

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>7</b>
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
<b>2</b>	<b>Présentation de différents concepts</b>	<b>13</b>
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
<b>3</b>	<b>Introduction aux probabilités, et méthodes d'analyse statistique</b>	<b>31</b>
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
<b>4</b>	<b>La turbulence</b> . . . . .	<b>59</b>
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
<b>5</b>	<b>Turbulence et plancton</b>	<b>139</b>
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
<b>6</b>	<b>Autres interactions entre la turbulence et l'écologie marine</b>	<b>201</b>
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

<b>7 Conclusions et perspectives</b>	<b>211</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>215</b>
<b>Index</b>	<b>241</b>