

ANALYSE CHIMIQUE QUANTITATIVE DE VOGEL

• MENDHAM • DENNEY • BARNES • THOMAS •



Traduction et révision scientifique de la 6^e édition anglaise
par Jean Toullec et Monique Mottet

 de boeck

Sommaire

<i>Table des matières</i>	vi
<i>Avant-propos à la sixième édition anglaise</i>	xxi
<i>Avant-propos à la première édition anglaise</i>	xxiv
<i>Avant-propos à la première édition française</i>	xxvi
<i>Sécurité au laboratoire</i>	xxix
<i>Unités et pureté des réactifs</i>	xxx
1 Analyse chimique	1
2 Réactions en solution : théorie fondamentale	13
3 Matériel courant et techniques de base	71
4 Statistiques : introduction à la chimiométrie	125
5 Échantillonnage	182
6 Séparation	228
7 Chromatographie sur couche mince	272
8 Chromatographie en phase liquide	283
9 Chromatographie en phase gazeuse	314
10 Analyse titrimétrique	339
11 Analyse gravimétrique	501
12 Analyse thermique	516
13 Méthodes directes d'analyse électrochimique	539
14 Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire	621
15 Spectroscopie d'absorption atomique	636
16 Spectroscopie d'émission atomique	672
17 Spectroscopie électronique moléculaire	686
18 Spectroscopie de vibration	755
19 Spectrométrie de masse	783
<i>Annexes</i>	837
<i>Index</i>	860

Table des matières

1	Analyse chimique	1
1.1	Introduction	1
1.2	Applications	1
1.3	Étapes de l'analyse	3
1.4	Choix de la méthode	4
1.5	Recherche documentaire	5
1.6	Analyse quantitative	5
1.7	Techniques particulières	7
1.8	Méthodes instrumentales	8
1.9	Facteurs intervenant dans le choix d'une méthode analytique	9
1.10	Interférences	10
1.11	Analyse des données	11
1.12	Résumé	11
2	Réactions en solution : théorie fondamentale	13
2.1	Loi d'action de masse	13
2.2	Activité et coefficient d'activité	14
2.3	Équilibre chimique	16
2.4	Facteurs influant sur les réactions chimiques en solution	17
2.5	Produit ionique de l'eau	19
2.6	Dissociation électrolytique	20
2.7	Les équilibres acide-base dans l'eau	24
2.8	Force des acides et des bases	25
2.9	Dissociation des acides polyprotiques	27
2.10	La notion de pH	28
2.11	Solutions tampons	30
2.12	Hydrolyse des sels	34
2.13	Taux d'hydrolyse	35
2.14	Produit de solubilité	39
2.15	Effet d'ion commun	42
2.16	Ions communs : effets quantitatifs	44
2.17	Précipitation fractionnée	46
2.18	Solubilité des précipités : effets d'acidité	47
2.19	Solubilité des précipités : effets de température	47

Table des matières

2.20	Solubilité des précipités : effets de solvant	48
2.21	Ions complexes	48
2.22	Complexation	50
2.23	Stabilité des complexes	51
2.24	Tampons d'ion métallique	51
2.25	Stabilité des complexes : facteurs importants	52
2.26	Complexons	54
2.27	Constantes de formation des complexes de l'EDTA	56
2.28	Potentiels d'électrode	58
2.29	Cellules de concentration	62
2.30	Calcul de la f.é.m. d'une cellule galvanique	62
2.31	Cellules d'oxydation-réduction	63
2.32	Calcul du potentiel standard de réduction	65
2.33	Constantes d'équilibre des réactions redox	66
2.34	Références	69
2.35	Bibliographie	70
3	Matériel courant et techniques de base	71
3.1	Introduction	71
	Les balances	73
3.2	Balances de précision (ou balances analytiques)	73
3.3	Autres balances	75
3.4	Poids étalons et masses de référence	76
3.5	Précautions dans l'utilisation des balances de précision	77
3.6	Erreurs de pesée	77
	Verrerie graduée ou jaugée	80
3.7	Unités de volume	80
3.8	Verrerie graduée ou jaugée	80
3.9	Température de référence	81
3.10	Fioles jaugées	82
3.11	Pipettes	83
3.12	Burettes	85
3.13	Fioles à tare	87
3.14	Burettes à piston	88
3.15	Éprouvettes graduées	88
3.16	Étalonnage des instruments gradués ou jaugés	88
	Eau de laboratoire	90
3.17	Eau purifiée	90
3.18	Pissettes	92
	Petit matériel de laboratoire	93
3.19	Matériel en verre, céramique et plastique	93
3.20	Matériel métallique	94
3.21	Appareils de chauffage	98
3.22	Dessiccateurs et boîtes à gants	100
3.23	Matériel d'agitation	102
3.24	Matériel de filtration	103

Table des matières

3.25	Matériel de pesée	106
	Réactifs et solutions étalons	106
3.26	Réactifs	106
3.27	Purification des réactifs	107
3.28	Solutions étalons	109
	Techniques élémentaires	111
3.29	Préparation des substances à analyser	111
3.30	Pesée de l'échantillon	111
3.31	Dissolution de l'échantillon	111
3.32	Décomposition des composés organiques	115
3.33	Précipitation	116
3.34	Filtration	116
3.35	Papiers filtres	117
3.36	Creusets filtrants à disque poreux permanent	118
3.37	Lavage des précipités	120
3.38	Séchage et calcination des précipités	120
3.39	Références	121
3.40	Bibliographie	121
4	Statistiques : introduction à la chimométrie	122
4.1	Limites des méthodes analytiques	122
4.2	Classification des erreurs	122
4.3	Justesse ou exactitude	122
4.4	Précision	127
4.5	Comment réduire les erreurs systématiques ?	127
4.6	Chiffres significatifs	131
4.7	Calculatrices et ordinateurs	131
4.8	Moyenne et écart-type	131
4.9	Distribution d'erreurs aléatoires	134
4.10	Fiabilité des résultats	134
4.11	Intervalle de confiance	134
4.12	Comparaison des résultats	134
4.13	Comparaison des moyennes de deux ensembles de résultats	134
4.14	Test <i>t</i> par paires	140
4.15	Nombre de répétitions des mesures	140
4.16	Corrélation et régression	140
4.17	Régression linéaire	143
4.18	Erreurs sur la pente et sur l'ordonnée à l'origine	145
4.19	Erreur sur la détermination d'une concentration	146
4.20	Additions connues	147
4.21	Régression non-linéaire	148
4.22	Comparaison de deux ou plusieurs moyennes	148
4.23	Plans d'expériences	151
4.24	Analyse de variance à deux voies	151
4.25	Chimométrie et plans d'expériences	151
4.26	Plan factoriel	151
4.27	Méthode Yates	151

Table des matières

4.28	Une autre façon de calculer les effets d'interaction	161
4.29	Critique des plans factoriels	162
4.30	Méthodes d'optimisation	164
4.31	Optimisation séquentielle par la méthode du simplexe	164
4.32	Critique de l'optimisation par la méthode du simplexe	170
4.33	Traitement de données multiparamétriques	170
4.34	Analyse factorielle	175
4.35	Statistique rapide	177
4.36	Importance de la chimiométrie	180
4.37	Références	180
4.38	Bibliographie	180
5	Échantillonnage	182
5.1	Introduction	182
5.2	Gaz et vapeurs	185
5.3	Liquides	206
5.4	Solides	217
5.5	Références	226
5.6	Bibliographie	227
6	Séparation	228
6.1	Introduction	228
6.2	Méthodes de séparation	229
6.3	Extraction par un solvant	231
6.4	Cristallisation et précipitation	243
6.5	Séparations par échange d'ions	244
6.6	Dialyse et lyophilisation	257
6.7	Séparations instrumentales	257
6.8	Extraction en phase solide	262
6.9	Comparaison des efficacités de séparation	262
6.10	Facteurs cinétiques : théorie de la vitesse	264
6.11	Séparations par électrophorèse	267
6.12	Théorie de l'électrophorèse	267
6.13	Instrumentation pour l'électrophorèse capillaire	268
6.14	Capillaires	269
6.15	Champ appliqué	269
6.16	Détecteurs	269
6.17	Applications	270
6.18	Références	270
6.19	Bibliographie	271
7	Chromatographie sur couche mince	272
7.1	Introduction	272
7.2	Technique de la CCM	273
7.3	Phases stationnaires	276
7.4	Phases mobiles	277
7.5	CCM bidimensionnelle	277
7.6	Chromatographie sur couche mince à hautes performances	278

Table des matières

	Expériences	27
7.7	Séparation et récupération des colorants	27
7.8	Séparation des glucides	28
7.9	Séparation de colorants artificiels utilisés en confiserie	28
7.10	Références	28
7.11	Bibliographie	28
8	Chromatographie en phase liquide	28
8.1	Introduction	28
8.2	Différentes variantes de la chromatographie en phase liquide	28
8.3	Phase mobile, injection d'échantillon, choix de la colonne	29
8.4	Choix du détecteur	30
8.5	Efficacité des colonnes	30
8.6	Chromatographie chirale	30
8.7	Dérivatisation chimique	31
8.8	Analyse quantitative	31
	Section expérimentale	31
8.9	Aspirine, phénacétine et caféine dans un mélange	31
8.10	Références	31
8.11	Bibliographie	31
9	Chromatographie en phase gazeuse	31
9.1	Introduction	31
9.2	Appareillage	31
9.3	Programmation de température	33
9.4	Analyse quantitative	33
9.5	Étalonnage	33
9.6	Analyse élémentaire	33
	Section expérimentale	33
9.7	Méthode de normalisation interne pour l'analyse des solvants	33
9.8	Sucrose sous forme de dérivé triméthylsilylé	33
9.9	Dosage de l'aluminium sous forme de complexe tris(acétylacetonato)	33
9.10	Dérivatisation et dosage des sucres	33
9.11	Références	33
9.12	Bibliographie	33
10	Analyse titrimétrique	339
	Considérations théoriques	339
10.1	Introduction	339
10.2	Analyse titrimétrique	340
10.3	Classification des réactions en analyse titrimétrique	341
10.4	Solutions étalons	342
10.5	Préparation des solutions étalons	342
10.6	Étalons primaires et secondaires	343
10.7	Principe des titrages potentiométriques	344
10.8	Considérations générales	345

Table des matières

10.9	Localisation des points de fin de titrage	345
10.10	Titrimètres automatiques	346
10.11	Avantages des titrages potentiométriques	348
	Coulométrie à courant constant	348
10.12	Généralités	348
10.13	Principes	350
10.14	Matériel	350
10.15	Production externe de l'agent titrant	352
10.16	Avantages	353
10.17	Applications	354
	Titrages ampérométriques	354
10.18	Principes	354
10.19	Titration ampérométrique utilisant une électrode de mercure à gouttes (EMG)	357
10.20	Appareillage	359
10.21	Titrages biampérométriques	359
10.22	Avantages	361
10.23	Applications	361
	Titrages spectrophotométriques	362
10.24	Généralités	362
10.25	Appareillage	363
10.26	Technique expérimentale	364
10.27	Avantages	364
10.28	Applications	364
	Titrages par neutralisation	365
10.29	Indicateurs de neutralisation	365
10.30	Préparation des solutions d'indicateur	369
10.31	Mélanges d'indicateurs	370
10.32	Courbes de neutralisation	370
10.33	Acide fort neutralisé par une base forte	371
10.34	Acide faible neutralisé par une base forte	374
10.35	Base faible neutralisée par un acide fort	375
10.36	Acide faible neutralisé par une base faible	377
10.37	Acide polyprotique neutralisé par une base forte	378
10.38	Anions d'acides faibles titrés par des acides forts	379
10.39	Choix des indicateurs dans les réactions de neutralisation	382
10.40	Titrages dans les solvants non aqueux	383
10.41	Solvants pour les dosages en milieux non aqueux	385
10.42	Indicateurs pour les dosages en milieux non aqueux	386
10.43	Solutions étalons d'acides et de bases	386
	Neutralisation : Dosages par titrimétrie	386
10.44	Mélange d'ions carbonates et hydrogénocarbonates	387
10.45	Acide borique	387
10.46	Ammoniac dans un sel d'ammonium	388
10.47	Azote organique par la méthode de Kjeldahl	390
10.48	Nitrates	391

Table des matières

10.49	Phosphates par précipitation du molybdophosphate de quinoléine	
10.50	Masse moléculaire relative d'un acide organique	
10.51	Groupes hydroxyles dans les sucres	
10.52	Indice de saponification des huiles et des graisses	
10.53	Pureté de l'acide acétylsalicylique (aspirine)	
10.54	Amines par titrage en milieu non aqueux	
	Neutralisation : dosages utilisant des méthodes physiques	
10.55	Potentiométrie	
10.56	Titration potentiométrique de l'acide éthanoinique (acétique) par l'hydroxyde de sodium	
10.57	Titrages potentiométriques dans des solvants non aqueux	
10.58	Titration en milieu non aqueux d'un mélange d'aniline et d'éthanolamine	
10.59	Acides et bases par coulométrie	
10.60	Composés organiques par titration spectrophotométrique	
	Titrages par complexation	
10.61	Introduction	
10.62	Courbes de titration	
10.63	Différents types de titrages à l'EDTA	
10.64	Titration des mélanges	
10.65	Indicateurs d'ions métalliques	
10.66	Solutions étalons d'EDTA	
10.67	Considérations pratiques	
	Complexation : dosage de cations individuels	
10.68	Aluminium : titration en retour	
10.69	Baryum : titration directe	
10.70	Bismuth : titration directe	
10.71	Calcium : titration par substitution	
10.72	Fer(III) : titration directe	
10.73	Nickel : titration directe	
10.74	Autres ions métalliques titrés à l'EDTA	
10.75	Calcium en présence de magnésium : titration par l'EGTA	
10.76	Dureté permanente et temporaire de l'eau	
10.77	Calcium en présence de baryum : titration au CDTA	
10.78	Calcium et plomb en mélange	
10.79	Chrome(III) et Fer(III) en mélange : ions cinétiquement masqués	
10.80	Manganèse en présence de fer : analyse du ferromanganèse	
10.81	Nickel en présence de fer : analyse de l'acier au nickel	
10.82	Plomb et étain dans un mélange : analyse de la soudure	
	Complexation : Dosages d'anions individuels	
10.83	Phosphate	
10.84	Sulfate	
	Autres titrages à l'EDTA	
10.85	Titrages potentiométriques	
10.86	Titrages coulométriques	
10.87	Titrages ampérométriques	
10.88	Zinc	

10.89	Bismuth	427
	Titrages spectrophotométriques	427
10.90	Cuivre(II)	427
10.91	Fer(III)	428
	Titrages par précipitation	429
10.92	Réactions de précipitation	429
10.93	Détection des points de fin de titrage par précipitation	430
10.94	Étalonnage des solutions de nitrate d'argent	435
10.95	Chlorures et bromures	437
10.96	Iodures	437
10.97	Préparation des solutions de thiocyanate : méthode de Volhard	437
10.98	Argent dans un alliage d'argent	439
10.99	Chlorure par la méthode de Volhard	439
10.100	Fluorure : méthode de Volhard via le chlorofluorure de plomb	441
10.101	Potassium	442
	Précipitation : méthodes instrumentales	443
10.102	Potentiométrie : Considérations générales	443
10.103	Mélanges d'halogénures dosés par potentiométrie	443
10.104	Chlorure, bromure et iodure dosés par coulométrie	443
10.105	Plomb par ampérométrie avec le dichromate de potassium	445
10.106	Sulfate par ampérométrie avec le nitrate de plomb	446
10.107	Iodure par ampérométrie avec le nitrate de mercure(II)	447
	Titrages par oxydo-réduction	448
10.108	Variations du potentiel d'électrode	448
10.109	Potentiels formels	451
10.110	Détection du point d'équivalence d'oxydo-réduction	452
	Oxydations au permanganate de potassium	455
10.111	Principe	455
10.112	Préparation des solutions de permanganate de potassium à $0,02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	455
10.113	Étalonnage des solutions de permanganate	456
10.114	Peroxyde d'hydrogène	457
10.115	Nitrites	457
10.116	Persulfates	458
	Oxydations au dichromate de potassium	459
10.117	Principe	459
10.118	Préparation du dichromate de potassium à $0,02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	460
10.119	Le fer dans un minéral	460
10.120	Le chrome dans un sel de chrome(III)	460
10.121	Demande chimique en oxygène	461
	Oxydation par les solutions de sulfate de cérium(IV)	462
10.122	Principes généraux	462
10.123	Préparation du sulfate de cérium(IV) à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	463
10.124	Étalonnage des solutions de cérium(IV)	463

Table des matières

10.125	Cuivre	
10.126	Molybdate	
	Titrages iodométriques	
10.127	Principes généraux	
10.128	Détection d'un point de fin de titrage iodométrique	
10.129	Préparation de la solution d'iode à $0,05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	
10.130	Étalonnage des solutions d'iode	
10.131	Préparation du thiosulfate de sodium à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	
10.132	Étalonnage des solutions de thiosulfate de sodium	
10.133	Le cuivre dans le sulfate de cuivre cristallisé	
10.134	Chlorates	
10.135	Peroxyde d'hydrogène	
10.136	Oxygène dissous	
10.137	Chlore libérable par les hypochlorites	
10.138	Hexacyanoferrates	
10.139	Vitamine C en comprimés	
	Oxydations par l'iodate de potassium	
10.140	Principes généraux	
10.141	Préparation de l'iodate de potassium à $0,025 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	
10.142	Arsenic et antimoine	
10.143	Hydrazine	
10.144	Autres ions	
	Oxydations par le bromate de potassium	
10.145	Principes généraux	
10.146	Préparation du bromate de potassium à $0,02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	
10.147	Dosage d'ions métalliques à la 8-hydroxyquinoléine (oxine)	
10.148	Hydroxylamine	
10.149	Phénol	
	Réduction des états élevés d'oxydation	
10.150	Principes généraux	
10.151	Réduction par le zinc amalgamé : Réducteur de Jones	
10.152	L'argent réducteur	
10.153	Autres méthodes de réduction	
	Réactions redox : dosages utilisant des instruments	
10.154	Potentiométrie : considérations générales	
10.155	Manganèse par potentiométrie	
10.156	Le cuivre par potentiométrie	
10.157	Coulométrie : généralités	
10.158	Cyclohexène par coulométrie	
10.159	8-Hydroxyquinoléine (oxine)	
10.160	Ampérométrie : généralités	
10.161	Titration ampérométrique du thiosulfate par l'iode	
10.162	Titration ampérométrique de l'antimoine par le bromate de potassium	
10.163	Thiosulfate par l'iode : méthode du biampérométrie	
10.164	Glucose par ampérométrie à l'aide d'une électrode à enzyme	
10.165	Cellule de Clark pour le dosage de l'oxygène	

63	10.166	L'eau par ampérométrie en utilisant le réactif de Karl Fischer	496
64	10.167	Robotique	498
35	10.168	Références	499
65	10.169	Bibliographie	500
67			
68	11	Analyse gravimétrique	501
59	11.1	Introduction	501
59	11.2	Principes fondamentaux	502
70	11.3	Réactifs de précipitation	504
71			
72		Dosage des ions chlorures, des ions sulfates	
72		et des ions métalliques	507
73	11.4	Expériences de gravimétrie	507
74	11.5	Aluminium sous forme de 8-hydroxyquinoléate (oxinate)	507
75	11.6	Chlorure sous forme de chlorure d'argent	508
76	11.7	Plomb sous forme de chromate	509
6	11.8	Nickel sous forme de diméthylglyoximate	510
6	11.9	Sulfate sous forme de sulfate de baryum	511
8	11.10	Protocoles expérimentaux pour d'autres ions	512
8	11.11	Références	515
8	11.12	Bibliographie	515
9			
0	12	Analyse thermique	516
0	12.1	Principes généraux	516
1	12.2	Analyse thermogravimétrique	517
1	12.3	Matériel de thermogravimétrie	520
2	12.4	Applications de la thermogravimétrie	524
3			
		Section expérimentale	527
	12.5	Expériences de thermogravimétrie	527
	12.6	Techniques différentielles	529
	12.7	Instruments pour l'ATD et pour l'ACD (<i>DSC</i>)	530
	12.8	Facteurs expérimentaux et instrumentaux en ATD et ACD (<i>DSC</i>)	532
	12.9	Applications de l'ATD et de l'ACD (<i>DSC</i>)	533
		Section expérimentale	534
	12.10	Études ATD du sulfate de cuivre hydraté et du tungstate de sodium	534
	12.11	Étude ACD (<i>DSC</i>) des hydrates de sulfate de calcium dans un ciment	535
	12.12	Détermination de la pureté de médicaments par ACD (<i>DSC</i>)	536
	12.13	Références	537
	12.14	Bibliographie	538
	13	Méthodes directes d'analyse électrochimique	539
	13.1	Introduction	539
		Analyses par électrogravimétrie	539
	13.2	Électrogravimétrie : théorie	539
	13.3	Électrogravimétrie : appareillage	540
	13.4	Fonctionnement de la cellule	542

Table des matières

- 13.5 Dépôt électrolytique et séparation
- 13.6 Séparation électrolytique de métaux
- 13.7 Dosage de quelques métaux
- Coulométrie
- 13.8 Principes généraux
- 13.9 Coulométrie à potentiel constant
- 13.10 Appareillage et méthodes générales
- Partie expérimentale
- 13.11 Séparation du nickel et du cobalt
- 13.12 Coulométrie dans une cellule à écoulement
- 13.13 Critique de la coulométrie directe
- Potentiométrie
- 13.14 Principes fondamentaux de la potentiométrie 5
- Électrodes de référence
- 13.15 L'électrode à hydrogène
- 13.16 L'électrode au calomel
- 13.17 L'électrode argent-chlorure d'argent
- Électrodes indicatrices et électrodes sélectives
- 13.18 Généralités
- 13.19 L'électrode de verre
- 13.20 Détecteurs ioniques sélectifs à l'état solide
- 13.21 Électrodes biochimiques
- Instrumentation et mesure de la f.é.m. de cellule
- 13.22 Utilisation des pH-mètres et des voltmètres
- 13.23 Détermination du pH
- 13.24 Dosage des ions fluorures
- 13.25 Étude par potentiométrie d'une réaction oscillante
- Voltampérométrie
- 13.26 Principes fondamentaux
- 13.27 Polarographie traditionnelle
- 13.28 Théorie
- 13.29 Ions complexes
- 13.30 Techniques quantitatives
- 13.31 Effet de l'oxygène
- 13.32 Pratique de la polarographie simple et de la polarographie classique
- 13.33 Polarographie à trois électrodes : contrôle potentiostatique
- 13.34 Voltampérométrie modifiée
- 13.35 Applications quantitatives de la polarographie
- Expériences de polarographie
- 13.36 Expériences de polarographie : introduction
- 13.37 Potentiel de demi-vague de l'ion cadmium dans KCl à $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- 13.38 Étude de l'influence de l'oxygène dissous
- 13.39 Ions cuivre et zinc dosés par DPP dans l'eau du robinet
- 13.40 Cuivre et zinc dans l'eau du robinet par polarographie à tension carrée

Table des matières

	13.41 Acide ascorbique (vitamine C) dans les jus de fruit	610
	13.42 Dosage indirect des nitrates via l'o-nitrophénol	611
	Analyse par électrodéposition-redissolution	612
	13.43 Voltampérométrie à redissolution : principes de base	612
	13.44 Électrodes utilisées en analyse par électrodéposition-redissolution	615
	13.45 Appareillage pour l'électrodéposition-redissolution	616
	13.46 Dosage du plomb dans l'eau du robinet	618
	13.47 Références	619
	13.48 Bibliographie	620
	14 Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire	621
	14.1 Introduction	621
	14.2 Théorie	621
	14.3 Déplacement chimique	624
	14.4 Couplage de noyaux magnétiques	625
	14.5 Instrumentation	627
	14.6 Préparation des échantillons	630
	Mesures expérimentales	631
	14.7 Teneur en éthanol d'une liqueur alcoolique	631
	14.8 Teneur en éthanol d'une bière par addition d'un étalon	632
	14.9 Aspirine, phénacétine et caféine dans un comprimé d'analgésique	633
	14.10 Tautomérie céto-énolique de la pentane-2,4-dione (acétylacétone)	634
	14.11 Références	634
	14.12 Bibliographie	635
	15 Spectroscopie d'absorption atomique	636
	15.1 Introduction	636
	15.2 Théorie élémentaire	637
	15.3 Instrumentation	640
	15.4 Flammes	641
	15.5 Le système nébuliseur-brûleur	642
	15.6 Technique du four de graphite	644
	15.7 Technique de la vapeur froide et méthodes à génération d'hydrure	646
	15.8 Sources de raies de résonance	649
	15.9 Monochromateurs	650
	15.10 Détecteurs	650
	15.11 Interférences	651
	15.12 Interférences chimiques	652
	15.13 Méthodes de correction de ligne de base	654
	15.14 Spectrophotomètres d'absorption atomique	657
	Préliminaires expérimentaux	658
	15.15 Méthode de la courbe d'étalonnage	658
	15.16 Préparation des solutions échantillons	659
	15.17 Préparation de solutions étalons	661
	15.18 Mesures de sécurité	661
	15.19 Limites de détection	662

	Exemples de dosages par spectroscopie d'absorption atomique
15.20	Magnésium et calcium dans l'eau du robinet
15.21	Vanadium dans de l'huile de lubrification
15.22	Éléments à l'état de traces dans un sol contaminé
15.23	Étain dans du jus de fruit en boîte
15.24	Références
15.25	Bibliographie
16	Spectroscopie d'émission atomique
16.1	Introduction
16.2	Spectres d'émission
16.3	Spectroscopie d'émission de flamme
16.4	Mesures quantitatives
16.5	Critique de la spectroscopie d'émission de flamme
16.6	Spectroscopie d'émission utilisant une source plasma
16.7	Plasma à courant continu (DCP)
16.8	Plasma induit par haute fréquence (ICP)
16.9	Introduction de l'échantillon
16.10	Instrumentation de la spectroscopie d'émission d'ICP
16.11	Critique de la spectroscopie d'émission atomique d'ICP
16.12	Dosage des métaux alcalins par photométrie de flamme
16.13	Références
16.14	Bibliographie
17	Spectroscopie électronique moléculaire
17.1	Principes généraux
17.2	Théorie de la spectrophotométrie et de la colorimétrie
17.3	Fluorimétrie (théorie)
17.4	Méthodes fondées sur des changements de "couleur"
17.5	Méthode du photomètre photoélectrique 696
17.6	Choix de la longueur d'onde
17.7	Sources radiatives
17.8	Cuves standard
17.9	Présentation des résultats
17.10	Schémas de principe de l'appareillage
17.11	Appareils de fluorimétrie
17.12	Les origines des spectres d'absorption
17.13	Spectrophotométrie dérivée
	Colorimétrie
17.14	Remarques générales
17.15	Choix du solvant
17.16	Dosages colorimétriques : protocole expérimental général
17.17	Analyse enzymatique
17.18	Quelques applications de la fluorimétrie
17.19	Analyse à injection en flux continu
	Protocoles expérimentaux : cations
17.20	Ammoniac

Table des matières

17.21	Arsenic	724
17.22	Bore	727
17.23	Chrome	728
17.24	Titane	729
17.25	Tungstène	731
	Protocole expérimentaux : anions	732
17.26	Chlorure	732
17.27	Phosphate	733
17.28	Sulfate	734
	Protocoles expérimentaux : composés organiques	735
17.29	Amines primaires	735
17.30	Détergents anioniques	736
	Spectrophotométrie UV-visible	738
17.31	Courbe d'absorption et concentration en nitrate de potassium	738
17.32	Spectres d'absorption des acides benzoïques substitués	740
17.33	Dosages simultanés (chrome et manganèse)	741
17.34	Hydrocarbures aromatiques et mélanges binaires	744
17.35	Phénols dans l'eau	745
17.36	Composés biologiquement actifs par spectroscopie dérivée	746
17.37	Glycérol dans les jus de fruit	748
17.38	Cholestérol dans la mayonnaise	749
	Fluorimétrie	751
17.39	Quinine dans un soda tonique	751
17.40	Codéine et morphine en mélange	752
17.41	Références	752
17.42	Bibliographie	753
18	Spectroscopie de vibration	755
18.1	Spectroscopie infrarouge	755
18.2	Spectroscopie Raman	758
18.3	L'effet Raman	759
18.4	Corrélation entre les spectres IR et Raman	761
18.5	Appareils de spectroscopie infrarouge	761
18.6	Analyseurs dédiés	765
18.7	Cellules infrarouges pour échantillons liquides	767
18.8	Mesure du chemin optique des cellules	768
18.9	Spectromètres Raman	769
18.10	Mesure des bandes IR d'absorption	771
18.11	Loi de Beer : Spectres IR quantitatifs	772
18.12	Mesures sur des pastilles	775
18.13	Méthodes basées sur des mesures de réflectance	775
18.14	Systèmes CPG-IRTF	777
18.15	Spectroscopie de proche infrarouge	778
	Protocoles expérimentaux	779
18.16	Analyse d'une pastille d'acide benzoïque du commerce	780

Table des matières

18.17	Courbe d'étalonnage pour le cyclohexane	780
18.18	Dosage des 2-, 3-, et 4-méthylphénols (crésols) en mélange	781
18.19	Propanone (acétone) dans le propan-2-ol	781
18.20	Références	782
18.21	Bibliographie	782
19	Spectrométrie de masse	783
19.1	Introduction	783
19.2	Systèmes de vide	787
19.3	Systèmes d'introduction de l'échantillon	788
19.4	Sources d'ions	790
19.5	Analyseurs de masse	799
19.6	Détecteurs	806
19.7	Traitement des données	808
19.8	Spectrométrie de masse en chimie inorganique	809
19.9	Mesure des rapports isotopiques	811
19.10	Interprétation des spectres	814
19.11	Systèmes couplés	825
19.12	Prospective	834
19.13	Références	835
19.14	Bibliographie	836
Annexes		837
Annexe 1	Masses atomiques relatives (1994)	839
Annexe 2	Concentration de solutions aqueuses d'acides courants et d'ammoniac	840
Annexe 3	Solutions saturées de quelques réactifs à 20 °C	840
Annexe 4	Sources d'étalons certifiés	841
Annexe 5	Solutions tampons et étalons secondaires de pH	842
Annexe 6a	Constantes de dissociation de quelques acides dans l'eau à 25 °C	843
Annexe 6b	Constantes de dissociation de bases dans l'eau à 25 °C	844
Annexe 7	Potentiels de demi-vague polarographique	845
Annexe 8	Raies de résonance en absorption atomique	848
Annexe 9	Chromophores courants : caractéristiques de l'absorption électronique moléculaire	849
Annexe 10	Caractéristiques des bandes d'absorption infrarouge	850
Annexe 11	Distribution t de Student	851
Annexe 12	Distribution F (de Fisher)	852
Annexe 13	Valeurs critiques de Q ($P = 0,05$)	853
Annexe 14	Valeurs critiques du coefficient de corrélation ρ ($P = 0,05$)	853
Annexe 15	Test de Wilcoxon : valeurs critiques ($P = 0,05$)	853
Annexe 16	Valeurs critiques de T_d ($P = 0,05$)	854
Annexe 17	Valeurs critiques de F_R pour des tests à une queue et à double queue ($P = 0,05$)	854
Annexe 18	Équivalents et normalités	854
Index		860

ANALYSE CHIMIQUE QUANTITATIVE DE VOGEL

• MENDHAM • DENNEY • BARNES • THOMAS •

« Un grand classique de la chimie analytique, pour la première fois disponible en français, dans sa dernière version ».

Un manuel d'enseignement et de laboratoire

Ce livre est à la fois un manuel d'enseignement adapté à tous les niveaux des cursus universitaires et un livre de référence des méthodes d'analyse. Les nombreuses expériences, décrites en détail, et les conseils d'ordre pratique font de cet ouvrage un manuel de laboratoire incontournable pour tous ceux, du spécialiste chevronné à l'analyste occasionnel, qui pratiquent la chimie analytique.

Une référence toujours d'actualité

Les techniques avancées et les méthodes d'analyse les plus récentes sont traitées de manière approfondie dans *Analyse chimique quantitative de Vogel*. Une part importante de l'ouvrage est néanmoins consacrée à la chimie analytique classique, qui reste au centre de l'enseignement de cette discipline. Mais comme l'analyse chimique est de plus en plus utilisée dans d'autres domaines scientifiques, de nombreuses expériences se rapportent aux sciences de la vie et de l'environnement.

J. MENDHAM, R.C. DENNEY, J.D. BARNES ET M. THOMAS sont membres de la *School of Chemical and Life Sciences*, au sein de l'Université de Greenwich, Londres.

Jean TOULLEC

Directeur de recherche au CNRS exerçant à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, secrétaire de la Commission ministérielle de terminologie et de néologie de la chimie et des matériaux, il a également traduit aux éditions De Boeck Université : *Principes de Nomenclature de la Chimie* (Leigh, Favre et Metanomski), et *Chimie Physique* (Atkins).

Monique MOTTE

Ingénieur chimiste, membre de la Commission ministérielle de terminologie et de néologie de la chimie et des matériaux, elle est la traductrice de plusieurs ouvrages de chimie parus aux éditions De Boeck Université : *Éléments de chimie physique* (Atkins), *Chimie organique avancée* (Carey et Sundberg), *Principes de Nomenclature de la Chimie* (Leigh, Favre et Metanomski).



MENDHAM

ISBN 2-8041-4799-1