

# Table des matières

<b>Préface</b>	<b>vii</b>
<b>Remerciements</b>	<b>ix</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>xi</b>
<b>1 Démarche de base en séries temporelles</b>	<b>1</b>
1.1 Exemples de séries temporelles . . . . .	1
1.2 Graphiques pour les séries temporelles . . . . .	10
1.2.1 Chronogramme . . . . .	10
1.2.2 Lag plot . . . . .	10
1.2.3 Month plot . . . . .	14
1.3 Tendance, saisonnalité, résidus . . . . .	16
1.4 Etapes et objectifs de l'analyse d'une série temporelle . . . . .	17
1.5 Opérateur retard . . . . .	19
<b>2 R pour les séries temporelles</b>	<b>21</b>
2.1 Dates et heures . . . . .	22
2.1.1 Considérations générales . . . . .	22
2.1.2 Dates et heures en R . . . . .	23
2.2 Les structures de séries temporelles dans R . . . . .	28
2.2.1 La fonction <code>ts()</code> . . . . .	28
2.2.2 Récupération de données boursières et séries de classe <code>its</code> .	32
2.3 Série de classe <code>ts</code> : retard, différence, union, intersection, sous-série	33
2.4 Traitement des manquants . . . . .	34
<b>3 Régression linéaire par la méthode des moindres carrés</b>	<b>39</b>
3.1 Principe de la régression linéaire . . . . .	39
3.2 Significativité de la régression . . . . .	42
3.3 Comparaison de modèles et critères d'information . . . . .	44
3.4 Intervalle de confiance (IC) . . . . .	45
3.5 Prédiction . . . . .	45
3.6 Exemple : consommation d'électricité . . . . .	47

<b>4</b>	<b>Modèles de base en séries temporelles</b>	<b>59</b>
4.1	Stationnarité . . . . .	59
4.1.1	Fonction d'autocorrélation d'une série stationnaire . . . . .	60
4.1.2	Bruit blanc . . . . .	62
4.2	Série linéaire . . . . .	66
4.3	Fonctions d'autocorrélation . . . . .	71
4.3.1	Fonction d'autocorrélation d'un AR . . . . .	71
4.3.2	Fonction d'autocorrélation d'un MA . . . . .	72
4.4	Prévision . . . . .	75
4.4.1	Principe . . . . .	75
4.4.2	Fonction d'autocorrélation partielle . . . . .	76
4.4.3	Prévision d'un modèle autorégressif . . . . .	78
4.4.4	Prévision d'un MA( $q$ ) . . . . .	79
4.5	Estimation . . . . .	80
4.5.1	Exemples . . . . .	82
4.5.2	Modèle ARMA saisonnier (modèle SARMA) . . . . .	85
4.5.3	Modèle ARMAX . . . . .	88
4.6	Construction d'un ARMA ou d'un SARMA . . . . .	92
4.6.1	Identification d'un ARMA . . . . .	92
4.6.2	La méthode MINIC . . . . .	95
4.7	Exercices . . . . .	96
<b>5</b>	<b>Séries temporelles non stationnaires</b>	<b>99</b>
5.1	Séries intégrées – Modèles ARIMA et SARIMA . . . . .	100
5.2	Construction d'un modèle SARIMA . . . . .	105
5.3	Non-stationnarité stochastique ou déterministe . . . . .	106
5.3.1	Test de non-stationnarité : introduction et pratique . . . . .	106
5.3.2	Test de stationnarité à une tendance déterministe près . . . . .	113
5.4	Significativité illusoire en régression . . . . .	118
<b>6</b>	<b>Lissage exponentiel</b>	<b>123</b>
6.1	Lissage exponentiel simple . . . . .	123
6.2	Lissage exponentiel double . . . . .	129
6.3	Méthode de Holt-Winters et modèle de lissage correspondant . . . . .	132
<b>7</b>	<b>Simulation</b>	<b>135</b>
7.1	Principe . . . . .	135
7.2	Simulation de séries temporelles . . . . .	136
7.2.1	Principe . . . . .	136
7.2.2	Illustration numérique . . . . .	137
7.3	Construction de séries autorégressives . . . . .	142
7.4	Construction de séries subissant une intervention . . . . .	143
7.4.1	Réponses typiques à une intervention . . . . .	143
7.4.2	Simulation d'une intervention . . . . .	145

7.4.3	Estimation d'une intervention . . . . .	148
<b>8</b>	<b>Trafic mensuel de l'aéroport de Toulouse-Blagnac</b>	<b>149</b>
8.1	Préparation des données . . . . .	149
8.2	Exploration . . . . .	151
8.2.1	Décomposition de la série en tendance, saisonnalité et erreur	151
8.2.2	Month plot . . . . .	152
8.2.3	Lag plot . . . . .	153
8.3	Modélisation avant septembre 2001 . . . . .	155
8.3.1	Modélisation manuelle . . . . .	157
8.3.2	Modélisation automatique . . . . .	160
8.4	Impact sur le volume du trafic . . . . .	163
8.4.1	Prévision ponctuelle . . . . .	163
8.4.2	Simulation de trajectoires . . . . .	164
8.5	Etude après le 9/11 — Lissage exponentiel . . . . .	167
8.6	Estimation d'un SARIMA dans R — Vérification . . . . .	171
<b>9</b>	<b>Température mensuelle moyenne à Nottingham</b>	<b>173</b>
9.1	Exploration . . . . .	173
9.2	Modélisation . . . . .	174
9.2.1	Modèle SARIMA . . . . .	174
9.2.2	Régression sur fonctions trigonométriques . . . . .	175
9.3	Prévision . . . . .	181
9.4	Comparaison . . . . .	182
9.5	Analyse spectrale . . . . .	186
<b>10</b>	<b>Consommation d'électricité</b>	<b>189</b>
10.1	Identification de la série des résidus obtenus par MCO . . . . .	189
10.2	Estimation du modèle ARMAX . . . . .	193
10.3	Estimation d'un modèle à erreur non stationnaire — Modèle ARIMAX	197
10.4	Prévision de l'année 1984 . . . . .	200
10.5	Prédiction sur la série non transformée . . . . .	203
<b>11</b>	<b>Production de lait</b>	<b>205</b>
11.1	Analyse exploratoire . . . . .	205
11.2	Modélisation avant 1984 . . . . .	210
11.3	Modélisation après l'introduction des quotas . . . . .	214
11.4	Modélisation SARIMA de toute la série . . . . .	214
11.5	Modélisation ARMAX de la collecte . . . . .	217
11.5.1	Modélisation MCO . . . . .	217
11.5.2	Identification des résidus de l'ajustement MCO . . . . .	218
11.5.3	Modélisation simultanée de la moyenne et de l'erreur . . . . .	221

<b>12 Hétéroscédasticité conditionnelle – modèle ARCH</b>	<b>225</b>
12.1 Notions de base . . . . .	226
12.2 Modèles d’hétéroscédasticité conditionnelle . . . . .	228
12.3 ARCH(1) et test d’hétéroscédasticité conditionnelle . . . . .	231
12.3.1 Simulation d’un ARCH(1) . . . . .	231
12.3.2 Moments d’un ARCH(1) . . . . .	232
12.3.3 Tests d’hétéroscédasticité conditionnelle . . . . .	233
12.4 Estimation et diagnostic d’ajustement d’un GARCH . . . . .	234
12.5 Prévision . . . . .	238
12.6 Modèles à erreur conditionnellement hétéroscédastique . . . . .	239
12.7 Etude de séries du marché parisien autour de la crise de 2007–2008	239
12.7.1 Exploration . . . . .	239
12.7.2 Etude des rendements . . . . .	240
12.7.3 Hétéroscédasticité conditionnelle des rendements . . . . .	242
12.8 Etude du rendement de L’Oréal . . . . .	242
12.8.1 Estimation . . . . .	242
12.8.2 Prédiction du rendement . . . . .	248
12.9 Etude du rendement de Danone . . . . .	250
12.9.1 Modélisation . . . . .	250
12.9.2 Prédiction du rendement . . . . .	254
<b>Bibliographie</b>	<b>257</b>
<b>Index</b>	<b>261</b>
<b>Notations</b>	<b>265</b>