

ÉCONOMÉTRIE

Appliquée avec R

- Modèle linéaire et sa généralisation
- Économétrie des séries chronologiques
- Économétrie des données de panel
- RCT et modèle causal
- Économétrie bayésienne

ÉCONOMÉTRIE

Appliquée avec R

Lahcen OULHAJ

Professeur de Sciences économiques

Modèle linéaire et sa généralisation
Économétrie des séries chronologiques
Économétrie des données de panel
RCT et modèle causal
Économétrie bayésienne

POLICY CENTER FOR THE NEW SOUTH

Le Policy Center for the New South (PCNS) est un think tank marocain dont la mission est de contribuer à l'amélioration des politiques publiques, aussi bien économiques que sociales et internationales, qui concernent le Maroc et l'Afrique, parties intégrantes du Sud global.

Le PCNS défend le concept d'un « nouveau Sud » ouvert, responsable et entreprenant ; un Sud qui définit ses propres narratifs, ainsi que les cartes mentales autour des bassins de la Méditerranée et de l'Atlantique Sud, dans le cadre d'un rapport décomplexé avec le reste du monde. Le think tank se propose d'accompagner, par ses travaux, l'élaboration des politiques publiques en Afrique, et de donner la parole aux experts du Sud sur les évolutions géopolitiques qui les concernent. Ce positionnement, axé sur le dialogue et les partenariats, consiste à cultiver une expertise et une excellence africaines, à même de contribuer au diagnostic et aux solutions des défis africains.

www.policycenter.ma

Abstract

1- Introduction to R

I- Linear Model

2- Statistical and Mathematical Foundations

3- Simple linear regression

4- Multiple linear regression

5- Diagnostic of linear regression

6- Linear Model Generalization

7- Simultaneous Equations Model

II- Time Series

8- Univariate Time Series Models

9- VAR and VEC Models

10- SVAR and ARDL Models

11- Introduction to DSGE Model

III- Panel Data

12- Main Linear Models of Panel Data

13- Other Static Models of PD

14- Dynamic Models of DP

IV- Causality and Causal Model

15- Causality and RCT

16- Causal Model and Extensions

V- Bayesian Econometrics

17- Introduction to bayesian inference

18- Introduction to Monte-Carlo methods

19- Normal model inference

20- Bayesian linear regression and selection of models

21- Introduction to Artificial Intelligence

Préface

Cet ouvrage est conçu pour les étudiants de Master en Sciences économiques. Il peut également être utile pour les doctorants dans ce domaine. Il présente les applications des différentes méthodes économétriques sous le logiciel R. C'est pour cette raison qu'il commence par un court chapitre de présentation de R et des données macroéconomiques de la Banque mondiale (BM) pouvant être utilisées pour l'estimation de différents modèles.

Le manuel se divise par la suite en cinq parties. La première traite du modèle linéaire et de sa généralisation, la deuxième est consacrée à l'économétrie des séries temporelles, la troisième à celle des données de panel, la quatrième au traitement économétrique de la causalité et la cinquième introduit la modélisation économétrique bayésienne et l'intelligence artificielle.

La première partie comprend six chapitres. Le premier présente les fondements statistico-mathématiques de l'économétrie, le deuxième traite du modèle de régression linéaire simple, le troisième expose le modèle de régression multiple, le quatrième l'évaluation et les diagnostics du modèle linéaire classique, le cinquième porte sur la généralisation du modèle linéaire et le sixième traite les modèles à équations simultanées.

La deuxième partie, consacrée aux séries temporelles, comprend quatre chapitres. Le premier présente les modèles univariés des séries temporelles, le deuxième les modèles VAR et VECM, le troisième les modèles SVAR et ARDL et le quatrième présente une introduction au modèle DSGE.

La troisième partie, consacrée aux données de panel, comprend trois chapitres. Le premier est consacré aux principaux modèles linéaires des DP, le deuxième aux autres modèles statiques et le troisième aux modèles dynamiques des DP. La quatrième partie, consacrée au traitement économétrique de la causalité, comprend deux chapitres. Le premier traite de la causalité et des essais randomisés et contrôlés et le second du modèle causal et de ses extensions.

La cinquième et dernière partie de l'ouvrage est consacrée à l'économétrie bayésienne. Elle comprend cinq chapitres. Le premier introduit l'inférence bayésienne. Le deuxième présente les méthodes de Monte Carlo. Le troisième traite

de l'inférence du modèle normal. Le quatrième introduit la régression linéaire bayésienne. Le cinquième et dernier introduit l'intelligence artificielle.

Cet ouvrage est loin d'être complet. Pour l'être, il devrait être encore beaucoup plus volumineux qu'il ne l'est déjà. Nous ne prétendons avoir ni la qualification requise, ni d'ailleurs le temps nécessaire pour accomplir un tel travail. Les deuxième, troisième et quatrième parties du présent manuel qui traitent de l'économétrie des séries chronologiques, des données de panel et du modèle causal et de ses extensions, seront d'une grande utilité pour les jeunes chercheurs. Nous sommes, dans ces parties, au cœur des outils les plus utilisés aujourd'hui par la recherche empirique économique.

Nous estimons que la cinquième partie de l'ouvrage, traitant de l'économétrie bayésienne, est originale pour les étudiants marocains en sciences économiques. Elle leur sera d'une grande utilité pour l'estimation de modèles macroéconomiques de plus en plus complexes et de plus en plus utilisés pour la conduite des politiques macroéconomiques, monétaire et budgétaire. Les méthodes de l'économétrie bayésienne, dont le développement relativement récent est rendu possible par le développement de la puissance croissante des ordinateurs personnels, sont de plus en plus utilisées, non seulement par l'économetre, mais aussi par les chercheurs dans le domaine de la science des données et de ce qu'on appelle l'intelligence artificielle et ses multiples applications.

Notre ambition à travers cet ouvrage est de familiariser nos étudiants avec ces techniques devenues indispensables à la formation de l'économiste. Le jeune économiste marocain doit maîtriser ces techniques et les utiliser pour participer activement à la recherche économique empirique internationale et contribuer ainsi à une meilleure connaissance du fonctionnement de l'économie nationale. Évidemment, la langue dominante de la recherche internationale, en économie comme dans d'autres domaines, est l'anglais. Nos jeunes étudiants sont loin d'être démunis sur ce plan.

Ce qui leur manque le plus, en revanche, est la parfaite maîtrise de la langue française pour leur permettre une culture économique suffisante, afin de toujours ramener leurs analyses à des problématiques économiques et rapprocher la discussion et l'interprétation des résultats de leurs estimations aux implications économiques.

Nos étudiants ne doivent jamais perdre de vue qu'ils sont appelés à devenir des économistes et non des économètres. L'économétrie ne devrait être, à leurs yeux, qu'un outil, certes indispensable, mais toujours au service de la science économique. L'économiste doit être d'abord un économiste, comme le physicien doit être d'abord physicien, même si, dans certains domaines de la physique, le physicien doit être aussi, un peu mathématicien.

Table des matières

Abstract	iii
Préface	v
Prologue	vii
0.1 Qu'est-ce que l'économétrie ?	vii
0.2 Bref aperçu historique de l'économétrie	x
0.3 Domaines d'application de l'économétrie	xvi
0.4 Poids de l'économétrie en économie	xix
0.5 Statut épistémologique de l'économétrie	xx
Remerciements	xxvi
Dédicaces	xxix
Sommaire	xxxiii
1 Présentation du logiciel/ langage R	1
1.1 Présentation de R	1
1.1.1 Qu'est-ce que R ?	1
1.1.2 Pourquoi faut-il utiliser R ?	2
1.1.3 Interfaces de R	2
1.1.4 Installation de R	3
1.1.5 Utilisation de R	4
1.1.6 Travailler avec des données	5
1.1.7 Importation de données	11
1.2 Base de données de la Banque mondiale	11
1.2.1 Utilisation d'Eurostat ou de Penn World Table	15
1.2.2 Exemples d'Indicateurs de développement	16
1.3 Packages et fonctions par chapitre	20
1.3.1 Modèle de régression linéaire simple	20

3.6.6	Estimation de la variance des erreurs	90
3.7	Qualité de l'ajustement	93
3.8	Tests d'hypothèses du modèle	95
3.8.1	Rappels sur la loi normale	95
3.8.2	Tests d'hypothèses sur les paramètres	96
3.8.3	Test portant sur la qualité de l'ajustement	98
3.8.4	Autres tests d'hypothèses	99
3.9	Exemple complet de régression linéaire simple	99
3.10	Prévisions avec le modèle	102
3.11	Exemple de modèle de régression linéaire simple	104
3.11.1	Importation et préparation de données macroéconomiques du Maroc	104
3.11.2	Modèle de régression de la croissance économique sur la croissance agricole	106
3.11.3	Prédiction hors échantillon avec le modèle	108
3.12	Ré-échantillonnage ou bootstrapping	109
3.13	Simulation de Monte Carlo	111
4	Modèle de régression multiple	113
4.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	113
4.2	Introduction	114
4.3	Présentation du modèle de régression linéaire multiple (MRLM)	115
4.4	Estimation des paramètres du modèle	117
4.4.1	Estimateur des MCO	117
4.4.2	Estimateur du Maximum de Vraisemblance	118
4.4.3	Estimateur de la méthode généralisée des moments, GMM	118
4.5	Exemples d'estimation d'un modèle de RLM	120
4.5.1	Premier exemple sur la croissance au Maroc	121
4.5.2	Second exemple sur les caractéristiques de véhicules . . .	122
4.6	Interprétation géométrique de l'estimation des MCO	124
4.7	Hypothèses du modèle	125
4.7.1	Hypothèses stochastiques	125
4.7.2	Hypothèses structurelles du modèle	127
4.8	Propriétés de l'estimateur des MCO	127
4.8.1	L'estimateur OLS est sans biais	128
4.8.2	L'estimateur OLS est efficace	128
4.8.3	Estimateur de la variance des erreurs	132
4.8.4	Exemple de calcul des variances et covariances	133
4.8.5	L'estimateur OLS est convergent	135
4.8.6	L'estimateur des OLS est asymptotiquement normal . . .	135
4.9	Qualité de la régression et analyse de la variance	136
4.10	Tests des hypothèses du modèle	140

4.10.1	Test de Fisher	141
4.10.2	Test de Student	142
4.11	Exemple complet de modèle de régression linéaire multiple . . .	142
4.12	Prévision avec le modèle RLM	151
4.13	Rééchantillonnage	152
4.14	Simulation de Monte Carlo	153
4.15	Minimisation des variances des estimateurs : Calcul différentiel matriciel	154
4.16	Matrice des corrélations des indicateurs de développement . . .	155
4.17	Données utilisées pour la RLM	158
4.18	Croissance observée et croissance prédite par le modèle	160
5	Évaluation et diagnostics du modèle linéaire classique	163
5.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	163
5.2	Qualité de l'ajustement, test de manque d'ajustement	164
5.2.1	Cas où la variance des erreurs σ^2 est connue	165
5.2.2	Cas où la variance des erreurs σ^2 est inconnue	168
5.3	Tests des régresseurs, intervalles de confiance, erreurs sur ré- gresseurs	172
5.3.1	Test de tous les régresseurs	172
5.3.2	Test d'un seul régresseur	174
5.3.3	Intervalle de confiance de β	175
5.3.4	Erreurs sur régresseurs et méthode des IV (Instrumental Variables	176
5.3.5	Test d'endogénéité	187
5.3.6	Test de la faiblesse de l'instrument	189
5.4	Orthogonalité	190
5.5	Identifiabilité	196
5.6	Tests d'hétéroscédasticité, d'autocorrélation et d'erreur de spé- cification	197
5.6.1	Hétéroscédasticité	197
5.6.2	L'autocorrélation	208
5.6.3	Erreur de spécification	217
5.7	Etudes analytique et graphique des résidus	221
5.7.1	Test de point aberrant	228
5.7.2	Test de linéarité	234
5.7.3	Test de normalité	237
5.8	Test de multicollinéarité	239
6	Généralisation du modèle linéaire	241
6.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	241
6.2	Introduction	242
6.3	Modèle linéaire général	243

6.3.1	Modèles de régression polynomiale	243
6.3.2	Modèles d'autres formes linéarisables	258
6.3.3	Estimation des modèles non-linéaires dans R	262
6.4	Modèle Probit	268
6.4.1	Modèle logit	270
6.4.2	Modèle probit	281
6.5	Autres modèles de probabilité	292
6.5.1	Modèle de régression de Poisson	292
7	Modèles à Équations Simultanées	295
7.1	objectifs pédagogiques du chapitre	295
7.2	Introduction	296
7.3	Biais de simultanéité	297
7.3.1	Modèle keynésien élémentaire	297
7.3.2	Modèle d'équilibre partiel	299
7.4	Problème d'identification	300
7.4.1	Expression matricielle d'un MES et problème d'identification	300
7.4.2	Conditions d'identification	303
7.5	Estimation d'un modèle d'équations simultanées	310
II	Séries Temporelles	341
8	Modèles univariés de ST	343
8.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	343
8.2	Introduction à l'analyse stochastique univariée des ST	344
8.2.1	Qu'est-ce qu'une série temporelle ?	344
8.2.2	Évolution historique de l'analyse des séries temporelles	345
8.2.3	Étude de la stationnarité d'une ST	347
8.3	Modélisation linéaire : ARIMA	359
8.3.1	Processus AR	360
8.3.2	Modèle de moyenne mobile, MA	379
8.3.3	Modèles ARMA et ARIMA	380
8.4	Modélisation non linéaire : Modèles ARCH	387
8.4.1	Processus ARCH	388
8.4.2	Modèle GARCH	390
8.4.3	Autres spécifications du modèle GARCH	391
8.4.4	Modèles GARCH dans R	391
9	VAR et VECM	397
9.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	397
9.2	Modélisation VAR-VECM	398

9.3	Notion et tests de cointégration	399
9.3.1	Cointégration de deux séries	399
9.3.2	Cointégration de plus de 2 séries	406
9.4	Estimation et analyse d'un modèle VEC	411
9.4.1	VEC de deux séries	411
9.4.2	VEC pour plus de deux séries	421
9.5	Estimation et analyse d'un modèle VAR	436
9.5.1	Construction du modèle VAR	437
9.5.2	Utilisation du VAR pour faire des prédictions	443
9.5.3	Analyse Impulsion-Réponse	447
9.5.4	Décomposition de la matrice de covariance des erreurs	453
9.5.5	Stabilité du VAR	461
10	SVAR et ARDL	465
10.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	465
10.2	VAR structurel (SVAR)	466
10.2.1	Restrictions de court terme	471
10.2.2	Décomposition de Blanchard-Quah	473
10.2.3	Nouvelles méthodes d'identification	479
10.2.4	Estimation du SVAR dans R	480
10.3	Autres extensions du VAR : VAR-X et FAVAR	483
10.3.1	Modèle VARX	483
10.3.2	Modèle FAVAR	484
10.4	Modèle ARDL	486
10.4.1	Spécification du modèle ARDL	486
10.4.2	Estimation de ARDL	488
10.4.3	Tests de cointégration aux bornes	492
10.4.4	Estimation de ECM du modèle ARDL	496
11	Introduction au modèle DSGE	507
11.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	507
11.2	Introduction au DSGE	508
11.3	Résolution du modèle	511
11.4	Log-linéarisation	516
11.4.1	Formule de Taylor	516
11.4.2	Principe de log-linéarisation	517
11.4.3	Log-linéarisation des équations du RBC	517
11.4.4	Système d'équations linéaires	520
11.5	Calcul de l'état stationnaire	521
11.6	Estimation du modèle DSGE	527
11.6.1	Problèmes d'estimation	527
11.6.2	Représentation state-space du modèle DSGE	529
11.7	Modèle RBC avec Matlab et gEcon de R	530

11.7.1	Utilisation de Dynare sous Matlab	531
11.7.2	Utilisation de gEcon sous R	533
11.8	Extensions du modèle RBC : les modèles DSGE	542
11.8.1	Mécanismes néo-keynésiens	543
11.8.2	Modèle DSGE à trois équations (avant 2007)	555
11.8.3	Modèle DSGE postérieur à la crise de 2007	559
11.8.4	Exécution dans R du modèle DSGE de Smets et Wouters	563
III	Données de Panel	587
12	Principaux modèles linéaires des DP	589
12.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	589
12.2	Présentation des DP	590
12.2.1	Double dimension des DP :	590
12.2.2	Avantages des DP	593
12.2.3	Inconvénients des DP :	593
12.2.4	Défi des DP : modéliser l'hétérogénéité	593
12.3	Modèle à Effets Fixes	595
12.3.1	Modèle à Effets Fixes Individuels	595
12.3.2	Modèle à Effets Fixes Temporels	601
12.3.3	Modèle à Effets Fixes Individuels et Temporels	602
12.4	Modèle à Erreurs Composées.	604
12.4.1	Introduction	604
12.4.2	Le Modèle :	604
12.4.3	L'estimateur des MCG :	606
12.4.4	L'estimateur des MCQG	607
12.4.5	Autres estimateurs :	608
12.4.6	Tests d'absence d'effets spécifiques individuels :	609
12.4.7	Autocorrélation et hétéroscédasticité :	610
12.4.8	Estimation sur un panel non cylindré :	610
12.5	Estimation et diagnostic dans R de MEF et MEC	610
12.5.1	Management des DP avec R	611
13	Autres modèles statiques des DP	635
13.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	635
13.2	Problème de corrélation des effets spécifiques individuels	636
13.2.1	Méthode de Mundlak	638
13.2.2	Méthode de Chamberlain	645
13.2.3	Modèle en différences premières	647
13.2.4	Méthode des variables instrumentales	650
13.3	Problème de mesure de régresseurs avec erreurs	664
13.4	Problème de simultanéité dans le contexte des DP	667

13.5	Modèles "hybrides" des données de panel	669
13.6	Modèles à coefficients aléatoires	677
13.7	Modèles à coefficients composés	685
13.8	Modèles logit et probit	686
13.8.1	Probit et logit à effets aléatoires	689
13.8.2	Probit et logit à effets fixes	690
14	Modèles dynamiques des DP	693
14.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	693
14.2	Estimateurs usuels biaisés et non convergents	695
14.2.1	Cas du modèle autorégressif à effets fixes	696
14.2.2	Cas du modèle autorégressif à effets aléatoires	696
14.2.3	Biais de Nickel des modèles dynamiques à FE	697
14.3	Estimateur <i>within</i> de Balestra et Nerlove	699
14.4	Estimateur en différences de Balestra et Nerlove	702
14.5	Estimateur d'Anderson et Hsiao	704
14.6	Estimateur GMM en différences d'Arellano et Bond	706
14.7	Estimateur GMM en système de Blundell et Bond	712
14.8	Exemple numérique complet	713
14.9	Autres estimateurs des modèles dynamiques	718
14.9.1	Estimateur d'Arellano et Bover	718
14.9.2	Estimateur d'Ahn et Schmidt	718
14.10	Tests portant sur les modèles dynamiques	720
14.10.1	Test de validité des instruments	720
14.10.2	Test d'absence des effets fixes	721
14.10.3	Test d'autocorrélation de second ordre	721
14.10.4	Test de Wald	722
14.10.5	Tests des modèles dynamiques dans R	722
IV	Modèle Causal et Extensions	727
15	Essais Randomisés Contrôlés	729
15.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	729
15.2	De l'analyse statistique classique à l'analyse causale	730
15.2.1	Évolution des conceptions philosophiques de la causalité	731
15.2.2	Causalité remplacée en physique classique par la loi	746
15.2.3	Causalité remplacée par la corrélation en statistique clas- sique	752
15.2.4	Causalité en physique quantique, vers un rétablissement ?	757
15.2.5	Rétablissement de la causalité en statistique	759
15.2.6	Causalité en macroéconomie et en économétrie	760
15.3	Essai Randomisé Contrôlé (RCT)	763

15.3.1	Différentes classes de RCT	764
15.3.2	Procédures de randomisation	765
15.3.3	Évaluation des procédures	775
15.3.4	Présentation du package randomizeR de R	775
16	Modèle causal et ses extensions	777
16.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	777
16.2	Le modèle causal de Rubin	778
16.2.1	Résultats potentiels	778
16.2.2	Mécanisme d'affectation	781
16.2.3	Mise en œuvre du modèle causal dans R	781
16.2.4	Analyse de la médiation causale	784
16.2.5	Effet local moyen de traitement	788
16.2.6	Analyse de la médiation causale avec variables instru- mentales	791
16.2.7	Évaluation du modèle causal	796
16.3	Méthode de l'estimation par appariement	797
16.4	Méthode des Doubles Différences	811
16.4.1	Méthode standard des doubles différences	812
16.4.2	Méthode DID étendue à plusieurs périodes	815
16.4.3	Limites de la méthode DID	816
16.4.4	Mise en œuvre de la méthode DID dans R	817
16.5	Régression sur discontinuité	825
16.5.1	Ce qu'est la régression sur discontinuité	825
16.5.2	Mise en œuvre de la RDD	826
16.5.3	Évaluation de la RDD	833
16.5.4	Cas de discontinuité floue	833
16.6	Méthode de contrôle synthétique	836
16.7	Causalité au sens de Granger	843
16.7.1	Modèle mathématique de la causalité de Granger	845
16.7.2	Économétrie de la causalité de Granger	846
16.7.3	Test de causalité de Granger dans R	849
V	Modélisation bayésienne	853
17	Introduction à l'inférence bayésienne	855
17.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	855
17.2	Règle de Bayes et inférence bayésienne	856
17.2.1	Présentation basique de la règle de Bayes	856
17.2.2	Partitions d'ensembles et règle de Bayes	858
17.2.3	Loi de probabilité bivariée, tableau de contingence et règle de Bayes	859

17.2.4	Probabilités des causes et règle de Bayes	866
17.2.5	Inférence bayésienne	870
17.2.6	Introduction aux méthodes MCMC	872
17.3	Modèles à un seul paramètre	874
17.3.1	Modèle binomial	874
17.3.2	Modèle de Poisson	883
18	Méthodes de Monte Carlo	893
18.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	893
18.2	Introduction	894
18.2.1	Rappels sur la loi uniforme continue	895
18.2.2	Rôle de la loi uniforme dans les méthodes de MC	899
18.3	Simulation de variables aléatoires	902
18.3.1	Méthode de la transformée inverse	903
18.3.2	Méthode générale de transformation	906
18.3.3	Méthode de rejet	916
18.4	Intégration avec les méthodes MC	919
18.4.1	L'intégration Monte Carlo classique	920
18.4.2	L'échantillonnage préférentiel	926
18.5	Optimisation de Monte Carlo	936
18.5.1	Méthodes numériques d'optimisation	938
18.5.2	Recherche stochastique	941
18.5.3	Approximation stochastique	952
18.6	Algorithmes Metropolis-Hastings	954
18.7	Échantillonnage de Gibbs	959
19	Inférence du modèle normal	965
19.1	Objectifs pédagogiques du chapitre	965
19.2	Modèle normal univarié	966
19.2.1	Inférence de la moyenne lorsque la variance est connue	968
19.2.2	Inférence de la variance lorsque la moyenne est connue	975
19.2.3	Inférence conjointe de la moyenne et de la variance	977
19.2.4	Inférence conjointe de la moyenne et de la variance avec un prior non conjugué	984
19.3	Modèle normal multivarié	985
19.3.1	Distribution normale multivariée	986
19.3.2	Choix des priors des paramètres d'une distribution nor- male multivariée	988
19.3.3	La fonction de vraisemblance	990
19.3.4	Détermination des distributions a posteriori	991

20 Régression linéaire bayésienne	995
20.1 Objectifs pédagogiques du chapitre	995
20.2 Introduction à la Régression linéaire bayésienne	996
20.3 Fonction de vraisemblance des données	998
20.4 Le choix du prior, cas du prior conjugué $\mathcal{NIG}$	999
20.5 Détermination de la distribution jointe a posteriori	1002
20.5.1 Distribution a posteriori pour le prior $\mathcal{NIG}$	1002
20.5.2 Exemples d'application	1006
20.5.3 Mise en œuvre de la régression bayésienne avec MCMC- pack de R	1011
20.5.4 Mise en œuvre dans R avec "rstanarm"	1013
20.6 Régression linéaire bayésienne avec prior non conjugué	1018
20.6.1 Cas de prior non informatif	1018
20.6.2 Régression linéaire bayésienne avec prior de Jeffreys . . .	1020
20.6.3 Régression linéaire bayésienne avec g-prior	1021
20.6.4 Régression linéaire avec prior LASSO	1021
20.7 Prédictions bayésiennes	1022
20.7.1 Estimation d'un modèle bayésien de RL avec prior conju- gué	1024
20.7.2 Prédictions à partir du posterior	1030
21 Intelligence Artificielle	1035
21.1 Objectifs pédagogiques du chapitre	1035
21.2 Machine Learning et Deep Machine Learning	1037
21.2.1 ML supervisé	1038
21.2.2 ML non supervisé	1039
21.2.3 Learning ou Apprentissage par renforcement	1039
21.2.4 Exemples pratiques d'utilisation du ML	1040
21.2.5 Algorithmes de ML	1041
21.2.6 Deep Machine Learning	1042
21.3 Big Data et données hautement dimensionnées	1043
21.3.1 Présentation du Big Data	1043
21.3.2 Le Big Data à haute dimension et Analyse des données .	1050
21.4 Machine Learning avec R	1072
21.4.1 Package "mlr"	1072
21.4.2 Présentation et pré-traitement des données à utiliser . .	1073
21.4.3 Définition de la tâche ou des données préparées	1077
21.4.4 Régression logistique en ML	1080
21.4.5 Exemple d'application de l'algorithme de régression lo- gistique	1084
21.5 Annexe : Code R utilisé	1086

Annexes	1091
A Lois de probabilités usuelles	1091
B Analyse de Fourier	1093
B.1 Fonctions trigonométriques : rappels	1093
B.1.1 Définitions et propriétés	1093
B.1.2 Sommes et produits	1095
B.1.3 Fonctions réciproques	1095
B.1.4 Formules d'Euler	1096
B.2 Analyse spectrale des sinusoides	1100
B.3 Séries de Fourier	1105
B.4 De la série à la transformation et à la transformée de Fourier . .	1109
B.4.1 Transformation et transformée de Fourier	1109
B.4.2 Propriétés des transformées de Fourier	1111
B.5 Transformée de Fourier discrète et transformée de Fourier dis- crète rapide	1113
C Filtres de HP et de Kalman	1117
C.1 Filtrage des données en économie	1117
C.2 Filtre de Hodrick-Prescott	1118
C.2.1 Présentation mathématique	1118
C.2.2 Application du filtre HP	1121
C.3 Filtre de Kalman	1127
C.3.1 Introduction pratique	1128
C.3.2 Présentation mathématique générale	1136
C.3.3 Application avec R	1137
C.3.4 Exemple d'application	1142
D Modélisation des anticipations rationnelles	1143
D.1 Introduction	1143
D.2 Modèle des anticipations adaptatives	1144
D.3 Modèle des anticipations rationnelles	1145
Bibliographie	1153
Table des matières	1202

ÉCONOMÉTRIE

Appliquée avec R

Le présent manuel utilisant R traite
du Modèle Linéaire et ML Général; des Séries Temporelles; des Données de panel;
du Modèle Causal et extensions ainsi que de la Modélisation bayésienne.

Lahcen OULHAJ

Professeur de sciences économiques - Université Mohamed V ;
Président de la Commission permanente chargée de l'analyse de la conjoncture
économique et sociale au CESE- Rabat-Maroc.

POLICY CENTER FOR THE NEW SOUTH
Rabat, Maroc
www.policycenter.ma

ISBN : 978-9920-633-22-2



9 789920 633222

230 Dhs