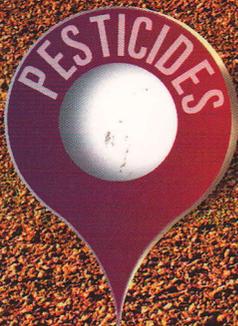


# Les polluants dans le SOL

## limiter leurs impacts environnementaux

Raoul Calvet

- Connaître leur devenir
- Identifier et décrire leurs conséquences sur les écosystèmes
- Mettre en œuvre des moyens pour une protection durable des milieux naturels



# Sommaire

Avant-propos .....	V
Introduction .....	XV
<b>PARTIE I – LE CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL .....</b>	<b>1</b>
Résumé .....	2
<b>1 L'eau .....</b>	<b>5</b>
Ressources en eau .....	6
Usages de l'eau .....	8
<b>2 Les aliments .....</b>	<b>11</b>
Alimentation dans le monde .....	11
Production agricole .....	12
Ressources et utilisation des terres .....	12
État des ressources .....	12
Évolutions des ressources en terres .....	14
Dégradation du sol .....	14
Changements climatiques .....	15
Transformations d'origines sociales et économiques .....	15
Intensification de la production agricole .....	16
Pratiques agissant sur les apports de polluants et leur devenir .....	16
Fertilisation .....	16
Apports d'amendements minéraux .....	21
Protection des végétaux et des animaux .....	21
Aménagements des terres .....	23
Irrigation .....	23
Drainage du sol .....	23
<b>3 Les rejets .....</b>	<b>25</b>
Déchets .....	25
Déchets et rejets provenant de l'agriculture .....	26
Déchets domestiques (ordures ménagères) et municipaux .....	26
Eaux usées .....	26
Excédents de substances à caractère polluant .....	28
Excédents d'éléments chimiques nutritifs .....	28
Excédents de produits phytosanitaires .....	30
Émissions de gaz .....	31

	Gaz à effet de serre (GES).....	32
	Gaz précurseurs d'acides .....	33
	Composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) .....	33
	Autres composés organiques .....	34
<b>4</b>	<b>Les polluants chimiques présents dans le sol et leurs origines</b> ...	<b>35</b>
	Polluants d'origines anthropiques .....	35
	Origines industrielles .....	35
	Origine agricole .....	38
	Origines domestiques et urbaines .....	39
	Polluants d'origine naturelle présents dans le sol .....	40
	Dépôts atmosphériques .....	41
	Processus d'altération des minéraux.....	42
	Minéralisation des matières organiques dans le sol .....	44
	<b>PARTIE II – PROPRIÉTÉS ET DEVENIR DES POLLUANTS DANS LE SOL</b> .....	<b>55</b>
	Résumé.....	56
<b>5</b>	<b>Nocivité des polluants présents dans le sol</b> .....	<b>57</b>
	Toxicité.....	57
	Toxicité des polluants inorganiques .....	57
	Éléments chimiques .....	57
	Métaux .....	57
	Arsenic et sélénium .....	59
	Composés inorganiques .....	59
	Sels minéraux, salinité. ....	60
	Toxicité des polluants organiques .....	62
	Toxicité des nanomatériaux .....	63
	Modifications des propriétés physico-chimiques du sol .....	64
	Substances acides et acidification des sols .....	64
	Sodisation des sols .....	65
<b>6</b>	<b>Mobilité des polluants dans le sol</b> .....	<b>67</b>
	Les trois états des espèces chimiques dans le sol .....	68
	État d'oxydation, réactions d'oxydoréduction .....	68
	État ionique, réaction d'ionisation.....	70
	État complexé, réaction de complexation .....	71
	Répartition des polluants entre les trois phases du sol.....	75
	Dissolution dans l'eau.....	76
	Phénomènes à l'origine de la dissolution dans l'eau .....	76
	Polluants inorganiques ionisés.....	76
	Polluants organiques .....	77

Valeurs de la solubilité dans l'eau . . . . .	79
Volatilisation . . . . .	82
Processus de volatilisation . . . . .	82
Polluants inorganiques . . . . .	82
Polluants organiques . . . . .	83
Coefficient de partage eau/air, coefficient de Henry . . . . .	84
Rétention/libération des polluants dans le sol . . . . .	85
Phénomènes impliqués dans la rétention des polluants . . . . .	85
Coefficient de partage eau/surface solide ( $K_d$ ) . . . . .	87
<b>7 Persistance des polluants . . . . .</b>	<b>91</b>
Transformations chimiques à l'origine de la dissipation des polluants inorganiques non métalliques . . . . .	92
Composés azotés . . . . .	92
Autres composés inorganiques . . . . .	93
Dégradation des polluants organiques . . . . .	93
Dégradation abiotique . . . . .	94
Réactions chimiques spécifiques . . . . .	94
Réactions chimiques en phase adsorbée . . . . .	95
Réactions photochimiques . . . . .	96
Biodégradation . . . . .	96
Processus et mécanismes . . . . .	96
Vitesses de dégradation . . . . .	96
Valeurs des vitesses de dégradation . . . . .	100
Dissipation des pesticides dans le sol, concept de persistance . . . . .	102
<b>8 Transport des polluants dans le sol . . . . .</b>	<b>107</b>
Modalités du transport dans le sol . . . . .	107
Transport en phase gazeuse . . . . .	107
Transport à l'état dissous . . . . .	108
Transport à l'état particulaire . . . . .	111
Caractéristiques des transports des polluants dans le sol et de leurs transferts vers l'atmosphère et l'hydrosphère . . . . .	111
Polluants inorganiques . . . . .	112
Composés carbonés . . . . .	112
Composés azotés et phosphorés . . . . .	112
Arsenic et sélénium . . . . .	114
Métaux . . . . .	114
Polluants organiques . . . . .	116
Biodisponibilité des polluants dans le sol . . . . .	117
Définitions . . . . .	117
Facteurs agissant sur la biodisponibilité et les quantités biodisponibles . . . . .	118
Déterminations en relation avec les quantités biodisponibles . . . . .	120

<b>PARTIE III – CONSÉQUENCES DE LA PRÉSENCE DES POLLUANTS CHIMIQUES</b>	
<b>DANS LE SOL</b> .....	129
Résumé .....	130
<b>9 Le sol et la pollution des écosystèmes</b> .....	131
État de la pollution des sols .....	131
Polluants inorganiques .....	132
Composés d'éléments non métalliques .....	132
Éléments chimiques traces .....	132
Autres polluants inorganiques .....	135
Polluants organiques .....	136
Pollutions localisées des sols .....	137
<b>Les sols et les polluants présents dans les eaux</b> .....	138
Voies de pollution des eaux .....	138
Polluants inorganiques dans les eaux .....	139
Nutriments des végétaux .....	140
Nutriments azotés .....	140
Nutriments phosphorés .....	142
Éléments chimiques traces .....	143
Métaux .....	143
Arsenic .....	143
Nanomatériaux artificiels .....	144
Polluants organiques dans les eaux .....	144
Produits phytosanitaires .....	145
Produits à usages industriels et domestiques .....	147
Produits à usages pharmaceutiques .....	148
<b>Les sols et les polluants présents dans atmosphère</b> .....	149
Polluants inorganiques .....	149
Particules solides .....	149
Polluants gazeux .....	151
Composés gazeux à effet de serre .....	151
Éléments chimiques traces .....	152
Polluants organiques dans l'air .....	152
<b>10 Les polluants et les fonctions du sol</b> .....	156
Fonctions du sol .....	156
Effets des polluants sur les fonctions du sol .....	158
Problématique .....	158
Fonctions des organismes vivants du sol .....	159
Effets observés .....	161
Effets observés avec des éléments chimiques traces .....	163
Effets sur les micro-organismes du sol .....	163

	Effets sur les autres organismes du sol .....	163
	Effets observés avec des composés organiques .....	164
	Effets sur les micro-organismes du sol .....	164
	Effets sur les autres organismes du sol .....	165
	Concept de qualité des sols .....	166
<b>11</b>	<b>Les polluants et les services rendus par les écosystèmes.</b> .....	<b>168</b>
	Concept de service .....	168
	Services et menaces pesant sur l'abondance et la diversité des organismes vivants du sol .....	169
	Aspects économiques .....	172
<b>PARTIE IV – LIMITER OU SUPPRIMER LA PRÉSENCE DE POLLUANTS</b>		
	<b>DANS LE SOL.</b> .....	<b>175</b>
	Résumé .....	176
<b>12</b>	<b>Réduction des apports de polluants</b> .....	<b>179</b>
	<b>Nutriments des végétaux.</b> .....	<b>179</b>
	Observations. ....	179
	Moyens pour améliorer l'efficacité de la fertilisation. ....	182
	Détermination des quantités de nutriments à apporter .....	182
	Azote .....	183
	Soufre .....	186
	Phosphore et potassium .....	186
	Calcium, magnésium et oligo-éléments métalliques. ....	187
	Temporalité des apports .....	188
	<b>Éléments chimiques traces.</b> .....	<b>189</b>
	<b>Composés organiques</b> .....	<b>189</b>
	Réduction des apports de pesticides. ....	189
	Pesticides chimiques .....	189
	Alternatives au seul usage des pesticides chimiques .....	191
	Réduction des apports de composés organiques traces .....	192
<b>13</b>	<b>Limitier les transferts à partir du sol</b> .....	<b>194</b>
	<b>Transferts vers l'atmosphère.</b> .....	<b>194</b>
	Apports directs dans le sol de composés gazeux .....	194
	Limitation des transferts de composés gazeux formés dans le sol .....	195
	Composés azotés .....	195
	Ammoniac .....	195
	Oxydes d'azote .....	195
	<b>Transferts vers l'hydrosphère</b> .....	<b>196</b>
	Protection et prévention de la qualité des eaux par la limitation des transferts .....	197

	Zones vulnérables . . . . .	198
	Zones de protection . . . . .	198
	Zones de prévention . . . . .	199
	Aménagements pour limiter les transferts . . . . .	199
	<b>Limiter les transferts par leur prévision et l'estimation des risques de pollution . . . . .</b>	<b>200</b>
	Problématique . . . . .	200
	Prévision et estimation des risques de pollutions par les polluants organiques . . . . .	202
	Démarches de classements des polluants . . . . .	202
	Utilisation d'une seule grandeur . . . . .	202
	Utilisation de plusieurs grandeurs . . . . .	202
	Démarches de classements selon la vulnérabilité des milieux naturels . . . . .	203
	Modélisations mécanistes . . . . .	206
	Prévision et estimation des pollutions par les polluants inorganiques . . . . .	209
	Approches empiriques . . . . .	210
	Approches mécanistes pour l'estimation des pollutions par les métaux . . . . .	211
	<b>14 Traiter les sols pollués . . . . .</b>	<b>212</b>
	Utilisation des amendements . . . . .	212
	Actions sur les propriétés physico-chimiques . . . . .	212
	Amendements minéraux . . . . .	212
	Amendements organiques . . . . .	213
	Actions sur la biodégradation des polluants organiques . . . . .	214
	Utilisation des végétaux pour traiter les sols pollués . . . . .	217
	Processus dans la rhizosphère . . . . .	217
	Processus dans la plante . . . . .	219
	Phytoextraction et phytoaccumulation . . . . .	219
	Phytotransformations chimiques . . . . .	219
	Utilisation des micro-organismes . . . . .	220
	<b>15 Démarches globales (ou intégrées) en agriculture . . . . .</b>	<b>221</b>
	Démarches relatives à l'agriculture conventionnelle . . . . .	222
	Types de démarches . . . . .	222
	Intensification et durabilité d'une agriculture conventionnelle . . . . .	222
	Démarches relatives à l'agriculture durable . . . . .	223
	Agriculture de conservation . . . . .	223
	Production agricole biologique . . . . .	224
	Agroécologie . . . . .	225

<b>Bibliographie</b> .....	227
<b>Index</b> .....	246
<b>Liste des notes complémentaires</b> .....	249
<b>Liste des figures</b> .....	250
<b>Liste des tableaux</b> .....	254
<b>Liste des organismes</b> .....	258
<b>Liste des sigles et abréviations</b> .....	260

**Le contexte environnemental est marqué par la recherche de la satisfaction des besoins des populations humaines en eau, en aliments et d'une façon générale de tout ce qui concerne leur bien-être. Elle conduit, entre autres, à l'exposition des sols à des pollutions chimiques qui deviennent une préoccupation de plus en plus importante.**

Cet ouvrage propose un tableau général relatif aux polluants organiques et inorganiques présents dans les sols. Il est conçu pour être une source d'informations aussi simple que possible tout en rapportant les connaissances scientifiques essentielles d'aujourd'hui.

- L'exposé des principales données sur leurs propriétés et les processus qui se déroulent dans le sol sert de base à la description des différents aspects de leur devenir, de leurs transferts dans les écosystèmes et de leur biodisponibilité.
- La description des états de pollution des sols, des eaux et de l'air permet d'exposer les conséquences sur les fonctions du sol et les services rendus par les écosystèmes. L'accent est mis sur les rôles des organismes vivants du sol des points de vue de leur biomasse et de leur biodiversité.
- Les informations présentées sont utilisées pour décrire et expliquer les moyens de supprimer ou de réduire la présence de polluants chimiques dans le sol et d'estimer leur devenir dans l'environnement. Les principes des pratiques et des techniques mises en œuvre concernent principalement les nutriments végétaux, les éléments chimiques traces et les pesticides.

---

***Raoul Calvet** est ingénieur agronome, docteur ès sciences physiques et ancien professeur à l'Institut national agronomique Paris-Grignon.*

ISBN : 978-2-85557-601-5

