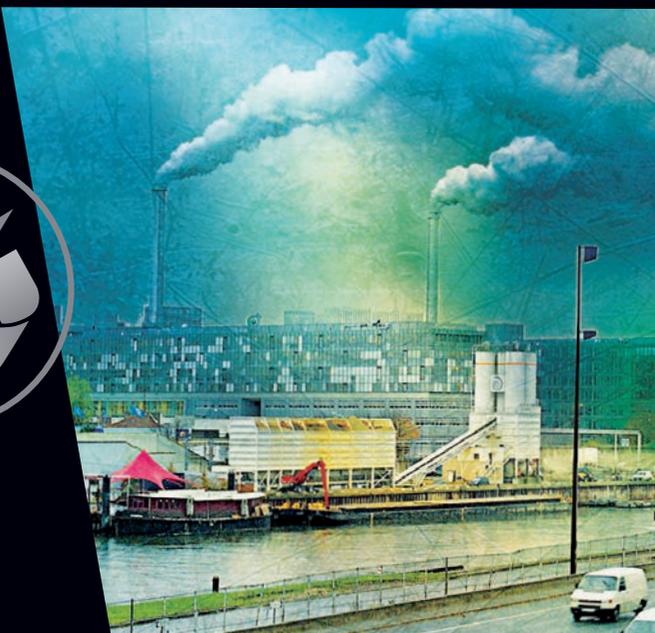


Bliefert | Perraud

# Chimie de l'environnement

Air, eau, sols, déchets

2<sup>e</sup> édition française



 de boeck



# Chimie de l'environnement

## Air, eau, sols, déchets

## Chez le même éditeur

Extrait du catalogue

Chimie

ATKINS P.W. et DE PAULA J., Chimie Physique, 3<sup>e</sup> éd.

ATKINS P.W. et JONES L., Principes de chimie, 2<sup>e</sup> éd.

ATKINS P.W. et SHRIVER D.F., Chimie inorganique

BRÜCKNER R., Mécanismes réactionnels en chimie organique

CLAYDEN J.C., GREEVES N., WARREN S., WOTHERS P., Chimie organique

DEPOVERE P., La classification périodique des éléments. La merveille fondamentale de l'Univers.

DEPOVERE P., Chimie générale, 3<sup>e</sup> éd.

DEPOVERE P., Chimie organique, 2<sup>e</sup> éd.

HOUSECROFT C.E., SHARPE A. G., Chimie inorganique

KOTZ J.C., TREICHEL Jr P.M., Chimie générale

KOTZ J.C., TREICHEL Jr P.M., Chimie des solutions

MCMURRY J., BEGLEY T., Chimie organique des processus biologiques

MCQUARRIE D.A., ROCK P.A., Chimie générale

MENDHAM J., DENNEY R.C., BARNES J.D., THOMAS M., Analyse chimique quantitative de Vogel

MURRAY R.K., GRANNER D.K., RODWELL V.W., Biochimie de Harper, 4<sup>e</sup> éd.

SILVERSTEIN R.M., WEBSTER F.X., KIEMLE D.J., Identification spectrométrique de composés organiques, 2<sup>e</sup> éd.

SKOOG D., WEST D., HOLLER J., Chimie analytique

SKOOG D., HOLLER F.J., NIEMAN T.A., Principes d'analyse instrumentale

VOET D., VOET J.G., Biochimie, 2<sup>e</sup> éd.

VOLLHARDT K.P.C., SCHORE N.E., Traité de chimie organique, 5<sup>e</sup> éd.

Bliefert | Perraud

# Chimie de l'environnement Air, eau, sols, déchets

2<sup>e</sup> édition

## Ouvrage original

Originally published in the German language by WILEY-VCH Verlag GmbH, Pappelallee 3, D-69469 Weinheim, Federal Republic of Germany, under the title «Bliefert : Umweltchemie, 2. Auflage»

© 1997 by WILEY-VCH Verlag GmbH

All rights reserved.

Pour toute information sur notre fonds et les nouveautés dans votre domaine de spécialisation, consultez notre site web: [www.deboeck.com](http://www.deboeck.com)

© Groupe De Boeck s.a., 2009  
Éditions De Boeck Université  
Rue des Minimes, 39 B-1000 Bruxelles

2<sup>e</sup> édition  
2<sup>e</sup> tirage 2011

Tous droits réservés pour tous pays.

Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie) partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit.

*Imprimé en Belgique*

Dépôt légal:  
Bibliothèque nationale, Paris: novembre 2008  
Bibliothèque royale de Belgique, Bruxelles: 2008/0074/373

ISBN 978-2-8041-5945-0

*Ce livre est destiné*

*aux étudiants et aux enseignants  
des écoles et des universités,*

*aux ingénieurs et cadres des entreprises et des services,  
mais aussi aux élus communaux,  
locaux, régionaux, nationaux.*

*Nous le dédions à nos épouses, nos enfants et petits-enfants.*



# Préface

Ce livre est une adaptation en langue française de *Umweltchemie* (2<sup>e</sup> édition, 1997, Wiley-VCH), rédigé par le Professeur Claus Bliefert de la Fachhochschule de Münster (Allemagne).

Son but est d'apporter au lecteur une vue d'ensemble de l'influence de la « chimie » sur l'environnement de notre planète, depuis l'origine de la terre jusqu'à son état actuel, en mettant l'accent – pour chacun des domaines considérés: air, eau, sol – sur les propriétés, les réactions, les sources et les puits ainsi que sur la dangerosité des substances chimiques existantes ou générées par la nature et par l'activité humaine. Bien sûr, l'épineux problème de la production et du traitement des déchets est abordé dans une partie spécifique.

Évidemment, il existe, en français, quelques bons ouvrages spécialisés, traitant de la chimie de l'eau ou de la chimie des composés organiques volatils, etc., qui constituent des ouvrages destinés essentiellement à un public averti, étudiants de 3<sup>e</sup> cycle, ingénieurs, possédant déjà des bases solides en sciences chimiques. Mais ils n'ont pas le caractère d'ouvrages généralistes, écrits dans une langue compréhensible et donc accessible au plus grand nombre.

Car ce livre a aussi pour objectif – et ceci est peut-être son but majeur – de renforcer la prise de conscience du lecteur vis-à-vis du sujet très vaste que constituent les problèmes environnementaux reliés à leur origine chimique. Il veut aussi, à l'exclusion de tout caractère passionné et en restant dans une démarche scientifique rigoureuse, contribuer à la discussion publique concernant la chimie et l'environnement. Pour cela, à côté de développements scientifiques un peu plus approfondis, le lecteur peu ou pas familiarisé avec le domaine de la chimie pourra accéder à de larges passages, sans difficultés particulières. En outre, les interactions entre chimie de l'environnement et d'autres disciplines sont souvent développées.

Même si le domaine juridique, en tant que tel, paraît fort éloigné de la science de la chimie, il nous a semblé indispensable d'introduire, autant que faire se peut, les principaux aspects réglementaires associés à chaque compartiment environnemental (directives et règlements pour la législation européenne, lois, décrets, arrêtés, circulaires, recommandations, etc., pour la législation française) concernant essentiellement les limites des émissions polluantes, la toxicité des substances considérées comme dangereuses, la protection des eaux, de l'air, du sol, et les déchets. L'aspect réglementaire de l'environnement nous a semblé indissociable

## Préface

des connaissances sur la chimie de l'environnement. N'étant pas spécialistes de ces aspects juridiques, nous avons puisé nos informations auprès de compétences extérieures, qui sont mentionnées dans les références bibliographiques à la fin de chaque partie.

Nous sommes conscients de ne pas avoir traité tous les thèmes liés à la chimie de l'environnement: c'est le cas notamment de la chimie nucléaire et du problème très important, qui lui est associé, des déchets nucléaires ainsi que de la chimie analytique; mais il s'agit là de domaines très spécifiques et très vastes qui nécessitent à eux seuls une documentation particulièrement étoffée que le lecteur peut trouver dans des ouvrages spécialisés s'y référant.

Ce livre comporte cinq grandes parties:

- I Environnement, substances
- II Air
- III Eau
- IV Sol
- V Déchets.

Comme la chimie de l'environnement constitue un tout, certains sujets seront abordés dans plusieurs chapitres, mais sous des aspects différents. C'est consciemment que nous avons choisi de construire ce livre de cette manière, les liaisons entre ces sujets étant signalées par des renvois.

Un livre scientifique sur un sujet concernant l'environnement présente à la fois des aspects intéressants mais aussi des risques. Rares sont les thèmes scientifiques qui, comme les sciences de l'environnement et particulièrement la chimie de l'environnement, suscitent autant de passions, d'interprétations et d'idéologies aussi prononcées.

Nous souhaitons à nos lecteurs, d'horizons et de niveaux très variés, de pouvoir trouver dans ce livre les informations qui les intéressent et d'en faire une lecture profitable et agréable, en leur demandant de se montrer indulgents vis-à-vis du style de l'écriture qui a forcément souffert de la recherche d'une traduction « adaptée » aussi fidèle que possible à l'ouvrage d'origine en langue allemande.

Schöppingen et Grenoble  
Avril 2001

Claus Bliefert  
Robert Perraud

## Avant-propos à la 2<sup>e</sup> édition

Si les principes généraux présentés dans l'avant-propos de la première édition sont valables pour la deuxième édition, il nous a semblé nécessaire, sept ans plus tard, de procéder à une réactualisation des données qui, dans le domaine de la chimie de l'environnement, ont beaucoup évolué pendant cette période.

Les problèmes environnementaux occupent une place de plus en plus importante dans la conscience humaine, à l'échelle de la planète. De plus en plus, dès l'enfance, les hommes sont sensibilisés aux idées de protéger leur environnement, de réduire la pollution de l'atmosphère, des rivières, des fleuves, des océans, des eaux souterraines, de maîtriser les déchets. Les informations, souvent alarmantes, sur l'effet de serre, le réchauffement climatique, la fonte des glaces, la profusion des ouragans et autres tornades nous rappellent régulièrement la fragilité de l'équilibre de notre système planétaire.

Pour la nouvelle génération d'étudiants, d'ingénieurs, d'élus territoriaux, nourris jusqu'alors de ces préoccupations environnementales par les médias, leurs familles, leurs enseignants et leurs propres réflexions, il s'avérait indispensable de présenter, jusqu'à nos jours, les évolutions des principaux composés chimiques présents dans l'air, dans l'eau, dans les sols, tant au niveau de leur concentration, qu'au niveau de leur réactivité et des mises en œuvre physico-chimiques ou technologiques pour lutter contre leur prolifération ou simplement leur présence (composés à longue durée de vie). La concentration de certains d'entre eux a continué à augmenter (c'est le cas du dioxyde de carbone) avec des conséquences négatives sur l'effet de serre, celle d'autres composés a au contraire beaucoup diminué (cas du dioxyde de soufre) avec des effets positifs vis-à-vis de la santé humaine, des pluies acides, des dégradations de matériaux, celle des particules PM10 étant restée à peu près constante depuis l'année 2000.

Dans cette deuxième édition, nous avons, tant que faire se peut, réactualisé la réglementation associée à la chimie de l'environnement dans les divers domaines : air, eau, sols, déchets, en mettant un accent particulier sur la réglementation européenne (surtout dans l'annexe B concernant les références aux textes réglementaires). Des concertations à l'échelle gouvernementale (comme le « Grenelle de l'Environnement ») ou des règlements importants (comme REACH) ont été pris en compte.

Enfin, la bibliographie a été complétée à la fin de chaque partie et, dans la suite de la première édition, l'index a été particulièrement soigné, afin que les utilisateurs de l'ouvrage trouvent leurs informations avec le plus de facilité possible.

Les auteurs ont profité de cette deuxième édition pour corriger quelques imperfections de syntaxe et rendre la lecture la plus compréhensible possible.

# Remerciements

Nous remercions toutes les personnes qui ont apporté leur aimable contribution à cet ouvrage par leurs remarques, leurs conseils, leurs encouragements ou leurs compétences dans un domaine spécifique et en particulier :

Mme. V. BELLOT-GURLET, Professeur agrégée  
M. F. BLIEFERT, Etudiant en sciences chimiques  
M. A. BONTEMPS, Professeur d'Université  
Mme. P. CHEVALIER, Directrice du laboratoire régional des  
eaux  
M. F. ERDT, Diplom-Chemiker et Diplom-Ingenieur  
M. B. FISCHESSE, Directeur de recherches au Cemagref  
M. P. FOSTER, Professeur d'Université  
M. L. GODEFROY, Ingénieur  
Mlle. V. JACOB, Maître de conférences  
M. P. KALUZNY, Ingénieur  
M. S. KIEFABER, Diplom-Ingenieur  
Mme. F. MARFIL-PERRAUD, Juriste  
Mme. J. MORAND-DEVILLER, Professeur d'Université  
M. K. NIEDERDRENK, Recteur de la Fachhochschule de  
Münster  
M. G. POTRON, Ingénieur  
M. A. SAMUEL, Diplom-Ingenieur  
M. P. SERRE, Institut national de recherche et de sécurité  
M. N. VIGIER, Docteur de l'Université de Grenoble  
Mme. A. VUKOVIC, Inspecteur de la DRIRE

Claus Bliefert  
Robert Perraud

# Table des matières

## Partie I Environnement, substances

<b>1</b>	<b>Chimie de l'environnement</b>	<b>3</b>
1.1	Remarques préliminaires	3
1.1.1	Le concept «environnement»	3
1.1.2	Systèmes	4
1.1.3	L'homme et l'environnement	5
1.1.4	Impact et pollution de l'environnement	5
1.2	La discipline: chimie de l'environnement	6
1.3	Historique	7
1.3.1	Pollution de l'air	7
1.3.2	Pollution de l'eau	8
1.3.3	Pollution émanant de l'industrie	8
1.3.4	Protection du travail, risques professionnels	9
1.3.5	Pollution provenant de l'agriculture	10
1.4	Prise de conscience de l'environnement	10
1.5	Explosion démographique	13
<b>2</b>	<b>Origine et constitution de la terre</b>	<b>16</b>
2.1	Origine des éléments	16
2.2	Formation de l'atmosphère	18
2.2.1	Développement de l'atmosphère	18
2.2.2	Photosynthèse, respiration, fermentation	21
2.3	Evolution chimique	24
2.4	Composition de la terre	25
2.4.1	Remarques préliminaires	25
2.4.2	Intérieur de la terre, croûte terrestre	26
2.4.3	Composition de l'atmosphère	27
2.5	Cycles globaux des substances	31
2.6	Réserves de matières premières et d'énergie	34
<b>3</b>	<b>Substances présentes dans l'environnement</b>	<b>38</b>
3.1	Notions de base	38
3.2	Propriétés physiques et chimiques	42
3.2.1	Importance pour l'environnement	42
3.2.2	Température, pression de vapeur	45
3.2.3	Solubilité, répartition	46
3.2.4	Point d'éclair	46
3.3	Quantités liées à la production	47
3.4	Application	50
3.5	Transport, dispersion	51
3.6	Persistance	52
3.7	Décomposition	54
3.8	Accumulation	55

## Table des matières

3.8.1	Remarques préliminaires	55
3.8.2	Accumulation biologique, bioaccumulateurs	56
3.8.3	Facteur de bioaccumulation	58
3.8.4	Coefficient de partage 1-octanol/eau	59
3.9	Effets nocifs	60
3.10	Désagréments dus aux odeurs	63
<b>4</b>	<b>Protection de l'environnement</b>	<b>65</b>
4.1	Remarques préliminaires	65
4.2	Protection de l'environnement, intégrée et additive	66
4.3	Économie de matières premières et d'énergie	70
4.4	Analyse du cycle de vie	74
4.5	Développement durable, engagement de progrès	79
<b>5</b>	<b>Droit de l'environnement</b>	<b>83</b>
5.1	Connaissances du droit par les scientifiques et les ingénieurs	83
5.2	Objectifs de la législation sur l'environnement	83
5.3	Lois, décrets, arrêtés, circulaires, directives, règlements	85
5.3.1	Prescriptions du droit	85
5.3.2	Directives et règlements européens	85
5.4	Structure et principes du droit de l'environnement	87
5.4.1	Remarques préliminaires	87
5.4.2	Prévention : études d'impact	88
5.4.3	Principe de pollueur-payeur, principe de responsabilité solidaire	89
5.4.4	Concertation et participation	89
5.5	Les institutions de l'environnement	90
5.5.1	Les structures politiques et administratives	90
5.5.2	Les associations protectrices de l'environnement	91
5.6	Le droit des installations classées	92
5.7	Résumé	94
<b>6</b>	<b>Législation sur les substances chimiques, sur les produits dangereux et sur les transports dangereux</b>	<b>95</b>
6.1	Législation sur les produits chimiques	95
6.1.1	Généralités	95
6.1.2	Substances existantes, substances nouvelles, substances et préparations dangereuses	95
6.2	Réglementation sur les substances dangereuses	96
6.3	VME, VLE, VLCT, IBE et recommandations (valeurs limites indicatives)	96
6.3.1	VME et VLE (ou VLCT)	96
6.3.2	IBE	101
6.3.3	Recommandations (valeurs limites indicatives)	102
6.4	Législation sur le transport des produits dangereux	102
	<b>Bibliographie sur « Environnement, substances »</b>	<b>104</b>

<b>7</b>	<b>L'atmosphère de la terre</b>	109
7.1	Remarques préliminaires	109
7.1.1	Importance de l'atmosphère	109
7.1.2	Chimie atmosphérique	110
7.2	Composition et propriétés de l'atmosphère	110
7.2.1	Composition de l'atmosphère	110
7.2.2	La qualité de l'air	112
7.2.3	Composés ubiquitaires	115
7.2.4	Temps de mélange, durée de vie	116
7.2.5	Les sources	120
7.2.6	Émission, transmission et déposition	120
7.2.7	Sources naturelles	124
7.2.8	Puits	124
7.3	Nuisances dues aux polluants de l'air	125
7.3.1	Généralités	125
7.3.2	Air intérieur	129
7.4	Bases de la photochimie	134
7.4.1	Réactions photochimiques	134
7.4.2	Photolyse	137
7.4.3	Photoionisation	138
7.5	Radicaux OH dans la troposphère	139
<b>8</b>	<b>Dioxyde de carbone</b>	142
8.1	Propriétés	142
8.2	Sources et puits, cycle du carbone	143
8.2.1	Sources et puits	143
8.2.2	Cycle du carbone	148
8.3	Variations de la teneur en CO <sub>2</sub> dans l'atmosphère	149
8.4	Gaz mineurs et climat	152
8.4.1	Effet de serre	152
8.4.2	Changement de climat	155
<b>9</b>	<b>Monoxyde de carbone</b>	159
9.1	Propriétés	159
9.2	Sources et puits	160
9.2.1	Sources	160
9.2.2	Puits	162
9.3	Effets sur les hommes	163
<b>10</b>	<b>Composés soufrés</b>	166
10.1	Propriétés, utilisation	166
10.2	Sources et puits, cycle du soufre	167
10.3	Effets	170
10.3.1	Smog Londonien	170
10.3.2	Effet du dioxyde de soufre sur les êtres vivants	172
10.3.3	Dioxyde de soufre et matériaux	172
10.4	Pluies acides, dépérissements forestiers nouveaux	173
10.4.1	Pluies acides	173

10.4.2	Réactions d'oxydation	173
10.4.3	Dépérissements forestiers nouveaux	175
<b>11</b>	<b>Oxydes d'azote</b>	<b>177</b>
11.1	Propriétés	177
11.1.1	Vue d'ensemble	177
11.1.2	NO : du combustible, thermique et précoce	179
11.1.3	Cycle de l'azote	179
11.2	Oxyde de diazote	181
11.3	NO <sub>x</sub> : équilibre, sources, puits	183
11.3.1	Équilibre NO-NO <sub>2</sub>	183
11.3.2	Sources et puits pour les NO <sub>x</sub>	184
11.4	Influence des NO <sub>x</sub> sur les organismes	187
<b>12</b>	<b>Composés organiques volatils</b>	<b>189</b>
12.1	Aperçu	189
12.2	Méthane	190
12.2.1	Sources	190
12.2.2	Puits	192
12.3	Hydrocarbures non méthaniques	194
12.4	Photooxydants	194
12.4.1	Remarques préliminaires	194
12.4.2	Propriétés	195
12.4.3	Présence, sources et puits de l'ozone	196
12.4.4	Situations météorologiques d'inversion	198
12.4.5	Smog photochimique	199
12.4.6	Déroulement des réactions	200
12.4.7	L'ozone loin de ses sources	204
12.4.8	Effets, nuisances	205
12.5	Gaz d'échappement des véhicules automobiles	207
12.5.1	Composition	207
12.5.2	Émissions, pollution	208
12.5.3	Épuration des gaz d'échappement, postcombustion catalytique	208
12.5.4	Substituts à l'essence	213
<b>13</b>	<b>Ozone dans la stratosphère</b>	<b>215</b>
13.1	Formation et propriétés	215
13.2	Le cycle de Chapman	217
13.3	Destruction catalytique de l'ozone	218
13.3.1	Remarques préliminaires	218
13.3.2	Cycle catalytique de ClO <sub>x</sub>	219
13.3.3	Autres cycles	220
13.4	Trou d'ozone	222
13.4.1	Description	222
13.4.2	Les causes	223
13.4.3	Nuisances dues à l'ozone, rayonnement UV	225
13.5	Hydrocarbures chlorofluorés, hydrocarbures chlorés, halons	228
13.5.1	Propriétés, utilisation, potentiel de destruction de l'ozone	228
13.5.2	Substituts aux hydrocarbures chlorofluorés	231

<b>14</b>	<b>Aérosols</b>	234
14.1	Importance	234
14.2	Sources, propriétés	236
14.3	Transformations	238
14.4	Composition	240
14.5	Dimension, durée de vie, répartition	240
14.6	Influence sur l'être humain	242
14.7	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	244
14.8	Fumée de tabac	246
14.9	Amiante	249
14.9.1	Propriétés, utilisation	249
14.9.2	Risques pour la santé, législation	250
<b>15</b>	<b>Réglementation de la qualité de l'air</b>	253
15.1	Réglementation française	253
15.1.1	Historique	253
15.1.2	Cadre général	253
15.1.3	Cadre industriel	257
15.2	Réglementation européenne	258

### **Bibliographie sur « L'air »** 260

## **Partie III Eau**

<b>16</b>	<b>L'eau: aspects fondamentaux</b>	271
16.1	Importance et propriétés	271
16.1.1	Importance	271
16.1.2	Propriétés physiques	273
16.2	Réactions acide-base	274
16.3	Systèmes ouverts et fermés	276
16.3.1	Remarques préliminaires	276
16.3.2	Système ouvert, sans réaction chimique avec l'eau	277
16.3.3	Système ouvert, réaction chimique avec l'eau	278
16.4	Précipitation d'hydroxydes	280
16.5	Floculation	282
<b>17</b>	<b>Cycle de l'eau, polluants de l'eau</b>	285
17.1	Quantité d'eau, cycle de l'eau	285
17.2	Eaux naturelles, océans	287
17.3	Polluants de l'eau	289
17.3.1	Substances nutritives	289
17.3.2	Sels, métaux lourds	290
17.3.3	Auto-épuration	291
17.3.4	Teneur en oxygène	293
17.4	Évaluation de substances polluantes pour l'eau	295
17.4.1	Composés dangereux pour l'eau	295
17.4.2	Tests biologiques	295
17.4.3	Demande chimique en oxygène	296
17.4.4	Demande biochimique en oxygène	297
17.4.5	Équivalent habitant	300
17.4.6	AOX et COT	301

17.4.7	Classes de qualité des eaux	301
<b>18</b>	<b>Pollutions spéciales de l'eau</b>	<b>303</b>
18.1	Produits de lavage et de nettoyage	303
18.1.1	Remarques préliminaires	303
18.1.2	Substances tensioactives	304
18.1.3	Substances d'appoint	306
18.2	Dibenzodioxines, dibenzofuranes et biphényles polychlorés	308
18.2.1	Chimie du chlore	308
18.2.2	Dibenzodioxines et dibenzofuranes polychlorés	310
18.2.3	Biphényles polychlorés	312
18.3	Huiles	314
18.3.1	Formation, effets	314
18.3.2	Réparation des dommages, dégradation	315
18.3.3	Huiles usagées	316
18.4	Pesticides	316
<b>19</b>	<b>Production d'eau potable et épuration des eaux usées</b>	<b>317</b>
19.1	Eau potable	317
19.1.1	Besoins en eau	317
19.1.2	Qualité de l'eau, méthodes d'obtention	318
19.1.3	Dureté de l'eau	319
19.1.4	Rendre l'eau moins dure, la désalifier	321
19.2	Eaux usées	322
19.3	Épuration des eaux usées communales	324
19.3.1	Épuration mécanique et biologique	324
19.3.2	Épuration chimique des eaux usées	326
19.3.3	Désinfection de l'eau potable	326
19.3.4	Nitrates	327
19.3.5	Phosphates	329
19.4	Traitement et élimination des boues d'épuration	330
<b>20</b>	<b>Réglementation de la pollution des eaux</b>	<b>332</b>
20.1	Réglementation française sur les eaux industrielles	332
20.1.1	Aperçu général	332
20.1.2	Principales dispositions de l'arrêté du 2 février 1998	333
20.1.3	Réglementation française sur l'épandage des boues	335
20.2	Réglementation sur les eaux destinées à la consommation humaine	336
	<b>Bibliographie sur « L'eau »</b>	<b>338</b>

**Partie IV Le sol**

<b>21</b>	<b>Sol : les bases</b>	<b>343</b>
21.1	Composition	343

21.1.1	Constituants du sol	343
21.1.2	Humus et composés humiques	345
21.1.3	Les argiles	347
21.1.4	Organismes du sol	347
21.2	Importance, fonctions	348
21.3	Effritements, érosion	350
21.3.1	Effritements	350
21.3.2	Érosion	352
21.4	Engrais	353
21.4.1	Substances nutritives	353
21.4.2	Azote	354
21.4.3	Phosphore	355
21.4.4	Épandage des engrais	357
<b>22</b>	<b>Pollution du sol</b>	<b>359</b>
22.1	Polluants présents dans les sols	359
22.2	Acidification des sols	361
22.2.1	Sols et pH	361
22.2.2	Le sol et son effet tampon	362
22.3	Pesticides	364
22.3.1	Aperçu	364
22.3.2	DDT	365
<b>23</b>	<b>Métaux lourds</b>	<b>369</b>
23.1	Généralités	369
23.1.1	Importance, provenance	369
23.1.2	Émission de métaux, cycles	372
23.1.3	Persistance de métaux	373
23.1.4	Métaux lourds et plantes	375
23.2	Mercuré	377
23.2.1	Propriétés, utilisation, sources	377
23.2.2	Toxicité, effets sur l'écologie	378
23.3	Plomb	381
23.3.1	Propriétés, utilisation	381
23.3.2	Sources	382
23.3.3	Toxicité, effets sur l'écologie	383
23.4	Cadmium	386
23.4.1	Propriétés, utilisations, sources	386
23.4.2	Toxicité, effets sur l'écologie	387
<b>24</b>	<b>Sites et sols pollués</b>	<b>389</b>
24.1	Généralités	389
24.2	Évaluation des sites pollués	391
24.3	Assainissement et sécurisation	392
<b>25</b>	<b>Réglementation de la pollution des sols</b>	<b>396</b>
25.1	Prévention	396
25.2	Obligation d'information et de réhabilitation	397
25.3	Politique nationale française concernant les sites et sols pollués	397
25.4	Procédure locale	398
<b>Bibliographie sur « Le sol »</b>		<b>399</b>

<b>Partie V</b>	<b>Déchets</b>	
<b>26</b>	<b>Déchets : généralités</b>	405
26.1	Déchets	405
26.2	Déchets ménagers et déchets industriels assimilés aux déchets ménagers	409
26.3	Déchets industriels	410
26.4	Types de déchets et classification correspondante	411
<b>27</b>	<b>Déchets ménagers</b>	412
27.1	Décharges	412
27.2	Gaz de décharges, biogaz	414
27.3	Classes de décharges	417
27.4	Incinération	419
<b>28</b>	<b>Recyclage</b>	421
28.1	Notions	421
28.2	Possibilités, limites	422
28.3	Déchets de chantier, du bâtiment et des travaux publics	428
<b>29</b>	<b>Déchets Industriels Dangereux (DID)</b>	431
29.1	Quelques notions	431
29.2	Traitements thermiques, décharges pour déchets spéciaux	432
29.2.1	Remarques préliminaires	432
29.2.2	Incinération	434
29.2.3	Autres procédés thermiques	434
29.2.4	Décharges de déchets industriels spéciaux	435
29.3	Traitements de déchets en mer	436
<b>30</b>	<b>Réglementation des déchets</b>	438
30.1	Réglementation française	438
30.1.1	Lois concernant les déchets	438
30.1.2	Réglementation par type de déchets	440
30.2	Réglementation européenne	441
30.2.1	Directive-cadre	441
30.2.2	Directives spécifiques	441
	<b>Bibliographie sur « Les déchets »</b>	443
	<b>Annexes</b>	
	Annexe A : Définitions de la concentration pour les gaz	449
	Annexe B : Références aux textes réglementaires	452
	Annexe C : Adresses relatives à la documentation	461
	Annexe D : Références relatives à la documentation	462
	<b>Index</b>	465

**Partie I**  
**Environnement,**  
**substances**



# 1 Chimie de l'environnement

## 1.1 Remarques préliminaires

### 1.1.1 Le concept «environnement»

Bien avant d'introduire le concept «environnement» et de parler des «sciences de l'environnement», le monde scientifique et le public étaient davantage familiarisés avec le concept «écologie». C'est le biologiste allemand Ernst HAECKEL (1834 – 1919) qui, en 1866, a proposé le terme d'«écologie» pour désigner une nouvelle science des relations des organismes avec leur environnement. Aujourd'hui encore il existe une certaine confusion dans les esprits entre «écologie» et «environnement». Cependant, l'écologie ne constitue qu'une partie de l'ensemble très vaste des sciences de l'environnement et n'en représente, en fait, que la part biologique.

De nos jours, l'environnement est une notion à la mode qui est utilisée sous différents aspects et qui reste par conséquent assez floue. Souvent, l'environnement se rapporte à ce qui *vit*, c'est-à-dire aux hommes, aux animaux, aux plantes et aux micro-organismes. Ces espèces vivantes dépendent les unes des autres et de leur milieu, qui se compose d'innombrables «éléments» influents, qu'on appelle les *facteurs écologiques*. De tels facteurs correspondent à toutes les influences extérieures possibles, auxquelles les êtres vivants peuvent être exposés. La somme de tous les facteurs environnementaux constitue l'environnement, la *nature*. L'*environnement* est donc l'ensemble de toutes les influences directes et indirectes exercées sur l'être vivant et de ses relations avec le reste du monde. Au sens le plus large, à côté de l'environnement naturel, les environnements sociaux et intellectuels en font également partie ; dans la suite le concept d'environnement sera utilisé dans son sens restreint.

Les actions exercées sur les êtres vivants peuvent être réparties selon différents points de vue, par exemple :

- influences dues à des facteurs *abiotiques*, sans vie, et *biotiques*, vivants,
- influences climatiques, chimiques ou mécaniques,
- influences naturelles et *anthropogéniques*, provoquées par l'homme, etc.

Souvent, on parle de *biosphère* (du grec *bios*, vie ; du latin *sphaira*, sphère, globe terrestre) à la place d'environnement et on

# 1 Chimie de l'environnement

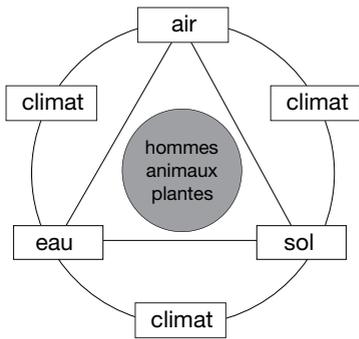


Figure 1-1. Composants majeurs de l'environnement.

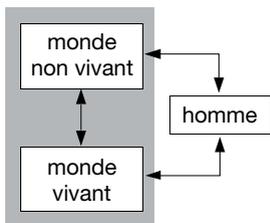


Figure 1-2. Écosystème et interactions entre le monde vivant et non vivant.

pense alors à l'ensemble des zones de la Terre peuplées par des organismes vivants, êtres humains, animaux, plantes, microorganismes, c'est-à-dire l'atmosphère jusqu'à environ 25 km d'altitude, les mers jusqu'à 10 km de profondeur et la croûte terrestre jusqu'à environ 3 km de profondeur. Mais quelles que soient les limites prises en compte, l'environnement est de toute façon un système complexe, dans lequel le sol, l'eau, l'air, le monde des animaux et des plantes, ainsi que le climat en sont les composants majeurs (Figure 1-1).

## 1.1.2 Systèmes

Un *système* (du grec *systema*, ensemble constitué de plusieurs parties regroupées et combinées) est un groupement comportant des parties, qui sont en interaction les unes avec les autres. Un système est plus qu'une juxtaposition de parties, il se comporte différemment des parties qui le constituent ; c'est donc bien plus que leur simple somme : c'est une nouvelle entité. Par exemple en ce qui concerne les concepts, à propos desquels on emploie le mot système, on peut citer le système nerveux ou le système respiratoire. La biosphère est un gigantesque système – extrêmement complexe – composé du monde vivant et non vivant, en interaction l'un avec l'autre (Figure 1-2).

Les « plus » par lesquels un système se différencie de la somme des parties qui le constituent, sont la structure, l'organisation, le réseau des interactions. Les systèmes peuvent être *ouverts* ou *reliés* avec d'autres systèmes. Les systèmes vivants, ils sont *dynamiques*. La plupart du temps on considère les systèmes à l'état *statique*, sans mouvement et sans développement, uniquement lorsqu'on met en oeuvre des études approximatives, parce qu'ils sont alors plus simples à décrire mathématiquement.

Concernant le système environnemental, la prise en compte individuelle de la plupart des évolutions n'a pas de sens, car les relations avec d'autres développements ou des rétroactions ne doivent pas être négligées. Un raisonnement *linéaire* – chaque effet provenant d'une seule et unique cause – ne conduit le plus souvent à aucun résultat quand il s'agit de problèmes environnementaux. Au sein du complexe écosystème environnemental on fait plutôt appel à un « raisonnement en réseau » : à cause des fortes interactions et des importantes rétroactions existant dans l'environnement, il est souvent impossible d'apporter une réponse simple à une question relevant de l'écologie ou de l'environnement.

Cependant, on examine de manière séparée certains domaines déterminés de l'environnement fortement reliés entre eux, car le système global est trop compliqué. On appelle aussi *compartiments* de telles parties bien délimitées, qui existent en tant qu'entités fonctionnelles en relations réciproques avec les autres. Les compartiments importants sont : l'atmosphère, le sol et les

mers ; mais également une cellule isolée, un organe ou une partie de l'organisme humain, un arbre ou une plante verte peuvent être considérés comme des compartiments.

Par rapport à l'être vivant, on utilise souvent une autre notion : l'écosystème (*système écologique*). Il faut entendre par là un système partiel biologique et physico-chimique plus ou moins bien délimité au sein de l'ensemble des organismes et de leur espace de vie, par exemple la forêt, un fleuve ou un étang, le désert ou un océan.

### 1.1.3 L'homme et l'environnement

L'homme est une partie de l'écosystème de la Terre. Il influence son environnement et réciproquement : l'homme utilise l'environnement et le transforme à travers l'économie, la technique, etc. ; ainsi il crée son espace vital et assure ses besoins (Figure 1-3).

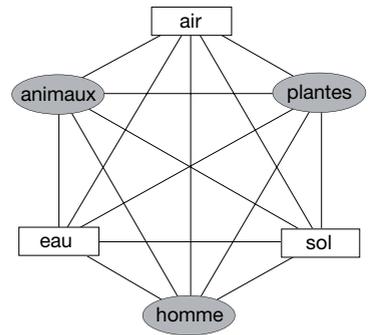
Entre-temps, l'homme est devenu le facteur déterminant dans l'écosystème. Il est surtout beaucoup intervenu dans l'aménagement de la nature par l'industrialisation et a fortement transformé son environnement. Ce n'est que lors des dernières années que la conscience du public a été touchée, en partie probablement parce que les effets en retour négatifs de l'activité industrielle des hommes ne sont, pour la plupart, visibles ou perceptibles que de nos jours. Le développement ultérieur de l'environnement – et par conséquent de la Terre – dépendra de la façon dont l'homme comprendra le comportement du système de la biosphère et de la façon dont il prendra connaissance des relations, des rétroactions ou d'autres manières d'agir de ce système et de la façon dont il pourra alors s'y intégrer.

Aujourd'hui, il est bien entré dans les esprits qu'à l'avenir la croissance et la recherche d'un rendement maximal ne peuvent plus (à eux seuls) être la marque d'une économie sans faille. Les mécanismes d'autorégulation du marché dans leur forme actuelle ne sont pas capables de résoudre les problèmes environnementaux qui se posent à l'échelle mondiale. Des réflexions concernant l'environnement ont entre-temps acquis une grande valeur dans les processus décisionnels concernant notre société et aussi le monde industriel. Indirectement les principaux intervenants dans la chimie de l'environnement sont l'homme et son environnement !

### 1.1.4 Impact et pollution de l'environnement

Dans les discussions concernant l'environnement et sa chimie, il existe deux autres notions de toute première importance. Sous le concept d'impact environnemental (en angl. *environmental impact*), on entend l'ensemble de tous les facteurs qui perturbent l'environnement. De telles perturbations environnementales ont lieu, quand l'environnement naturel – l'état « normal » – est influ-

## 1.1 Remarques préliminaires



**Figure 1-3.** Interactions entre l'homme et l'environnement (schéma simplifié). – Les relations sont représentées par des lignes.

encé par des interventions physiques, chimiques, biologiques et technologiques, comme par exemple lorsque des matériaux sont soustraits de l'environnement en grandes quantités par l'exploitation des richesses naturelles ou lorsque certains domaines de l'environnement sont remplis de matières « non naturelles », comme les gaz d'échappement, les eaux usées ou les déchets.

Lorsqu'il se produit des dommages vis-à-vis de la nature, par l'introduction de substances, on parle souvent (dans un sens étroit) de *pollution* de l'environnement (angl. *environmental pollution*). Selon le domaine de l'environnement concerné, on peut faire par exemple la distinction entre la pollution de l'air, des eaux ou des sols.

### 1.2 La discipline : chimie de l'environnement

La notion d'environnement est apparue seulement depuis quelques années, accolée à quelques autres notions du monde scientifique ; exemple : « chimie analytique de l'environnement » ou « génie chimique appliqué à l'environnement ». Particulièrement la *chimie de l'environnement* constitue une jeune discipline au sein de la chimie, qui nécessite une délimitation par rapport à d'autres disciplines scientifiques. Sous la dénomination *chimie de l'environnement* (en angl. *environmental chemistry*) nous voulons désigner ce domaine de la chimie qui traite des aspects chimiques des processus intervenant dans l'environnement. Pour approfondir cette définition, la chimie de l'environnement traite des sources et des puits, du transport (des cycles), de la distribution ainsi que des réactions et des effets des substances dans l'eau, le sol et l'air et leurs impacts sur le monde vivant, donc sur les hommes, les animaux, les plantes et les microorganismes, ainsi que sur des choses inertes telles que les bâtiments et les matériaux. Au cœur de la chimie de l'environnement, on trouve donc les propriétés des composés, leur répartition dans l'environnement et les connaissances qu'on peut en déduire sur les processus complexes se situant entre origines et effets.

Autrefois, sur un plan chimique, quand il s'agissait d'environnement, il était habituel de n'avoir qu'une vision locale, la « chimie de la vie autour de nous », la chimie de tous les jours ; mais aujourd'hui il est devenu primordial de porter son regard beaucoup plus loin, de façon plus globale, et ceci à cause de la distribution plus étendue des substances qui posent problème pour l'environnement. Le « réacteur où se déroulent les réactions du globe terrestre » est aujourd'hui au centre de l'intérêt que portent les hommes à leur environnement.

Compte tenu de la multitude des activités humaines, les substances qui peuvent parvenir dans l'environnement sont tellement nombreuses, qu'un choix s'avère nécessaire : dans la suite, nous traiterons avant tout des substances qui se sont formées dans des

quantités ou des concentrations telles qu'elles peuvent générer des dommages de nos jours, longtemps après leur apparition, selon les circonstances.

Parfois les termes *chimie écologique* ou *écochimie* sont employés comme synonymes de « chimie de l'environnement ». Ceci est à différencier de l'*écotoxicologie*, qui est la science de la distribution des substances chimiques et de leurs effets sur les écosystèmes, dans le cas où il y a des dommages créés de façon directe ou indirecte. Avec cette notion d'écochimie, on dénomme un domaine de recherche interdisciplinaire, qui s'occupe du sort des substances chimiques dans la biosphère ; on y inclut aussi l'utilisation de telles substances chimiques et leur influence sur l'environnement, leur transformation à travers les métabolismes, leur décomposition sous des influences environnementales, etc.

## 1.3 Historique

### 1.3.1 Pollution de l'air

L'histoire de l'environnement et de sa chimie est avant tout l'histoire de sa pollution. Pour une grande part, ce sont les changements opérés dans l'air, l'eau et le sol par les êtres humains qui en sont à la base, à savoir la pollution due à la circulation, aux petites et grandes industries et à l'agriculture.

Dans le passé, les pollutions de l'air étaient en général dus à des « problèmes de fumées », qui concernaient avant tout le dioxyde de soufre et les poussières. Déjà les romains se plaignaient de la saleté de l'air de leur ville. Les problèmes devinrent de plus en plus importants quand on commença à rechercher du charbon à partir du 13<sup>e</sup> siècle, principalement dans les villes. Par exemple, en 1578, ELISABETH I interdisait la combustion du charbon à Londres, pendant que le parlement siégeait ; et dans une loi édictée en 1627 à Lyon, on trouve explicitement le texte suivant : « Aerem corrumpere non licet » (il est interdit de polluer l'air).

Antoine Laurent de LAVOISIER (1743-1794) – qui est le plus souvent connu pour ses travaux fondamentaux en chimie – était impopulaire en France car accusé d'être à l'origine de pollutions de l'air. Il n'avait pas cette mauvaise réputation à cause de ses expériences chimiques. Par contre, il voulut limiter la fuite des personnes qui cherchaient à échapper au paiement des impôts en construisant un mur autour de la ville (LAVOISIER était un fonctionnaire des impôts à Paris). Mais à cause de ce mur, les odeurs, les fumées, etc. restaient à l'intérieur de la ville. La résistance de la population parisienne contre cette construction devint tellement importante, qu'après quelque temps d'existence, ce mur dû être détruit.

Au plus tard depuis le milieu du 20<sup>e</sup> siècle, de nouvelles pollutions et de nouveaux dangers qui leur sont liés ont eu pour origine

### 1.3.2 Pollution de l'eau

La plupart des villes anciennes, exceptées quelques-unes comme Babylone, rejetaient leurs déchets, encore jusqu'au 19<sup>e</sup> siècle, directement ou indirectement dans les fleuves et les lacs. Ce n'est que dans cette période qu'on trouve les premiers essais d'épuration des eaux usées.

Par contre, des unités d'alimentation en eau centralisées sont déjà citées à la fin du 15<sup>e</sup> siècle, entre autres à Bâle, Berne, Nuremberg, Munich. L'eau provenant avant tout des puits était la source de vie d'une ville. Lors de sièges de ces villes, l'eau garantissait une certaine autarcie ; par exemple au milieu du 15<sup>e</sup> siècle, la ville de Nuremberg possédait 100 puits municipaux. La pollution de ces puits a été sévèrement punie, parfois jusqu'à la peine de mort, dans certaines villes. Entre autres, il était interdit d'y jeter les excréments, d'y laver son linge ou d'y faire boire les chevaux.

En ce qui concerne l'utilisation des fleuves, des ruisseaux ou des lacs comme moyens de transport des déchets, nos ancêtres étaient extrêmement généreux. Des manufactures de laine, des laveries, des tanneries, des forgerons et des fabricants de parchemins avaient souvent le droit particulier de rejeter leurs déchets dans les fleuves, pendant la nuit (il s'agissait de déchets liquides comprenant par exemple des colorants pour les textiles, des substances servant à la préparation des cuirs ou des acides et des bases pour le traitement des surfaces de métaux) ; des droits similaires avaient été octroyés aux teintureries et aux abattoirs. Les problèmes d'environnement ont eu très tôt des conséquences sur la planification au niveau des villes : ainsi, par exemple, les élus municipaux de la ville de Paris faisaient attention à ce que les tanneurs et les bouchers s'installent en dehors de l'agglomération et en aval du fleuve, où leurs eaux de rejets ne pouvaient plus contaminer leur propre ville.

### 1.3.3 Pollution émanant de l'industrie

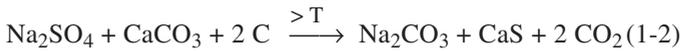
Les premières activités industrielles comprenaient les mines, la poterie (7000 avant J.-C.) et la fabrication du verre. L'industrie chimique telle qu'on la conçoit aujourd'hui débuta vers 1850 ; c'est aussi à cette époque qu'on situe le début de l'industrialisation. C'est la première fois que des substances chimiques, avant tout du carbonate de sodium et d'autres composés alcalins, ont été utilisées en quantité importante dans l'industrie textile – lors de la fabrication de la laine – et dans l'industrie du verre.

Déjà les premiers procédés de fabrication du carbonate de sodium ont posé des problèmes pour le traitement des déchets formés.

À l'occasion d'un concours, proposé par l'Académie des Sciences en 1775, Nicolas *LEBLANC* (1742-1806) développa un procédé de fabrication de carbonate de sodium (dit *procédé LEBLANC*). Dans ce procédé, le sel, NaCl, est transformé en sulfate de sodium par l'acide sulfurique :



Le chlorure d'hydrogène, HCl, formé a d'abord été simplement éliminé dans l'atmosphère, ce qui a entraîné comme conséquences le dépérissement des arbres et d'autres plantes situés dans le voisinage de l'usine. Au début de l'exploitation de ce procédé, il était rare d'utiliser du calcaire, CaCO<sub>3</sub>, pour neutraliser ce chlorure d'hydrogène. Le sulfate de sodium réagit ensuite avec du calcaire et du charbon conduisant au carbonate de sodium :



Enfin on extrait le carbonate de sodium du produit de réaction avec de l'eau. Le sulfure de calcium, CaS, produit secondaire de la réaction, constituait un déchet.

Dans le procédé mis en œuvre en 1861 par Ernest *SOLVAY* (1838-1922) pour l'élaboration du carbonate de sodium (*procédé SOLVAY*) il se formait également des déchets : avant tout du chlorure de calcium, qui devait être éliminé.

En particulier lors de la fabrication du savon, on avait besoin de quantités croissantes d'hydroxyde de sodium, NaOH. Autrefois on fabriquait la soude avant tout par « caustification », c'est à dire par réaction entre une solution de carbonate de sodium et de la chaux éteinte,



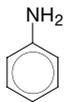
Plus tard, la soude a été préparée à l'échelle industrielle par électrolyse du chlorure de sodium, au cours de laquelle il se formait du chlore comme produit secondaire, qui autrefois était simplement largué dans l'atmosphère, mais constitue de nos jours la base d'une chimie du chlore très vaste et importante (cf. Section 18.2.1).

### 1.3.4 Protection du travail, risques professionnels

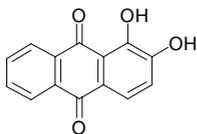
Pris dans le sens le plus large, le premier risque professionnel causé par des influences chimiques dans l'histoire de l'humanité est probablement l'influence des métaux lourds lors de l'extraction des métaux et des minerais, et lors de leur fusion. Au moyen-âge, l'industrie métallurgique était florissante ; par exemple dans le commerce et les secteurs de l'économie, on avait de plus en plus besoin de pièces de monnaie. Le mercure était nécessaire pour les miroirs, et on produisait du cuivre, du plomb et du fer utilisés dans les nombreuses guerres qui sévissaient alors.

Pendant cette période, il y avait aussi des empoisonnements à cause des métaux ou des composés métalliques lors de certaines

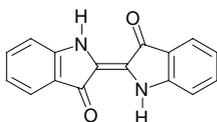
## 1 Chimie de l'environnement



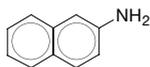
Aniline



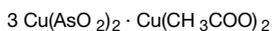
Alizarine



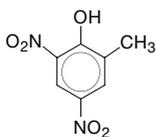
Indigo



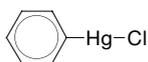
2-Naphtylamine



« Vert de Paris »



4,6-Dinitro-*o*-crésol



Chlorure de phénylmercure

activités. Par exemple des pharmaciens, des religieuses et des moines ont souvent été empoisonnés par les constituants toxiques de l'encre : les uns parce qu'ils fabriquaient l'encre, les autres, parce qu'ils mouillaient les plumes avec leur salive avant d'écrire.

La fabrication des colorants à grande échelle commença en 1857 avec la synthèse de l'aniline et de composés voisins, en particulier en Allemagne (par exemple en 1873 et 1897 avec la production d'alizarine et d'indigo). Pour la première fois, on se rendit compte qu'il y avait une relation entre la production d'aniline et l'apparition de cancers de la vessie : ces maladies ont particulièrement touché les ouvriers allemands, car en 1913 la production mondiale en colorants atteignait 160 000 t, dont 140 000 t étaient produites en Allemagne. (Ce n'est que plus tard qu'on constata que le produit responsable de cette maladie n'était pas l'aniline mais la 2-naphtylamine, une autre amine aromatique, qui était un produit intermédiaire dans la fabrication des colorants.)

### 1.3.5 Pollution provenant de l'agriculture

Il y a environ 8000 ans que l'homme a commencé à développer l'agriculture, et à utiliser des engrais, avant tout des pesticides.

Dans le cours de l'histoire, de nombreux composés chimiques ont été utilisés contre les épidémies. En Chine par exemple, les hommes qui vivaient il y a 4000 ans utilisaient la « fumée de soufre » contre les rats. Dans son livre *De agricultura* (200 avant J.-C.), CATON écrivait qu'on utilisait de l'huile pour lutter contre la peste. En 77 après J.-C., selon PLINE L'ANCIEN, on a combattu des organismes nuisibles présents sur les vignes avec de l'oxyde d'arsenic sous forme de  $\text{As}_2\text{O}_3$ . Déjà les grecs et les romains utilisaient le dioxyde de soufre, « soufre brûlant », comme produit de lutte contre les insectes.

Au cours du 19<sup>e</sup> siècle s'ajoutèrent de nouveaux composés inorganiques comme le « vert de Paris » qui était efficace dans la lutte contre les sauterelles et autres insectes. Des composés soufrés ont été utilisés à l'encontre des champignons nuisibles, comme par exemple des mélanges de soufre et d'hydroxyde de calcium, des polysulfures de calcium.

Déjà avant 1900, des pesticides organiques ont été synthétisés. Parmi les tout premiers, dont certains sont encore utilisés aujourd'hui, on trouve le 4,6-dinitro-*o*-crésol (1882) et le chlorure de phénylmercure (1915 ; pour en savoir plus sur les pesticides synthétiques voir Section 22.3).

## 1.4 Prise de conscience de l'environnement

Lors des débats de ces dernières années, certains thèmes ont joué un rôle important comme « le dépérissement des forêts », « les pluies acides », « le trou d'ozone », « l'effet de serre », « les éléments toxiques dans la nourriture ». Une nouvelle prise de cons-

cience de l'environnement s'est répandue dans tous les domaines de la société, de même que dans le monde politique.

L'importance qu'attribue le législateur à la protection de l'environnement se reflète entre autres dans le nombre déjà important de lois et de règlements, qui ont été établis dans ce cadre lors des trente dernières années. En outre, une *politique de l'environnement* commune a été définie dans le *Traité sur l'Union européenne* en vigueur depuis le 1er juillet 1987, avant tout dans l'article 130 R « politique de la Communauté dans le domaine de l'environnement » (article 174 dans la version consolidée).

Concernant l'environnement, beaucoup de gens pensent qu'il existe des menaces fondamentales à l'encontre de l'humanité :

- utilisation prodigue des ressources naturelles ;
- pollution de l'air, de l'eau et du sol ;
- déforestation ;
- effets sur le climat (réchauffement de la planète, fonte des glaciers),
- effets liés à la croissance de la population mondiale.

Pour beaucoup de milieux de la société, la façon de voir l'environnement est pessimiste, les idées concernant la protection de l'environnement prennent parfois des aspects religieux. Dans beaucoup de domaines concernant l'environnement, quelques « éco-citoyens », avec des revendications exagérées, exercent une terreur écologique. Beaucoup de citoyens se sentent vraiment menacés ; ils estiment que l'état de l'environnement est mauvais ou très mauvais, malgré le fait qu'objectivement la qualité de l'air et de l'eau est meilleure qu'il y a par exemple 40 ans.

Beaucoup de gens, dans notre société, ne se préoccupent que depuis peu de temps de l'impact de leurs activités sur l'environnement naturel. Il y a plusieurs raisons à cela. D'abord : notre temps de vie s'est allongé. Un garçon nouveau-né peut s'attendre, en France, à une espérance de vie moyenne de 77 ans, et de 84 ans pour une fille ; cette espérance de vie est la plus élevée qui n'ait jamais existé jusqu'alors (aux alentours de l'année 1900 l'espérance de vie moyenne était de l'ordre de 43 ans pour les hommes et de 47 ans pour les femmes). Et jamais le temps de travail d'un individu n'a été plus bas. Nous devons cela entre autres à la chimie et à ses progrès réalisés dans les domaines de l'hygiène, de la pharmacie, etc.

À côté d'un état d'information plutôt faible en ce qui concerne la protection de l'environnement, il existe d'autres raisons expliquant le malaise ressenti par certains citoyens. Sur l'ensemble de la Terre, la chimie analytique moderne est aujourd'hui capable de prouver l'existence de nombreux composés – à l'état de *traces*, c'est-à-dire dans des concentrations, que même un scientifique peut à peine concevoir, exprimées par exemple en « nanogrammes par litre » – dont on discute des dangers potentiels d'une manière controversée dans le monde public. Il faut se représenter qu'une concentration de 1 ng/l dans de l'eau est celle qu'on peut établir par exemple pour du sucre, quand on en place un seul morceau

## 1.4 Prise de conscience de l'environnement

### Article 130 R

(Article 174 dans la version consolidée)

« Politique de la Communauté dans le domaine de l'environnement »

## 1 Chimie de l'environnement

**Lac du Bourget** 3 620 300 000 m<sup>3</sup>  
(Savoie, France)

dans environ 3 milliards de litres d'eau, ce qui correspond à peu près à 80 % du volume du Lac du Bourget. De telles concentrations se situent en dehors de nos expériences normales. C'est pourquoi on surestime les dangers qui peuvent provenir de substances se trouvant dans de si faibles concentrations – ou, à partir de données de concentrations mal interprétées, il peut en résulter des revendications pas toujours justifiées. Une information énonçant que « dans certains aliments on a détecté un produit nocif » ne signifie pas pour autant que la santé de l'humanité soit mise en danger. (Ce sont les scientifiques et les ingénieurs qui doivent réaliser une *évaluation critique* des résultats des analyses !)

Les toxicologues sont aujourd'hui loin de pouvoir dire que pour un polluant X : « X dans une concentration C après une action de Y jours, il s'en suivra une conséquence Z ». Pour quelques substances comme les dibenzodioxines polychlorées, on suppose que même des concentrations inimaginablement faibles peuvent provoquer des dommages aux organismes, à la condition que ces substances puissent agir suffisamment longtemps. On sait très peu de choses sur les effets simultanés de plusieurs substances, effets qui peuvent se multiplier (« effet de synergie » ; voir Section 3.9).

Il y a déjà plus de 100 ans, des personnalités ont réfléchi sur les problèmes d'environnement. Ceci se reflète d'une manière impressionnante dans l'extrait d'un discours, qui a été tenu par un chef de tribu en 1855 devant le président des États-Unis d'Amérique :

« Tout ce qui arrive à la Terre arrive aussi aux enfants de la Terre. Quand les hommes crachent sur la Terre, ils crachent sur eux-mêmes. Car nous savons ceci : la Terre n'appartient pas aux hommes, mais les hommes appartiennent à la Terre. Toutes les choses sont liées entre elles [...] l'être humain n'a pas tissé le fil de la vie, il est seulement un élément de ce fil. Tout ce qu'il fait à ce fil, il le fait à lui-même. »

C'est un devoir de laisser aux générations futures un environnement dans lequel cela vaudra la peine de vivre et dans lequel elles pourront vivre. Nous devons empêcher que la Terre devienne un enfer pour ceux qui nous succéderont ; l'utilisation de l'environnement et les abus qu'il peut subir doivent être fortement restreints, pour ne pas mettre en danger l'espace de vie pour l'humanité. La protection de l'environnement est la protection des générations futures.

Dans ce contexte social, la tâche importante des scientifiques et des techniciens est d'appréhender la situation réelle de l'environnement, ainsi que le « contenu chimique » de la nature, de le décrire de la manière la plus compréhensible possible et de tracer des voies réalistes pour apporter des solutions aux problèmes posés. Leurs informations doivent contribuer à empêcher un comportement inconséquent des hommes. Ceux-ci doivent être informés de manière objective des conséquences découlant des résultats scientifiques. Les décisions politiques intelligentes concernant l'environnement doivent être acceptées par un public plus large.

Dans la période allant du premier être humain doté d'intelligence, l'*homo sapiens*, il y a environ 50 000 ans, jusqu'à Jules CÉSAR (de 100 à 44 avant J.-C.) il n'y avait jamais eu plus de 250 millions d'êtres humains sur la Terre. Vers 1500 après J.-C. la population de la Terre avait seulement doublé. Au cours de la période allant de 1850 à 1900 la population mondiale a augmenté d'environ 500 millions d'habitants (Figure 1-4). Entre 1900 et 1950 la croissance a été supérieure à 1 milliard, c'est à dire de plus du double, et entre 1950 (environ 2,5 milliards d'habitants) et 1992, la population mondiale s'est accrue encore de 3 milliards d'individus. De 1990 à 2000, l'accroissement a été d'environ 790 millions.

Dans les dernières 50 années, la population de la Terre a augmenté particulièrement rapidement (Tableau 1-1), et actuellement elle augmente d'environ 90 millions d'êtres humains par an. En avril 2008, elle a dépassé les 6,6 milliards. Pour 2025 il est prévu une population de 7,5 à 9,6 milliards d'hommes, dont 85 % vivront dans l'hémisphère sud. Et en 2150, selon une prévision pessimiste des Nations-Unies, 28 milliards d'individus pourraient peupler la Terre.

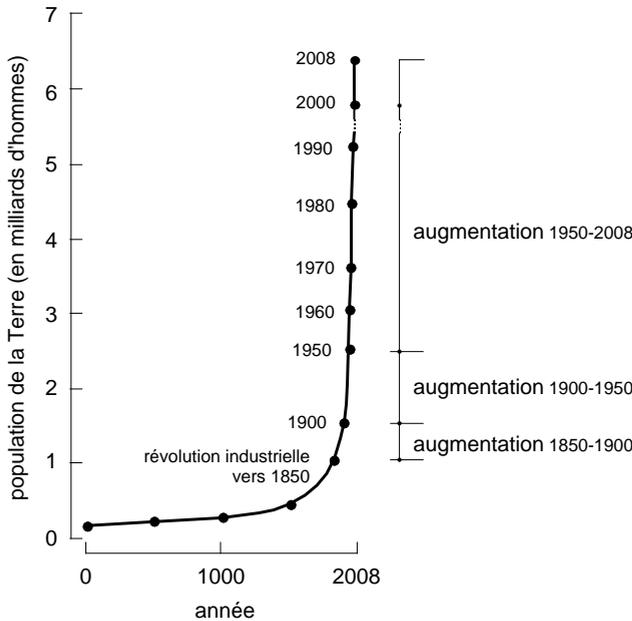
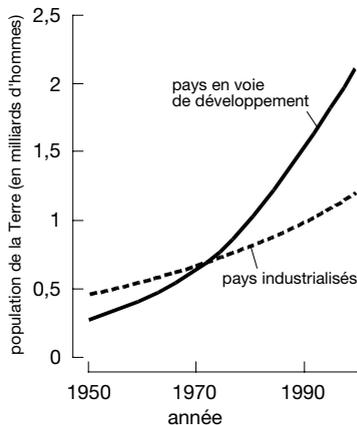


Figure 1-4. Développement de la population de la Terre.

Tableau 1-1. Augmentation de la population mondiale par milliards d'êtres humains.

La population mondiale a nécessité pour le ...		
premier milliard	environ	50 000 années (jusqu'à 1830)
deuxième milliard	environ	100 années (jusqu'à 1930)
troisième milliard	environ	30 années (jusqu'à 1960)
quatrième milliard	environ	15 années (jusqu'à 1975)
cinquième milliard	environ	12 années (jusqu'à 1987)
sixième milliard	environ	8 années (jusqu'à 1995)

# 1 Chimie de l'environnement



**Figure 1-5.** Croissance de la population dans les pays en voie de développement et dans les pays industrialisés.

## Combien d'individus la Terre peut-elle nourrir ?

30 milliards  
si tous vivent comme les paysans du  
Bangladesh ;

0,7 milliards  
si tous vivent comme les Européens  
de l'ouest.

La plus grande augmentation de la population a lieu dans les pays en voie de développement (en 1985, 76 % de la population mondiale vivaient dans ces pays). Dans certains pays comme le Kenya ou l'Algérie la population a doublé en moins de 17 et 25 ans respectivement, alors que pour l'ensemble de la population de la Terre cette valeur se situe un peu au-dessous de 40 ans. La croissance de la population se passe différemment dans les pays en voie de développement et au sein des nations plus fortement industrialisées, c'est-à-dire de manière exponentielle pour les uns et presque linéaire pour les autres (cf. Figure 1-5). La population des villes – en 1980, 41 % de la population vivaient dans les villes – augmente actuellement 3 fois plus vite que la population mondiale, ce qui a conduit à la déclaration suivante : « L'avenir de l'environnement ne se décide pas à la campagne mais dans les villes ».

C'est avant tout le *Club de Rome*, une association comprenant des scientifiques, des entrepreneurs et des politiciens, qui a réfléchi assez tôt sur les interactions entre la population mondiale et la pollution, les réserves de matières premières etc. et qui, pour cela, a développé des modèles du monde. Les résultats quantitatifs du rapport *Halte à la croissance* (1972) s'avèrent très pessimistes, mais la conclusion fondamentale sur les limites de la Terre et de ses ressources est restée sous forme d'avertissement.

Le développement de la population mondiale est une des menaces les plus sérieuses pour l'avenir de la Terre : le nombre d'êtres humains présents sur la Terre exerce une influence dramatique sur l'environnement et sur sa qualité. Le problème majeur lié à la croissance de la population mondiale ne devrait pas être, en principe, un *problème de nourriture* : les superficies existantes, si elles étaient exploitées de manière optimale, suffiraient pour nourrir même le double de la population actuelle. Le monde devient surpeuplé, seulement à partir du moment où la production alimentaire ne peut plus répondre à l'augmentation de la population. La croissance de la population sur la Terre engendre plutôt un *problème de répartition* : les pays pauvres ont besoin de l'aide des pays riches du nord, pour surmonter leur pauvreté et pour pouvoir couvrir leurs besoins en nourriture.

De plus, les êtres humains ne sont pas des « machines à calories » : en tant qu'êtres culturels, il leur faut plus que de l'air, de l'eau et de la nourriture. Ils ont besoin d'habitations avec du chauffage, d'écoles, de voies de circulation (rues, routes), de moyens de transport et de communication et de beaucoup d'autres choses. Tout ceci fait appel à des matières premières et à de l'énergie, signifie des quantités plus importantes de déchets, etc. Ce sont avant tout ces besoins précédents – et moins les besoins en nourriture – qui ne pourraient être supportés ni matériellement ni financièrement, compte tenu de la vitesse avec laquelle la population mondiale augmente actuellement.

Pour une forme de technologie et d'économie donnée, en principe les pollutions sont générées de manière proportionnelle à la population : lorsque la population s'accroît, obligatoirement la pollution s'accroît aussi. Mais les demandes en matériaux augmentent



Bliefert | Perraud

# Chimie de l'environnement

## Ouvrage de référence, en pleine actualité

La science de l'environnement constitue un vaste domaine qui englobe de nombreuses disciplines aussi variées que la mécanique des sols, la géologie, la climatologie, la chimie, la physique, l'écologie, la biochimie, etc.

Cet ouvrage concerne exclusivement la Chimie de l'environnement. Il est destiné à apporter des éclaircissements sur les sources, le transfert, l'évolution, le dépôt et l'action des composés tels que le monoxyde de carbone, les dérivés du soufre, les composés organiques volatils, les dioxines, les produits chlorés, l'ozone..., dans les différents compartiments où ils se trouvent, l'air, le sol, l'eau ainsi que dans les déchets.

Des sujets plus spécifiques sont également développés tout au long du livre : les gaz d'échappement, les engrais, la destruction des déchets, le recyclage, le « smog », l'effet de serre, le traitement des eaux, la protection de l'environnement... autant de sujets traités lors du *Grenelle de l'environnement* en France.

## Une mise à jour des connaissances

Cette deuxième édition de *Chimie de l'Environnement* fournira aux étudiants et aux enseignants concernés des données fondamentales actualisées sur l'évolution des principaux composés présents dans les différents domaines environnementaux. Les chefs d'entreprise, les cadres du monde industriel, les décideurs tels que les élus territoriaux, souvent confrontés à des problèmes liés à des substances chimiques présentes ou émises dans leur environnement pourront également y puiser des informations concernant tant les données brutes que les aspects scientifiques et réglementaires (notamment européens) qui leur sont associés.

### Claus Bliefert

Professeur à la *Fachhochschule* de Münster (Allemagne), Université de sciences appliquées, il exerce ses activités pédagogiques et de recherche dans le domaine de la chimie de l'environnement.

### Robert Perraud

Professeur émérite de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, il a dirigé un laboratoire dont une partie des activités de recherche concernait la chimie atmosphérique. De ce fait, la science de l'environnement a constitué une part importante de ses activités pédagogiques.

- L'ouvrage de référence en chimie de l'environnement
- Sujet d'actualité traité de manière claire et argumentée
- Données mises à jour
- Référence au règlement REACH (enRegistrement, Evaluation et Autorisation des substances CHimiques)

