux facteurs de décision	186
 Chapitre VII – Réduction du risque de pollution : prévention et protection	 189
1. Considérations sur le risque d'occurrence de pollution	189
1.1. Définitions	189
1.2. Types de pollution : chronique, accidentelle et historique	191
1.3. Préalables à la réduction du risque avant toute pollution	192
2. Prévention du risque de pollution	194
2.1. Prévention portant sur les procédés et sur la conception des installations	194
2.2. Prévention portant sur la maintenance et l'exploitation	197
2.3. Prévention portant sur la fermeture et la mise en sécurité de sites en fin d'exploitation	201
3. Protection contre les risques de pollution	202
3.1. Actions portant sur la source de pollution potentielle.....	202
3.2. Actions portant sur les transports	203
3.3. Actions portant sur les cibles de pollution	204
4. Conclusions et recommandations.....	206
5. Bibliographie	207
 Chapitre VIII – L'obligation de remise en état des sites pollués : aspects juridiques en France	 211
1. Introduction	211
2. Les fondements juridiques de l'obligation de remise en état	212
2.1. L'obligation de remise en état sur le fondement de la loi de 1917	213
2.2. L'obligation de remise en état sous l'empire de la loi de 1976.....	213
3. Les circonstances de la remise en état.....	214
3.1. À la suite de l'arrêt définitif de l'exploitation	214
3.2. En toutes circonstances par l'édiction de prescriptions complémentaires	215
3.3. En cas de cession d'un terrain sur lequel a été exploitée une installation classée	217
3.4. En cas de condamnation d'une personne exploitant une installation sans autorisation	217

4. Les personnes responsables de la remise en état	217
4.1. L'exploitant de l'installation	218
4.2. L'hypothèse d'une pluralité de personnes exploitant, sur un même site, des installations différentes	221
4.3. L'hypothèse de la succession d'exploitants dans la mise en œuvre d'une même installation	222
4.4. Le propriétaire de l'installation ou du site de l'installation	225
4.5. Le propriétaire – détenteur d'une installation classée	227
4.6. Le détenteur de déchets au sens de la loi du 15 juillet 1975	231
4.7. L'État	233
5. Les objectifs de la remise en état	234
5.1. La protection des intérêts de l'article 1 ^{er} de la loi du 19 juillet 1976 et la destination future des terrains (dé)pollués	234
5.2. L'institution de servitudes d'utilité publique après la remise en état	238
5.3. La tentation d'une remise en état maximaliste aux frais de l'exploitant	241
6. Les garanties de la bonne exécution de l'obligation de remise en état.....	242
6.1. L'agrément des cessions opérant un changement d'exploitant	243
6.2. La constitution de garanties financières.....	244
6.3. Les sanctions administratives	245
6.4. Les sanctions pénales	246
6.5. Des dispositifs fiscaux au service de la réhabilitation des sites pollués ?	247
7. Conclusion	248
8. Bibliographie	251
Chapitre IX – Techniques de dépollution des sols et des nappes..	255
1. Introduction : les critères du choix	255
2. Classification des méthodes	257
3. Bases fondamentales de mise en œuvre des procédés de décontamination de sols et nappes pollués par des hydrocarbures et des solvants halogénés	261
3.1. Propriétés physiques et thermodynamiques des polluants ..	262
3.2. Propriétés des sols et des aquifères	262
3.3. Adsorption/désorption des polluants organiques	263
3.4. Les processus cinétiques.....	264
3.5. Hydrodynamique et transport.....	264
3.6. Conclusions partielles	265
4. Les procédés de dépollution	266
4.1. Procédés physiques de dépollution par évacuation : des méthodes largement diffusées et éprouvées	266
4.2. Procédés physiques de dépollution par piégeage	277

4.3. Procédés thermiques, et chimiques de dépollution : des méthodes nouvelles mais pour une part déjà reconnues	279
4.4. Procédés biologiques : des méthodes extrêmement variées	283
5. Synthèses, conclusions et recommandations	291
6. Bibliographie	295
Chapitre X – Aspects socio-économiques	299
1. Approche typologique pour baser la réflexion économique	299
2. Cadre et concepts économiques	300
2.1. Bases économiques de la politique environnementale	301
2.2. Dépollution des sites contaminés	304
2.3. Estimation des coûts et des bénéfices de la dépollution	306
3. Prévention	309
3.1. Principes	309
3.2. Assurance et assurabilité	314
4. Coûts de la dépollution	315
4.1. Facteurs déterminants des coûts	318
4.2. Coûts des différentes étapes	319
4.3. Éléments qualitatifs	320
4.4. Éléments quantitatifs	321
4.5. Marché de la dépollution des sols et perspectives à l'horizon 2000	325
4.6. Guide, propositions de principes d'actions, recommandations	327
5. Bibliographie	329
Recommandations	331

ANNEXES AU RAPPORT

Annexe 1 : Nomenclature	355
Annexe 2 : Éléments de référence sur les substances polluantes	367
Annexe 3 : Aspects méthodologiques généraux	393



La pollution des sols et des sous-sols résulte des conséquences cumulées de diverses activités humaines, tant industrielles qu'agricoles, urbaines, militaires etc. Cette contamination, trop négligée jusqu'à une époque récente, est préoccupante par ses conséquences environnementales, sanitaires et socio-économiques.

Ce type de pollution se caractérise par des difficultés spécifiques d'identification et d'accessibilité, et par l'hétérogénéité des matières et des sites concernés ; à ce titre, il mérite une attention particulière.

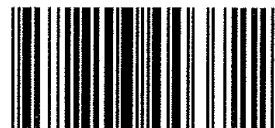
Le présent rapport est consacré à l'une des formes de pollution des sols et sous-sols les plus courantes, impliquant les hydrocarbures et les solvants chlorés. La problématique en est développée tant au niveau descriptif de la contamination et de ses effets qu'à celui des possibilités d'actions préventives ou curatives, dans un contexte où coexistent contraintes juridiques et économiques ainsi qu'obligations sociales. Ce travail est complémentaire de celui consacré à la pollution des sols par les éléments en traces, objet du rapport n° 42 de l'Académie des sciences (août 1998), les deux types de contaminations relevant de caractères, et de logiques très différents.

La première partie de l'ouvrage traite du constat : origines des contaminations (activités et sources de pollutions), moyens d'identification, localisation, délimitation, quantification des contaminations terrestres superficielles et souterraines (caractérisation des sites contaminés), devenir des contaminants dans les sols et sous-sols (mécanismes, phénomènes de transport et d'évaluation), identification des impacts constatés ou potentiels (effets sur l'homme et les écosystèmes).

La deuxième partie traite du cadre et des moyens d'action, en fonction de paramètres réglementaires, techniques et socio-économiques. Il est légitime de considérer prioritairement les mesures préventives de réduction du risque (prévention et protection) avant de justifier des obligations de remise en état des sites déjà contaminés (aspects juridiques). Cette réhabilitation des sites contaminés est ensuite considérée sous l'angle technologique. Enfin les contraintes socio-économiques constituent des justifications pour l'action, dont elles fixent les limites pratiques et effectives.

Les recommandations relatives aux différents aspects décrits dans le rapport sont regroupées à la fin de l'ouvrage.

2-7430-0372-3



9782743003722

