

CHIMIE DES EAUX

Monique TARDAT-HENRY, professeur
Cégep de Saint-Laurent

avec la collaboration de

Jean-Paul BEAUDRY



Ouvrage conçu sous la responsabilité
du Cégep de Saint-Laurent avec la collaboration
de la Direction générale de l'enseignement
collégial du ministère de l'Enseignement
supérieur et de la Science.

6889

 les éditions
Le Griffon d'argile

TABLE DES SUJETS

CHAPITRE 1 - Structure et propriétés physiques de l'eau

1.1	Structure de l'eau	1
1.1.1	Composition isotopique	1
1.1.2	Géométrie et polarité de la molécule H ₂ O	3
1.1.3	Association des molécules d'eau	4
1.1.4	La glace	5
1.2	Propriétés physiques de l'eau	6
1.2.1	Masse volumique	6
1.2.2	Propriétés thermodynamiques	7
1.2.3	Pression de vapeur - Température d'ébullition	8
1.2.4	Constante diélectrique	11
1.2.5	Dissociation ionique de l'eau - Conductivité	12
1.2.6	L'eau, solvant	13
1.2.7	Propriétés optiques	14
1.3	La viscosité	14
1.3.1	Définition et origine de la viscosité	14
1.3.2	Mesure de la viscosité	18
1.4	La tension superficielle	19
1.4.1	Mise en évidence - Origine	19
1.4.2	Mesure de la tension superficielle	22
	Questions - Exercices	26

CHAPITRE 2 - Les solutions aqueuses vraies

2.1	Introduction	29
2.1.1	Définitions	29
2.1.2	Unités de concentration	30
2.2	Solubilité des gaz dans l'eau	32
2.2.1	Introduction	32
2.2.2	Influence de la température	33
2.2.3	Influence de la pression - Loi de HENRY	33
2.2.4	Dégazage	35
2.2.5	Influence des sels dissous	38
2.2.6	Diffusion	38
2.3	Solutions idéales - Propriétés colligatives	39
2.3.1	Lois de RAOULT	39
2.3.2	Pression osmotique	41
2.4	Solutions électrolytes	44
2.4.1	Généralités	44
2.4.2	La conductivité	45
2.4.3	Activités - Force ionique	50

2.5	Étude de quelques équilibres	57
2.5.1	Équilibres acido-basiques	58
2.5.2	Solubilité - Produit de solubilité	62
2.5.3	Complexes aquo et hydrolyse	65
2.6	Notions d'oxydoréduction	67
2.6.1	Les réactions d'oxydoréduction	67
2.6.2	Les piles - L'équation de NERNST	69
2.6.3	Applications	73
	Questions - Exercices	75

CHAPITRE 3 - Adsorption - Les solutions colloïdales

3.1	Adsorption	77
3.1.1	L'adsorption, phénomène superficiel	77
3.1.2	Adsorption des gaz - Loi de FREUNDLICH	79
3.1.3	Adsorption des liquides	80
3.1.4	Mode d'action des détergents	81
3.2	Solutions colloïdales	84
3.2.1	Classification des solutions	84
3.2.2	Structure des particules colloïdales	86
3.2.3	Propriétés des solutions colloïdales	89
3.2.4	Déstabilisation des solutions colloïdales	95
	Questions - Exercices	98

CHAPITRE 4 - Les eaux naturelles

4.1	Aperçu général du contenu des eaux naturelles	101
4.1.1	Contenu des eaux selon leur origine	101
4.1.2	Matières en solution, matières en suspension, conductivité	103
4.2	Propriétés organoleptiques	106
4.2.1	La turbidité	106
4.2.2	La couleur	112
4.2.3	Autres propriétés organoleptiques	116
4.3	Cations majeurs et mineurs des eaux naturelles	118
4.3.1	La dureté - Origine et conséquences	118
4.3.2	Mesure de la dureté	125
4.3.3	Autres cations des eaux naturelles	128
4.4	pH - Acidité - Alcalinité - Agressivité	130
4.4.1	Intérêt et mesure du pH	131
4.4.2	Acidité - Origine et mesure	132
4.4.3	Alcalinité - Définition et mesure	136
4.4.4	Répartition de l'alcalinité	140
4.4.5	Activités des différentes espèces alcalines	143
4.4.6	Agressivité - Incrustation	147

4.5	Anions majeurs et mineurs des eaux naturelles	153
4.5.1	Les chlorures - La salinité	153
4.5.2	Les sulfates	157
4.5.3	Anions mineurs - Anions-traces	158
4.5.4	Chromatographie ionique	159
4.6	Analyses d'une eau	160
4.6.1	Expression des résultats - Rapport	160
4.6.2	Échange ionique	162
4.6.3	Analyse sommaire	163
4.6.4	Analyse complète	165
	Questions - Exercices	167

CHAPITRE 5 - Les eaux de consommation

5.1	Les normes	173
5.2	Contrôle de la désinfection	179
5.2.1	Les formes du chlore	179
5.2.2	Dosage du chlore	183
5.2.3	Demande de chlore - Point critique	188
5.2.4	Le bioxyde de chlore	192
5.2.5	Ozone	194
5.3	Fluoruration	196
5.4	Phénomènes de corrosion	199
5.4.1	Mécanismes	199
5.4.2	Mesure du taux de corrosion	202
5.4.3	Contrôle de la corrosion	203
5.5	Échange ionique	205
	Questions - Exercices	208

CHAPITRE 6 - La pollution par les matières organiques

6.1	Solubilité de l'oxygène dans l'eau	211
6.2	Autoépuration	214
6.2.1	Autoépuration en milieu aérobie	214
6.2.2	Autoépuration en milieu anaérobie : fermentation	215
6.2.3	Facteurs influençant l'autoépuration	215
6.3	Dosage de l'oxygène dissous	217
6.3.1	Méthodes iodométriques	217
6.3.2	Méthodes électrochimiques	219
6.4	La demande biochimique d'oxygène (DBO)	221
6.4.1	Définition de la DBO ₅	221
6.4.2	Mesure de la DBO ₅	222
6.4.3	Équation de la DBO	229
6.4.4	Détermination de la constante de vitesse	234
6.4.5	Facteurs influençant la DBO	237
6.4.6	Biodégradabilité et demande théorique d'oxygène	238

6.5	La demande chimique en oxygène (DCO)	242
6.5.1	Principe - Intérêt	242
6.5.2	Mesure de la DCO	243
6.6	Le carbone organique total (COT)	248
6.6.1	Principe - Intérêt	248
6.6.2	Mesure du COT	249
6.7	Critères et niveaux de qualité d'une eau	250
	Questions - Exercices	253

CHAPITRE 7 - Dérivés de l'azote et du phosphore

7.1	Les diverses formes et le cycle de l'azote	256
7.2	L'azote ammoniacal - Origine, dosage	258
7.2.1	Dosage de l'azote ammoniacal par colorimétrie directe - Nesslérisation	259
7.2.2	Dosage de l'azote ammoniacal avec distillation préalable	260
7.2.3	Dosage de l'azote ammoniacal par acidimétrie	261
7.3	L'azote organique - Origine, dosage	262
7.4	Les nitrites - Origine, dosage	264
7.5	Les nitrates - Origine, dosage	264
7.5.1	Origine et rôle des nitrates	264
7.5.2	Dosage des nitrates	266
7.6	Les phosphates - Origine, dosage	266
7.6.1	Nature et origine des phosphates	266
7.6.2	Dosage des phosphates	269
	Questions - Exercices	274

CHAPITRE 8 - La pollution par les éléments et les composés toxiques

8.1	Essais biologiques	276
8.1.1	Intérêt des essais biologiques	276
8.1.2	Classification des essais biologiques	277
8.1.3	Exemples d'essai biologique	279
8.2	Les polluants organiques toxiques ou nuisibles	283
8.2.1	Généralités	283
8.2.2	Analyse globale des polluants organiques	286
8.2.3	Analyse des principaux polluants organiques	287
8.3	Les polluants inorganiques toxiques ou nuisibles	295
8.3.1	Les métaux toxiques - Méthodes de dosage, origine	295
8.3.2	Les composés inorganiques non métalliques	301

CHAPITRE 9 - Analyse des boues

9.1	Matières en solution et matières en suspension	308
9.2	Matières décantables	312
9.3	Volume relatif des boues - Indice de volume des boues (IVB)	312

9.4	Vitesse de consommation de l'oxygène dissous	314
9.5	Mesure des huiles et des graisses dans les boues	314
9.6	Acides volatils	315
9.7	Analyse des gaz de digesteur	318
9.8	Mesure des métaux dans les boues - Digestion	318

CHAPITRE 10 - Contamination radioactive

10.1	Notions théoriques	322
10.1.1	Décroissance radioactive	322
10.1.2	Émissions α , β , γ	324
10.1.3	Familles radioactives	325
10.2	Effets des radiations - Absorption	326
10.2.1	Effets biologiques	326
10.2.2	Absorption des radiations	327
10.2.3	Unités utilisées en radioprotection - Normes	328
10.2.4	Radioactivité naturelle	330
10.3	Mesure de la radioactivité	331
10.3.1	Appareillage	331
10.3.2	Mesures de radioactivité dans l'eau - Généralités	335
10.3.3	Exemples de déterminations	336
	Questions - Exercices	339

CHAPITRE 11 - Échantillonnage - Expression des résultats

11.1	Échantillonnage	341
11.1.1	Variabilité des eaux	342
11.1.2	Prélèvements - Modes d'échantillonnage	343
11.2	Conservation des échantillons	346
11.3	Précision des mesures et des méthodes d'analyse	348
11.3.1	Analyse statistique	349
11.3.2	Méthode des moindres carrés	354
11.4	Contrôle de qualité	357

CHAPITRE 12 - Méthodes d'analyse - Annexe

12.1	Méthodes classiques d'analyse : volumétrie et gravimétrie	362
12.1.1	Notion d'étalon primaire	362
12.1.2	Point équivalent - Point de virage	366
12.1.3	Gravimétrie	369
12.2	Méthodes photométriques	370
12.2.1	Généralités - Loi de BEER-LAMBERT	370
12.2.2	Appareillage	373
12.2.3	Photométrie de flamme	375

12.3	Méthodes chromatographiques	379
12.3.1	Chromatographie d'adsorption	379
12.3.2	Chromatographie de partage - CPG	380
12.3.3	Chromatographie liquide sous haute pression (HPLC)	385
12.4	Méthodes électrochimiques - Polarographie	386

MÉTHODES D'ANALYSE

1.	Détermination de la viscosité de l'eau pure Étude de l'influence de la température	393
2.	Mesure de la tension superficielle de l'eau pure par la méthode capillaire	395
3.	Influence des agents tensio-actifs sur la tension superficielle	397
4.	Détermination du résidu sec filtrable Matière solide en solution	398
5.	Détermination de la conductivité	400
6.	Mesure des fortes turbidités par méthode visuelle et par opacimétrie	403
7.	Mesure des faibles turbidités - Néphélométrie	406
8.	Mesure du degré de couleur	408
9.	Détermination de l'indice d'odeur	410
10-A	Mesure de la dureté totale - Méthode au savon	413
10-B	Mesure de la dureté totale par complexométrie	414
11.	Mesure de la dureté calcique par complexométrie	416
12.	Mesure de la teneur globale en cations bivalents par ionométrie	418
13.	Mesure du pH et de l'acidité des eaux naturelles	420
14.	Mesures d'alcalinité	423
15.	Détermination du caractère agressif ou incrustant	425
16.	Dosage des chlorures par la méthode de MOHR	427
17-A	Dosage des sulfates par turbidimétrie	429
17-B	Dosage des sulfates par turbidimétrie Méthode recommandée	431
18.	Mesure de la teneur globale en électrolytes par échange ionique	433
19.	Dosage de la silice par colorimétrie	435
20.	Analyse sommaire d'une eau naturelle	437
21.	Dosages iodométriques	439
22.	Dosage du chlore actif résiduel par la méthode au DPD	441
23.	Dosage du chlore actif résiduel par ampérométrie	444
24.	Étude de la demande de chlore	446
25.	Dosage iodométrique de l'ozone contenu dans l'eau	448
26.	Mesure de l'ozone résiduel Méthode à l'indigo	450
27.	Dosage des fluorures par colorimétrie	452
28.	Dosage des fluorures par ionométrie	454

29.	Dosage de l'oxygène dissous	457
30.	Mesure de la DBO ₅	461
31-A	Mesure de la DCO	466
31-B	Mesure de la DCO par la méthode miniaturisée	469
32.	Mesure du COT	471
33.	Dosage de l'azote ammoniacal par colorimétrie directe (nesslérisation)	473
34.	Dosage de l'azote ammoniacal avec distillation préalable	476
35-A	Dosage de l'azote organique Méthode de KJELDAHL.....	479
35-B	Utilisation du DIGESDAHL Mesure de NKT	482
36.	Dosage des nitrates Réduction en azote ammoniacal Mesure de l'azote ammoniacal par potentiométrie	484
37.	Dosage direct des nitrates par photométrie dans l'ultraviolet	486
38.	Dosage des phosphates	488
39.	Dosage de l'aluminium par colorimétrie	492
40.	Exemple de dosage d'un métal par absorption atomique (AA) - Cas du fer	495
41-A	Examen des eaux usées et des boues - Résidus	498
41-B	Méthode de digestion des boues	500
 APPENDICE I		 501
 APPENDICE II		 513
 RÉPONSES AUX EXERCICES		 527
 INDEX		 529

La publication de cet ouvrage a été possible
grâce au soutien pédagogique et à la
participation financière de la Direction générale
de l'enseignement collégial du ministère
de l'Enseignement supérieur et de la Science.

Responsable du projet à la DGEC
Marie PÉPIN

Édition
Gaston J. BEAUDOIN

Graphisme
Sylvie OUZILLEAU

Tous droits réservés
Il est interdit de reproduire ce volume
en tout ou en partie sous quelque forme
que ce soit sans la permission de l'éditeur.

Copyright © 1992
Les éditions le Griffon d'argile
7649, boulevard Wilfrid-Hamel
Sainte-Foy (Québec)
G2G 1C3
Téléphone (418) 871-6898 • Télécopieur (418) 871-6818

Chimie des eaux – ISBN 2-920922-87-4

Quatrième trimestre 1992

DÉPÔT LÉGAL
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

IMPRIMÉ AU CANADA ©