

RECHERCHE • TECHNOLOGIE • APPLICATIONS

Instrumentation et capteurs

Capteurs chimiques, biocapteurs et biopuces

sous la direction de
René Lalauze

 **hermes**

Lavoisier

Table des matières

Préface	17
Chapitre 1. Reconnaissance chimique et biologique	19
Nicole JAFFREZIC-RENAULT	
1.1. La reconnaissance des molécules de gaz.	19
1.1.1. Utilisation des oxydes métalliques comme matériaux semi-conducteurs pour la détection des gaz	19
1.1.2. Les semi-conducteurs moléculaires	22
1.1.3. Les matériaux conducteurs ioniques pour la détection des molécules de gaz.	24
1.1.4. Sorption sélective dans des matrices polymériques	25
1.2. La reconnaissance ionique	27
1.2.1. Les matériaux inorganiques pour la reconnaissance ionique	28
1.2.2. Les matériaux organiques pour la reconnaissance ionique.	29
1.3. La reconnaissance biologique	31
1.3.1. Les biocapteurs à enzyme	31
1.3.2. Les immunocapteurs	33
1.3.3. Les biocapteurs à récepteurs œstrogéniques	34
1.3.4. Les biocapteurs à ADN et à aptamères	35
1.3.5. Les biocapteurs cellulaires	35
1.3.6. Méthodes d'immobilisation du biorécepteur	36
1.3.7. Approche biomimétique : les polymères à empreinte moléculaire (<i>Molecularly Imprinted Polymers</i> , MIPs)	38
1.4. Bibliographie	39

Chapitre 2. Les phénomènes d'adsorption. 41

René LALAUZE

2.1. La surface d'un solide.	41
2.2. Mise en évidence du phénomène d'adsorption	43
2.2.1. La manométrie	43
2.2.2. La thermogravimétrie	44
2.3. Forces intervenant entre une molécule de gaz et la surface d'un solide	44
2.3.1. Rappels sur les forces de Van der Waals	44
2.3.2. Expression du potentiel entre une molécule et un solide	46
2.3.3. Forces chimiques entre une espèce gazeuse et la surface d'un solide.	47
2.3.4. Distinction entre adsorption physique et chimique	47
2.4. Etude thermodynamique de l'adsorption physique.	48
2.4.1. Les différents modèles de l'adsorption	48
2.4.2. Le modèle de Hill.	49
2.4.3. Le modèle de Hill et Everett	49
2.5. Les isothermes d'adsorption physique	50
2.5.1. Généralités	50
2.5.2. Isothermes d'adsorption en monocouches mobiles	51
2.5.3. Isothermes d'adsorption en monocouches localisées	51
2.6. Les isothermes d'adsorption chimique.	54
2.7. Bibliographie.	57

Chapitre 3. Transduction à base de micropoutre. 59

Isabelle DUFOUR

3.1. Introduction.	59
3.2. Couches sensibles	61
3.3. Mode statique	61
3.3.1. Principe de mesure	62
3.3.2. Mise en équation	62
3.3.3. Exemple de mesure.	63
3.4. Mode dynamique	64
3.4.1. Mise en vibration	64
3.4.2. Mesure de la fréquence de résonance	65
3.4.3. Mise en équation	66
3.4.4. Exemples de mesure	68
3.5. Autres modes d'utilisation du régime dynamique	70
3.5.1. Mode dynamique sans couche sensible	71
3.5.2. Mode dynamique avec vibrations dans le plan.	71

3.6. Conclusion	73
3.7. Remerciements.	73
3.8. Bibliographie.	73
Chapitre 4. Transduction piézoélectrique (QCM)	77
Hubert PERROT	
4.1. Généralités et principes de base	77
4.1.1. Effet piézoélectrique	77
4.1.2. Modes de vibration	79
4.1.3. Différents dispositifs acoustiques	79
4.1.4. Méthodologie de mesure.	81
4.2. Aspects théoriques de la microbalance à quartz	83
4.2.1. Mesures sous vide ou en milieu gazeux.	83
4.2.2. Mesures en milieu liquide	84
4.2.3. Modélisation de type électroacoustique.	87
4.3. Applications de la microbalance à quartz	89
4.3.1. Domaine de l'électrochimie.	89
4.3.2. Domaine des biocapteurs	90
4.4. Bibliographie.	93
Chapitre 5. Capteurs de gaz à base d'oxydes métalliques	95
Christophe PIJOLAT	
5.1. Introduction : la détection des gaz et les microcapteurs.	95
5.2. Capteurs de types catalytiques.	97
5.3. Capteurs de types potentiométriques	99
5.4. Capteurs de types semi-conducteurs	103
5.4.1. Introduction	103
5.4.2. Principes de base	106
5.4.3. Caractère semi-conducteur des oxydes métalliques et réaction d'oxydo-réduction	107
5.4.4. Etats électroniques de surface, charge d'espace et adsorption gazeuse	108
5.4.5. Effets de tailles de grains et complexité des matériaux polycristallins	110
5.4.6. Exemples de développements industriels et d'applications	113
5.4.7. Futurs développements	118
5.5. Bibliographie.	120

Chapitre 6. Capteurs de gaz conductimétriques à base de matériaux moléculaires	123
Marcel BOUVET	
6.1. Semi-conducteurs moléculaires	123
6.2. Dispositifs conductimétriques à semi-conducteurs moléculaires	127
6.3. Capteurs de composés oxydants ou donneurs d'électrons	128
6.4. Capteurs de composés organiques volatiles (COV)	133
6.5. Bibliographie	134
Chapitre 7. Réponse et propriétés électriques des microcapteurs de gaz.	137
Khalifa AGUIR	
7.1. Introduction	137
7.2. Réponse d'un capteur de gaz	139
7.3. Microcapteurs chimiques	140
7.4. Modélisation de la conductance de la couche sensible des microcapteurs de gaz à base de WO_3 dans l'air en présence d'ozone	145
7.4.1. Modèle du microcapteur	145
7.4.2. Modèle de Wolkenstein	146
7.4.3. Modélisation	147
7.4.4. Quelques résultats à partir des calculs développés ci-dessus	151
7.5. Spectroscopie d'impédance des capteurs de gaz	155
7.6. Sélectivité des capteurs de gaz	158
7.7. Spectroscopie de bruit électronique des microcapteurs de gaz	159
7.7.1. Bruit d'adsorption-désorption	160
7.8. Conclusion	161
7.9. Bibliographie	163
Chapitre 8. Technologie des microcapteurs de gaz.	165
Philippe MENINI	
8.1. Introduction	165
8.2. La technologie des capteurs de gaz à oxydes métalliques	167
8.2.1. Rappel du principe de fonctionnement	167
8.2.2. Structures existantes	167
8.2.3. Les différentes approches technologiques	172
8.2.4. Les améliorations technologiques de la plate-forme chauffante	177
8.2.5. L'intégration du matériau sensible	181
8.2.6. Bilan	183

8.3. Nouvelle génération de capteurs de gaz communicants sans fil	184
8.3.1. Introduction	184
8.3.2. Principe de détection	187
8.3.3. Conception-structure	188
8.3.4. Réalisation	191
8.4. Conclusion	194
8.5. Bibliographie	194
Chapitre 9. Multicapteurs : mesure et modèle de comportement.	197
Philippe BREUIL	
9.1. Introduction	197
9.2. Modélisation comportementale d'un multicapteur	197
9.2.1. Généralités	197
9.2.2. Performances d'un système de mesure	200
9.2.3. Modélisation = étalonnage	201
9.2.4. Principe de la modélisation comportementale : les moindres carrés	202
9.2.5. Régression linéaire monovariante	202
9.2.6. Régression linéaire multivariante	204
9.2.7. Influence de la complexité du modèle	204
9.2.8. Méthodes d'analyse de facteur (PCR, PLS)	205
9.2.9. Les réseaux de neurones (<i>Neural Networks</i>) en quantification	206
9.3. Performances des capteurs de gaz, influence sur le calcul de prédiction	207
9.3.1. 3S : sensibilité	207
9.3.2. 3S : stabilité	208
9.3.3. 3S : sélectivité	208
9.3.4. Exemple trivial : deux capteurs linéaires pour deux composés	210
9.3.5. Propagation de l'erreur à travers le modèle	211
9.3.6. Conclusion sur les « 3S »	212
9.4. Exemple d'exploitation de quatre capteurs	213
9.5. Bibliographie	215
Chapitre 10. Procédés microtechnologiques appliqués aux capteurs chimiques, biochimiques et biologiques	217
Pierre TEMPLE-BOYER	
10.1. Introduction	217
10.2. Le monde des capteurs chimiques	218
10.2.1. Définition des capteurs chimiques	218
10.2.2. Les verrous du développement des microcapteurs chimiques	219

12 Capteurs chimiques, biocapteurs et biopuces

10.2.3. Les solutions de développement	221
10.3. Développement des microtechnologies « silicium et polymères » appliquées aux capteurs chimiques	224
10.3.1. Filière technologique à base de résistances chimiquement sensibles	224
10.3.2. Filière technologique à base de microélectrodes	226
10.3.3. Filière technologique à base de transistors à effet de champ	228
10.3.4. Filière technologique à base de microsystèmes électromécaniques	232
10.3.5. Filière technologique à base de microcapteurs à ondes acoustiques de surface	234
10.4. Conclusion	236

**Chapitre 11. Développement de micro-préconcentrateurs
pour la détection de substances chimiques à l'état de traces en phase gaz** 239

Jean-Paul VIRICELLE

11.1. Introduction	239
11.2. Principe de la préconcentration/facteur de préconcentration	240
11.3. Phénomènes d'adsorption.	242
11.3.1. Texture des matériaux : surface spécifique et porosité	242
11.3.2. Isothermes d'adsorption	243
11.3.3. Modèles physicochimiques d'adsorption-désorption	244
11.3.4. Etude de l'affinité d'un adsorbant vis-à-vis d'un gaz	248
11.4. Matériaux adsorbants	252
11.4.1. Charbons actifs	252
11.4.2. Nanotubes de carbone	252
11.4.3. Autres adsorbants	254
11.5. Développement de préconcentrateurs.	255
11.5.1. Etat de l'art sur les microcomposants/matériaux	255
11.5.2. Exemple de R&D d'un préconcentrateur	259
11.5.3. Exemple d'appareil commercial	261
11.6. Conclusion	262
11.7. Bibliographie	262

**Chapitre 12. Quelques éléments de physique
des écoulements microfluidiques** 265

Louis RENAUD

12.1. Introduction	265
12.2. Physique des écoulements microfluidiques : simplification des équations de Navier-Stokes.	267

12.3. Ecoulements hydrodynamiques : notion de résistance microfluidique	269
12.4. Ecoulements électro-osmotiques	272
12.5. Microfluidique de gouttes : écoulements diphasiques	277
12.6. Conclusion	279
12.7. Bibliographie	280
Chapitre 13. Biocapteurs électrochimiques	283
Chantal GONDRAN	
13.1. Définition d'un biocapteur	283
13.2. Principe d'un biocapteur	283
13.3. Caractéristiques.	284
13.3.1. Précision	284
13.3.2. Répétabilité.	284
13.3.3. Reproductibilité	285
13.3.4. Limite de détection	285
13.3.5. Sensibilité	286
13.3.6. Sélectivité	286
13.3.7. Temps de réponse	287
13.4. Biocapteurs enzymatiques	287
13.4.1. Biocapteurs enzymatiques ampérométriques	287
13.4.2. Biocapteurs enzymatiques potentiométriques	292
13.4.3. Biocapteurs enzymatiques conductimétriques	294
13.5. Biocapteurs d'affinité	297
13.5.1. Utilisation d'électrodes bloquantes (non faradiques)	297
13.5.2. Utilisation d'électrodes faradiques (sonde électrochimique).	298
13.6. Conclusion	300
13.7. Bibliographie	300
Chapitre 14. Les biocapteurs à fibres optiques	301
Neso SOJIC	
14.1. Introduction	301
14.2. Biomolécules et reconnaissance	303
14.3. Les fibres optiques.	303
14.3.1. Les fibres optiques individuelles	303
14.3.2. Les faisceaux de fibres optiques	304
14.3.3. Configurations optiques	305
14.4. Applications des biocapteurs à fibre optique	306
14.4.1. Biocapteurs enzymatiques	306
14.4.2. Immunocapteurs.	308

14.4.3. Capteurs à ADN	311
14.5. Conclusion	313
14.6. Bibliographie	313
Chapitre 15. Microcapteurs électrochimiques et analyses <i>in vivo</i>	315
Stéphane ARBAULT	
15.1. Introduction	315
15.1.1. Microélectrodes pour l'analyse électrochimique sur systèmes vivants	315
15.1.2. Principes de l'analyse électrochimique sur systèmes vivants	317
15.1.3. Espèces chimiques détectées <i>in vivo</i> et <i>ex vivo</i>	318
15.1.4. Montages expérimentaux pour la détection <i>in vivo</i> et <i>ex vivo</i>	319
15.2. Détection électrochimique de neurotransmetteurs <i>in vivo</i>	320
15.2.1. Méthodes de détection électrochimique <i>in vivo</i> de neurotransmetteurs	322
15.2.2. Détection <i>ex vivo</i> et <i>in vivo</i> de la dopamine dans le cerveau de rat	323
15.2.3. Détection <i>ex vivo</i> de la libération de neurotransmetteurs sur cellule unique.	325
15.3. Conclusion	329
15.4. Bibliographie	330
Chapitre 16. Biocapteurs microbiens appliqués à l'environnement	333
Gérald THOUAND et Marie-José DURAN	
16.1. Pollution et environnement.	333
16.2. Introduction aux biocapteurs.	336
16.2.1. Définitions, principe, classements	336
16.2.2. Domaines d'application, intérêt, inconvénients de cette technologie	339
16.2.3. Les marchés, les brevets et la législation	340
16.3. Les micro-organismes	341
16.3.1. Diversité des micro-organismes utilisés dans les biocapteurs microbiens	341
16.3.2. Caractéristiques des procaryotes : cas de <i>Escherichia coli</i>	343
16.3.3. Les eucaryotes	345
16.4. Les biocapteurs microbiens.	345
16.4.1. Un bref historique.	345
16.4.2. Etat de l'art synthétique	347
16.4.3. L'immobilisation	350
16.4.4. Les performances	351

16.5. Exemples de biocapteurs microbiens appliqués à l'environnement . . .	353
16.5.1. Biocapteur pour la mesure de la demande biologique en oxygène (DBO)	353
16.6. Bibliographie	361
Chapitre 17. Biopiles	363
Serge COSNIER	
17.1. Présentation et enjeux	363
17.2. Principe et caractérisation d'une biopile	366
17.2.1. Caractérisation des performances de la biopile	367
17.3. Principe et caractérisation d'une biopile	369
17.3.1. Biopiles à transfert d'électron médiaté	369
17.3.2. Biopiles à transfert d'électron direct	370
17.3.3. Biopiles hybrides	371
17.3.4. Piles bio-inspirées ou biomimétiques	371
17.4. Exemples de biopiles	372
17.5. Bibliographie	375
Index	377