

**Jean RODIER**

Bernard LEGUBE, Nicole MERLET *et coll.*

# L'Analyse de l'eau

**9<sup>e</sup> édition**

Entièrement mise à jour



DUNOD

# TABLE DES MATIÈRES SOMMAIRE

■ Analyse physico-chimique des eaux naturelles	
■ Analyse microbiologique des eaux	
■ Les indicateurs biologiques de la qualité des eaux	
■ Eaux résiduaires	
1 • Généralités	3
■ Analyse de l'eau de mer	3
1.2 Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau	11
■ Analyse d'un dépôt et d'un sédiment	11
1.4 Détermination des connexions hydrauliques et des propriétés	13
■ Interprétation des résultats analytiques	13
■ Mémento du laboratoire d'analyse d'eau	14
■ Annexes	23
1.5 Mesure des débits	23
1.5.1 Mesure des hauteurs d'eau	23
1.5.2 Mesure des débits	24
2 • Caractères organoleptiques	33
2.1 Couleur (référence de qualité «Eau potable»)	33
2.1.1 Méthode au platine-cobalt	33
2.1.2 Méthode par comparaison avec des disques colorés	35
2.2 Odeur (référence de qualité «Eau potable»)	35
2.3 Goût, saveur, flaveur (référence de qualité «Eau potable»)	40
3 • Particules en suspension et colloïdes	45
3.1 Taille des particules dans les eaux naturelles	45
3.2 Matières décantables	46
3.3 Matières en suspension	47

A

B

C

D

E

F

G

H

3.3.1 Méthode par filtration sur fibre de verre, 47	
3.3.2 Méthode par centrifugation, 48	
3.3.3 Méthode par ultra-centrifugation, 49	
3.3.4 Examen microscopique du dépôt, 49	
<b>3.4 Résidu total</b>	<b>50</b>
<b>3.5 Turbidité (limite de qualité « Eau potable »)</b>	<b>50</b>
3.5.1 Méthode au fil de platine, 50	
3.5.2 Méthode de Secchi, 51	
3.5.3 Méthode au fluorescope, 51	
3.5.4 Méthode « des gouttes de mastic », 53	
3.5.5 Méthode à la silice, 53	
3.5.6 Méthode néphélométrique à la formazine, 54	
<b>3.6. Potentiel ZETA</b>	<b>56</b>
<b>3.7 Pouvoir colmatant</b>	<b>57</b>
<b>3.8 Indices de colmatage</b>	<b>57</b>
3.8.1 Modèles de colmatage des pores, 58	
3.8.2 Indice de colmatage FI ( <i>Fouling Index</i> ), 58	
3.8.3 Indice de colmatage MFI ( <i>Modified Fouling Index</i> ), 60	
<b>4 • Gaz dissous (gaz de l'eau)</b>	<b>63</b>
4.1 Solubilité des gaz dans l'eau	63
4.2 Dosage des gaz totaux	64
4.3 Oxygène dissous	65
4.3.1 Méthode volumétrique (méthode de Winkler modifiée par Alsterberg), 65	
4.3.2 Méthode électrochimique, 68	
4.3.3 Tables de solubilités de l'oxygène dans l'eau, 69	
4.4 Dioxyde de carbone (anhydride carbonique)	74
4.4.1 Dioxyde de carbone libre par la méthode titrimétrique, 74	
4.4.2 Dioxyde de carbone libre par la méthode graphique, 74	
<b>5 • Salinité totale, potentiels et titres</b>	<b>75</b>
5.1 Résidus et sels dissous totaux	75
5.1.1 Résidu sec (ou sels dissous totaux sur eau filtrée), 75	
5.1.2 Résidu minéralisé et perte au feu, 76	
5.1.3 Détermination du résidu fixe sulfaté, 77	
5.2 Conductivité électrique (référence de qualité « Eau potable »)	78
5.2.1 Mesure de la conductivité électrique, 78	
5.2.2 Conductivité équivalente et conductivité réelle, 83	
5.2.3 Conductivité permanente, 83	
5.2.4 Minéralisation globale de l'eau, 84	
5.3 pH (référence de qualité « Eau potable »)	86

5.3.1	Méthode colorimétrique, 87	
5.3.2	Méthode potentiométrique avec électrode de verre, 92	
<b>5.4</b>	<b>Potentiel d'oxydo-réduction</b>	<b>96</b>
<b>5.5</b>	<b>rH</b>	<b>100</b>
<b>5.6</b>	<b>Acidité</b>	<b>100</b>
5.6.1	Acidité forte, 101	
5.6.2	Dioxyde de carbone dissous (CO <sub>2</sub> libre), 102	
<b>5.7</b>	<b>Alcalinité (TA-TAC)</b>	<b>107</b>
5.7.1	Titre alcalimétrique simple (TA), 107	
5.7.2	Titre alcalimétrique complet (TAC), 108	
5.7.3	Méthode titrimétrique de dosage du TA et du TAC, 109	
5.7.4	Méthode pH-métrique au point équivalent, 111	
5.7.5	Méthode potentiométrique, 112	
5.7.6	Méthode par flux continu, 113	
<b>5.8</b>	<b>Carbone minéral total</b>	<b>115</b>
5.8.1	Méthode d'évolution, 115	
5.8.2	Méthode instrumentale, 118	
<b>5.9</b>	<b>Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)</b>	<b>118</b>
5.9.1	Dureté totale par titrimétrie à l'EDTA, 119	
5.9.2	Détermination de la dureté calcique, 121	
5.9.3	Détermination de la dureté magnésienne, 122	
<b>5.10</b>	<b>Titre acidimétrique (TACi) ou Anions d'acides forts ou Sels d'acides forts (SAF)</b>	<b>122</b>
<b>6 •</b>	<b>Équilibre calcocarbonique (agressivité, entartrage)</b>	<b>125</b>
6.1	Rappel historique des diverses méthodes proposées	126
6.2	Données analytiques nécessaires aux calculs d'équilibre calcocarbonique	127
6.2.1	Éléments permettant de connaître la concentration en carbonate, 127	
6.2.2	Autres éléments analytiques nécessaires ou souhaitables, 128	
<b>6.3</b>	<b>Aspects théoriques de l'équilibre calcocarbonique</b>	<b>128</b>
6.3.1	Relations entre les concentrations des éléments dissous, 128	
6.3.2	Relations entre des éléments dissous et des éléments d'une autre phase, 129	
6.3.3	Éléments fondamentaux – Éléments caractéristiques, 131	
6.3.4	Relations entre les éléments fondamentaux – Bases des représentations graphiques, 131	
<b>6.4</b>	<b>Détermination de l'agressivité ou du caractère entartrant d'une eau et utilisation des méthodes graphiques</b>	<b>132</b>
6.4.1	Indice de LANGELIER, 132	
6.4.2	Méthode de HALLOPEAU et DUBIN, 132	
6.4.3	Diagramme de LEGRAND et POIRIER, 134	

<b>7 • Cations et anions</b>	<b>141</b>
<b>7.1 Méthodes instrumentales pour l'analyse des cations et des anions</b>	<b>142</b>
7.1.1 Spectrométrie d'absorption moléculaire (absorption des radiations lumineuses de l'UV et du visible), 143	
7.1.2 Analyse en flux, 148	
7.1.3 Chromatographie ionique (CI), 152	
7.1.4 Spectrométrie d'émission de flamme (ou photométrie de flamme), 166	
7.1.5 Spectrométrie d'absorption atomique (SAA), 172	
7.1.6 Spectroscopie d'émission atomique avec plasma couplé par induction éventuellement associé à la spectrométrie de masse, 182	
7.1.7 Electrodes ioniques spécifiques – Potentiométrie, 190	
7.1.8 Analyse par activation, 194	
<b>7.2 Aluminium</b>	<b>194</b>
7.2.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 194	
7.2.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 196	
7.2.3 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique en four graphite (atomisation électrothermique), 197	
7.2.4 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif, 198	
<b>7.3 Ammonium</b>	<b>199</b>
7.3.1 Méthode au bleu d'indophénol, 199	
7.3.2 Méthode potentiométrique, 201	
7.3.3 Méthode par flux continu, 202	
7.3.4 Méthode par chromatographie ionique, 204	
7.3.5 Méthode titrimétrique, 204	
7.3.6 Méthode de Nessler, 204	
<b>7.4 Antimoine</b>	<b>204</b>
7.4.1 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique (atomisation électrothermique) avec four graphite, 204	
7.4.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec génération d'hydrure, 205	
7.4.3 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 205	
<b>7.5 Argent</b>	<b>206</b>
7.5.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 206	
7.5.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 209	
7.5.3 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 210	
7.5.4 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 211	

<b>7.6 Arsenic</b>	<b>212</b>
7.6.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 212	
7.6.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec génération d'hydrure, 214	
7.6.3 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique (atomisation électrothermique) avec four graphite, 215	
7.6.4 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 216	
<b>7.7 Baryum</b>	<b>217</b>
7.7.1 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 218	
7.7.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 218	
7.7.3 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 219	
7.7.4 Méthode par chromatographie ionique, 220	
<b>7.8 Béryllium</b>	<b>220</b>
7.8.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 220	
7.8.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 222	
7.8.3 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 222	
7.8.4 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 223	
<b>7.9 Bismuth</b>	<b>224</b>
7.9.1 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 224	
7.9.2 Autres méthodes, 224	
<b>7.10 Borate et bore</b>	<b>225</b>
7.10.1 Méthode potentiométrique directe, 225	
7.10.2 Méthode au carmin par spectrométrie d'absorption moléculaire, 227	
7.10.3 Méthode à l'azométhine H par spectrométrie d'absorption moléculaire, 228	
7.10.4 Méthode par flux continu, 229	
7.10.5 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 231	
<b>7.11 Bromate</b>	<b>232</b>
7.11.1 Méthode par chromatographie ionique adaptée au dosage des bromates, 233	
7.11.2 Autres méthodes, 235	
<b>7.12 Bromure</b>	<b>235</b>
7.12.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 236	
7.12.2 Méthode par chromatographie ionique, 238	
7.12.3 Méthode potentiométrique, 238	

<b>7.13 Cadmium</b>	<b>239</b>
7.13.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire,	239
7.13.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 241	
7.13.3 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 242	
7.13.4 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 243	
<b>7.14 Calcium</b>	<b>244</b>
7.14.1 Méthode titrimétrique à l'EDTA, 244	
7.14.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 247	
7.14.3 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 248	
7.14.4 Dosage simultané du calcium et du magnésium par la méthode titrimétrique à l'EDTA, 249	
7.14.5 Méthode par chromatographie ionique, 250	
<b>7.15 Carbonate et bicarbonate (ou hydrogénocarbonate)</b>	<b>250</b>
7.15.1 Méthode par dosage du TA-TAC, 251	
7.15.2 Dosage du carbone minéral, 251	
<b>7.16 Césium</b>	<b>251</b>
7.16.2 Méthode du iodobismuthate de césium, 251	
7.16.3 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 251	
<b>7.17 Chlorate</b>	<b>252</b>
7.17.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 252	
7.17.2 Méthode titrimétrique, 254	
7.17.3 Méthode par chromatographie ionique, 256	
<b>7.18 Chlorite</b>	<b>256</b>
7.18.1 Méthode par chromatographie ionique, 256	
<b>7.19 Chlorure</b>	<b>256</b>
7.19.1 Méthode de Mohr, 257	
7.19.2 Méthode de Charpentier-Volhard, 258	
7.19.3 Méthode potentiométrique et coulométrique, 259	
7.19.4 Méthode par flux continu (méthode CFA) et détection photométrique, 259	
7.19.5 Méthode par chromatographie ionique, 261	
<b>7.20 Chromate</b>	<b>262</b>
7.20.1 Dosage du chrome hexavalent, 262	
7.20.2 Méthode par chromatographie ionique, 262	
<b>7.21 Chrome</b>	<b>262</b>
7.21.1 Chrome hexavalent par spectrométrie d'absorption moléculaire, 262	
7.21.2 Chrome hexavalent par spectrométrie d'absorption	

avec flamme après complexation et extraction, 264	
7.21.3 Chrome hexavalent par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 264	
7.21.4 Chrome total par spectrométrie d'absorption moléculaire, 266	
7.21.5 Chrome total par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 267	
7.21.6 Chrome total par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 268	
7.21.7 Chrome total par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 269	
<b>7.22 Cobalt</b>	<b>270</b>
7.22.1 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 270	
7.22.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomiseur électrothermique), 271	
7.22.3 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 272	
<b>7.23 Cuivre</b>	<b>273</b>
7.23.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 273	
7.23.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 275	
7.23.3 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 276	
7.23.4 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 277	
<b>7.24 Cyanure</b>	<b>278</b>
<b>7.25 Étain</b>	<b>278</b>
7.25.1 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 278	
7.25.2 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 279	
<b>7.26 Fer</b>	<b>280</b>
7.26.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 281	
7.26.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 282	
7.26.3 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 283	
7.26.4 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme après complexation et extraction, 284	
7.26.5 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 285	
<b>7.27 Fluorure et fluor</b>	<b>286</b>
7.27.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire au zirconium et ériochrome-cyanine R, 286	
7.27.2 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire à l'alizarine et au nitrate de lanthane, 291	



7.27.3 Méthode par flux continu ,	293
7.27.4 Méthode potentiométrique,	294
7.27.5 Méthode par chromatographie ionique,	297
<b>7.28 Gallium</b>	<b>297</b>
<b>7.29 Germanium</b>	<b>298</b>
<b>7.30 Indium</b>	<b>298</b>
<b>7.31 Iodure et Iode</b>	<b>299</b>
7.31.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire,	299
7.31.2 Méthode par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif associé à un spectromètre de masse (ICP/MS),	301
7.31.3 Méthode par chromatographie ionique,	302
<b>7.32 Lithium</b>	<b>302</b>
7.32.1 Méthode par spectrométrie d'émission avec flamme,	302
7.32.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme,	303
7.32.3 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP),	304
7.32.4 Méthode par chromatographie ionique,	305
<b>7.33 Magnésium</b>	<b>305</b>
7.33.1 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme,	305
7.33.2 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP),	306
7.33.3 Méthode par spectrométrie d'émission avec flamme,	307
7.33.4 Méthode par hydrotimétrie,	307
7.33.5 Méthode par chromatographie ionique,	307
<b>7.34 Manganèse</b>	<b>308</b>
7.34.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire,	308
7.34.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme,	310
7.34.3 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique),	311
7.34.4 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP),	311
7.34.5 Méthode par chromatographie ionique,	312
<b>7.35 Mercure</b>	<b>312</b>
7.35.1 Dosage du mercure total par spectrométrie d'absorption atomique sans flamme après minéralisation au permanganate peroxydisulfate,	313
7.35.2 Dosage du mercure total par spectrométrie d'absorption atomique sans flamme après minéralisation au brome,	316
7.35.3 Dosage du mercure total par spectrométrie de fluorescence atomique,	318
7.35.4 Dosage du mercure organique,	320

<b>7.36 Molybdène</b>	<b>322</b>
7.36.1 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 322	
7.36.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 323	
7.36.3 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 323	
<b>7.37 Nickel</b>	<b>324</b>
7.37.1 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 324	
7.37.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 325	
7.37.3 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 325	
<b>7.38 Nitrate</b>	<b>326</b>
7.38.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 327	
7.38.2 Méthode par réduction au cadmium, 329	
7.38.3 Méthode par flux continu (méthode CFA), 330	
7.38.4 Méthode par chromatographie ionique, 333	
<b>7.39 Nitrite</b>	<b>333</b>
7.39.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 333	
7.39.2 Méthode par flux continu, 335	
7.39.3 Méthode par chromatographie ionique, 336	
<b>7.40 Phosphate</b>	<b>336</b>
7.40.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 337	
7.40.2 Méthode par flux continu, 339	
7.40.3 Méthode par chromatographie ionique, 341	
<b>7.41 Plomb</b>	<b>341</b>
7.41.1 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 342	
7.41.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 343	
7.41.3 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 344	
<b>7.42 Plutonium</b>	<b>345</b>
<b>7.43 Potassium</b>	<b>345</b>
7.43.1 Méthode par spectrométrie d'émission de flamme, 345	
7.43.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 345	
7.43.3 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 346	
7.43.4 Méthode par chromatographie ionique, 346	
<b>7.44 Radium</b>	<b>347</b>
<b>7.45 Sélénium</b>	<b>347</b>
7.45.1 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique	

	avec four graphite (atomisation électrothermique), 347	
7.45.2	Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec génération d'hydrure, 348	
7.45.3	Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 349	
<b>7.46</b>	<b>Silicate soluble (orthosilicate) et silice totale</b>	<b>350</b>
7.46.1	Méthode gravimétrique, 351	
7.46.2	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire au molybdate d'ammonium, 351	
7.46.3	Méthode par flux continu (méthode CFA), 353	
7.46.4	Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 355	
7.46.5	Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 356	
<b>7.47</b>	<b>Sodium</b>	<b>356</b>
7.47.1	Méthode par spectrométrie d'émission de flamme, 357	
7.47.2	Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 358	
7.47.3	Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 359	
7.47.4	Méthode par chromatographie ionique, 359	
<b>7.48</b>	<b>Strontium</b>	<b>360</b>
7.48.1	Méthode par spectrométrie d'émission de flamme, 360	
7.48.2	Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 361	
7.48.3	Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 362	
7.48.4	Méthode par chromatographie ionique, 362	
7.48.5	Dosage du strontium 90, 362	
<b>7.49</b>	<b>Sulfate</b>	<b>363</b>
7.49.1	Méthode gravimétrique, 363	
7.49.2	Méthode néphélométrique, 363	
7.49.3	Méthode par flux continu (méthode CFA), 365	
7.49.4	Méthode par chromatographie ionique, 368	
<b>7.50</b>	<b>Sulfite</b>	<b>368</b>
7.50.1	Méthode potentiométrique, 368	
7.50.2	Méthode par chromatographie ionique, 368	
<b>7.51</b>	<b>Sulfure</b>	<b>368</b>
<b>7.52</b>	<b>Thallium</b>	<b>368</b>
<b>7.53</b>	<b>Thiocyanate</b>	<b>369</b>
<b>7.54</b>	<b>Thiosulfate</b>	<b>369</b>
7.54.1	Méthode potentiométrique, 369	
7.54.2	Méthode par chromatographie ionique, 369	
<b>7.55</b>	<b>Thorium</b>	<b>370</b>

7.55.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire au thorin, 370	
7.55.2 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire à l'arsénazo (III), 372	439
7.55.3 Dosage de thorium 232, 372	
<b>7.56 Titane</b>	<b>372</b>
7.56.1 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 372	
7.56.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 373	475
<b>7.57 Tritium</b>	<b>374</b>
<b>7.58 Uranium</b>	<b>374</b>
7.58.1 Méthode par spectrofluorimétrie, 374	
7.58.2 Méthode par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP/MS), 375	487
7.58.3 Autres méthodes, 375	
<b>7.59 Vanadium</b>	<b>376</b>
7.59.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 376	
7.59.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 376	491
7.59.3 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec four graphite (atomisation électrothermique), 377	
7.59.4 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 378	
<b>7.60. Zinc</b>	<b>379</b>
7.60.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 379	
7.60.2 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, 381	
7.60.3 Méthode par spectrométrie d'absorption atomique en four graphite (atomisation électrothermique), 381	
7.60.4 Méthode par spectrométrie d'émission avec plasma à couplage inductif (ICP), 382	
<b>8 • Radioactivité</b>	<b>385</b>
<b>8.1 Généralités</b>	<b>385</b>
8.1.1 Radioactivité naturelle, 385	
8.1.2 Radioactivité artificielle, 385	
8.1.3 Exposition annuelle de la population, 386	
<b>8.2 L'eau</b>	<b>386</b>
8.2.1 Qualité radiologique de l'eau, 386	
8.2.2 Conservation et manipulation des échantillons d'eau, 387	
<b>8.3 Détermination de la radioactivité d'un échantillon</b>	<b>387</b>
8.3.1 Spectrométrie gamma, 388	
8.3.2 Spectrométrie alpha, 389	
8.3.3 Mesure de la radioactivité bêta, 390	

9.10.2	Analyse chromatographique de classes de composés organiques: acides aminés et sucres, 437	
<b>10</b>	<b>• Micropolluants organiques</b>	<b>439</b>
<b>10.1</b>	<b>Méthodes instrumentales pour l'analyse des micropolluants organiques</b>	<b>440</b>
10.1.1	Préparation et traitement de l'échantillon, 440	
10.1.2	Chromatographie, 460	
<b>10.2</b>	<b>Acrylamide</b>	<b>475</b>
<b>10.3</b>	<b>Agents de surface (tensioactifs, détergents)</b>	<b>476</b>
10.3.1	Agents de surface anioniques (Indice SABM), 477	
10.3.2	Agents de surface cationiques, 481	
10.3.3	Agents de surface non ioniques, 482	
<b>10.4</b>	<b>Aldéhydes (et chloroaldéhydes)</b>	<b>487</b>
10.4.1	Méthode par dérivation au PFBHA et chromatographie gazeuse, 487	
10.4.2	Méthode par dérivation au DNPH et chromatographie liquide, 89	
<b>10.5</b>	<b>AOX (et TOX)</b>	<b>491</b>
10.5.1	Évaluation globale, 491	
10.5.2	Évaluation spécifique de quelques AOX, 491	
<b>10.6</b>	<b>Benzène</b>	<b>494</b>
<b>10.7</b>	<b>Benzo(a)pyrène</b>	<b>494</b>
<b>10.8</b>	<b>BTEX</b>	<b>494</b>
<b>10.9</b>	<b>Chlorobenzènes</b>	<b>497</b>
10.9.1	Méthode par chromatographie en phase gazeuse après extraction liquide-liquide, 497	
10.9.2	Méthode par dégazage, piégeage et désorption thermique, puis chromatographie gazeuse (Purge & Trap), 497	
10.9.3	Méthode par chromatographie de l'espace de tête (« headspace »), 497	
<b>10.10</b>	<b>Chlorure de vinyle</b>	<b>498</b>
10.10.1	Méthode par chromatographie de l'espace de tête (« Head Space ») ou après extraction liquide-liquide, 498	
10.10.2	Méthode par dégazage, piégeage et désorption thermique puis chromatographie gazeuse («Purge & Trap»), 498	
<b>10.11</b>	<b>Complexants</b>	<b>498</b>
10.11.1	Dosage du NTA par spectrométrie d'absorption moléculaire, 498	
10.11.2	Méthode par chromatographie gazeuse, 500	
<b>10.12 (1,2)</b>	<b>– Dichloroéthane</b>	<b>503</b>
10.12.1	Méthode par chromatographie de l'espace de tête ou après extraction liquide-liquide, 503	
10.12.2	Méthode par dégazage, piégeage et désorption thermique puis chromatographie gazeuse («purge & trap»), 503	

<b>10.13 Dioxines</b>	<b>503</b>
<b>10.14 Epichlorhydrine</b>	<b>504</b>
<b>10.15 Hydrocarbures aromatiques monocycliques</b>	<b>506</b>
10.15.1 Méthode par chromatographie de l'espace de tête (« headspace »), 506	
10.15.2 Méthode par dégazage, piégeage et désorption thermique puis chromatographie gazeuse (purge & trap), 506	
<b>10.16 Hydrocarbures aromatiques polycycliques</b>	<b>510</b>
10.16.1 Dosage des HAP par extraction puis par chromatographie liquide avec détection par fluorescence, 510	
10.16.2 Dosage des HAP par extraction liquide-liquide puis par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse, 513	
10.16.3 Dosage du naphthalène (seul) par chromatographie gazeuse, 514	
<b>10.17 Hydrocarbures halogénés aliphatiques volatils</b>	<b>515</b>
10.17.1 Méthode par chromatographie de l'espace de tête (« headspace ») ou après extraction liquide-liquide, 515	
10.17.2 Méthode par dégazage, piégeage et désorption thermique puis chromatographie gazeuse (purge & trap), 519	
<b>10.18 Hydrocarbures totaux (indice hydrocarbure)</b>	<b>519</b>
10.18.1 Méthode par spectrométrie infra-rouge, 520	
10.18.2 Méthode par chromatographie gazeuse, 520	
<b>10.19 Microcystine LR</b>	<b>523</b>
<b>10.20 Mercaptans</b>	<b>525</b>
<b>10.21 Nitrosamines (NDMA)</b>	<b>526</b>
<b>10.22 Organostanniques</b>	<b>527</b>
<b>10.23 Perturbateurs endocriniens de type œstrogéniques (hormones)</b>	<b>528</b>
<b>10.24 Pesticides et apparentés</b>	<b>534</b>
10.24.1 Organochlorés par chromatographie gazeuse, 537	
10.24.2 Organophosphorés (et organothiophosphorés) par chromatographie gazeuse, 542	
10.24.3 Triazines par chromatographie gazeuse, 547	
10.24.4 Phénylurées (et triazines) par chromatographie liquide, 551	
10.24.5 Acides phénoxyalcanoïques par chromatographie gazeuse, 554	
10.24.6 Glyphosate et AMPA par chromatographie liquide, 558	
10.24.7 Aminotriazole par chromatographie gazeuse, 561	
10.24.8 Méthodes multi-résidus par chromatographie gazeuse, 561	
10.24.9 Méthode multi-résidus par chromatographie liquide, 565	
<b>10.25 Phénols</b>	<b>569</b>
10.25.1 Méthode à l' amino-4-antipyrine (indice phénol), 570	
10.25.2 Méthode par spectrométrie infra-rouge, 573	
10.25.3 Chlorophénols par chromatographie gazeuse, 573	

10.25.4	Chlorophénols par chromatographie liquide haute performance, 576	
10.25.5	Nitrophénols par chromatographie gazeuse, 576	
10.25.6	Nonylphénols et alkylphénols, 578	
10.25.7	Bisphénol A, 580	
<b>10.26</b>	<b>Phtalates</b>	<b>581</b>
<b>10.27</b>	<b>PCB (Polychlorobiphényles)</b>	<b>582</b>
<b>10.28</b>	<b>Résidus pharmaceutiques</b>	<b>583</b>
<b>10.29</b>	<b>Tétrachloroéthylène et trichloroéthylène</b>	<b>585</b>
<b>10.30</b>	<b>Trihalométhanes (THM)</b>	<b>585</b>
<b>11</b>	<b>• Soufre et composés soufrés</b>	<b>587</b>
11.1	Soufre colloïdal libre	587
11.2	Soufre et composés soufrés réducteurs	589
11.3	Composés ionisés et réducteurs à base de soufre	592
11.4	Sulfite et thiosulfate par chromatographie ionique	595
11.5	Polysulfures	596
<b>12</b>	<b>• Résultats de l'analyse de l'eau</b>	<b>597</b>
12.1	Unités de mesure et notion d'équivalence	597
12.1.1	Notion d'équivalence et de normalité, 597	
12.1.2	Unités pondérales, 598	
12.1.3	Degré français, 598	
12.1.4	Titres propres aux analystes de l'eau, 599	
12.2	Contrôle des résultats de l'analyse de l'eau	599
12.2.1	Méthode du bilan ionique, 599	
12.2.2	Méthode utilisant les titres, 600	
12.2.3	Méthodes utilisant la conductivité, 601	
12.3	Représentation graphique des résultats d'une analyse de l'eau	602
12.3.1	Diagrammes à barres, 602	
12.3.2	Équilibres calco-carboniques, 603	
12.4	Présentation des résultats et bulletins d'analyse	603
12.4.1	Prélèvement et expédition des échantillons, 604	
12.4.2	Exemple de renseignements à fournir pour une analyse de l'eau, 605	
12.4.3	Exemple de rapport d'analyse d'eau, 606	
<b>13</b>	<b>• Contrôle de la désinfection</b>	<b>611</b>
13.1	Désinfection	611
13.1.1	Objectifs de la désinfection, 611	
13.1.2	Critères d'évaluation de la désinfection, 611	
13.1.3	Choix et conditions d'application des désinfectants, 615	

<b>13.2 Chlore et chloramines</b>	<b>616</b>
13.2.1 Chimie du chlore et des chloramines, 616	
13.2.2 Analyse des solutions concentrées (eaux et extraits de Javel) par titrage iodométrique, 620	
13.2.3 Dosage du chlore résiduel total, 622	
13.2.4 Dosage du chlore résiduel total, libre ou combiné, 624	
13.2.5 Demande en chlore, 637	
<b>13.3 Dioxyde de chlore</b>	<b>639</b>
13.3.1 Chimie et réactivité du dioxyde de chlore, 639	
13.3.2 Préparation des solutions mères de dioxyde de chlore, 640	
13.3.3 Analyse des solutions concentrées, 641	
13.3.4 Dosage du dioxyde de chlore résiduel, 645	
13.3.5 Demande en dioxyde de chlore, 654	
<b>13.4. Ozone</b>	<b>654</b>
13.4.1 Chimie de l'ozone, 654	
13.4.2 Dosage de l'ozone dans l'air ozoné, 655	
13.4.3 Dosage de l'ozone dans l'eau, 658	
13.4.4 Demande en ozone, 662	
<b>13.5 Brome et iode</b>	<b>663</b>
13.5.1 Formes chimiques et utilisations, 663	
13.5.2 Dosage du brome ou de l'iode résiduel par la méthode à la N, N-diéthylphénylène-1,4 diamine (DPD), 664	
13.5.3 Dosage du brome ou de l'iode résiduel par ampérométrie, 664	
<b>13.6. Peroxyde d'hydrogène</b>	<b>664</b>
13.6.1 Formes chimiques et utilisations, 664	
13.6.2 Analyse des solutions concentrées, 665	
13.6.3 Dosage du peroxyde d'hydrogène résiduel par la méthode au sel de titane (méthode d'EISENBERG), 667	
<b>13.7 Acide peracétique</b>	<b>669</b>
13.7.1 Formes chimiques et utilisations, 669	
13.7.2 Dosage de l'acide peracétique par méthode volumétrique (iodométrie et manganimétrie), 670	
13.7.3 Dosage de l'acide peracétique résiduel par chromatographie liquide haute performance, 671	
<b>13.8 Chloroisocyanurates</b>	<b>672</b>
13.8.1 Formes chimiques et utilisations, 672	
13.8.2 Dosage de l'acide isocyanurique et des chloroisocyanurates dans les eaux de piscines, 673	
13.8.3 Dosage de l'acide isocyanurique en présence de chlore libre, 675	
<b>13.9 Polyhexaméthylène biguanide (PHMB)</b>	<b>675</b>
13.9.1 Formes chimiques et utilisations, 675	
13.9.2 Dosages spectrométriques du PHMB, 676	



<b>Bibliographie</b>	<b>679</b>
----------------------	------------

## B

### Analyse microbiologique des eaux

<b>1 • Généralités</b>	<b>719</b>
<b>2 • Méthodes générales de prélèvement, transport et conservation</b>	<b>721</b>
<b>2.1 Matériel de prélèvement</b>	<b>721</b>
2.1.1 Choix et stérilisation des récipients, 721	
2.1.2 Appareils de prélèvement, 722	
<b>2.2 Méthodes générales de prélèvement</b>	<b>723</b>
2.2.1 Prélèvement à un robinet, 723	
2.2.2 Prélèvement dans un puits à l'aide d'un plongeur, 724	
2.2.3 Prélèvement dans une rivière, 724	
2.2.4 Prélèvement dans un lac ou une rivière profonde, 724	
2.2.5 Prélèvement aux griffons des sources, 725	
<b>2.3 Prélèvements avec concentration de la population bactérienne (méthode de Moore) par adsorption sur de la gaze hydrophile</b>	<b>725</b>
2.3.1 Prélèvement dans les eaux de surface, 725	
2.3.2 Prélèvement au robinet de distribution, 726	
<b>2.4 Transport et conservation au laboratoire</b>	<b>727</b>
<b>3 • Méthodes générales d'examen bactériologique des eaux</b>	<b>729</b>
<b>3.1 Méthodes générales de dénombrement après concentration</b>	<b>729</b>
3.1.1 Concentration in situ par adsorption, 729	
3.1.2 Concentration au laboratoire par filtration sur membranes, 729	
3.1.3 Dénombrement sur membrane filtrante, 731	
<b>3.2 Méthodes générales de dénombrement direct par numération des colonies après ensemencement sur (ou dans) une gélose nutritive</b>	<b>733</b>
3.2.1 Caractères généraux, 733	
3.2.2 Dénombrement par incorporation en gélose, 734	
3.2.3 Dénombrement par étalement en surface, 735	
<b>3.3 Méthode générale de dénombrement en milieu liquide par détermination du nombre le plus probable (NPP)</b>	<b>735</b>

3.3.1	Méthodologie, 736	
3.3.2	Systèmes d'ensemencement, 737	
3.3.3	Avantages et inconvénients des dénombrements, sur milieux liquides, 745	
<b>4</b>	<b>• Bactéries indicatrices de contamination et d'efficacité de traitement</b>	<b>747</b>
4.1	Dénombrement des germes totaux par épifluorescence	747
4.2	Dénombrement des bactéries aérobies revivifiables (germes aérobies mésophiles, hétérotrophes)	749
4.2.1	Méthode par incorporation en milieu gélosé, 750	
4.2.2	Méthode par ensemencement en surface sur milieu gélosé, 753	
4.3	Dénombrement des coliformes	754
4.3.1	Classification des coliformes – Intérêt et modalités de leur recherche, 754	
4.3.2	Méthode de dénombrement par filtration sur membrane, 756	
4.3.3	Méthode de détermination du nombre le plus probable (NPP) par inoculation de tubes en milieux liquides (ou fermentation en tubes multiples), 761	
4.3.4	Dénombrement des <i>Escherichia coli</i> par ensemencement en milieu liquide (NPP) en microplaques, 764	
4.3.5	Méthode simplifiée pour le dénombrement des <i>Escherichia coli</i> , 766	
4.4	Dénombrement des <i>Enterococcus</i>	768
4.4.1	Classification – Intérêt et modalités de leur recherche, 768	
4.4.2	Méthode par filtration sur membrane, 769	
4.4.3	Méthode par ensemencement en milieu liquide pour détermination du nombre le plus probable (méthode en tubes), 770	
4.4.4	Méthode de dénombrement des <i>Enterococcus</i> par ensemencement en milieu liquide (NPP) sur microplaque, 772	
4.4.5	Identification des streptocoques du groupe D, 775	
4.5	Recherche et dénombrement des bactéries sulfito-réductrices et de leurs spores	775
4.5.1	Signification de la recherche de ces bactéries, 775	
4.5.2	Méthode par incorporation en gélose, 777	
4.5.3	Méthode par enrichissement en milieu liquide, 779	
4.5.4	Méthode par filtration sur membrane, 781	
4.5.5	Recherche et dénombrement des spores de <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs, 783	
4.6	Recherche des bactériophages	784
<b>5</b>	<b>• Bactéries spécifiques</b>	<b>787</b>
5.1	Recherche de <i>Campylobacter jejuni</i>	787
5.2	Recherche et dénombrement des <i>Legionella</i> et de <i>Legionella pneumophila</i>	788
5.3	Recherche des leptospires	794

5.4	Recherche et dénombrement de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	797
5.5	Recherche des <i>Salmonella</i>	799
5.6	Recherche des staphylocoques pathogènes	810
5.7	Recherche du vibriion cholérique et des <i>Vibrio</i>	812
5.8	Recherche de <i>Yersinia enterocolitica</i>	815
5.9	Recherche des bactéries sulfato-réductrices (vibriions sulfato-réducteurs)	817
5.9.1	Méthode de dénombrement sur milieux solides,	817
5.9.2	Méthode par ensemencement en milieux liquides,	818
5.10	Recherche et dénombrement des actinomycètes	819
<b>6</b>	<b>• Analyse virale</b>	<b>823</b>
6.1	Détection des virus dans l'eau	823
6.1.1	Méthode de concentration sur laine de verre,	826
6.1.2	Méthode de concentration sur filtre en microfibrilles de verre,	830
6.1.3	Méthode de concentration sur poudre de verre,	832
6.1.4	Méthode de concentration des enterovirus dans les boues,	832
6.2	Reconcentration des virus (laine de verre et microfibrille de verre)	834
6.3	Isolement et numération des virus	835
6.3.1	Méthode des plages,	835
6.3.2	Dénombrement par microméthode en milieu liquide (NPP),	836
6.4	Identification des virus	837
6.4.1	Caractérisation des virus isolés,	837
6.4.2	Identification des enterovirus isolés,	837
6.4.3	Identification des souches vaccinales de poliovirus,	837
6.5	Méthodes moléculaires	837
<b>7</b>	<b>• Parasitologie</b>	<b>839</b>
7.1	Introduction	839
7.2	Description du pathogène	840
7.3	Méthode	840
7.4	Mode opératoire	842
7.4.1	Première concentration sur cartouche filtrante,	842
7.4.2	Évolution,	843
7.4.3	Récupération des parasites (réaction IMS),	845
7.4.3	Identification (morphologie et taille) et le dénombrement des parasites,	846
7.4.4	Expression des résultats,	848
7.4.5	Contrôle qualité,	848
<b>8</b>	<b>• Les amibes libres</b>	<b>849</b>
8.1	Introduction	849

8.2 Pathologie	849
8.3 Domaine d'application	850
<b>Bibliographie</b>	<b>855</b>
<b>C</b>	
<b>Les indicateurs biologiques de la qualité des eaux</b>	
<b>1 • Évaluation biologique de la qualité des eaux</b>	<b>865</b>
1.1 Cadre réglementaire	865
1.2 Évaluation de l'état écologique des eaux	866
1.3 Écotoxicologie en milieu aquatique	867
<b>2 • Les indices biologiques</b>	<b>871</b>
2.1 Indice biologique global normalisé (IBGN)	872
2.2 Indice biologique macro invertébrés	878
2.2.1 Indice macro invertébrés applicable aux petits cours d'eau, 878	
2.2.2 Indice biologique global adapté aux grands cours d'eau (IBGA), 884	
2.3 Indice biologique diatomique (IBD)	888
2.4 Indice oligochète de bioindication des sédiments (IOBS)	893
2.5 Indice biologique macrophytique en rivière (IBMR)	897
2.6 Indice poissons rivière (IPR)	901
<b>3 • Biomasse végétale planctonique</b>	<b>905</b>
3.1 Chlorophylle et phéopigments	905
3.1.1 Dosage des chlorophylles <i>a</i> et <i>b</i> par HPLC, 906	
3.1.2 Dosage de la chlorophylle <i>a</i> et de l'indice phéopigments par spectrométrie d'absorption moléculaire, 907	
3.2 Efflorescences de cyanobactéries	911
3.2.1 Cyanobactéries et cyanotoxines, 911	
3.2.2 Détection des proliférations, analyse des cyanobactéries, 912	
<b>4 • Les tests de toxicité ou bio essais</b>	<b>915</b>
4.1 Sélections des organismes tests	915
4.2 Protocole général des méthodes d'essai	920
4.3 Inhibition de la luminescence de la bactérie <i>Vibrio fischeri</i>	925

4.4 Inhibition de croissance d'une population d'algue verte chlorococcale	932
4.5 Inhibition de la mobilité du crustacé cladocère <i>Daphnia magna</i>	937
4.6 Détermination de la toxicité létale vis-à-vis d'un poisson d'eau douce ( <i>Brachydanio rerio</i> )	939
4.7 Détermination de la toxicité aiguë d'une substance vis-à-vis de <i>Salmo gairdneri</i>	944
<b>5 • Méthodes biologiques pour le contrôle sur site et en continu de la toxicité des eaux</b>	<b>947</b>
5.1 Les tests biologiques utilisables sur site (ou toxkits)	948
5.1.1 Les biodétecteurs disponibles : principes de base et objectifs	948
5.1.2 Systèmes basés sur l'inhibition de la luminescence bactérienne	950
5.1.3 Systèmes basés sur la fluorescence algale	951
5.1.4 Systèmes basés sur l'activité photosynthétique algale	952
5.1.5 Systèmes basés sur l'activité locomotrice de la Daphnie	952
5.1.6 Systèmes basés sur le mouvement des valves des moules	953
5.1.7 Systèmes basés sur le comportement de nage du poisson	953
5.1.8 Systèmes utilisant des poissons électrogènes	954
5.2 Les stations d'alerte	955
<b>6 • Test poisson (<i>Brachydanio rerio</i>) adapté à une pollution accidentelle</b>	<b>957</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>961</b>
<b>D</b>	
<b>Eaux résiduaires</b>	
<b>1 • Généralités</b>	<b>965</b>
1.1 Prélèvements	965
1.2 Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eaux usées	967
1.3 Caractéristiques et composition des eaux usées	968
1.4 Approches analytiques envisageables	969
<b>2 • Critères globaux de pollution</b>	<b>971</b>
2.1 Objectifs et principe des critères globaux	973
2.2 Matières en suspension (MES et MVS)	974
2.3 Turbidité	975

2.4	Matières en solution	975
2.5	Matières décantables	976
2.6	Matières totales ou matières sèches (MS)	976
2.7	Pouvoir oxydo-réducteur (EH et rH)	977
2.8	Demande biochimique en oxygène (DBO)	978
2.8.1	Méthode par dilution, 980	
2.8.2	Méthode pour les échantillons non dilués, 985	
2.8.3	Méthodes respirométriques (dites manométriques), 985	
2.9	Demande chimique en oxygène (DCO)	986
2.9.1	Détermination de la DC (méthode à reflux en système ouvert), 987	
2.9.2	Indice DCO ou méthode ST-DCO (méthode à petite échelle en tube fermé), 992	
2.10	Carbone organique total (COT)	994
2.11	Demande totale en oxygène (DTO)	995
2.12	Oxydabilité au permanganate de potassium	995
2.13	Azote	995
2.13.1	Azote Kjeldahl, 996	
2.13.2	Azote minéral ou inorganique, 996	
2.13.3	Azote total et organique (nouveau), 996	
2.14	Phosphore	997
2.15	Test de putrescibilité au bleu de méthylène	997
2.16	Biodégradabilité des eaux usées	997
2.16.1	Méthode utilisant les paramètres globaux DCO et DBO, 997	
2.16.2	Essai de simulation de boues activées, 998	
2.17	Matières oxydables	1001
2.18	Métox	1002
2.19	Matières inhibitrices	1003
2.20	Analyse UV multiparamètre	1003
<b>3</b>	<b>Dosages particuliers</b>	<b>1007</b>
3.1	Agents de surface	1008
3.1.1	Agents de surface anioniques, 1008	
3.1.2	Agents de surface cationiques, 1008	
3.1.3	Agents de surface non ioniques, 1010	
3.2	AGV (Acides gras volatils)	1012
3.3	AOX (et TOX)	1012
3.4	Cyanates	1013
3.5	Dosage des cyanures	1014
3.5.1	Dosage des cyanures dits « libres », 1015	
3.5.2	Dosage des cyanures dits « aisément libérables », 1018	
3.5.3	Dosage des cyanures dits « totaux », 1020	

<b>3.6 EDTA sel tétrasodique</b>	<b>1026</b>
3.6.1 Sels tétrasodiques de l'EDTA, 1026	
3.6.2 Sels tétrasodiques de l'EDTA non chélaté, 1028	
<b>3.7 Huiles émulsifiées</b>	<b>1029</b>
<b>3.8 Hydrazine</b>	<b>1031</b>
<b>3.9 Hydrocarbures</b>	<b>1033</b>
<b>3.10 Matières organiques extractibles (huiles, graisses)</b>	<b>1033</b>
<b>3.11 Métaux lourds et minéraux divers</b>	<b>1034</b>
<b>3.12 Morpholine</b>	<b>1035</b>
<b>3.13 Phénols</b>	<b>1037</b>
<b>3.14 Soufre réducteur</b>	<b>1037</b>
3.14.1 Composés soufrés réducteurs par titrimétrie, 1038	
3.14.2 Sulfures par méthode iodométrique, 1039	
3.14.3 Sulfures par méthode potentiométrique, 1041	
<b>3.15 Thiocyanates</b>	<b>1043</b>
<b>4 • Radioactivité</b>	<b>1045</b>
<b>4.1 Généralités</b>	<b>1045</b>
<b>4.2 Rejets d'effluents radioactifs des installations nucléaires</b>	<b>1045</b>
4.2.1 Réglementation – Autorisation des rejets, 1046	
4.2.2 Réglementation – Contrôle et vérifications, 1047	
4.2.3 Préparation et analyse des échantillons d'effluents liquides, 1048	
4.2.4 Limites des rejets radioactifs liquides, 1049	
4.2.5 Rejets génériques d'un REP et d'une usine de retraitement, 1051	
4.2.6 Impacts temporels de rejets radioactifs en mer, 1052	
<b>4.3 Gestion des effluents radioactifs   dans les unités de médecine nucléaire</b>	<b>1053</b>
4.3.1 Rejets liquides radioactifs des laboratoires, 1053	
4.3.2 Rejets liquides radioactifs des sanitaires des chambres protégées (dose d'iode d'activité > 740 MBq), 1053	
4.3.3 Rejets liquides radioactifs des sanitaires de l'unité de médecine nucléaire, 1054	
4.3.4 Activité des effluents à l'émissaire de l'établissement, 1054	
<b>5 • Parasitologie</b>	<b>1055</b>
<b>5.1 Dénombrement des œufs d'helminthes dans les eaux usées</b>	<b>1055</b>
5.1.1 Méthode par sédimentation couplée à la méthode diphasique de BAILENGER (1979), 1055	
5.1.2 Méthode par flottation-centrifugation, 1056	
<b>5.2 Dénombrement des œufs d'helminthes   dans les boues résiduaires</b>	<b>1057</b>

5.2.1 Méthodes diphasiques, 1057	
5.2.2 Méthodes par flottation, 1057	
5.2.3 Méthodes combinées (flottation et diphasique), 1059	
<b>6 • Vérification du fonctionnement d'une station d'épuration</b>	<b>1063</b>
6.1 Capacité d'oxygénation	1063
6.2 Indice de Mohlman	1065
6.3 Indice de boues	1066
6.4 Activité de la biomasse: mesure respirométrique	1067
6.5 Essai d'inhibition de la respiration des boues activées	1069
<b>Bibliographie</b>	<b>1073</b>
<b>E</b>	
<b>Analyse de l'eau de mer</b>	
<b>1 • Généralités</b>	<b>1079</b>
<b>2 • Mesure du pH</b>	<b>1085</b>
<b>3 • Salinité</b>	<b>1087</b>
3.1 Dosage des halogénures	1088
3.1.1 Méthode de Mohr et adaptation de Knudsen, 1088	
3.1.2 Méthode potentiométrique, 1089	
3.2 Mesure de la conductivité électrique	1092
<b>4 • Alcalinité</b>	<b>1095</b>
4.1 Alcalinité totale	1095
4.1.1 Méthode de Dyrssen, 1095	
4.1.2 Méthode de Anderson et Robinson, 1096	
4.2 Alcalinité carbonatée	1098
4.3 Carbone minéral total	1098
4.4 Pression partielle en CO <sub>2</sub> et concentration en CO <sub>2</sub> libre	1098
4.5 Concentration en hydrogénocarbonates	1099
4.6 Concentration en carbonates	1099
<b>5 • Anions</b>	<b>1109</b>
5.1 Bore	1109



5.2 Bromures	1109
5.3 Cyanures	1110
5.4 Fluor	1110
5.5 Nitrites	1111
5.6 Nitrates	1113
5.6.1 Méthode par réduction au cadmium, 1113	
5.6.2 Méthode par flux continu, 1115	
5.7 Composés phosphorés	1115
5.7.1 Orthophosphates, 1116	
5.7.2 Phosphore total, 1116	
5.7.3 Phosphore organique, 1116	
5.7.4 Polyphosphates, 1117	
5.8 Silicates	1118
5.8.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 1118	
5.8.2 Méthode par flux continu, 1120	
5.9 Sulfures	1121
<b>6 • Cations</b>	<b>1125</b>
<b>7 • Éléments à l'état de traces</b>	<b>1127</b>
7.1 Concentration par cocristallisation	1127
7.2 Concentration par extraction liquide-liquide	1129
7.3 Concentration par coprécipitation	1130
Coprécipitation par l'hydroxyde ferrique, 1132	
7.4 Concentration par résines	1132
7.5 Détermination des éléments à l'état de traces par spectrométrie d'absorption atomique	1133
7.6 Détermination des éléments à l'état de traces par polarographie à redissolution anodique	1133
<b>8 • Constituants organiques</b>	<b>1137</b>
8.1 Azote organique	1138
8.1.1 Méthode par dosage de l'ammonium après minéralisation, 1138	
8.1.2 Méthode par dosage des nitrites et nitrates après photo-oxydation, 1139	
8.1.3 Méthode par dosage des nitrates après oxydation par le persulfate de potassium sous pression, 1139	
8.1.4 Méthode de dosage de l'azote total par oxydation à haute température, 1141	
8.2 Carbone organique	1142
8.3 Demande biochimique en oxygène (DBO)	1142
8.4 Demande chimique en oxygène (DCO)	1142
8.5 Oxydabilité au permanganate de potassium	1142

(indice permanganate)	1143
<b>9 • Dosages particuliers</b>	<b>1145</b>
<b>9.1 Oxygène dissous</b>	<b>1145</b>
9.1.1 Méthode de Winkler (modifiée par Alsterberg), 1145	
9.1.2 Méthode potentiométrique, 1147	
<b>9.2 Résidus d'hydrocarbures</b>	<b>1148</b>
9.2.1 Méthode par spectrométrie infrarouge, 1148	
9.2.2 Méthode par fluorimétrie, 1149	
<b>9.3 Estimation de la radioactivité due aux émetteurs gamma</b>	<b>1151</b>
<b>9.4 Uranium</b>	<b>1152</b>
<b>9.5 Chlorophylle</b>	<b>1153</b>
9.5.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 1154	
9.5.2 Méthode par spectrofluorimétrie, 1156	
9.5.3 Méthode par chromatographie liquide haute performance, 1157	
<b>9.6 Phéophytine</b>	<b>1159</b>
9.6.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, 1159	
9.6.2 Méthode par fluorimétrie, 1161	
<b>10 • La mesure des Matières Inhibitrices (MI) en eau de mer</b>	<b>1163</b>
10.1 Notion d'écotoxicité ou l'effet des produits	1163
10.2 Les bio-essais: Principe	1163
10.3 Détermination de l'écotoxicité des produits et des eaux	1164
10.4 Application aux échantillons d'eau de mer	1165
10.5 Le test « daphnie »	1165
10.6 Le test « artémia »	1166
10.7 Le test sur des bactéries luminescentes	1166
10.8 Autres indicateurs biologiques	1167
10.9 Bio-essais <i>in situ</i>	1167
<b>F</b>	
<b>Analyse d'un dépôt et d'un sédiment</b>	
<b>1 • Analyse d'un dépôt</b>	<b>1171</b>
1.1 Évaluation de la matière organique	1171
1.2 Recherche et dosage des cations	1171
1.3 Recherche et dosage des anions	1172

<b>2 • Analyse d'un sédiment</b>	<b>1173</b>
2.1 Préparation de l'échantillon	1173
2.2 Examens physico-chimiques	1174
2.2.1 Détermination de l'humidité et de la perte au feu, 1174	
2.2.2 Détermination de la densité réelle, 1174	
2.2.3 Détermination de la fraction inférieure à 50 µm, 1175	
2.2.4 Détermination du pH, 1175	
2.3 Dosages particuliers	1176
2.3.1 Dosage de l'anhydride carbonique total, 1176	
2.3.2 Dosage des éléments traces métalliques mobilisables, (Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Pb, As, Cd, Se), 1176	
2.3.3 Détermination du pourcentage d'insolubles, 1177	
2.3.4 Dosage du mercure, 1177	
2.3.5 Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des polychlorobiphényles (PCB), 1178	
2.3.6 Dosage des résidus d'hydrocarbures, 1180	

## G

### Interprétation des résultats analytiques

<b>1 • Généralités</b>	<b>1187</b>
1.1 Paramètres physicochimiques de la qualité des eaux	1187
1.1.1 Descripteurs de l'aspect physique d'une eau, 1187	
1.1.2 Paramètres descripteurs de la charge organique d'une eau, 1188	
1.1.3 Éléments minéraux des eaux, 1190	
1.1.4 Éléments mineurs, 1192	
1.1.5 Micropolluants organiques, 1193	
1.2 Paramètres microbiologiques	1193
1.3 Notion de risque acceptable	1195
1.4 Démarche d'évaluation des risques	1195
1.5 Construction des valeurs guides pour les substances chimiques	1198
<b>2 • Interprétation des résultats de l'analyse physicochimique</b>	<b>1203</b>
2.1 Principales substances chimiques et facteurs analysés	1203

- Acétonitriles halogénés, 1203  
 Acides chloracétiques, 1203  
 Acide isocyanurique et acide di et trichloroisocyanurique, 1204  
 Acrylamide, 1204  
 Adipate de di (2-éthylhexyle), 1205  
 Agents de surface (surfactifs, tensioactifs), 1207  
 Aldéhydes, formaldéhyde, 1208  
 Alkylphénols, 1208  
 Aluminium, 1208  
 Amiante, 1211  
 Ammonium, 1212  
 Anhydride carbonique, 1212  
 Antimoine, 1212  
 Argent, 1213  
 Arsenic, 1214  
 Azote (diazote dissous), 1216  
 Azote ammoniacal (ammonium), 1217  
 Azote Kjeldahl (NK), 1219  
 Baryum, 1221  
 Benzène, 1221  
 Béryllium, 1222  
 Bismuth, 1222  
 Bore (borate), 1223  
 Brome (bromures), 1224  
 Bromates, 1225  
 Cadmium, 1226  
 Calcium, 1228  
 Carbone organique total, 1229  
 Carbone organique dissous biodégradable (CODB), 1230  
 Cérium, 1230  
 Césium, 1230  
     Césium stable, 1230  
     Césium radioactif, 1231  
 Chloracétone, 1232  
 Chloral (hydrate), 1232  
 Chlorate, 1232  
 Chlore résiduel, 1232  
 Chlorite, 1235  
 Chlorobenzènes, 1235  
 Monochlorobenzène, 1236  
     1,2- et 1,4-dichlorobenzènes, 1236  
     Trichlorobenzènes, 1236  
     Hexachlorobenzène, 1236  
     Chlorophénols, 1237  
         2-chlorophénol, 2,4-dichlorophénol, 1237  
         2,4,6-trichlorophénol, 1237  
         Pentachlorophénol, 1237  
 Chloropicrine (trichloronitrométhane), 1238  
 Chlorures, 1238  
 Chlorure de cyanogène, 1239  
 Chlorure de vinyle, 1240  
 Chrome, 1240  
 Cobalt, 1241  
 Conductivité, 1242  
 Couleur, 1244  
 Cuivre, 1244  
 Cyanogène (chlorure), 1246  
 Cyanures, 1246  
 DBO<sub>5</sub> (demande biochimique en oxygène), 1247  
 DCO (demande chimique en oxygène), 1249  
 Dichloroisocyanurate de sodium, 1249  
 Dioxine, 1250  
 Dioxyde de chlore, 1251  
 Dureté totale, 1251  
 EDTA (acide éthylènediamine tétracétique), 1253  
 Étain (et composés organostanniques), 1253  
 Dialkylétain et tributylétain, 1254  
 Oxyde de tributyl étain, 1255  
 Fer, 1255  
 Fluor (Fluorure), 1257  
 Formaldéhyde, 1260  
 Gallium, 1261  
 Germanium, 1261  
 Glycols, éthylène glycol, 1261  
 Graisses, huiles, 1262  
 Haloformes, halométhanés, 1262  
 Hydrazine, 1262  
 Hydrocarbures, 1263  
 Hydrocarbures benzéniques (benzène, toluène, xylène, éthylbenzène), 1264  
 Hydrocarbures chlorés aliphatiques, 1265  
     Dichlorométhane (chlorure de méthylène) CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 1266  
     Dichloropropane, 1266  
     Tétrachlorure de carbone (tétrachlorométhane) CCl<sub>4</sub>, 1267  
     Dichloroéthane, 1267  
     Trichloroéthane, 1267  
     Dibromure d'éthylène (1,2-dibromométhane), 1268

- Dichloroéthylène, 1268  
Trichloroéthylène (trichlorure d'acétylène...)  $\text{CHCl}_3 = \text{CCl}_2$ , 1268  
Tétrachloroéthylène (perchloréthylène)  $\text{CCl}_2 = \text{CCl}_2$ , 1269  
Hydrocarbures polycycliques aromatiques, 1269  
Hydrogène sulfuré, 1270  
Hydrotimétrie (degré hydrotimétrique), 1271  
Indium, 1272  
    Indium stable, 1272  
    Indium radioactif, 1272  
Iode, 1273  
    Iode stable, 1273  
    Iode radioactif, 1277  
Lanthanides, 1278  
Lithium, 1279  
Magnésium, 1280  
Manganèse, 1281  
Matières humiques (acide humique et acide fulvique)/Matières organiques, 1282  
Matières en suspension, 1284  
Mercaptans ou thiols, 1285  
Mercure, 1285  
Microcystine LR, 1288  
Minéralisation globale, 1289  
Molybdène, 1291  
Nickel, 1292  
Nitrates, 1293  
Nitrilotriacétate de sodium (NTA), 1296  
Nitrites, 1297  
Nitrosamines, nitrosamides (composés N-nitrosés), 1299  
Odeur, 1300  
Or, 1301  
Organochlorés volatils (haloformes, halométhanés), 1301  
Oxydabilité au permanganate ou indice permanganate (IP), 1303  
Oxygène dissous, 1304  
Ozone, 1305  
Persulfates, 1306  
Perturbateurs endocriniens, 1307  
Pesticides (produits phytosanitaires), 1312  
    Insecticides organochlorés, 1317  
    Insecticides organophosphorés, 1321  
    Carbamates, 1322  
Herbicides, 1323  
pH, 1329  
Phénols (indice phénol), 1330  
Phosphore (composés phosphorés), 1332  
Phtalates ou esters phtaliques, 1334  
Plomb, 1334  
Plutonium, 1339  
Polychlorobiphényles (PCB) et polychloroterphényles (PCT), 1342  
Potassium, 1343  
Potentiel d'oxydo-réduction (potentiel redox), 1344  
Pouvoir colmatant, 1345  
Radioactivité, 1346  
Radium, 1350  
Radon, 1351  
Résidus pharmaceutiques, 1353  
Résidus secs, 1354  
Résistivité électrique, 1354  
rH, 1355  
Saveur, 1355  
Sélénium, 1357  
Silice, 1358  
Sodium, 1359  
Solvants chlorés, 1362  
Strontium, 1362  
    Strontium stable, 1362  
    Strontium radioactif, 1362  
Styrène, 1364  
Sulfates, 1364  
Sulfites, 1365  
Sulfures, hydrogène sulfuré, 1366  
Sulfure de carbone, 1367  
TA, TAC, 1367  
Température, 1368  
Thallium, 1372  
Thiocyanates, 1372  
Thorium, 1372  
Titane, 1373  
Trihalométhanés, 1374  
Tritium, 1374  
Turbidité, 1377  
Uranium, 1378  
Vanadium, 1380  
Vinyle, 1381  
Zinc, 1381

2.2 Substances prioritaires, substances dangereuses, substances pertinentes	1382
2.3 Limites de toxicité	1390
<b>3 • Interprétation des résultats de l'analyse microbiologique</b>	<b>1395</b>
3.1 Risque de contamination microbiologique par les eaux	1395
3.2 Interprétation en fonction de la nature du micro-organisme recherché	1400
3.2.1 Micro-organismes indicateurs de pollution,	1400
3.2.2 Autres micro-organismes pathogènes,	1402
3.2.3 Virus,	1402
3.3 Interprétation en fonction de l'utilisation de l'eau	1403
3.3.1 Eau destinée à la consommation humaine,	1403
3.3.2 Eaux de baignades aménagées en eau vive : mer, rivière,	1406
3.3.3 Eaux de piscine,	1408
3.3.4 Eaux thermales,	1408
3.3.5 Eaux destinées à la conchyliculture,	1409
3.3.6 Eaux destinées à des utilisations agricoles/ réutilisation des eaux usées,	1409
<b>4 • Aspects réglementaires</b>	<b>1415</b>
4.1 Eaux naturelles	1416
4.1.1 Évaluation de la qualité des eaux de rivières: le SEQ-EAU,	1417
4.1.2 Les eaux de baignades,	1418
4.1.3 Les eaux souterraines,	1419
4.2 Les lois françaises sur l'eau	1421
4.3 Réglementation relative aux eaux destinées à l'alimentation humaine	1424

## H

### Mémento du laboratoire d'analyse d'eau

<b>1 • Grandeurs et unités de mesure</b>	<b>1431</b>
1.1 Multiples et sous-multiples d'unités	1431
1.2 Unités de mesure spécifiques à la chimie des eaux	1431
1.3 Unités anglo-saxonnes	1432
1.4 Conversion des degrés Celsius et Fahrenheit	1434
1.5 Degrés Baumé et densité	1434

<b>2 • Les éléments chimiques</b>	<b>1435</b>
2.1 Classification périodique des éléments	1435
2.2 Masses atomiques relatives	1438
2.3 Étymologie des éléments	1439
<b>3 • Mémento chimique</b>	<b>1443</b>
3.1 Acides et bases	1443
3.1.1 Notion de normalité,	1443
3.1.2 Concentrations des acides et bases usuels,	1443
3.1.3 Dosages acide/base,	1445
3.1.4 Constantes d'acidité des couples acides/bases usuels,	1446
3.1.5 Valeurs indicatives du pH de quelques solutions pures,	1447
3.2 Solutions tampon	1447
3.3 Indicateurs colorés	1449
3.4 Dosages d'oxydo-réduction	1449
3.4.1 Dosage d'une solution de permanganate de potassium à l'aide d'une solution d'acide oxalique,	1449
3.4.2 Dosage d'une solution de permanganate de potassium à l'aide d'une solution de sulfate ferreux,	1452
3.4.3 Dosage d'une solution de thiosulfate de sodium à l'aide d'une solution de permanganate de potassium,	1453
3.4.4 Dosage d'une solution de dichromate de potassium à l'aide d'une solution de thiosulfate de sodium,	1453
3.4.5 Dosage d'une solution arsénieuse à l'aide d'une solution d'iode,	1454
3.5 Mélanges réfrigérants	1455
3.6 Caractéristiques de quelques eaux minérales françaises	1455
<b>4 • Mémento sur la radioactivité</b>	<b>1459</b>
4.1 Termes et unités radiologiques utilisés	1459
4.2 Table de conversion Curies-Becquerels	1460
4.3 Période radioactive et équivalence de masse des principaux radionucléides	1460
4.4 Radioexposition moyenne annuelle de l'homme, naturelle et artificielle	1463
4.5 Limites de doses pour les travailleurs exposés et pour les personnes du public	1464
4.6 Niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour bétail	1465
<b>5 • Utilisation des statistiques   dans l'analyse hydrologique</b>	<b>1467</b>
5.1 Notions élémentaires de statistiques	1467
5.2 Choix d'une méthode analytique	1468

5.3 Choix d'une méthode d'échantillonnage	1473
5.4 Contrôle de qualité en analyse hydrologique	1477
5.4.1 Les critères de qualité, 1478	
5.4.2 Organisation d'un contrôle de qualité, 1483	
5.5 Quelques définitions	1486
5.6 Table de limites de confiance pour le dénombrement de micro-organismes	1487

## Annexes

<b>Les acteurs français de la gestion de l'eau et de l'environnement</b>	<b>1493</b>
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT), 1493	
Les agences de l'eau, 1493	
Les services déconcentrés de l'État, 1494	
Autres organismes impliqués dans la gestion de l'eau, 1496	
Les syndicats professionnels et les associations impliquées dans la gestion de l'eau, 1498	
<b>Ressources documentaires en analyse hydrologique</b>	<b>1502</b>
<b>Glossaire</b>	<b>1506</b>
<b>Index alphabétique</b>	<b>1511</b>