

Table des matières

1	Introduction	7
1.1	La recherche de lois	7
1.2	Observation, expérimental, théorie, modélisation, numérique	8
1.3	Sur le sujet de ce livre : la turbulence et l'écologie marine	10
1.4	Présentation des contenus des différents chapitres	12
2	Présentation de différents concepts	13
2.1	Déterminisme et chaos	13
2.2	Couplages multi-échelles	16
2.3	Complexité	17
2.4	Référentiels eulérien et lagrangien	18
2.5	Stratégie d'échantillonnage	20
2.5.1	Mesures en eulérien	21
2.5.2	Mesures à haute fréquence : ADV, ADCP et autres capteurs	22
2.5.3	Mesures en lagrangien	26
2.5.4	Que dire des autres types de mesures ?	28
2.6	Turbulence, scalaire passif, scalaire réactif	29
3	Introduction aux probabilités, et méthodes d'analyse statistique	31
3.1	Densité de probabilité	31
3.1.1	Probabilités discrètes	31
3.1.2	Probabilités continues	32
3.1.3	Quelques densités de probabilité classiques	35
3.2	Moments statistiques	40
3.2.1	Définition	40
3.2.2	Relations entre moments et densités de probabilités	40
3.2.3	Intervalle de confiance	41
3.3	Extrêmes	42
3.3.1	Les extrêmes environnementaux dans le domaine sociétal	42
3.3.2	Un premier exemple : l'abondance de copépodes	45
3.3.3	Un second exemple : la fluorescence	45

3.4	Corrélations et bruits	46
3.4.1	Corrélation et autocorrélation	46
3.4.2	Bruit et mémoire d'une série temporelle	47
3.5	Analyse spectrale	52
3.5.1	Le spectre d'énergie et ses propriétés	52
3.5.2	Exemples de spectres d'énergie	53
3.6	A propos des tests statistiques	55
4	La turbulence	59
4.1	Introduction	59
4.1.1	Le nombre de Reynolds	61
4.1.2	Equations de Navier-Stokes	62
4.1.3	Transport de scalaires passifs et réactifs	64
4.1.4	Energie cinétique et dissipation	66
4.1.5	Navier-Stokes et le problème de la turbulence	68
4.2	Aspects numériques	69
4.2.1	Simulations numériques directes (DNS)	70
4.2.2	Modèles linéaires versus non-linéaires	74
4.2.3	Modèles de transport à base de moyenne de Reynolds : les flux à petite échelle	75
4.2.4	Les modèles à base de viscosité turbulente	77
4.2.5	Moyenne de Reynolds de l'équation du scalaire passif	80
4.2.6	Pistes pour parvenir à fermer la moyenne de Navier-Stokes	82
4.3	Turbulence homogène et isotrope	84
4.3.1	Cadre eulérien : cascade de Richardson-Kolmogorov	86
4.3.2	Cadre eulérien : loi de Obukhov-Corrsin	90
4.3.3	Nouvelles échelles de la turbulence : échelle de Kolmogorov, d'injection, de Taylor	91
4.3.4	Turbulence convective	96
4.3.5	Intermittence : approche de Kolmogorov-Obukhov 1962	101
4.3.6	Caractérisation de l'intermittence multifractale	106
4.3.7	Intermittence de scalaires passifs	110
4.3.8	Intermittence lagrangienne	113
4.4	Diffusion turbulente : concentration en matières dissoutes	115
4.4.1	Introduction : diffusion moléculaire	115
4.4.2	Diffusion turbulente	119
4.4.3	Diffusion turbulente lagrangienne : approche de Taylor	122
4.4.4	Diffusion relative turbulente : approche de Richardson	125
4.4.5	Diffusion anormale	126
4.5	Particules et turbulence	127
4.5.1	L'équation de Maxey-Riley-Gatignol pour la dynamique de petites particules dans un écoulement turbulent	128
4.5.2	Cas des petites particules inertielles	131

4.5.3	Dynamique de particules planctoniques	131
4.5.4	Cas des particules non sphériques	132
4.5.5	Nombre de Stokes et concentration préférentielle	136
5	Turbulence et plancton	139
5.1	Plancton et motilité	139
5.1.1	Questions de définition	139
5.1.2	Nombre de Reynolds particulaire	141
5.1.3	Importance de la turbulence pour l'écologie du plancton	143
5.2	Turbulence et zooplancton	143
5.2.1	La nage des copépodes en laboratoire sans turbulence	145
5.2.2	Accélération des copépodes	147
5.2.3	La nage des copépodes en laboratoire avec turbulence	148
5.2.4	Turbulence et larves d'invertébrés marins	151
5.2.5	Turbulence et taux de rencontre : approche théorique	153
5.2.6	Différents tests <i>in situ</i> ou expérimentaux des modèles de taux de rencontre	159
5.2.7	Hétérogénéités et comportement natatoire du zooplancton	160
5.2.8	Simulation numérique directe de la turbulence et copépodes	162
5.2.9	Concentration préférentielle, taux de rencontre et nombre de Stokes pour les copépodes	166
5.2.10	Bilan des études sur les effets de la turbulence sur le zooplancton	171
5.3	Turbulence et phytoplancton	172
5.3.1	Dynamique eulérienne de séries temporelles de phytoplancton et scalaires passifs	175
5.3.2	Dynamique lagrangienne de séries temporelles de phytoplancton et scalaires passifs	181
5.3.3	Analyse d'images satellitaires de chlorophylle	182
5.3.4	Turbulence et composition des communautés phytoplanctoniques	186
5.3.5	Turbulence et culture de micro-algues	188
5.3.6	Modélisations numériques : particules phytoplanctoniques motiles et non motiles	192
5.3.7	Turbulence et bactéries	197
5.3.8	Bilan des études sur les effets de la turbulence sur le phytoplancton	199
6	Autres interactions entre la turbulence et l'écologie marine	201
6.1	Turbulence biogéochimique	201
6.2	Turbulence et organismes benthiques suspensivores	206
6.2.1	Vitesse de courant et capture par les suspensivores	207
6.2.2	Microfermetures et turbulence chez les bivalves	209

7 Conclusions et perspectives	211
Bibliographie	215
Index	241