



A.54-142 EX.1

CHIMIE DES EAUX

Monique TARDAT-HENRY, professeur
Collège de Saint-Laurent

avec la collaboration de

Jean-Paul BEAUDRY, professeur
Collège de Saint-Laurent

Ouvrage conçu sous la responsabilité
du Collège de Saint-Laurent avec la collaboration
de la Direction générale des moyens d'enseignement
du ministère de l'Éducation



les éditions
Le Griffon d'argile inc.

TABLE DES SUJETS

CHAPITRE 1 — Structure et propriétés physiques de l'eau

- 1.1. Structure de l'eau
 - 1.1.1. Composition isotopique
 - 1.1.2. Géométrie et polarité de la molécule H_2O
 - 1.1.3. Association des molécules d'eau
 - 1.1.4. La glace
- 1.2. Propriétés physiques de l'eau
 - 1.2.1. Masse volumique
 - 1.2.2. Propriétés thermodynamiques
 - 1.2.3. Pression de vapeur — Température d'ébullition
 - 1.2.4. Constante diélectrique
 - 1.2.5. Dissociation ionique de l'eau. Conductivité
 - 1.2.6. L'eau, solvant
 - 1.2.7. Propriétés optiques.
- 1.3. La viscosité
 - 1.3.1. Définition et origine de la viscosité
 - 1.3.2. Mesure de la viscosité
- 1.4. La tension superficielle
 - 1.4.1. Mise en évidence — Origine
 - 1.4.2. Mesure de la tension superficielle

Questions — Exercices

CHAPITRE 2 — Les solutions aqueuses vraies

- 2.1. Introduction
 - 2.1.1. Définitions
 - 2.1.2. Unités de concentration
- 2.2. Solubilité des gaz dans l'eau
 - 2.2.1. Introduction
 - 2.2.2. Influence de la température
 - 2.2.3. Influence de la pression — Loi de HENRY
 - 2.2.4. Dégazage
 - 2.2.5. Influence des sels dissous.
 - 2.2.6. Diffusion
- 2.3. Solutions idéales — Propriétés colligatives.
 - 2.3.1. Lois de RAOULT
 - 2.3.2. Pression osmotique.
- 2.4. Solutions électrolytes.
 - 2.4.1. Généralités
 - 2.4.2. La conductivité
 - 2.4.3. Activités — Force ionique

2.5.	Étude de quelques équilibres	33
2.5.1.	Équilibres acido-basiques	33
2.5.2.	Solubilité – Produit de solubilité	36
2.5.3.	Complexes aquo et hydrolyse	37
2.6.	Notions d'oxydo-réduction	39
2.6.1.	Les réactions d'oxydo-réduction	39
2.6.2.	Les piles – L'équation de NERNST	40
2.6.3.	Applications	43
	Questions – Exercices	44

~~CHAPITRE 3 – Adsorption – Les solutions colloïdales~~

3.1.	Adsorption.	45
3.1.1.	L'adsorption, phénomène superficiel	45
3.1.2.	Adsorption des gaz – Loi de FREUNDLICH	46
3.1.3.	Adsorption des liquides	46
3.1.4.	Mode d'action des détergents	46
3.2.	Solutions colloïdales	47
3.2.1.	Classification des solutions.	47
3.2.2.	Structure des particules colloïdales	47
3.2.3.	Propriétés des solutions colloïdales	47
3.2.4.	Déstabilisation des solutions colloïdales	47
	Questions – Exercices	48

~~CHAPITRE 4 – Les eaux naturelles~~

4.1.	Aperçu général du contenu des eaux naturelles	48
4.1.1.	Contenu des eaux selon leur origine	48
4.1.2.	Matières en solution, matières en suspension, conductivité	48
4.2.	Propriétés organoleptiques	48
4.2.1.	La turbidité	48
4.2.2.	La couleur	48
4.2.3.	Autres propriétés organoleptiques	48
4.3.	Cations majeurs et mineurs des eaux naturelles	48
4.3.1.	La dureté. Origine, conséquences	48
4.3.2.	Mesure de la dureté	48
4.3.3.	Cations mineurs des eaux naturelles	48
4.4.	pH – Acidité – Alcalinité – Agressivité	48
4.4.1.	Intérêt et mesure du pH	48
4.4.2.	Acidité – Origine, mesure	48
4.4.3.	Alcalinité – Définitions, mesure	48
4.4.4.	Répartition de l'alcalinité	48
4.4.5.	Activités des différentes espèces alcalines	48
4.4.6.	Agressivité – Incrustation	48

4.5. Anions majeurs et mineurs des eaux naturelles	92
4.5.1. Les chlorures – La salinité	92
4.5.2. Les sulfates	94
4.5.3. Anions mineurs – Anions-traces	95
4.6. Analyses d'une eau	95
4.6.1. Expression des résultats – Rapport	95
4.6.2. Échange ionique	96
4.6.3. Analyse sommaire	97
4.6.4. Analyse complète	97
Questions – Exercices	99

CHAPITRE 5 – Les eaux de consommation 103

5.1. Les normes	103
5.2. Contrôle de la désinfection	104
5.2.1. Les formes du chlore	105
5.2.2. Dosage du chlore	107
5.2.3. Demande de chlore – Point critique	110
5.2.4. Le bioxyde de chlore	113
5.2.5. Ozone	113
5.3. Fluoruration	114
5.4. Phénomènes de corrosion	117
5.4.1. Mécanismes	117
5.4.2. Mesure du taux de corrosion	118
5.4.3. Contrôle de la corrosion	119
5.5. Échange ionique	120
Questions – Exercices	122
Appendice – Indicateurs: organismes coliformes	123

CHAPITRE 6 – La pollution par les matières organiques 125

6.1. Solubilité de l'oxygène dans l'eau	125
6.2. Auto-épuration	126
6.2.1. Auto-épuration en milieu aérobie	127
6.2.2. Auto-épuration en milieu anaérobie: fermentation	127
6.2.3. Facteurs influençant l'auto-épuration	127
6.3. Dosage de l'oxygène dissous	128
6.3.1. Méthodes iodométriques	128
6.3.2. Méthodes électrochimiques	129
6.4. La demande biochimique d'oxygène (DBO)	130
6.4.1. Définition de la DBO_5	130
6.4.2. Mesure de la DBO_5	131
6.4.3. Équation de la DBO	134

6.4.4. Détermination de la constante de vitesse.	136
6.4.5. Facteurs influençant la DBO	138
6.4.6. Biodégradabilité et Demande Théorique d'Oxygène	139
6.5. La demande chimique en oxygène (DCO).	140
6.5.1. Principe – Intérêt	140
6.5.2. Mesure de la DCO	141
6.6. Le carbone organique total (COT)	144
6.6.1. Principe – Intérêt	144
6.6.2. Mesure du COT	144
6.7. Critères et niveaux de qualité d'une eau	145
Exercices	147

CHAPITRE 7 – Dérivés de l'azote et du phosphore 149

7.1. Les diverses formes et le cycle de l'azote	150
7.2. L'azote ammoniacal: origine, dosage.	150
7.2.1. Dosage de l'azote ammoniacal par colorimétrie directe – Nesslerisation.	152
7.2.2. Dosage de l'azote ammoniacal avec distillation préalable	153
7.2.3. Dosage de l'azote ammoniacal par acidimétrie	153
7.3. L'azote organique; origine, dosage	153
7.4. Les nitrites; origine, dosage.	154
7.5. Les nitrates; origine, dosage	154
7.5.1. Origine et rôle des nitrates	154
7.5.2. Dosage des nitrates.	155
7.6. Les phosphates; origine, dosage	156
7.6.1. Nature et origine des phosphates.	156
7.6.2. Dosage des phosphates	157
Questions – Exercices	160

CHAPITRE 8 – La pollution par les éléments et les composés toxiques 161

8.1. Essais biologiques	161
8.1.1. Intérêt des essais biologiques	161
8.1.2. Classification des essais biologiques	162
8.1.3. Exemples d'essai biologique	163
8.2. Les polluants organiques toxiques ou nuisibles	164
8.2.1. Nature – Origine des polluants organiques	164
8.2.2. Analyses globales et analyses spécifiques	165
8.3. Les polluants inorganiques toxiques ou nuisibles	169
8.3.1. Les métaux toxiques: méthodes de dosage; origine	169
8.3.2. Les composés inorganiques non métalliques: origine; dosage	172

CHAPITRE 9 – Analyse des boues	175
9.1. Matières en solution et matières en suspension	175
9.2. Matières décantables	177
9.3. Cas des boues activées – Volume relatif des boues – Indice de volume des boues (IVB)	178
9.4. Mesure des huiles et des graisses dans les boues	179
9.5. Acides volatils.	179
CHAPITRE 10 – Contamination radioactive	181
10.1. Notions théoriques	181
10.1.1. Décroissance radioactive	182
10.1.2. Émissions	182
10.1.3. Familles radioactives.	183
10.2. Absorption et effets des radiations	184
10.2.1. Effets biologiques.	184
10.2.2. Absorption des radiations	184
10.2.3. Unités utilisées en radioprotection – Normes.	185
10.2.4. Radioactivité naturelle	186
10.3. Mesure de la radioactivité	187
10.3.1. Appareillage	187
10.3.2. Mesures de radioactivité dans l'eau – Généralités.	189
10.3.3. Exemples de déterminations.	190
Questions – Exercices	191
CHAPITRE 11 – Échantillonnage – Expression des résultats	193
11.1. Échantillonnage.	193
11.1.1. Variabilité des eaux	193
11.1.2. Prélèvements – Modes d'échantillonnage	194
11.2. Conservation des échantillons	195
11.3. Précision des mesures et des méthodes d'analyse	197
11.3.1. Analyse statistique	197
11.3.2. Méthode des moindres carrés	199
CHAPITRE 12 – Méthode d'analyse – Annexe	201
12.1. Méthodes classiques d'analyse: volumétrie, gravimétrie.	201
12.1.1. Notions d'étalon primaire	201
12.1.2. Point équivalent – Point de virage	203
12.1.3. Gravimétrie.	206
12.2. Méthodes photométriques.	206
12.2.1. Généralités – Loi de BEER - LAMBERT	206
12.2.2. Appareillage	208
12.2.3. Photométrie de flamme	210

12.3. Méthodes chromatographiques	212
12.3.1. Chromatographie d'adsorption	212
12.3.2. Chromatographie de partage – CPG	213
12.4. Méthodes électrochimiques – Polarographie	215

EXPÉRIENCES 219

1. Détermination de la viscosité de l'eau pure – Influence de la température	220
2. Mesure de la tension superficielle de l'eau pure par la méthode capillaire	222
3. Influence des agents tensio-actifs sur la tension superficielle.	223
4. Détermination du résidu sec filtrable (Matière solide en solution)	224
5. Détermination de la conductivité	226
6. Mesure des fortes turbidités par méthode visuelle et par opacimétrie	228
7. Mesure des faibles turbidités – Néphélémétrie.	231
8. Mesure du degré de couleur	234
9. Détermination de l'indice d'odeur.	236
10. Mesure de la dureté totale	239
11. Mesure de la dureté calcique par complexométrie	242
12. Mesure de la teneur globale en cations bivalents par ionométrie	243
13. Mesure du pH et de l'acidité des eaux naturelles	245
14. Mesures d'alcalinité	249
15. Détermination du caractère agressif ou incrustant	250
16. Dosage des chlorures par la méthode de Mohr	252
17. Dosage des sulfates par turbidimétrie.	254
18. Mesure de la teneur globale en électrolytes par échange ionique	256
19. Dosage de la silice par colorimétrie	258
20. Analyse sommaire d'une eau naturelle	259
21. Dosages iodométriques	261
22. Dosage du chlore actif résiduel par la méthode au violet leuco-cristal (VLC).	263
23. Dosage du chlore actif résiduel par la méthode au DPD.	266
24. Dosage du chlore actif résiduel par ampérométrie	269
25. Étude de la demande de chlore.	271
26. Dosage iodométrique de l'ozone contenu dans l'eau	273
27. Dosage des fluorures par colorimétrie	275
28. Dosage des fluorures par ionométrie	277
29. Dosage de l'oxygène dissous	279
30. Mesure de la DBO ₅	283
31. Mesure de la DCO	286
32. Mesure du COT.	289
33. Dosage de l'azote ammoniacal par colorimétrie directe (nesslérisation).	292
34. Dosage de l'azote ammoniacal avec distillation préalable	294
35. Dosage de l'azote organique – Méthode de Kjeldahl	297
36. Dosage des nitrates – Méthode au sulfate de brucine	300
37. Dosage direct des nitrates par photométrie dans l'ultra-violet	302
38. Dosage des phosphates	304

39. Dosage de l'aluminium par colorimétrie	307
40. Exemple du dosage d'un métal par absorption atomique (AA) – Cas du fer	310
41. Examen des eaux usées et des boues – Résidus	313

APPENDICE 1	315
-----------------------	-----

APPENDICE 2	323
-----------------------	-----

BIBLIOGRAPHIE	336
-------------------------	-----

INDEX	337
-----------------	-----