



ETUDE N° 93-0503/1A

SYNTHESE DE L'ETUDE

FRANÇAIS

**INVESTIGATION SUR LES DIFFERENTES APPROCHES DE LA
DEFINITION ET DE LA QUALIFICATION D'UN SOL POLLUE**

décembre 1994

R. GOURDON et Y. PERRODIN - LCPAE INSA de Lyon

P. CAMBIER et E. BARRIUSO - Unité de Science du Sol INRA Versailles et Grignon

M. PRIEUR - CRIDEAU CNRS Limoges

<p style="text-align: center;">OBJECTIFS DE LA RECHERCHE</p>	<p>Réaliser l'analyse critique des différents modes de la qualification d'un site pollué en France et dans certains autres pays industrialisés. Cette approche sera conduite par des spécialistes de différentes disciplines scientifiques, juridiques et économiques.</p>
<p style="text-align: center;">RESUME DES ACQUIS TECHNIQUES et SCIENTIFIQUES</p>	<p>Cette étude comporte quatre parties :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Une revue critique des méthodes existantes d'évaluation des sites pollués ; ces méthodes se répartissent selon 3 approches : <ul style="list-style-type: none"> - par référentiel. - par méthodes d'analyse de risques. - par méthodes de hiérarchisation des sites. <p>Les situations dans les pays suivants : France, Pays-Bas, Allemagne, Royaume-Uni, Canada, Etats-Unis, Suisse.</p> 2. Une étude scientifique de la compréhension et de l'évaluation des interactions entre polluants et sols pour : <ul style="list-style-type: none"> - des polluants minéraux, - des polluants organiques. 3. Une proposition de recommandation en vue de l'élaboration d'une méthodologie de définition et de qualification des sites pollués comprenant : <ul style="list-style-type: none"> - l'examen des démarches scientifiques de l'évaluation des impacts et des effets potentiels, - l'inventaire des outils existants. 4. Une analyse économique et juridique des problèmes de la pollution des sites s'appuyant sur l'analyse d'expériences étrangères (Etats-Unis, Canada, Suisse).

<p>ANALYSE DU CONTENU DE L'ETUDE</p> <p>Points forts / Points faibles</p>	<p>points forts :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Très exhaustive base documentaire sur le sujet. - L'approche pluridisciplinaire est très intéressante. <p>points faibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ambiguïté des concepts sols et sites pollués ce qui a pu conduire à certaines confusions. - difficulté de rédiger un document à jour, compte tenu des évolutions très rapides de ce sujet. - nécessité de disposer d'un lexique précis permettant un dialogue clair (exemple : valeurs seuils, seuils déclenchants...)
<p>CONCLUSIONS GENERALES</p> <p>APPLICATION PRATIQUE ET DOMAINE D'UTILISATION</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ce rapport constitue une base documentaire complète, exhaustive riche en informations et analyses. - En se référant aux expériences internationales citées, il permet déjà aux industriels de puiser les éléments réglementaires et techniques pour des actions qui leur sont propres (négociation avec les autorités compétentes, travaux scientifiques ou techniques)
<p>MOTS CLEF</p>	<p>Sites pollués - réglementation - international - droit de l'environnement - sols - déchets.</p>

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE A (Rédaction INSA)

REVUE CRITIQUE DES METHODES EXISTANTES D'ÉVALUATION DES SITES POLLUÉS

1

PREAMBULE A PROPOS DES DIFFERENTES METHODES

2

1.1	<u>Approche par le référentiel</u>	4
1.1.1	Présentation générale	4
1.1.2	Le sol, un milieu qui se prête mal à une approche par référentiel	4
1.1.3	Utilisation du référentiel	5
1.1.4	Importance des procédures d'analyse dans l'application du référentiel	5
1.2	<u>Méthodes d'analyse de risques</u>	5
1.2.1	Présentation	5
1.2.2	Utilisation de ces méthodes	6
1.3	<u>Méthodes de hiérarchisation des sites</u>	6
1.3.1	Présentation	6
1.3.2	Utilisation de ces méthodes	6
1.3.3	Limites de la standardisation	6
1.3.3.1	Choix des paramètres	6
1.3.3.2	Effet de bord	7
1.3.3.3	Pondération	7
1.3.3.4	Mode d'agrégation	7
1.4	<u>Présentation des différentes méthodes de définition/évaluation des sites pollués</u>	8

2.1	<u>La France en plein travail</u>	10
2.1.1	Quelques rares textes de référence	10
2.1.2	Le référentiel hollandais comme outil de remplacement	11
2.1.3	Mise en place récente d'une véritable politique de traitement des sites et sols pollués	11
2.2	<u>Les Pays-Bas</u>	12
2.2.1	Etape 1 : première loi, premier référentiel	12
2.2.2	Etape 2	12
2.2.3	Etape 3 : élaboration du référentiel actuel	14
2.3	<u>L'Allemagne au niveau fédéral</u>	20
2.3.1	Historique	20
2.3.2	Le référentiel	20
2.3.3	Une méthode d'analyse de risques en cours d'élaboration	22
2.4	<u>Méthode de hiérarchisation de la Bavière</u>	24
2.5	<u>Méthode de hiérarchisation du Baden-Württemberg</u>	28
2.6	<u>Le Royaume-Uni</u>	32
2.6.1	Le référentiel	32
2.6.2	Vers un nouveau référentiel et une méthode d'analyse de risques	33
2.6.2.1	Un vaste programme de recherche	33
2.6.2.2	Calcul d'exposition pour l'homme	34
2.6.2.3	Evaluation des impacts	35
2.6.2.4	Finalité du programme	36
2.7	<u>Le Canada au niveau fédéral</u>	37
2.7.1	Le référentiel	37
2.7.1.1	Historique	37
2.7.1.2	Situation actuelle	39
2.7.2	Méthode de hiérarchisation des sites	43
2.7.2.1	Contexte	43
2.7.2.2	Description	43
2.7.2.3	Utilisation de la méthode	44
2.7.2.4	Mode de fonctionnement de la méthode	45
2.7.2.5	Conclusion sur la méthode canadienne	45

2.8	<u>Le Québec</u>	47
2.8.1	Le référentiel hollandais modifié	47
2.8.2	Une méthode complète d'analyse de risques en préparation	47
2.9	<u>L'Ontario</u>	53
2.10	<u>Alberta</u>	54
2.10.1	Le référentiel	54
2.10.2	Méthode d'analyse de risques	54
2.11	<u>La Colombie Britannique</u>	55
2.12	<u>Les Etats-Unis au niveau fédéral</u>	56
2.12.1	Contexte général	56
2.12.2	Description d'une méthode simplifiée d'analyse de risques développée par l'EPA	57
2.12.3	Le Hazard Ranking System	60
2.12.4	Méthode simplifiée du HRS	67
2.13	<u>Le New-Jersey</u>	70
2.13.1	Le référentiel	70
2.13.2	Méthode simplifiée d'analyse de risques	70
2.13.3	De nouvelles orientations en 1992	71
2.13.4	Méthode de hiérarchisation des sites	71
2.14	<u>La Californie</u>	73
2.14.1	Ancienne méthode simplifiée d'analyse de risques	73
2.14.2	Référentiel et méthode simplifiée d'analyse de risques	73
2.15	<u>L'état de Washington</u>	75
2.16	<u>La Suisse</u>	76
2.17	<u>Tableaux de synthèse</u>	78
2.17.1	Caractéristiques des critères des principaux référentiels existants	78
2.17.2	Caractéristiques des principales méthodes d'analyse de risques ou d'élaboration de référentiel	78

ANALYSE CRITIQUE DES REFERENTIELS EXISTANTS		81
3.1	<u>Généralités</u>	82
3.2	<u>Evaluation des fondements de référentiels basés sur une approche toxicologique</u>	83
3.3	<u>Comparaison des référentiels des pays sélectionnés</u>	86
3.3.1	Aspects qualitatifs	86
3.3.2	Aspects quantitatifs	88
3.3.2.1	Cas des métaux	88
3.3.2.2	Cas des polluants organiques	93

ANALYSE CRITIQUE DES METHODES DE HIERARCHISATION EXISTANTES		94
4.1	<u>Généralités</u>	95
4.2	<u>Limites des méthodes de hiérarchisation</u>	96
4.2.1	Agrégation des données et effet de bord	96
4.2.2	Choix des critères	97
4.2.3	Pondération des critères	97
4.3	<u>Comparaison des PA scoresheets et de la méthode canadienne</u>	97
4.3.1	Approche suivie	97
4.3.2	Résultats obtenus	99
Annexes de la partie A		103

PARTIE B (Rédaction INRA)

**BASES SCIENTIFIQUES DE LA COMPRÉHENSION ET DE
L'ÉVALUATION DES INTERACTIONS POLLUANTS / SOLS**

1

PREAMBULE

1

2

POLLUANTS INORGANQUES

2

2.1	<u>Teneurs totales en éléments-traces des sols non contaminés</u>	2
2.1.1	Introduction et définitions	2
2.1.2	Etat des connaissances dans quelques pays étrangers (distributions des teneurs et facteurs de variations)	3
2.1.3	Données publiées sur les sols français	8
2.1.4	Analyses statistiques sur les données concernant une "collection" de sols français	10
2.2	<u>Dynamiques des éléments-traces dans les sols</u>	16
2.2.1	Spéciation (état physicochimique)	18
2.2.2	Réactions physicochimiques	21
2.3	<u>Effets de contaminants inorganiques sur les végétaux et leur qualité</u>	24
2.3.1	Méthodes d'étude des transferts sols-plantes : cultures en conditions contrôlées	24
2.3.2	Effets des éléments-traces sur les plantes in situ	25
2.3.3	Spéciation chimique et biodisponibilité	27
2.3.4	Importance de la pollution du sol	28
2.3.5	Facteurs des sols influençant les transferts sols-plantes	28

3

POLLUANTS ORGANIQUES

31

3.1	<u>Introduction</u>	31
3.2	<u>Nature des polluants organiques des sols et principales sources</u>	32
3.3	<u>Caractère polluant des molécules organiques en fonction de leur comportement dans les sols</u>	35
3.4	<u>Disponibilité des polluants comme conséquence de leur rétention par les sols</u>	40
3.5	<u>Variation temporelle du comportement de polluants organiques dans les sols</u>	47

3.6	<u>Dispersion des polluants par des phénomènes abiotiques</u>	54
3.6.1	Transport par lixiviation	54
3.6.2	Transport par ruissellement	57
3.7	<u>Variation temporelle du comportement de polluants organiques dans les sols</u>	59
3.7.1	Présentation générale de modèles numériques	59
3.7.2	Limitations de la modélisation numérique	63

ANNEXES DE LA PARTIE B

Références bibliographiques de la partie B2

Références bibliographiques de la partie B3

PARTIE C (Rédaction INSA et INRA)

**RECOMMANDATIONS EN VUE DE L'ÉLABORATION
D'UNE MÉTHODOLOGIE DE DÉFINITION ET DE QUALIFICATION
DES SITES POLLUÉS**

1

PREAMBULE	3
1.0 <u>Rappels</u>	3
1.1 <u>Terme source</u>	6
1.2 <u>Voies d'exposition</u>	6
1.3 <u>Cibles</u>	6
1.4 <u>Nature de nos réflexions et recommandations</u>	7

2

LES DIFFERENTES DEMARCHES DE L'EVALUATION DES IMPACTS POTENTIELS OU REELS SUR LES BIOTOPES ET BIOCENOSES	8
2.1 <u>Objectifs et approches suivis dans cette partie de l'étude</u>	9
2.2 <u>Présentation générale des démarches envisageables pour évaluer les impacts sur les différents milieux</u>	11

3

OUTILS EXISTANTS OU A DEVELOPPER POUR L'ELABORATION D'UNE METHODOLOGIE DE DEFINITION ET QUALIFICATION DES SITES POLLUES	16
3.1 <u>Méthodes pour la détermination des concentrations en polluants dans les sols et déchets</u>	17
3.1.1 Méthodes pour la détermination des concentrations en polluants dans les sols	17
3.1.2 Méthodes pour la détermination des concentrations en polluants dans les déchets	21
3.2 <u>Méthodes d'évaluation du comportement des polluants dans les sols et les déchets</u>	21
3.2.1 Comportement des polluants dans les sols	21
a) Mobilité	22
b) Rémanence	26
c) Biodisponibilité	29
3.2.2 Comportement des polluants dans les déchets	36
3.2.2.1 Lixiviation	36
3.2.2.2 Effets des agressions microbiennes	43

3.3	<u>Outils pour l'évaluation des impacts réels (constatés) sur les écosystèmes cibles (indicateurs de pollution)</u>	49
3.3.1	Mesure des impacts réels sur les écosystèmes du sol	49
a)	Indicateurs physiques et chimiques de la dégradation des sols	49
b)	Indicateurs de la dégradation biologique des sols	51
c)	Impacts sur les plantes supérieures (contamination par éléments-traces)	58
3.3.2	Mesure des impacts réels sur les écosystèmes aquatiques	59
a)	Généralités	59
b)	Méthode des saprobies	60
c)	Méthodes globales	60
3.3.3	Mesure des impacts réels sur les écosystèmes terrestres	61
a)	Animaux "sentinelles"	61
b)	Végétaux "sentinelles" (exemple des lichens)	66
3.4	<u>Outils pour l'évaluation des impacts potentiels sur les écosystèmes cibles (tests d'écotoxicité)</u>	68
3.4.1	Outils pour l'évaluation en laboratoire de l'impact potentiel direct sur l'écosystème sol	68
a)	Tests réalisés sur la faune tellurique	68
b)	Tests réalisés sur la microflore du sol	69
c)	Tests réalisés sur les végétaux supérieurs	73
d)	Outils pour l'évaluation au laboratoire de l'impact potentiel sur l'écosystème sol via la propagation en milieu aqueux	74
3.4.2	Outils pour l'évaluation en laboratoire des impacts potentiels sur les écosystèmes aquatiques	75
a)	Les tests normalisés disponibles en France	75
b)	Les autres tests réalisés sur une espèce unique	75
c)	Les batteries de tests	76
d)	Les écosystèmes reconstitués	77
e)	Outils pour l'évaluation au laboratoire de l'impact potentiel sur les écosystèmes aquatiques via la propagation en milieu aqueux	77
3.4.3	Outils pour l'évaluation en laboratoire des impacts potentiels sur les écosystèmes terrestres	78

4

DEMARCHE PROPOSEE POUR L'EVALUATION DES SITES POLLUES ET CONTRIBUTION A LA METHODOLOGIE NATIONALE	79
--	-----------

4.1	<u>Bases bibliographiques, scientifiques et techniques utilisées pour l'établissement de la démarche proposée</u>	80
4.2	<u>Règles fondamentales préalables</u>	80
4.3	<u>Démarche globale proposée</u>	81
4.4	<u>Recommandations méthodologiques et points à développer</u>	83
4.4.1	Seuils "déclenchants"	84
4.4.2	Hierarchisation	87
4.4.3	Evaluation des risques	89

5

CONCLUSIONS - PERSPECTIVES	91
-----------------------------------	-----------

PARTIE D (Rédaction CRIDEAU)
ANALYSE ECONOMIQUE ET JURIDIQUE

1

ANALYSE ECONOMIQUE DE LA DECONTAMINATION DES SITES

Ch I- <u>Valeur de non usage et décontamination</u>	3
1- L'évaluation monétaire des dommages causés à l'environnement	3
A L'approche par la valeur	3
B L'intégration du temps et le choix d'un taux d'actualisation	8
II- Les procédures d'internalisation des effets externes	10
A L'utilisation des mécanismes de marché	10
B La réglementation	14
III- Les difficultés pratiques de l'internalisation	17
A Les résultats de l'évaluation monétaire	17
B L'évaluation monétaire : un outil limité mais nécessaire	18
Ch II- <u>Expériences et optimum de décontamination</u>	23
1- Les fondements économiques des politiques de décontamination	23
A Le classement des sites contaminés	23
B How clean is clean ?	29
II- Optimum de décontamination et prix du foncier	31
A La détermination théorique du niveau optimal de décontamination	32
B Le rôle de l'internalisation des effets externes hors marché	42

2

ANALYSE JURIDIQUE

Le cas français

Droit et politique publics	62
I Les mécanismes de prévention	63
II Mécanismes de restauration des lieux, de réparation des dommages et répression	77
III Instruments financiers et fiscaux	84
IV Discussion - préconisation	86
Responsabilités civiles	95
I Cas de contamination d'un site et de son voisinage toujours exploité par un industriel	96
II Cas de contamination provenant d'un site abandonné ou dont l'exploitant est inconnu	110
Droit pénal et sites contaminés	118
I Conamination d'un site par un industriel en activité	119
II Contamination d'un site abandonné	127

Les expériences étrangères

La législation québécoise sur les sites contaminés	129
Les Etats Unis	146
Les sites contaminés en droit suisse	161