

Instrumentation et métrologie en océanographie physique

Marc Le Menn

 **hermes**

Lavoisier

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	11
Chapitre 1. Ce que l'on mesure et ce que l'on calcule.	13
1.1. Les grandeurs que l'on cherche à connaître	13
1.1.1. Célérité et masse volumique	14
1.1.2. Pression et profondeur	17
1.1.3. Vitesse et déplacement	19
1.1.4. Temps et espace	20
1.2. Le raccordement des grandeurs que l'on sait mesurer	21
1.2.1. La température	22
1.2.1.1. L'échelle internationale de température (EIT)	23
1.2.1.2. Le raccordement des instruments à l'EIT	28
1.2.2. La pression	32
1.2.3. Conductivité et salinité	35
1.2.3.1. Définition et caractéristiques de la conductivité de l'eau de mer	36
1.2.3.2. Les ampoules d'eau standard	38
1.2.3.3. Les salinomètres	39
1.2.3.4. Les mesures de salinité <i>in situ</i>	41
1.2.3.5. L'étalonnage des capteurs de conductivité	43
1.2.4. La célérité	45
1.2.5. Le temps	50
1.3. Le calcul de la masse volumique	53
1.4. Bibliographie	56

Chapitre 2. Les systèmes de mesure utilisés	59
2.1. Pour connaître la température	59
2.1.1. Les principaux instruments	60
2.1.1.1. Les bathysondes	60
2.1.1.2. Rosettes de prélèvement et thermomètres à renversement.	62
2.1.1.3. Les sondes perdables.	65
2.1.1.4. Les thermosalinomètres de coque	66
2.1.1.5. Les chaînes de thermistances.	66
2.1.2. Les technologies de capteurs	68
2.1.2.1. Les sondes résistives métalliques	68
2.1.2.2. Les thermistances.	71
2.1.2.3. Le conditionnement électronique des capteurs de température	73
2.1.3. Les transferts thermiques	82
2.1.3.1. Les échanges par conduction	83
2.1.3.2. Les échanges par convection	85
2.1.4. Le temps de réponse des capteurs de température	87
2.2. Pour connaître la conductivité	93
2.2.1. Les principaux instruments utilisés	93
2.2.2. Les technologies de capteurs	94
2.2.2.1. La cellule SBE 4	95
2.2.2.2. La cellule MK III C	97
2.2.2.3. Les cellules inductives.	99
2.2.3. Le temps de réponse des capteurs de conductivité.	105
2.2.4. L'alignement des temps de réponse des capteurs de température et des capteurs de conductivité	108
2.2.5. <i>Bio-fouling</i> et cellules de conductivité.	110
2.3. Pour connaître la pression	112
2.3.1. Les capteurs de pression piézorésistifs	112
2.3.2. Les capteurs de pression piézoélectriques.	115
2.4. Pour connaître la célérité	117
2.4.1. Les principes de mesure	117
2.4.2. Les instruments utilisés en mer	123
2.5. Pour connaître le courant	125
2.5.1. Les courantomètres à rotor	126
2.5.2. Les courantomètres ponctuels à effet Doppler	129
2.5.2.1. L'effet Doppler et sa mesure	130
2.5.2.2. Principes de fonctionnement de courantomètres ponctuels	132
2.5.3. Les courantomètres électromagnétiques.	137

2.5.4. Les profileurs à effet Doppler	139
2.5.4.1. Principes des mesures	139
2.5.4.2. Principes de fonctionnement des profileurs de courants . . .	144
2.5.4.3. Portée et intensité des signaux des profileurs de courants	149
2.5.5. Le référencement directionnel des mesures de courant	150
2.5.5.1. Le champ magnétique terrestre.	151
2.5.5.2. Les mesures de champ et l'étalonnage des compas	152
2.5.5.3. Les compas magnétiques à équipage mobile.	154
2.5.5.4. Les compas à effet Hall	155
2.5.5.5. Les compas de technologie magnétorésistive	156
2.5.5.6. Les compas de technologie « flux-gate »	157
2.6. Pour connaître le temps ou mesurer des fréquences	159
2.6.1. Le raccordement des horloges	160
2.6.1.1. Les systèmes de raccordement utilisés	160
2.6.1.2. Erreurs et incertitudes du TGPS	161
2.6.2. Les bases de temps des instruments	163
2.7. Pour connaître la position et le déplacement	167
2.7.1. Le système Argos	168
2.7.1.1. Architecture générale	168
2.7.1.2. Collecte et distribution des données.	169
2.7.1.3. Instrumentation au sol et évolution du système	171
2.7.2. Le <i>global positioning system</i> (GPS)	174
2.7.2.1. Les segments spatial, sol et utilisateur	175
2.7.2.2. Le codage	176
2.7.2.3. Les mesures de distances	177
2.7.2.4. Le calcul de la position cinématique	179
2.7.2.5. Les incertitudes sur le calcul de la position	183
2.7.2.6. Systèmes « d'augmentation » et GNSS.	184
2.8. Pour connaître la hauteur d'eau	185
2.8.1. Les marégraphes côtiers	186
2.8.1.1. Principes de mesure	186
2.8.1.2. Fonctionnement des marégraphes côtiers numériques	190
2.8.2. Les marégraphes immergés	194
2.8.3. Calage et rattachement des marégraphes	197
2.9. Pour connaître les caractéristiques de la houle	198
2.9.1. Eléments sur l'origine et la modélisation de la houle	198
2.9.2. Les instruments de mesure de l'état de la mer	202
2.9.2.1. Les bouées houlographes	203
2.9.2.2. Les mesures par courantomètres et capteurs de pression . .	204
2.9.2.3. Les mesures par radar HF	206

8 Instrumentation et métrologie en océanographie

2.10. Pour connaître la turbidité	212
2.10.1. Notions d'optique sous-marine	213
2.10.2. Les transmissiomètres	218
2.10.3. Les néphélomètres.	219
2.10.4. Les fluorimètres	222
2.11. Pour connaître quelques propriétés physico-chimiques	226
2.11.1. Notions sur les paramètres chimiques de l'eau de mer	227
2.11.1.1. Constituants majeurs et métaux traces.	227
2.11.1.2. Substances nutritives et matière organique dissoute	228
2.11.1.3. Les gaz dissous	229
2.11.1.4. Les traceurs transitoires	231
2.11.1.5. Les matières en suspension	232
2.11.2. La mesure <i>in situ</i> de l'oxygène dissous	233
2.11.2.1. Les capteurs polarographiques ou capteurs de Clark	233
2.11.2.2. L'étalonnage des capteurs polarographiques d'oxygène dissous	234
2.11.2.3. Les optodes	237
2.11.3. La mesure <i>in situ</i> de quelques autres composants	241
2.12. Bibliographie	244
Chapitre 3. Les mesures à la mer	251
3.1. Les navires océanographiques.	251
3.1.1. Les moyens de mise à l'eau des instruments	252
3.1.2. Les moyens de positionnement et de sondage	254
3.1.3. Les moyens de transmission des données.	255
3.1.4. Les moyens de mesure océanographiques des bateaux	259
3.2. Les mouillages	262
3.2.1. Les contraintes de la mise en œuvre d'un mouillage	262
3.2.2. Généralités sur la réalisation des mouillages	263
3.2.2.1. Principes des calculs de flottabilité	263
3.2.2.2. Les différents types de mouillages.	266
3.2.2.3. Les erreurs de mesure entraînées par les lignes de mouillage de surface et de subsurface	274
3.2.2.4. La corrosion : l'ennemi des mouillages.	275
3.2.3. Le déploiement et le relevage des mouillages	277
3.3. Les flotteurs dérivants	278
3.3.1. Historique et principes de fonctionnement	279
3.3.2. Principes de positionnement par sources acoustiques.	283
3.3.2.1. Le chenal SOFAR	284

3.3.2.2. Le positionnement des flotteurs RAFOS	285
3.3.3. Conception et ballastage des flotteurs dérivants	288
3.3.3.1. Les flotteurs monocycles	288
3.3.3.2. Les flotteurs multicycles	291
3.3.3.3. L'équation du mouvement des flotteurs dérivants de subsurface	294
3.4. Bibliographie	294
Chapitre 4. Evolutions et autres concepts de mesure	297
4.1. Autres procédés pour mesurer la salinité et la masse volumique	297
4.1.1. Relation entre masse volumique et indice de réfraction	298
4.1.2. Les instruments de mesure de l'indice de réfraction	302
4.2. La tomographie acoustique des océans.	305
4.2.1. Principes généraux	305
4.2.2. L'instrumentation mise en œuvre	309
4.3. Les UUV : nouveaux moyens d'exploration de l'océan.	310
4.3.1. L'autonomie énergétique	312
4.3.2. Déplacement et positionnement	313
4.3.3. Autonomie de décision et de communication	315
4.3.4. Les <i>gliders</i>	315
4.4. Bibliographie	316
Table des sigles et abréviations	319
Index	325
Crédits de l'ouvrage.	333