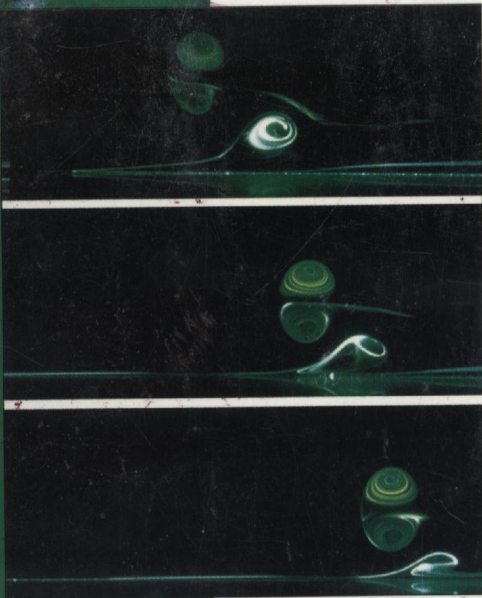


UNIVERSITÉS  
PHYSIQUE



UNIVERSITÉS

*Introduction à la*  
***Mécanique***  
***théorique***  
***des fluides***

PRIX ÉTUDIANT EN ALGÉRIE

0% du prix ELLIPSES FRANCE

PRIX ÉTUDIANT EN ALGÉRIE

50% du prix ELLIPSES FRANCE

UN



# INTRODUCTION A LA MECANIQUE THEORIQUE DES FLUIDES

## TABLE DES MATIERES

Préface .....	1.
Avant-propos .....	3.
 <i>Première partie : Rhéologie des fluides</i>	
Chapitre 1 : Le fluide, milieu continu .....	9.
1. - Rappels de cinématique des milieux continus .....	10.
1.1. - Description du mouvement .....	10.
1.1.1. - Variables de Lagrange .....	10.
1.1.2. - Vitesse, accélération, dérivée particulière .....	11.
1.1.3. - Variables d'Euler .....	12.
1.1.4. - Trajectoires, lignes de courant, mouvements stationnaires .....	13.
1.1.5. - Dérivée particulière .....	14.
1.2. - Propriétés du champ des vitesses en description eulérienne .....	17.
1.2.1. - Circulation du vecteur-vitesse .....	18.
1.2.2. - Tourbillon .....	19.
1.2.3. - Ecoulements irrotationnels .....	20.
2. - Lois de conservation .....	20.
2.1. - Les lois de conservation de la Physique .....	20.
2.2. - Conséquences locales des lois de conservation .....	22.
2.3. - Condition aux limites naturelle associée à une loi de conservation .....	24.
3. - Conservation de la masse .....	25.
3.1. - Equation aux dérivées partielles et relation de discontinuité .....	25.
3.1.1. - Equation de continuité .....	25.
3.1.2. - Surfaces de contact et ondes de choc .....	26.
3.1.3. - Conditions aux frontières .....	27.
3.2. - Fonctions de courant .....	27.
3.2.1. - Fonctions de courant pour les écoulements plans et de révolution .....	27.
3.2.2. - Fonctions de courant pour les écoulements stationnaires quelconques .....	28.
3.2.4. - Tubes de courant .....	30.
4. - Conservation de la quantité de mouvement .....	30.
4.1. - Conséquences du principe fondamental .....	30.
4.1.1. - Tenseur des contraintes .....	30.
4.1.2. - Equations du mouvement .....	31.
4.2. - Equation aux discontinuités .....	32.
4.3. - Conditions aux frontières .....	32.
5. - Conservation de l'énergie .....	33.
5.1. - Premier principe de la thermodynamique .....	33.
5.2. - Equation aux dérivées partielles et équation aux discontinuités .....	33.
5.2.1. - Equation aux dérivées partielles .....	34.
5.2.2. - Equation aux discontinuités et condition aux frontières .....	34.
6. - Objet des lois de comportement .....	35.

**Chapitre 2 : Thermodynamique des fluides en mouvement ..... 37.**

<b>1. - Le second principe de la thermodynamique .....</b>	<b>37.</b>
1.1. - Enoncé du second principe : température, entropie .....	37.
1.2. - Inégalité de Clausius-Duhem .....	38.
1.3. - Définitions et remarques sur l'énoncé du second principe .....	40.
<b>2. - Thermostatique des fluides .....</b>	<b>41.</b>
2.1. - Les deux premiers principes de la thermostatique .....	41.
2.1.1. - Quelques définitions .....	41.
2.1.2. - Transformations d'un système fermé simple .....	42.
2.1.3. - Premier principe de la thermostatique .....	42.
2.1.4. - Second principe de la thermostatique .....	43.
2.2. - Evolutions réversibles d'un milieu fluide.....	44.
2.2.1. - Formule de Gibbs-Duhem .....	44.
2.2.2. - Variables extensives et variables intensives .....	45.
2.2.3. - Potentiels thermodynamiques .....	46.
2.2.4. - Formules de Maxwell et formules de réciprocity .....	47.
2.3. - Chaleurs spécifiques .....	48.
2.4. - Propriétés liées à la convexité .....	49.
2.5. - Lois d'état usuelles .....	50.
<b>3. - Thermodynamique et lois de comportement .....</b>	<b>53.</b>
3.1. - Hypothèse de l'état local et conséquences .....	53.
3.2. - Lois constitutives : hypothèse d'Onsager, fluides newtoniens .....	54.
<b>4. - Exemple de rhéologie de fluide complexe .....</b>	<b>56.</b>
4.1. - Lois de conservation des mélanges .....	56.
4.1.1. - Conservation de la masse .....	57.
4.1.2. - Conservation de la quantité de mouvement .....	58.
4.1.3. - Conservation de l'énergie .....	58.
4.2. - Le second principe de la thermodynamique .....	59.
4.2.1. - Inégalité de Clausius-Duhem .....	59.
4.2.2. - Ecriture de la dissipation dans un mélange de fluides .....	60.
4.3. - Lois constitutives des mélanges de fluides .....	61.
4.3.1. - Formule de Gibbs-Duhem .....	61.
4.3.2. - Théorie linéarisée des lois de comportement .....	62.
4.3.3. - Diffusion dans un mélange binaire .....	65.

**Chapitre 3 : Les équations de Navier-Stokes ..... 66.**

<b>1. - Equations générales .....</b>	<b>66.</b>
1.1. - Equations du mouvement, données et inconnues .....	66.
1.2. - Cas particuliers .....	67.
1.2.1. - Fluide incompressible .....	67.
1.2.2. - Fluide parfait .....	68.
1.3. - Compléments sur la thermodynamique des gaz parfait .....	68.
1.4. - Formulation mathématique des problèmes de Mécanique des fluides : conditions initiales et conditions aux limites .....	70.
1.4.1. - Conditions initiales .....	70.
1.4.2. - Conditions aux limites .....	70.
1.4.3. - Le problème de l'existence et de l'unicité des solutions des équations de Navier-Stokes .....	72.
<b>2. - Eléments d'hydrostatique .....</b>	<b>74.</b>
2.1. - Conditions générales d'équilibre d'un fluide .....	74.
2.2. - Statique des fluides pesants .....	74.
2.2.1. - Statique des fluides incompressibles .....	75.
2.2.2. - Statique des fluides compressibles .....	76.
2.2.3. - Efforts s'exerçant sur un obstacle : théorème d'Archimède .....	77.
2.3. - Introduction à la stabilité hydrostatique .....	78.

2.3.1.	-	Stabilité d'une interface .....	78.
2.3.2.	-	Stabilité d'un fluide compressible pesant : la fréquence de Brunt-Väisälä .....	79.
3.	-	<b>Les théorèmes généraux de la Mécanique des fluides</b> .....	80.
3.1.	-	Théorèmes généraux pour les fluides quelconques .....	80.
3.1.1.	-	Théorème des quantités de mouvement et théorème d'Euler .....	81.
3.1.2.	-	Théorème de l'énergie cinétique .....	82.
3.2.	-	Equation de Crocco et relations liées à cette équation .....	83.
3.2.1.	-	Equation de Crocco .....	83.
3.2.2.	-	Théorèmes de Bernoulli .....	83.
3.3.	-	Forme des théorèmes de Bernoulli dans les écoulements dissipatifs .....	86.
3.4.	-	Théorèmes relatifs à la rotation .....	86.
4.	-	<b>Introduction à l'analyse dimensionnelle et à la similitude</b> .....	88.
4.1.	-	Objet du formalisme .....	88.
4.2.	-	L'analyse dimensionnelle en Mécanique des fluides .....	89.
4.3.	-	Exemples de modélisation asymptotique .....	92.
4.3.1.	-	Approximation du mouvement lent d'un fluide compressible par un écoulement incompressible .....	92.
4.3.2.	-	L'approximation des eaux peu profondes .....	94.
4.3.3.	-	L'approximation de Boussinesq .....	95.
4.3.3.1.	-	Formalisme asymptotique .....	95.
4.3.3.2.	-	Signification physique de l'approximation de Boussinesq ...	97.
4.3.3.3.	-	Equations pratiques .....	97.
4.4.	-	Introduction à la théorie de la similitude .....	99.
4.4.1.	-	Le théorème de Vaschy-Buckingham .....	99.
4.4.2.	-	Diffusion de la rotation dans un fluide visqueux .....	101.
5.	-	<b>Quelques problèmes de base de la Mécanique des fluides visqueux</b> .....	102.
5.1.	-	Ecoulements stationnaires viscométriques .....	103.
5.1.1.	-	Ecoulements plans par droites parallèles .....	103.
5.1.2.	-	Ecoulement de révolution par droites parallèles .....	105.
5.2.	-	Mouvements instationnaires .....	106.
5.2.1.	-	Ecoulement par droites parallèles : solution fondamentale .....	106.
5.2.2.	-	Freinage d'un écoulement uniforme par une paroi au repos .....	107.
5.2.3.	-	Naissance d'un tourbillon dans un écoulement avec pesanteur .....	109.

*Deuxième partie : Aérodynamique compressible et incompressible*

<b>Chapitre 4 : Ecoulements de fluides parfaits compressibles</b> .....	111.
1. - <b>Formes pratiques des équations</b> .....	111.
1.1. - Equations générales .....	111.
1.2. - Ecoulements stationnaires .....	112.
1.3. - Ecoulements isentropiques irrotationnels .....	115.
2. - <b>Ecoulements plans stationnaires irrotationnels</b> .....	116.
2.1. - Ecoulement d'onde simple .....	116.
2.1.1. - Onde simple centrée .....	116.
2.1.2. - Détente de Prandtl-Meyer .....	118.
2.1.3. - Cas de l'écoulement dans un angle .....	120.
2.1.4. - Onde simple non centrée .....	121.
2.1.5. - Onde de dérangement .....	122.
2.2. - Onde de choc stationnaire .....	124.
2.2.1. - Formules générales, relation d'Hugoniot .....	124.
2.2.2. - Choc droit .....	125.
2.2.3. - Choc oblique. Problème du dièdre .....	129.
2.2.4. - Choc faible et onde de dérangement .....	132.

3.	-	<b>Écoulements quasi-unidimensionnels</b> .....	133.
3.1.	-	Théorie de l'approximation par tranches .....	134.
3.2.	-	Étude qualitative de la tuyère de Laval .....	135.
4.	-	<b>Compléments sur les écoulements de fluides parfaits</b> .....	137.
4.1.	-	Écoulements unidimensionnels .....	137.
4.1.1.	-	Equations des mouvements rectilignes instationnaires d'un gaz parfait .....	137.
4.1.2.	-	Onde simple (détente d'un piston) .....	138.
4.1.3.	-	Onde de choc .....	140.
4.2.	-	Notions sur les caractéristiques .....	141.
4.2.1.	-	Écoulements rectilignes instationnaires .....	141.
4.2.2.	-	Écoulements stationnaires plans .....	142.
4.2.3.	-	Apçu sur la méthode des caractéristiques en dynamique des gaz .....	143.
<b>Annexe du chapitre 4 : Géométrie de quelques courbes liées aux écoulements compressibles.....</b>			144.
A1.	-	Croissance et convexité de la fonction de Prandtl-Meyer .....	144.
A2.	-	Convexité de la polaire de choc .....	145.
A.2.1.	-	Étude de la fonction $\delta(\sigma)$ .....	145.
A.2.2.	-	Étude de la fonction $\delta(p)$ .....	146.

## Chapitre 5 : Éléments d'aérodynamique linéarisée .....

1.	-	<b>Fondements mathématiques de la linéarisation</b> .....	148.
1.1.	-	Formalisme de la linéarisation .....	148.
1.1.1.	-	Equations linéarisées .....	148.
1.1.2.	-	Conditions aux limites .....	149.
1.2.	-	Propriétés mathématiques .....	152.
1.2.1.	-	Théorème de superposition .....	152.
1.2.2.	-	Paramètres apparents et paramètres cachés .....	153.
1.2.3.	-	Validité d'une solution linéarisée .....	154.
1.3.	-	Ondes instationnaires dans les gaz au repos (acoustique) .....	155.
1.3.1.	-	Equations de l'acoustique .....	155.
1.3.2.	-	Ondes planes .....	157.
1.3.3.	-	Ondes sphériques .....	160.
2.	-	<b>Théorie linéarisée de l'aérodynamique stationnaire</b> .....	163.
2.1.	-	Equations et conditions aux limites .....	163.
2.1.1.	-	Hypothèses et équations : potentiel de perturbation .....	163.
2.1.2.	-	Écoulement autour d'une surface d'aile .....	164.
2.1.3.	-	Problème symétrique et problème antisymétrique .....	165.
2.1.4.	-	Efforts s'exerçant sur un profil plan .....	170.
2.2.	-	Écoulements plans supersoniques .....	171.
2.2.1.	-	Solution générale .....	171.
2.2.2.	-	Portance et traînée d'un profil en écoulement supersonique .....	175.
2.3.	-	Écoulements subsoniques : règle de similitude de Prandtl-Glauert .....	177.
2.4.	-	Écoulements plans linéarisés incompressibles .....	179.
2.4.1.	-	Développement en série de la solution .....	179.
2.4.2.	-	Problème symétrique .....	180.
2.4.3.	-	Problème antisymétrique .....	182.
2.4.4.	-	Cas général .....	183.
2.4.5.	-	Efforts s'exerçant sur un profil portant .....	184.
3.	-	<b>Conclusion : puissance et limites de la linéarisation</b> .....	185.

## Chapitre 6 : Méthodes de calcul en aérodynamique incompressible.....

1.	-	<b>Solutions élémentaires de l'équation de Laplace</b> .....	187.
1.1.	-	Singularités ponctuelles dans le plan .....	188.
1.1.1.	-	Rappels sur les écoulements plans à potentiel complexe .....	188.

1.1.2.	- Source, tourbillon et doublet .....	189.
1.2.	- Potentiel plan de simple couche .....	190.
1.2.1.	- Superposition de sources .....	190.
1.2.2.	- Distribution de sources superposées à un écoulement uniforme .....	193.
1.2.3.	- Superposition de tourbillons .....	194.
1.2.4.	- Singularité générale de simple couche .....	195.
1.3.	- Potentiel plan de double couche .....	196.
1.4.	- Ecoulements tridimensionnels non tourbillonnaires .....	197.
1.4.1.	- Source, puits et doublet .....	198.
1.4.2.	- Potentiels de simple couche et de double couche .....	199.
2.	- Compléments sur la théorie des écoulements linéarisés .....	201.
2.1.	- Eléments de la théorie des profils .....	201.
2.1.1.	- Schéma tourbillonnaire des profils portants .....	201.
2.1.2.	- Distribution de sources (théorie de l'habillage) .....	204.
2.1.3.	- Caractéristiques aérodynamiques d'un profil (portance) .....	206.
2.1.4.	- Foyer d'un profil (moment de tangage) .....	206.
2.2.	- Notions sur la théorie tridimensionnelle des ailes .....	207.
2.2.1.	- Principe de la surface portante .....	207.
2.2.2.	- Aperçu sur la théorie de la ligne portante .....	209.
3.	- Introduction à la méthode des singularités dans le plan .....	211.
3.1.	- Singularités composées de sources .....	211.
3.1.1.	- Théorie générale .....	211.
3.1.2.	- Ecoulement non portant autour d'un obstacle fermé .....	213.
3.2.	- Singularités composées de tourbillons .....	215.
3.2.1.	- Théorie générale .....	215.
3.2.2.	- Ecoulement autour d'un obstacle portant .....	216.
3.2.3.	- Cas des profils à pointe : réalisation de la condition de Joukowski ..	217.
3.3.	- Remarques générales sur la méthode des singularités .....	219.

*Troisième partie : Hydrodynamique et modélisation*

Chapitre 7 :	Les outils mathématiques de la modélisation .....	221.
1.	- Principes généraux .....	221.
1.1.	- Objet du chapitre .....	221.
1.2.	- Développements asymptotiques .....	222.
1.2.1.	- Ordres de grandeur : symboles $O$ et $o$ .....	222.
1.2.2.	- Séquences asymptotiques et fonctions de jauge .....	223.
1.3.	- Méthode des petites perturbations .....	225.
1.3.1.	- Développements formels .....	225.
1.3.2.	- Uniformité et non-uniformité d'un développement asymptotique .....	227.
1.4.	- Développements asymptotiques généralisés .....	229.
1.4.1.	- Définitions .....	229.
1.4.2.	- Objet des méthodes de perturbation singulière .....	230.
2.	- La méthode des développements asymptotiques raccordés .....	231.
2.1.	- Modèle mathématique : l'équation de Friedrichs $\varepsilon\phi'' + \phi' = a$ .....	231.
2.1.1.	- Développement extérieur et développement intérieur .....	231.
2.1.2.	- Raccordement .....	233.
2.1.3.	- Développement composite uniformément valable .....	234.
2.2.	- Questions posées par la méthode des développements raccordés .....	235.
2.2.1.	- Choix de la variable intérieure .....	236.
2.2.2.	- Critères de raccordement .....	238.
2.2.2.1.	- Critère de Van Dyke .....	238.
2.2.2.2.	- Critère de la variable intermédiaire .....	239.
2.2.2.3.	- Exemple d'application .....	240.
2.3.	- Problèmes mathématiques .....	242.

2.3.1.	- Construction d'un développement composite .....	242.
2.3.2.	- Validité et adéquation de la méthode .....	243.
2.3.3.	- La question des fonctions de jauge .....	243.
<b>3.</b>	<b>- La méthode des échelles multiples .....</b>	<b>244.</b>
3.1.	- Modèle mathématique : l'équation de Duffing .....	244.
3.2.	- Les différentes techniques d'échelles multiples .....	246.
3.2.1.	- Méthode des variables lentes successives .....	247.
3.2.1.1.	- Description de la méthode .....	247.
3.2.1.2.	- Exemple d'application : le cycle limite de l'oscillateur de Rayleigh .....	250.
3.2.2.	- Autres aspects de la méthode des échelles multiples .....	252.
3.2.2.1.	- Méthode des deux variables .....	252.
3.2.2.2.	- Méthode de la perturbation de fréquence .....	256.
<b>4.</b>	<b>- Remarques sur le rôle des perturbations singulières et sur l'analyse phénoménologique .....</b>	<b>257.</b>

## Chapitre 8 : Théorie asymptotique des écoulements visqueux ..... 259.

<b>1.</b>	<b>- Ecoulements à grand nombre de Reynolds .....</b>	<b>259.</b>
1.1.	- Les équations de Prandtl .....	260.
1.1.1.	- Validité de l'approximation de fluide parfait .....	260.
1.1.2.	- Ecoulement le long d'une plaque plane : les équations de Prandtl ....	261.
1.1.3.	- Conditions aux limites .....	263.
1.2.	- Conséquences des équations de la couche-limite .....	264.
1.2.1.	- Frottement du fluide sur la paroi .....	264.
1.2.2.	- Epaisseur de la couche-limite .....	266.
1.2.3.	- Nature mathématique des équations de la couche-limite .....	266.
1.3.	- Problème de la plaque plane .....	267.
1.3.1.	- Plaque plane sans gradient de pression .....	267.
1.3.2.	- Autres aspects du problème de la plaque plane .....	269.
1.4.	- Problème du jet visqueux laminaire .....	271.
<b>2.</b>	<b>- Ecoulements à faible nombre de Reynolds .....</b>	<b>272.</b>
2.1.	- Les équations de Stokes .....	272.
2.1.1.	- Justification heuristique .....	272.
2.1.2.	- Approximation de Stokes .....	273.
2.1.3.	- Exemple d'application : notions sur la théorie de la lubrification ....	275.
2.2.	- Efforts s'exerçant sur un obstacle en mouvement .....	276.
2.2.1.	- Théorème de réciprocité .....	276.
2.2.2.	- Efforts globaux .....	279.
2.3.	- Ecoulements stationnaires autour d'obstacles .....	280.
2.3.1.	- Ecoulement autour de la sphère .....	280.
2.3.2.	- Ecoulement autour du cercle : le paradoxe de Stokes .....	283.
2.3.3.	- Théorie d'Oseen .....	286.
2.3.3.1.	- Développement distal .....	286.
2.3.3.2.	- Raccordement dans l'écoulement autour du cercle .....	288.
2.3.4.	- Le paradoxe de Whitehead .....	290.
<b>3.</b>	<b>- Conclusion : développements asymptotiques raccordés et écoulements visqueux .....</b>	<b>290.</b>

## Chapitre 9 : Ondes hydrodynamiques ..... 292.

<b>1.</b>	<b>- Généralités sur les ondes .....</b>	<b>292.</b>
<b>2.</b>	<b>- Ondes de surface dans les liquides pesants .....</b>	<b>294.</b>
2.1.	- Equations du mouvement et conditions aux limites .....	294.
2.2.	- Théorie linéarisée .....	295.
2.3.	- Ondes de surface linéarisées bidimensionnelles .....	296.

2.3.1. - Solutions périodiques : houles et clapotis .....	296.
2.3.2. - Equation de dispersion .....	297.
2.3.3. - Résolution d'un problème aux valeurs initiales par transformation de Fourier .....	298.
<b>3. - Théorie non linéaire des eaux peu profondes .....</b>	<b>300.</b>
3.1. - Equations de Saint-Venant .....	300.
3.2. - Analogie aérodynamique .....	302.
3.3. - Applications de l'analogie à quelques problèmes pratiques .....	303.
3.3.1. - Onde simple .....	303.
3.3.2. - Franchissement du nombre de Froude critique .....	304.
3.3.3. - Onde de choc (ressaut hydraulique) .....	306.
3.3.4. - Ecoulements discontinus associés aux équations des eaux peu profondes .....	309.
3.4. - L'équation de Korteweg-De Vries .....	310.
3.4.1. - Ecriture de l'équation de Korteweg-De Vries .....	310.
3.4.2. - Onde solitaire et ondes cnôïdales .....	313.
<b>4. - Exemples d'ondes linéarisées unidimensionnelles dans les fluides com- pressibles .....</b>	<b>316.</b>
4.1. - Ondes internes dans les gaz pesants .....	316.
4.2. - Ondes longitudinales dans les tubes à section élastique .....	319.
4.2.1. - Hypothèses et équations .....	319.
4.2.2. - Ondes dans un tube à section lentement variable .....	321.
<b>5. - Notions sur la théorie des paquets d'ondes .....</b>	<b>325.</b>
<b>Chapitre 10 : Quelques aspects de l'instabilité hydrodynamique .....</b>	<b>329.</b>
<b>1. - Généralités sur la théorie de la stabilité .....</b>	<b>329.</b>
1.1. - Objet de l'étude .....	329.
1.2. - Principe général d'analyse mathématique .....	332.
1.2.1. - Stabilité linéaire .....	332.
1.2.2. - Stabilité non linéaire .....	334.
1.3. - Formulation pratique des problèmes de stabilité linéaire .....	334.
<b>2. - Stabilité linéaire des écoulements parallèles .....</b>	<b>335.</b>
2.1. - Mise en équation .....	336.
2.1.1. - Ecoulements parallèles .....	336.
2.1.2. - Analyse en modes normaux .....	336.
2.1.3. - Théorème de Squire .....	339.
2.2. - Ecoulements avec viscosité .....	341.
2.2.1. - Equation d'Orr-Sommerfeld .....	341.
2.2.2. - Solution approchée pour les faibles nombres de Reynolds .....	342.
2.2.2.1. Ecoulement en domaine non borné .....	343.
2.2.2.2. Ecoulement en domaine confiné .....	344.
2.3. - Ecoulements non dissipatifs : le théorème de Rayleigh .....	346.
<b>3. - Instabilité thermique .....</b>	<b>348.</b>
3.1. - Instabilité linéaire convective d'une couche liquide horizontale .....	348.
3.1.1. - Equations du problème de Rayleigh-Bénard .....	348.
3.1.2. - Conditions aux limites .....	350.
3.2. - Résolution du problème de Bénard .....	352.
3.2.1. - Analyse en modes normaux .....	352.
3.2.2. - Solution du problème de Bénard dans le cas de deux surfaces libres ..	355.
3.3. - Instabilité double diffusive .....	356.
4.1.1. - Equations de la convection thermohaline .....	356.
4.1.2. - Instabilité stationnaire et instabilité oscillatoire .....	357.
<b>4. - Introduction à l'instabilité non linéaire .....</b>	<b>359.</b>
4.1. - Instabilité faiblement non linéaire (équation d'amplitude) .....	359.
4.2. - Introduction à la bifurcation .....	362.
4.2.1. - Equation de Landau .....	362.

4.2.1.1.	Hypothèses et notations .....	362.
4.2.1.2.	Equation de Landau .....	363.
4.2.2.	- Systèmes supercritiques stables et systèmes subcritiques instables ..	365.
4.2.3.	- Compléments sur l'équation de Landau .....	366.
4.3.	- Quelques questions sur l'instabilité .....	367.
<b>Chapitre 11 : Fondements mécaniques de la turbulence .....</b>		<b>369.</b>
1.	- <b>Principes généraux .....</b>	<b>369.</b>
1.1.	- Le phénomène turbulent .....	369.
1.2.	- L'approche turbulente .....	370.
1.2.1.	- Décomposition de Reynolds : valeurs moyennes et fluctuations .....	371.
1.2.2.	- Equations de Reynolds .....	373.
1.3.	- Le problème de la fermeture .....	374.
1.3.1.	- Equation d'évolution des corrélations .....	374.
1.3.2.	- Notion de viscosité turbulente .....	375.
2.	- <b>Exemples d'écoulements plans cisailés .....</b>	<b>377.</b>
2.1.	- Analyse dimensionnelle et équations réduites .....	377.
2.2.	- Couches de cisaillement libres .....	380.
2.2.1.	- Jet plan .....	380.
2.2.2.	- Couche de mélange .....	383.
2.3.	- Couche-limite turbulente .....	386.
2.3.1.	- Structure de la couche-limite turbulente .....	386.
2.3.1.1.	- Couche logarithmique et sous-couche visqueuse .....	386.
2.3.1.2.	- Raccordement asymptotique .....	388.
2.3.2.	- La longueur de mélange de Prandtl .....	389.
2.3.3.	- Modèle réaliste pour la turbulence de paroi .....	390.
3.	- <b>Modélisation de la turbulence isotrope .....</b>	<b>391.</b>
3.1.	- L'hypothèse d'isotropie et ses conséquences .....	392.
3.1.1.	- Principes gouvernant la recherche d'une fermeture .....	392.
3.1.2.	- Equation d'évolution pour l'énergie cinétique turbulente .....	393.
3.2.	- Quelques fermetures classiques .....	394.
3.2.1.	- Fermeture de Prandtl-Kolmogorov .....	394.
3.2.2.	- Le schéma $k-\epsilon$ .....	395.
3.3.	- Conséquences de l'hypothèse de grand nombre de Reynolds .....	396.
3.3.1.	- Les différentes échelles de la turbulence .....	396.
3.3.1.1.	- La micro-échelle de Taylor .....	396.
3.3.1.2.	- L'échelle de Kolmogorov .....	397.
3.3.2.	- Le mécanisme de cascade .....	398.
4.	- <b>Perspectives et limites de l'approche mécanique en turbulence .....</b>	<b>399.</b>
<b>Tables numériques pour les écoulements compressibles .....</b>		<b>401.</b>
<b>Orientation bibliographique .....</b>		<b>408.</b>
<b>Index .....</b>		<b>412.</b>

Construit à partir d'un cours de Mécanique des fluides donné par l'auteur à l'Université de Lille, ce livre a d'abord été écrit pour les étudiants de Maîtrise de Mécanique ou de Maîtrise de Mathématiques, option Mécanique, pour lesquels il peut constituer un manuel d'accompagnement pédagogique. L'ambition du livre se porte toutefois plus loin, et une large part est réservée aux domaines que l'on aborde dans des cours plus approfondis (D.E.A., D.E.S.S. ou initiation à la recherche). Enfin, ce livre peut compléter sur un plan plus théorique la formation de base dispensée dans les écoles d'ingénieurs.

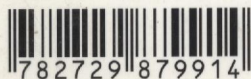
S'adressant à un public qui a déjà reçu un premier contact avec la discipline, l'ouvrage est composé de trois parties : une première partie remet tout d'abord en place quelques notions rhéologiques fondamentales rarement examinées en Mécanique des fluides. Une deuxième partie, plus appliquée, concerne l'aérodynamique pratique avec des applications aéronautiques. On montre dans la troisième partie comment l'utilisation de la modélisation asymptotique permet de poser les problèmes actuels de la Mécanique théorique des fluides dans les domaines des fluides visqueux, des ondes, de la stabilité et de la turbulence.

*Pierre-Antoine Bois est Professeur à l'Université de Lille I et chercheur au Laboratoire de Mécanique de Lille (unité associée au C.N.R.S.). Il est l'auteur de travaux concernant la modélisation asymptotique en Mécanique des fluides avec des applications à la dynamique des fluides*

Illustration de couverture :

Visualisation, par tomoscopie laser, de la formation d'un tourbillon secondaire en épingle à cheveux par le passage d'un tourbillon torique voisinage d'une couche de Stokes. Le tourbillon torique se déplace de droite à gauche. La figure montre trois états successifs, présentés chronologiquement de bas en haut afin de suivre le sens de développement du phénomène.

*Document publié avec l'autorisation de M. Stanislas, Laboratoire de Mécanique de Lille.*



9 782729 879914

ISBN 2-7298-7991-9

U  
N  
I  
V  
E  
R

ÉTUDIANT EN ALGÈRE PRIX ÉTUDIANT EN ALGÈRE

015 2-7298-7991-9

50%

ELLIPSES FR

L  
È  
S