

Table des matières

Chapitre 1 – Introduction	1
1.1. Préambule	1
1.2. À la rencontre de la turbulence aérodynamique	1
1.3. Turbulence atmosphérique	5
1.4. Turbulence hydrodynamique	8
1.5. Turbulence océanique	9
1.6. Géophysique interne	10
1.7. Turbulence astrophysique	11
1.8. Fluides du corps humain	14
1.9. Turbulence, imprédictabilité et chaos	15
1.9.1. Imprédictabilité	15
1.9.2. À quoi les simulations numériques servent-elles ?	18
1.9.3. Mélange	20
1.10. En conclusion	21
Chapitre 2 – Mécanique des fluides élémentaire	23
2.1. De Newton à Helmholtz et Kelvin	23
2.1.1. Bilans de masse et vitesse	24
2.1.2. Fluide newtonien	25
2.1.3. Dissipation et irréversibilité	27
2.1.4. Bilan thermodynamique	28
2.1.5. Transport et non-linéarité	31
2.1.6. Tourbillon et vorticité	31
2.2. Les principes de Bernoulli	34
2.2.1. Premier principe de Bernoulli	34
2.2.2. Deuxième principe de Bernoulli	39

2.3. Du laminaire au turbulent	39
2.3.1. Écoulement de Poiseuille	40
2.3.2. Écoulement de Couette	42
2.3.3. Couche limite	42
2.3.4. Couche de mélange	44
2.4. Similitude	46
2.5. Certains effets des fluides turbulents	47
Chapitre 3 – Instabilités et tourbillons	49
3.1. Spirales de Kelvin-Helmholtz	49
3.1.1. Critère de stabilité de Lord Rayleigh	51
3.1.2. Équation d’Orr-Sommerfeld	51
3.1.3. Simulation numérique bidimensionnelle	52
3.1.4. Tourbillons et dépressions	58
3.1.5. Appariements et dipôles	58
3.2. Les allées tourbillonnaires de von Karman	59
3.3. Tourbillons longitudinaux	64
3.3.1. Filaments tourbillonnaires	64
3.3.2. Tourbillons en épingle à cheveux	65
3.3.3. Modèle de nappes de vitesse	70
3.4. Effets de gravité et problèmes de climat	71
3.4.1. Convection thermique	71
3.4.2. Stratification stable	78
Chapitre 4 – La turbulence développée	83
4.1. Retour vers la transition	83
4.2. La théorie de Kolmogorov	84
4.2.1. Kolmogorov-1941 (espace physique)	85
4.2.2. Kolmogorov-1941 (espace de Fourier)	86
4.2.3. Exercice d’analyse dimensionnelle	87
4.2.4. Problèmes théoriques sur Kolmogorov-1941	87
4.2.5. Vérification expérimentale	88
4.2.6. Vérification par modèle spectral EDQNM	90
4.2.7. L’échelle de Kolmogorov	91
4.2.8. Cascade d’hélicité	92
4.2.9. Intermittence interne	92
4.2.10. Les objets fractals	94

4.3. Dispersion et diffusion turbulentes	96
4.3.1. Loi de Richardson	96
4.3.2. Diffusion cohérente et incohérente	97
4.4. Turbulence en amortissement libre	99
4.5. Tourbillons cohérents	100
4.5.1. Couche de mélange	101
4.5.2. Tourbillons longitudinaux secondaires	102
4.5.3. Couche limite	104
4.5.4. Turbulence isotrope tridimensionnelle	106
4.5.5. Nouveaux moyens de reconnaissance des tourbillons	108
4.5.6. Dislocations et défauts	109
4.6. Turbulence bidimensionnelle	113
4.6.1. Tourbillons bidimensionnels	114
4.6.2. Turbulence bidimensionnelle : point de vue statistique	116
4.6.3. Dispersion à deux dimensions	120
4.6.4. Distribution énergétique atmosphérique	120
Chapitre 5 – Modélisation et simulation numériques	123
5.1. Turbulence et équation de Navier-Stokes	123
5.2. Les contraintes turbulentes de Reynolds	125
5.3. Viscosité turbulente	128
5.3.1. Longueur de mélange de Prandtl	128
5.3.2. Modèles $K - \epsilon$ et RANS	130
5.4. Modèles spectraux en turbulence isotrope	131
5.5. Les grands enjeux du calcul scientifique	135
5.5.1. Méthodes numériques des simulations directes	136
5.5.2. Transformée de Fourier	141
5.5.3. Calculateurs vectoriels et parallèles	142
5.6. Simulation des grandes échelles	146
5.6.1. SGE de la vitesse	146
5.6.2. SGE du scalaire passif	147
5.6.3. Modèles de Smagorinsky	148
5.6.4. SGE dans l'espace de Fourier	149
5.6.5. Modèles de la fonction de structure	149
5.7. La modélisation industrielle : passé et futur	151

Chapitre 6 – Turbulence aérodynamique	153
6.1. Introduction	153
6.2. Ondes sonores et chocs	158
6.2.1. Ondes sonores	158
6.2.2. Effet Doppler	161
6.2.3. Chocs	161
6.3. Aérodynamique subsonique	166
6.4. Aérodynamique supersonique et hypersonique	172
6.4.1. Couche de mélange compressible	172
6.4.2. Couche limite compressible	178
6.4.3. Avion spatial	181
6.5. Contrôle de turbulence	184
6.5.1. Contrôle dans les couches limites	185
Chapitre 7 – Fluides de l’environnement	189
7.1. Introduction	189
7.2. Atmosphère terrestre : généralités	189
7.2.1. La circulation de Hadley	190
7.2.2. Les alizés	190
7.2.3. Hautes et moyennes latitudes	192
7.3. Équilibre géostrophique	192
7.3.1. Le vent thermique	196
7.3.2. Conservation de la vorticité potentielle	197
7.4. Instabilité barocline	200
7.4.1. Principes de base	200
7.4.2. Simulations numériques	202
7.4.3. Avez-vous déjà vu des tempêtes anticycloniques ?	204
7.5. Turbulence quasi géostrophique	205
7.5.1. Modèles N-couches	206
7.5.2. Modèle à ρ continu	207
7.6. Cyclones et tornades atmosphériques	207
7.6.1. Les cyclones tropicaux	207
7.6.2. Les tornades	209
7.7. Rotation ou stratification à échelle moyenne	211
7.7.1. Pourquoi le sillage de la Soufrière est-il asymétrique ?	211
7.7.2. Théorème de Taylor-Proudman	213
7.7.3. Écoulements cisailés tournants	213

7.7.4. Simulation des grandes échelles du vent sur le Grand Colon	219
7.8. Circulation océanique	220
7.8.1. Circulation moyenne dans les bassins	220
7.8.2. Les tourbillons océaniques	222
7.8.3. Les upwellings et El Niño	224
7.9. Géophysique interne	226
7.10. Jupiter	226
Chapitre 8 – Conclusion	229
8.1. L'imprédictabilité	229
8.2. Le mélange	231
8.3. Tourbillons et instabilités	232
8.4. Simulations et modélisations numériques	235
8.5. Turbulence et philosophie	238
Bibliographie	241
Index	257