

Gestion des risques et institutions financières

John Hull

Christophe
Godlewski

Maxime
Merli

2^e édition



PEARSON

Table des matières

Préface	1
----------------------	---

Chapitre 1

Introduction	5
---------------------------	---

1.1 La rentabilité et le risque	6
---------------------------------------	---

<i>Mesurer le risque</i>	7
--------------------------------	---

<i>Opportunités d'investissement</i>	7
--	---

1.2 La frontière efficiente	9
-----------------------------------	---

1.3 Le modèle d'équilibre des actifs financiers (MEDAF)	11
--	----

<i>Hypothèses</i>	13
-------------------------	----

<i>Alpha</i>	14
--------------------	----

1.4 L'approche multifactorielle (Arbitrage Pricing Theory ou APT)	16
--	----

1.5 Risque et rentabilité des entreprises	16
---	----

<i>Les coûts de faillite</i>	17
------------------------------------	----

1.6 Management des risques dans les institutions financières	18
---	----

<i>Comment les risques sont-ils gérés ?</i>	19
---	----

Références complémentaires	20
----------------------------------	----

Problèmes et exercices	21
------------------------------	----

Questions complémentaires	22
---------------------------------	----

Chapitre 2

Les banques	23
--------------------------	----

2.1 La banque commerciale	24
---------------------------------	----

2.2 Les fonds propres d'une petite banque commerciale	26
--	----

<i>Le capital requis</i>	27
--------------------------------	----

2.3 L'assurance des dépôts	28
----------------------------------	----

2.4 La banque d'investissement	29
--------------------------------------	----

<i>Les introductions en Bourse</i>	31
--	----

<i>L'approche des enchères hollandaises</i>	31
---	----

<i>Les services de conseil</i>	32
--------------------------------------	----

2.5 Les transactions sur titres	34
---------------------------------------	----

2.6 Les conflits d'intérêt potentiels dans la banque	35
---	----

2.7 Les grandes banques d'aujourd'hui	36
---	----

<i>La comptabilité</i>	37
------------------------------	----

<i>Le modèle originate-to-distribute</i>	38
--	----

2.8 Les risques bancaires	39
---------------------------------	----

Résumé	40
--------------	----

Références complémentaires	41
----------------------------------	----

Problèmes et exercices	41
------------------------------	----

Questions complémentaires	42
---------------------------------	----

Chapitre 3

Les compagnies d'assurance

et les fonds de pension	43
--------------------------------------	----

3.1 Assurance vie	43
-------------------------	----

<i>Assurance vie à échéance</i>	44
---------------------------------------	----

<i>Assurance vie complète</i>	44
-------------------------------------	----

<i>Assurance vie variable</i>	46
-------------------------------------	----

<i>Assurance vie universelle</i>	46
--	----

<i>Assurance vie variable universelle</i>	46
---	----

<i>Assurance vie à capital différé</i>	46
--	----

<i>Assurance vie de groupe</i>	46
--------------------------------------	----

3.2 Contrats à rentes	47
-----------------------------	----

<i>Contrats à rentes variables</i>	47
--	----

3.3 Tables de mortalité	49
-------------------------------	----

3.4 Risques de longévité et de mortalité	51
---	----

	<i>Dérivés de longévité</i>	52
3.5	Assurance des biens et des personnes...	52
	<i>Obligations catastrophiques</i>	53
	<i>Les ratios des assureurs non-vie</i>	54
3.6	Assurance santé	55
3.7	Aléa moral et anti-sélection.....	56
	<i>Aléa moral</i>	56
	<i>Anti-sélection</i>	56
3.8	Réassurance.....	57
3.9	Capital requis.....	57
	<i>Compagnies d'assurance vie</i>	57
	<i>Compagnies d'assurance non-vie</i>	58
3.10	Risques des compagnies d'assurance....	58
3.11	Régulation	59
	<i>Aux États-Unis</i>	59
	<i>En Europe</i>	60
3.12	Plans de retraite	60
	<i>Les plans à prestation définie sont-ils viables ?</i>	62
	Résumé	63
	Références complémentaires	64
	Problèmes et exercices	64
	Questions complémentaires	66

Chapitre 4

	Fonds mutuels et fonds spéculatifs	67
4.1	Les fonds mutuels	67
	<i>Les fonds indiciels</i>	69
	<i>Les coûts</i>	69
	<i>Les fonds fermés</i>	71
	<i>Les fonds indiciels cotés ou ETF (Exchange Traded Funds)</i>	71
	<i>La rentabilité des fonds mutuels</i>	72
	<i>Régulation des fonds mutuels et scandales</i>	74
4.2	Les hedge funds.....	75
	<i>Les frais</i>	76
	<i>Incitations des managers de fonds spéculatifs</i>	77
	<i>Les prime brokers</i>	78
4.3	Les stratégies des fonds spéculatifs.....	79

	Long/short equity (<i>achat/vente</i>)	79
	Dedicated short (<i>vente à découvert</i>).....	80
	Distressed securities (<i>entreprises en difficulté</i>)	80
	Merger arbitrage (<i>arbitrage de fusions-acquisitions</i>)	81
	Convertible arbitrage (<i>arbitrage de convertibles</i>)	81
	Fixed income arbitrage (<i>arbitrage d'obligations à taux fixe</i>)	82
	Emerging market (<i>marché émergent</i>)....	82
	Global macro	83
	Managed futures.....	83
4.4	La performance des fonds spéculatifs ...	83
	<i>Résumé</i>	85
	Références complémentaires	86
	Problèmes et exercices	86
	Questions complémentaires	87

Chapitre 5

	Les instruments financiers	89
5.1	Les marchés	89
	<i>Les marchés organisés</i>	89
	<i>Les marchés de gré à gré</i>	90
	<i>Risque de contrepartie</i>	90
5.2	Positions courtes et longues sur le marché.....	90
	<i>Les ventes à découvert</i>	91
5.3	Les marchés d'actifs dérivés	92
5.4	Les dérivés <i>plain vanilla</i>	93
	<i>Les contrats forward</i>	93
	<i>Les contrats futures</i>	94
	<i>Les swaps</i>	97
	<i>Les options</i>	100
	<i>Les options de taux</i>	103
5.5	Les marges	103
	<i>Les achats sur marge</i>	104
	<i>Marges sur ventes à découvert</i>	104
	<i>Marges sur contrats futures</i>	105
	<i>Marges sur positions en options</i>	105
	<i>Marges sur le marché OTC</i>	106

5.6	Les dérivés non traditionnels	107
	<i>Les dérivés climatiques</i>	107
	<i>Les dérivés sur le pétrole</i>	108
	<i>Le gaz naturel</i>	109
	<i>Les dérivés sur électricité</i>	109
5.7	Les options exotiques et les produits structurés	110
5.8	Le challenge de la gestion des risques ...	112
	Résumé	113
	Références complémentaires	114
	Problèmes et exercices	114
	Questions complémentaires	117

Chapitre 6

Comment les traders gèrent-ils le risque?

6.1	Le delta	119
	<i>Les produits linéaires</i>	120
	<i>Les produits non linéaires</i>	122
	<i>D'où viennent les coûts?</i>	126
	<i>Les coûts de transaction</i>	126
6.2	Le gamma	126
	<i>Créer un portefeuille gamma-neutre</i>	127
6.3	Le vega	128
6.4	Le thêta	130
6.5	Le rho	131
6.6	Le calcul des « grecques »	131
6.7	Le développement en série de Taylor	132
6.8	La réalité de la couverture	133
6.9	Couvrir les produits exotiques	134
6.10	L'analyse de scénarios	136
	Résumé	136
	Références complémentaires	137
	Problèmes et exercices	137
	Questions complémentaires	138

Chapitre 7

Le risque de taux d'intérêt

7.1	La marge nette d'intérêts	141
7.2	Libor et taux de swap	143

<i>Le taux sans risque</i>	144
----------------------------------	-----

7.3	La duration	145
	<i>La duration modifiée</i>	147
	<i>Dollar duration</i>	148
7.4	La convexité	148
	<i>Convexité dollar</i>	150
7.5	Généralisation	150
	<i>Immunisation de portefeuille</i>	151
7.6	Mouvements plus complexes de la gamme des taux	152
7.7	Le delta des positions de taux en pratique	154
	<i>Le calcul des deltas pour la couverture</i>	155
7.8	Analyse en composantes principales (ACP)	156
	<i>Utilisation de l'ACP dans le calcul des deltas</i>	159
7.9	Gamma et vega	159
	Résumé	160
	Références complémentaires	161
	Problèmes et exercices	161
	Questions complémentaires	162

Chapitre 8

La Value at Risk

8.1	Définition de la VaR	163
8.2	Exemples de calcul de la VaR	165
8.3	VaR et expected shortfall	166
	<i>Expected shortfall</i>	167
8.4	VaR et fonds propres	168
8.5	Mesures cohérentes du risque	169
8.6	Choix des paramètres de la VaR	171
	<i>L'horizon temporel</i>	172
	<i>Influence de l'autocorrélation</i>	172
	<i>Seuil de confiance</i>	173
8.7	VaR marginale, incrémentale et partielle ..	174
8.8	Back testing (tests ex post)	175
	<i>La concentration (bunching)</i>	178
	Résumé	178
	Références complémentaires	179

Problèmes et exercices	179
Questions complémentaires	180
Chapitre 9	
La volatilité	183
9.1 Définition de la volatilité	183
<i>Le taux de variance</i>	<i>184</i>
<i>Jours ouvrés et jours calendaires.....</i>	<i>184</i>
9.2 La volatilité implicite	185
<i>L'indice VIX.....</i>	<i>186</i>
9.3 Estimation de la volatilité à partir de données historiques	187
9.4 Les pourcentages quotidiens de variation des variables financières sont-ils normalement distribués?	189
<i>Une alternative aux distributions normales : la loi puissance.....</i>	<i>191</i>
9.5 Estimation de la volatilité journalière	193
<i>Schémas de pondération</i>	<i>194</i>
9.6 Le modèle de moyenne mobile à pondération exponentielle.....	194
9.7 Le modèle GARCH(1,1)	196
<i>Les pondérations</i>	<i>197</i>
9.8 Choisir entre les modèles.....	198
9.9 Les méthodes du maximum de vraisemblance.....	198
<i>L'estimation d'une variance constante.....</i>	<i>199</i>
<i>L'estimation des paramètres d'un GARCH(1,1)</i>	<i>200</i>
<i>Quelle est la qualité du modèle?.....</i>	<i>202</i>
9.11 La prévision de la volatilité future par le modèle GARCH(1,1)	204
<i>Les structures par termes des volatilités....</i>	<i>205</i>
<i>L'impact des changements de volatilité....</i>	<i>206</i>
Résumé	207
Références complémentaires	208
<i>Sur les causes de la volatilité</i>	<i>208</i>
<i>Sur les modèles GARCH.....</i>	<i>208</i>
Problèmes et exercices	209
Questions complémentaires	210

Chapitre 10

Corrélations et copules	213
10.1 Définition de la corrélation	213
<i>Corrélation versus dépendance</i>	<i>214</i>
10.2 Gérer la corrélation	215
<i>Utilisation d'un modèle EWMA</i>	<i>216</i>
<i>Utilisation d'un modèle GARCH</i>	<i>217</i>
<i>La condition de cohérence pour les covariances</i>	<i>217</i>
10.3 Les distributions normales multivariées. .	218
<i>Construction d'échantillons aléatoires à partir de distributions normales</i>	<i>219</i>
<i>Les modèles factoriels</i>	<i>220</i>
10.4 Les copules.....	220
<i>Expression algébrique de cette approche ..</i>	<i>224</i>
<i>D'autres copules.....</i>	<i>224</i>
<i>Copules multivariées.....</i>	<i>226</i>
10.5 Application aux portefeuilles de prêts ...	227
Résumé	229
Références complémentaires	229
Problèmes et exercices	229
Questions complémentaires	231

Chapitre 11

Réglementation, Bâle II et Solvabilité II	233
11.1 Motivations de la réglementation des banques	233
11.2 Régulation bancaire avant 1988.....	234
11.3 L'Accord de la BRI 1988	235
<i>Le ratio Cooke.....</i>	<i>235</i>
<i>Capital requis</i>	<i>238</i>
11.4 Les recommandations du G30	238
11.5 La compensation (<i>netting</i>).....	239
11.6 L'Amendement de 1996	241
<i>VaR à un jour et VaR à dix jours.....</i>	<i>242</i>
<i>Back testing (tests ex post)</i>	<i>243</i>
11.7 Bâle II	243
11.8 Fonds propres et risque de crédit selon Bâle II	244
<i>L'approche standard</i>	<i>245</i>

<i>Prise en compte des sûretés</i>	246
<i>L'approche IRB</i>	247
<i>Les expositions entreprises, souveraines et bancaires</i>	249
<i>Les expositions clientèle de détail</i>	251
<i>Garanties et dérivés de crédit</i>	252
11.9 Risque opérationnel et Bâle II	252
11.10 Pilier 2 : surveillance prudentielle	253
11.11 Pilier 3 : discipline de marché	254
11.12 Révisions de Bâle II	254
11.13 Solvabilité II	256
Résumé	257
Références complémentaires	258
Problèmes et exercices	258
Questions complémentaires	260

Chapitre 12

VaR de marché : estimation par la simulation historique	261
12.1 Méthodologie	261
<i>Illustration</i>	262
12.2 Précision de l'estimation	265
12.3 Développements possibles	267
<i>Pondération des observations</i>	267
<i>Structure de la volatilité</i>	268
<i>Méthode du bootstrap</i>	270
12.4 Théorie des valeurs extrêmes	270
<i>Résultat principal</i>	270
<i>Estimation de ξ et β</i>	271
<i>Estimation de la queue de distribution</i>	271
<i>Équivalence avec la loi puissance</i>	272
<i>La queue gauche de la distribution</i>	272
<i>Calcul de la VaR et de l'expected shortfall</i> ..	272
12.5 Application	273
<i>Choix de u</i>	275
Résumé	275
Références complémentaires	276
Problèmes et exercices	276
Questions complémentaires	277

Chapitre 13

VaR de marché : estimation par l'approche variance-covariance	279
13.1 Méthodologie de base	279
<i>Le cas de deux actifs</i>	280
<i>Les bénéfices de la diversification</i>	281
13.2 Généralisation	281
13.3 Matrices de corrélation et de covariance	282
<i>Exemple avec quatre actifs</i>	284
<i>Utilisation de l'EWMA</i>	285
13.4 Le cas des instruments de taux	286
<i>Illustration d'ajustement des flux (cash-flow mapping)</i>	286
<i>Analyse en composantes principales</i>	288
13.5 Applications du modèle linéaire	288
13.6 Modèle linéaire et options	289
<i>Faiblesses du modèle</i>	290
13.7 Le modèle quadratique	292
<i>Développement de Cornish-Fisher</i>	293
13.8 La simulation de Monte-Carlo	294
13.9 Les distributions non normales	295
13.10 Avantages et inconvénients des approches de variance-covariance et de simulation historique	296
Résumé	296
Références complémentaires	297
Problèmes et exercices	297
Questions complémentaires	299

Chapitre 14

Risque de crédit : évaluation des probabilités de défaut	301
14.1 La notation du risque de crédit	301
<i>Notation interne</i>	302
<i>Le Z-score d'Altman</i>	302
14.2 Probabilités de défaut historique	303
<i>L'intensité de défaut</i>	304
14.3 Les taux de recouvrement	305
14.4 Les swaps de défaut	306
<i>L'obligation la moins chère à livrer</i>	309

Les indices de crédit.....	309
14.5 Les spreads de crédit.....	310
<i>Spreads CDS et taux actuariel</i>	
<i>des obligations.....</i>	310
<i>Le taux sans risque.....</i>	311
<i>Les swaps d'actifs (asset swaps).....</i>	311
<i>La CDS-Bond Basis (ou base CDS-</i>	
<i>Obligation).....</i>	312
14.6 L'estimation des probabilités de défaut	
à partir des spreads de crédit.....	312
<i>Un calcul approximatif.....</i>	312
<i>Un calcul plus précis.....</i>	313
14.7 Comparaison des estimations	
de probabilités de défaut.....	314
<i>Univers risque-neutre versus univers réel ..</i>	316
<i>Quelle estimation faut-il utiliser?.....</i>	318
14.8 Prix des actions et probabilités de défaut	318
<i>La distance au défaut.....</i>	319
<i>Extensions du modèle de base.....</i>	320
<i>Performance du modèle.....</i>	320
Résumé.....	321
Références complémentaires.....	321
Problèmes et exercices.....	322
Questions complémentaires.....	324

Chapitre 15

Pertes et VaR de crédit.....

15.1 Estimation des pertes de crédit.....	325
<i>Transactions sur actifs dérivés.....</i>	325
<i>Ajustement au risque de défaut</i>	
<i>dans l'évaluation des actifs dérivés.....</i>	326
<i>Swaps de taux et de devises.....</i>	329
<i>Risque de défaut bilatéral.....</i>	330
15.2 La réduction du risque de crédit.....	331
<i>La compensation (netting).....</i>	331
<i>Le nantissement.....</i>	332
<i>Clause en cas de dégradation.....</i>	332
15.3 VaR de crédit.....	334
15.4 Les modèles de Vasicek et de Merton.....	334
15.5 Credit Risk Plus.....	335
15.6 CreditMetrics.....	337

<i>Le modèle de corrélation de CreditMetrics</i>	338
<i>Variation du spread.....</i>	339
<i>Horizon temporel.....</i>	340

Résumé.....	341
Références complémentaires.....	341
Problèmes et exercices.....	342
Questions complémentaires.....	343

Chapitre 16

ABS, CDO et crise financière de 2007

16.1 Le marché immobilier américain.....	345
<i>L'assouplissement des critères</i>	
<i>dans l'attribution des prêts.....</i>	346
<i>L'éclatement de la bulle.....</i>	347
16.2 La titrisation.....	348
<i>ABS (Asset-Backed Securities).....</i>	349
<i>ABS CDO.....</i>	351
<i>ABS et ABS CDO en pratique.....</i>	352
16.3 Les erreurs d'évaluation.....	353
16.4 Éviter les crises futures.....	354
<i>Coûts d'agence : originateurs</i>	
<i>et investisseurs.....</i>	355
<i>Coûts d'agence : institutions financières</i>	
<i>et employés.....</i>	356
<i>Transparence.....</i>	356
<i>Le besoin de modèles.....</i>	357
<i>Comment les modèles sont-ils utilisés?.....</i>	358
16.5 Les CDO synthétiques.....	358
<i>Portefeuilles standard et trading</i>	
<i>de tranche.....</i>	359
<i>Le rôle des corrélations.....</i>	361

Résumé.....	361
Références complémentaires.....	362
Problèmes et exercices.....	363
Questions complémentaires.....	363

Chapitre 17

Analyse de scénario et stress test.....

17.1 Générer des scénarios.....	365
<i>Stress test de variables individuelles.....</i>	366
<i>Scénarios sur plusieurs variables.....</i>	366

Scénarios générés par les dirigeants	367
Scénarios complets	368
Stress test inversé	369
17.2 Régulation	370
Les problèmes majeurs des régulateurs	372
17.3 Comment exploiter les résultats ?	374
Intégration des stress tests et des calculs de VaR	374
Probabilités subjectives et objectives	375
Résumé	376
Références complémentaires	377
Problèmes et exercices	377
Questions complémentaires	378

Chapitre 18

Risque opérationnel	379
18.1 Qu'est-ce que le risque opérationnel? ...	380
18.2 Détermination du capital réglementaire .	381
18.3 Catégories de risque opérationnel	383
18.4 Sévérité et fréquence des pertes	384
Données	385
Analyse de scénarios	386
18.5 Approches prospectives (forward looking)	387
Liens de causalité	388
RCSA et KRI	389
18.6 Allocation des fonds propres pour le risque opérationnel	389
Approche par tableau de bord (scorecard)	389
18.7 Utilisation de la loi puissance	390
18.8 Assurance	391
Aléa moral	391
Anti-sélection	392
18.9 Loi Sarbanes-Oxley	392
Résumé	393
Références complémentaires	394
Problèmes et exercices	395
Questions complémentaires	395

Chapitre 19

Risque de liquidité	397
19.1 Le risque de liquidité de trading	397
Le rôle de la transparence	399
Mesure de liquidité	400
VaR ajustée à la liquidité	401
Le débouclage optimal d'une position	402
19.2 Le risque de liquidité de financement ...	403
Les sources de liquidité	405
Les actifs liquides	405
Les dépôts et les emprunts	406
La titrisation	406
Les emprunts auprès de la banque centrale	406
La couverture	407
Les réserves obligatoires	408
Les principes réglementaires	409
19.3 Les trous noirs de liquidité	410
Les traders « contrarian » et « momentum »	411
Augmentation et baisse du levier	413
Impact de la régulation	414
Exubérance irrationnelle	414
Importance de la diversité	415
Résumé	416
Références complémentaires	417
Problèmes et exercices	417
Questions complémentaires	418

Chapitre 20

Risque de modèle	419
20.1 Évaluation par le marché (marking-to-market)	419
La comptabilité	420
20.2 Modèles pour produits linéaires	421
20.3 Physique vs. finance	423
20.4 Comment les modèles sont utilisés pour évaluer des produits standard	423
Le modèle Black-Scholes-Merton	424
Smiles de volatilité	425
Surfaces de volatilité	427
Variation dans le temps	428

<i>Pourquoi le modèle Black-Scholes-Merton est-il si populaire ?</i>	428
<i>Autres modèles</i>	429
<i>Modèles officiels vs. modèles de recherche</i>	429
20.5 Couverture	430
20.6 Modèles pour produits non standard	430
<i>Groupes d'audit des modèles</i>	431
20.7 Dangers de la modélisation	431
20.8 Détection des problèmes	432
Résumé	433
Références complémentaires	433
Problèmes et exercices	434
Questions complémentaires	434

Chapitre 21

Le capital économique et le RAROC	437
21.1 Définition du capital économique	437
<i>Les mesures</i>	438
21.2 Les composantes du capital économique	439
<i>Capital économique et risque de marché</i> ..	439
<i>Capital économique et risque de crédit</i>	441
<i>Capital économique et risque opérationnel</i>	441
<i>Capital économique et risque d'exploitation</i>	441
21.3 Les formes des distributions des pertes ..	442
21.4 Importance relative des risques	443
<i>Les interactions entre les risques</i>	444
21.5 Agrégation du capital économique	445
<i>L'hypothèse de distribution normale</i>	445
<i>L'utilisation des copules</i>	446
<i>L'approche hybride</i>	446
21.6 Allocation du capital économique	448
21.7 Le capital économique de la Deutsche Bank	449
21.8 Le RAROC	450
Résumé	451
Références complémentaires	452
Problèmes et exercices	452
Questions complémentaires	453

Chapitre 22

Les erreurs de gestion à éviter	455
22.1 Les limites de risque	455
<i>Une situation délicate</i>	457
<i>Ne considérez pas que vous pouvez prévoir l'évolution du marché</i>	457
<i>Ne sous-estimez pas les gains de diversification</i>	458
<i>Effectuez des analyses de scénarios et des simulations de crise</i>	458
22.2 Gérer la salle des marchés	459
<i>Séparez le front, le middle et le back office</i> .	459
<i>Évitez la confiance aveugle dans les modèles</i>	459
<i>Soyez conservateur dans la constatation des profits initiaux</i>	459
<i>Ne vendez pas à vos clients des produits inadaptés</i>	460
<i>Que se cache-t-il derrière les profits faciles ?</i>	460
22.3 Le risque de liquidité	461
<i>Méfiez-vous lorsque tout le monde adopte la même stratégie</i>	462
<i>Ne financez pas des actifs de long terme avec des passifs de court terme</i>	462
<i>Ne négligez pas l'importance de la transparence du marché</i>	463
22.4 Leçons pour les entreprises non financières	463
<i>Assurez-vous que vous comprenez parfaitement l'échange que vous réalisez</i> ..	463
<i>Soyez sûr qu'un opérateur en couverture ne devienne pas un spéculateur</i>	464
<i>N'oubliez pas que le département Trésorerie n'est pas un centre de profits</i>	464
Résumé	465
Références complémentaires	465

Annexe A

Fréquence de composition des taux d'intérêt	467
La composition continue des intérêts	468

Annexe B

Taux zéro-coupon, taux <i>forward</i> et gamme des taux	471
Le prix des obligations	472
Le taux actuariel d'une obligation	473
Les taux d'État	473
La détermination des taux zéro-coupon sans risque	473
Taux swap/Libor	474

Annexe C

Évaluation des contrats futures et <i>forward</i>	475
--	-----

Annexe D

Évaluation des swaps	477
Les swaps de devises	478

Annexe E

Évaluation des options européennes	479
--	-----

Annexe F

Évaluation des options américaines	481
---	-----

Annexe G

Développement en série de Taylor	483
Fonctions à deux variables	484

Annexe H

Vecteurs et valeurs propres	485
--	-----

Annexe I

Analyse en composantes principales	487
--	-----

Annexe J

Manipulation des matrices de transition de notations	489
---	-----

Réponses aux questions

et aux problèmes	491
Chapitre 1	491
Chapitre 2	492
Chapitre 3	494
Chapitre 4	496
Chapitre 5	497
Chapitre 6	500
Chapitre 7	502
Chapitre 8	503
Chapitre 9	504
Chapitre 10	506
Chapitre 11	508
Chapitre 12	510
Chapitre 13	511
Chapitre 14	513
Chapitre 15	516
Chapitre 16	517
Chapitre 17	518
Chapitre 18	519
Chapitre 19	520
Chapitre 20	521
Chapitre 21	523

Glossaire français-anglais	525
---	-----

Table pour $N(x)$ lorsque $x \leq 0$	549
---	-----

Table pour $N(x)$ lorsque $x \geq 0$	551
---	-----

Index	553
--------------------	-----