

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>iii</b>
<b>1 Présentation du langage R</b>	<b>1</b>
1.1 Bref historique . . . . .	1
1.2 Description sommaire de R . . . . .	2
1.3 Interfaces . . . . .	3
1.4 Stratégies de travail . . . . .	4
1.5 Éditeurs de texte . . . . .	5
1.6 Anatomie d'une session de travail . . . . .	8
1.7 Répertoire de travail . . . . .	8
1.8 Consulter l'aide en ligne . . . . .	9
1.9 Où trouver de la documentation . . . . .	9
1.10 Exemples . . . . .	10
1.11 Exercices . . . . .	11
<b>2 Bases du langage S</b>	<b>11</b>
2.1 Commandes S . . . . .	11
2.2 Conventions pour les noms d'objets . . . . .	12
2.3 Les objets S . . . . .	13
2.4 Vecteurs . . . . .	15
2.5 Matrices et tableaux . . . . .	16
2.6 Listes . . . . .	17
2.7 <i>Data frames</i> . . . . .	17
2.8 Indixage . . . . .	18
2.9 Exemples . . . . .	19
2.10 Exercices . . . . .	26
<b>3 Opérateurs et fonctions</b>	<b>29</b>
3.1 Opérations arithmétiques . . . . .	29

3.2	Opérateurs . . . . .	30
3.3	Appels de fonctions . . . . .	30
3.4	Quelques fonctions utiles . . . . .	31
3.5	Structures de contrôle . . . . .	34
3.6	Exemples . . . . .	36
3.7	Exercices . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Exemples résolus</b>	<b>45</b>
4.1	Calcul de valeurs présentes . . . . .	45
4.2	Fonctions de probabilité . . . . .	46
4.3	Fonction de répartition de la loi gamma . . . . .	48
4.4	Algorithme du point fixe . . . . .	50
4.5	Exercices . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Fonctions définies par l'utilisateur</b>	<b>53</b>
5.1	Définition d'une fonction . . . . .	53
5.2	Retourner des résultats . . . . .	53
5.3	Variables locales et globales . . . . .	54
5.4	Exemple de fonction . . . . .	54
5.5	Fonctions anonymes . . . . .	54
5.6	Débogage de fonctions . . . . .	56
5.7	Styles de codage . . . . .	57
5.8	Exemples . . . . .	58
5.9	Exercices . . . . .	61
<b>6</b>	<b>Concepts avancés</b>	<b>67</b>
6.1	L'argument '...' . . . . .	67
6.2	Fonction apply . . . . .	67
6.3	Fonctions lapply et sapply . . . . .	69
6.4	Fonction mapply . . . . .	70
6.5	Fonction replicate . . . . .	71
6.6	Classes et fonctions génériques . . . . .	72
6.7	Exemples . . . . .	73
6.8	Exercices . . . . .	77
<b>7</b>	<b>Fonctions d'optimisation</b>	<b>81</b>
7.1	Le package MASS . . . . .	81
7.2	Fonctions d'optimisation disponibles . . . . .	82
7.3	Exemples . . . . .	87
7.4	Exercices . . . . .	88

---

<b>8</b>	<b>Générateurs de nombres aléatoires</b>	<b>91</b>
8.1	Générateurs de nombres aléatoires . . . . .	91
8.2	Fonctions de simulation de variables aléatoires . . . . .	91
8.3	Exercices . . . . .	93
<b>9</b>	<b>Planification d'une simulation en S</b>	<b>95</b>
9.1	Introduction . . . . .	95
9.2	Première approche : avec une boucle . . . . .	96
9.3	Seconde approche : avec <code>sapply</code> . . . . .	96
9.4	Variante de la seconde approche . . . . .	100
9.5	Comparaison des temps de calcul . . . . .	101
9.6	Gestion des fichiers . . . . .	102
9.7	Exécution en lot . . . . .	102
9.8	Quelques remarques . . . . .	103
<b>A</b>	<b>GNU Emacs et ESS : la base</b>	<b>105</b>
A.1	Mise en contexte . . . . .	105
A.2	Installation . . . . .	106
A.3	Description sommaire . . . . .	106
A.4	<i>Emacs-ismes</i> et <i>Unix-ismes</i> . . . . .	107
A.5	Commandes de base . . . . .	108
A.6	Anatomie d'une session de travail (bis) . . . . .	111
A.7	Configuration de l'éditeur . . . . .	112
A.8	Aide et documentation . . . . .	112
<b>B</b>	<b>Utilisation de ESS et S-Plus sous Windows</b>	<b>113</b>
B.1	Tout dans Emacs . . . . .	113
B.2	Combinaison Emacs et S-Plus GUI . . . . .	114
<b>C</b>	<b>GNU Free Documentation License</b>	<b>115</b>
C.1	APPLICABILITY AND DEFINITIONS . . . . .	115
C.2	VERBATIM COPYING . . . . .	117
C.3	COPYING IN QUANTITY . . . . .	118
C.4	MODIFICATIONS . . . . .	118
C.5	COMBINING DOCUMENTS . . . . .	120
C.6	COLLECTIONS OF DOCUMENTS . . . . .	121
C.7	AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS . . . . .	121
C.8	TRANSLATION . . . . .	121
C.9	TERMINATION . . . . .	122
C.10	FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE . . . . .	122

ADDENDUM: How to use this License for your documents . . . . .	122
<b>Réponses des exercices</b>	<b>125</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>137</b>
<b>Index</b>	<b>139</b>

# 1 Présentation du langage R

## Objectifs

- faire ceci
- faire cela

## 1.1 Bref historique

À l'origine fut le S, un langage pour «programmer avec des données» développé chez Bell Laboratories à partir du milieu des années 1970 par une équipe de chercheurs menée par John M. Chambers. Au fil du temps, le S a connu quatre principales versions communément identifiées par la couleur du livre dans lequel elles étaient présentées : version «originale» (*Brown Book*; Becker et Chambers, 1984), version 2 (*Blue Book*; Becker et collab., 1988), version 3 (*White Book*; Chambers et Hastie, 1992) et version 4 (*Green Book*; Chambers, 1998) ; voir aussi Chambers (2000) et Becker (1994) pour plus de détails.

Dès la fin des années 1980 et pendant près de vingt ans, le S a principalement été popularisé par une mise en œuvre commerciale nommée S-PLUS. En 2008, Lucent Technologies a vendu le langage S à Insightful Corporation, ce qui a effectivement stoppé le développement du langage par ses auteurs originaux. Aujourd'hui, le S est commercialisé de manière relativement confidentielle sous le nom Spotfire S+ par TIBCO Software.

Ce qui a fortement contribué à la perte d'influence de S-PLUS, c'est une nouvelle mise en œuvre du langage développée au milieu des années 1990. Inspirés à la fois par le S et par Scheme (un dérivé du Lisp), Ross Ihaka et Robert Gentleman proposent un langage pour l'analyse de données et les graphiques qu'ils nomment R (Ihaka et Gentleman, 1996). À la suggestion de Martin Maechler de l'ETH de Zurich, les auteurs décident d'intégrer leur nouveau langage au projet GNU<sup>1</sup>, faisant

---

1. <http://www.gnu.org>

de R un logiciel libre.

Ainsi disponible gratuitement et ouvert aux contributions de tous, R gagne rapidement en popularité là même où S-PLUS avait acquis ses lettres de noblesse, soit dans les milieux académiques. De simple dérivé «*not unlike S*», R devient un concurrent sérieux à S-PLUS, puis le surpasse lorsque les efforts de développement se rangent massivement derrière le projet libre. D'ailleurs John Chambers place aujourd'hui ses efforts de réflexion et de développement dans le projet R (Chambers, 2008).

## 1.2 Description sommaire de R

R est un environnement intégré de manipulation de données, de calcul et de préparation de graphiques. Toutefois, ce n'est pas seulement un «autre» environnement statistique (comme SPSS ou SAS, par exemple), mais aussi un langage de programmation complet et autonome.

Tel que mentionné précédemment, le R est un langage principalement inspiré du S et de Scheme (Abelson et collab., 1996). Le S était à son tour inspiré de plusieurs langages, dont l'APL (autrefois un langage très prisé par les actuaires) et le Lisp. Comme tous ces langages, le R est *interprété*, c'est-à-dire qu'il requiert un autre programme — l'*interprète* — pour que ses commandes soient exécutées. Par opposition, les programmes de langages *compilés*, comme le C ou le C++, sont d'abord convertis en code machine par le compilateur puis directement exécutés par l'ordinateur.

Le programme que l'on lance lorsque l'on exécute R est en fait l'interprète. Celui-ci attend que l'on lui soumette des commandes dans le langage R, commandes qu'il exécutera immédiatement, une à une et en séquence.

Par analogie, Excel est certes un logiciel de manipulation de données, de mise en forme et de préparation de graphiques, mais c'est aussi au sens large un langage de programmation interprété. On utilise le langage de programmation lorsque l'on entre des commandes dans une cellule d'une feuille de calcul. L'interprète exécute les commandes et affiche les résultats dans la cellule.

Le R est un langage particulièrement puissant pour les applications mathématiques et statistiques (et donc actuarielles) puisque précisément développé dans ce but. Parmi ses caractéristiques particulièrement intéressantes, on note :

- ▶ langage basé sur la notion de vecteur, ce qui simplifie les calculs mathématiques et réduit considérablement le recours aux structures itératives (boucles) ;
- ▶ pas de typage ni de déclaration obligatoire des variables ;
- ▶ programmes généralement courts, en général quelques lignes de code seulement ;

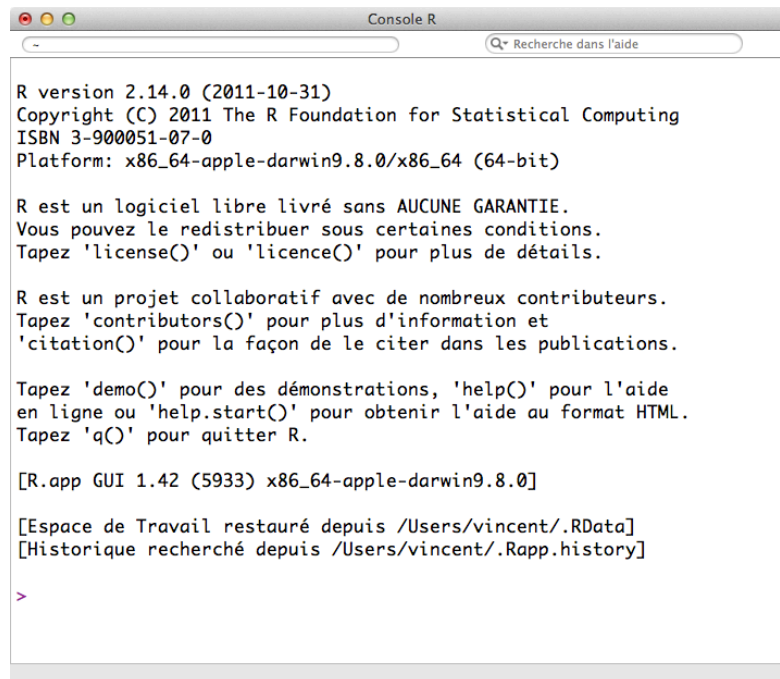


FIG. 1.1: Fenêtre de la console sous Mac OS X au démarrage de R

- temps de développement très court.

## 1.3 Interfaces

R est d'abord et avant tout une application n'offrant qu'une invite de commande du type de celle présentée à la figure 1.1. En soi, cela n'est pas si différent d'un tableur tel que Excel : la zone d'entrée de texte dans une cellule n'est rien d'autre qu'une invite de commande<sup>2</sup>, par ailleurs aux capacités d'édition plutôt réduites.

- Sous Unix et Linux, R n'est accessible que depuis la ligne de commande du système d'exploitation (terminal). Aucune interface graphique n'est offerte avec la distribution de base de R.
- Sous Windows, une interface graphique plutôt rudimentaire est disponible. Elle facilite certaines opérations tel que l'installation de packages externes, mais elle offre autrement peu de fonctionnalités additionnelles pour l'édition de code R.

---

2. Merci à Markus Gesmann pour cette observation.

- L'interface graphique de R sous Mac OS X est la plus élaborée. Outre la console présentée à la figure 1.1, l'application R. app comporte de nombreuses fonctionnalités, dont un éditeur de code assez complet.

## 1.4 Stratégies de travail

Dans la mesure où R se présente essentiellement sous forme d'une invite de commande, il existe deux grandes stratégies de travail avec cet environnement statistique.

1. On entre des expressions à la ligne de commande pour les évaluer immédiatement :

```
> 2 + 3  
[1] 5
```

On peut également créer des objets contenant le résultat d'un calcul. Ces objets sont stockés dans la mémoire de l'ordinateur :

```
> x <- exp(2)  
> x  
[1] 7.389056
```

Lorsque la session de travail est terminée, on sauvegarde une image de la mémoire sur le disque dur de l'ordinateur afin de pouvoir conserver les objets pour une future séance de travail :

```
> save.image()
```

Par défaut, l'image est sauvegardée dans un fichier nommé `.RData` dans le dossier de travail actif (voir la section 1.7) et cette image est automatiquement chargée en mémoire au prochain lancement de R, tel qu'indiqué à la fin du message d'accueil :

```
[Sauvegarde de la session précédente restaurée]
```

Cette approche, dite de «code virtuel et objets réels» a un gros inconvénient : le code utilisé pour créer les objets n'est pas sauvegardé entre les sessions de travail. Or, celui-ci est souvent bien plus compliqué que l'exemple ci-dessus. De plus, sans accès au code qui a servi à créer l'objet `x`, comment savoir ce que la valeur 7,389056 représente au juste ?

2. L'approche dite de «code réel et objets virtuels» considère que ce qu'il importe de conserver d'une session de travail à l'autre n'est pas tant les objets que le code qui a servi à les créer. Ainsi, on sauvegardera dans ce que l'on nommera



des *fichiers de script* nos expressions R et le code de nos fonctions personnelles. Par convention, on donne aux fichiers de script un nom se terminant avec l'extension `.R`.

Avec cette approche, les objets sont créés au besoin en exécutant le code des fichiers de script. Comment ? Simplement en copiant le code du fichier de script et en le collant dans l'invite de commande de R. La figure 1.2 illustre schématiquement ce que le programmeur R a constamment sous les yeux : d'un côté son fichier de script et, de l'autre, l'invite de commande R dans laquelle son code a été exécuté.

La méthode d'apprentissage préconisée dans cet ouvrage suppose que le lecteur utilisera cette seconde approche d'interaction avec R.

## 1.5 Éditeurs de texte

Dans la mesure où l'on a recours à des fichiers de script tel qu'expliqué à la section précédente, l'édition de code R bénéficie grandement d'un bon éditeur de texte pour programmeur. Dans certains cas, l'éditeur peut même réduire l'opération de copier-coller à un simple raccourci clavier.

- ▶ Un éditeur de texte est différent d'un traitement de texte en ce qu'il s'agit d'un logiciel destiné à la création, l'édition et la sauvegarde de fichiers textes purs, c'est-à-dire dépourvus d'information de présentation et de mise en forme. Les applications Bloc-notes sous Windows ou TextEdit sous OS X sont deux exemples d'éditeurs de texte simples.
- ▶ Un éditeur de texte pour programmeur saura en plus reconnaître la syntaxe d'un langage de programmation et assister à sa mise en forme : indentation automatique du code, coloration syntaxique, manipulation d'objets, etc.

Le lecteur peut utiliser l'éditeur de texte de son choix pour l'édition de code R. Certains éditeurs offrent simplement plus de fonctionnalités que d'autres.

- ▶ GNU Emacs est un très ancien, mais aussi très puissant éditeur pour programmeur. À la question 6.2 de la foire aux questions de R (Hornik, 2011), «Devrais-je utiliser R à l'intérieur de Emacs?», la réponse est : «Oui, absolument.»

En effet, combiné avec le mode ESS (*Emacs Speaks Statistics*), Emacs offre un environnement de développement aussi riche qu'efficace. Entre autres fonctionnalités uniques à Emacs, le fichier de script et l'invite de commandes R sont regroupés dans la même fenêtre, comme on peut le voir à la figure 1.3.

Logiciel porte étendard du mouvement libre, Emacs est disponible gratuitement et à l'identique sur toutes les plateformes supportées par R, dont Windows, OS X et Linux.

```
## Fichier de script simple contenant des expressions R pour
## faire des calculs et créer des objets.
2 + 3

## Probabilité d'une loi de Poisson(10)
x <- 7
10^x * exp(-10) / factorial(x)

## Petite fonction qui fait un calcul trivial
f <- function(x) x^2

## Évaluation de la fonction
f(2)
```

```
R version 2.14.0 (2011-10-31)
Copyright (C) 2011 The R Foundation for Statistical Computing
ISBN 3-900051-07-0
Platform: x86_64-apple-darwin9.8.0/x86_64 (64-bit)

[...]

> ## Fichier de script simple contenant des expressions R pour
> ## faire des calculs et créer des objets.
> 2 + 3
[1] 5
>
> ## Probabilité d'une loi de Poisson(10)
> x <- 7
> 10^x * exp(-10) / factorial(x)
[1] 0.09007923
>
> ## Petite fonction qui fait un calcul trivial
> f <- function(x) x^2
>
> ## Évaluation de la fonction
> f(2)
[1] 4
```

FIG. 1.2: Fichier de script (en haut) et invite de commande R dans laquelle les expressions R ont été exécutées (en bas). Les lignes débutant par # dans le fichier de script sont des commentaires ignorés par l'interprète de commandes.

```

## Fichier de script simple contenant des expressions R pour
## faire des calculs et créer des objets.
2 + 3

## Probabilité d'une loi de Poisson(10)
k <- 7
10^x * exp(-10) / factorial(x)

## Petite fonction qui fait un calcul trivial
f <- function(x) x^2

## Évaluation de la fonction
f(2)

-U:--- script.R All (6,0) SVN@0 (ESS[S] [R] Rox EIDoc Abbrev)
Platform: x86_64-apple-darwin9.8.0/x86_64 (64-bit)

R est un logiciel libre livré sans AUCUNE GARANTIE.
Vous pouvez le redistribuer sous certaines conditions.
Tapez 'license()' ou 'licence()' pour plus de détails.

R est un projet collaboratif avec de nombreux contributeurs.
Tapez 'contributors()' pour plus d'information et
'citation()' pour la façon de le citer dans les publications.

Tapez 'demo()' pour des démonstrations, 'help()' pour l'aide
en ligne ou 'help.start()' pour obtenir l'aide au format HTML.
Tapez 'q()' pour quitter R.

> .help.ESS <- help
> options(STERM='iESS', editor='emacsclient')
> 2 + 3
[1] 5
> 
-U:*** *R* Bot (23,2) (iESS [R]: run Abbrev)

```

FIG. 1.3: Fenêtre de GNU Emacs sous OS X en mode d'édition de code R. Dans la partie du haut, on retrouve le fichier de script de la figure 1.2 et dans la partie du bas, l'invite de commandes R.

- ▶ Le présent auteur distribue des versions de GNU Emacs pour Windows et OS X simples à installer et livrées avec le mode ESS et quelques autres extensions. Consulter le site <http://vgoulet.act.ulaval.ca/emacs/>.
- ▶ Il existe plusieurs autres options plus faciles à apprivoiser que Emacs pour éditer du code R. Nous recommandons :
  - sous Windows, l'éditeur Notepad++ muni de l'extension NppToR (Redd, 2010), tous deux des logiciels libres ;
  - toujours sous Windows, le logiciel WinEdt muni de l'extension libre R-WinEdt (Ligges, 2003) ;

- sous OS X, tout simplement l'éditeur de texte très complet intégré à l'application R.app, ou alors l'éditeur de texte commercial TextMate (essai gratuit de 30 jours) ;
- sous Linux, Vim et Kate semblent les choix les plus populaires après Emacs dans la communauté R.

## 1.6 Anatomie d'une session de travail

Dans ses grandes lignes, toute session de travail R se réduit aux étapes ci-dessous.

1. Ouvrir un fichier de script existant ou en créer un nouveau à l'aide de l'éditeur de texte de son choix.
2. Démarrer une session R en cliquant sur l'icône de l'application si l'on utilise une interface graphique, ou alors en suivant la procédure expliquée à l'annexe A si l'on utilise GNU Emacs.
3. Au cours de la phase de développement, on fera généralement de nombreux aller-retours la ligne de commande où l'on testera des commandes et le fichier de script où l'on consignera le code R que l'on souhaite sauvegarder et les commentaires qui nous permettront de s'y retrouver plus tard.
4. Sauvegarder son fichier de script et quitter l'éditeur.
5. Si nécessaire — et c'est rarement le cas — sauvegarder l'espace de travail de la session R avec `save.image()`. En fait, on ne voudra sauvegarder nos objets R que lorsque ceux-ci sont très longs à créer comme, par exemple, les résultats d'une simulation.
6. Quitter R en tapant `q()` à la ligne de commande ou en fermant l'interface graphique par la procédure usuelle. Encore ici, la manière de procéder est quelque peu différente dans GNU Emacs ; voir l'annexe ??.

Évidemment, les étapes 1 et 2 sont interchangeables, tout comme les étapes 4, 5 et 6.

## 1.7 Répertoire de travail

Le répertoire de travail (*workspace*) de R est le dossier par défaut dans lequel le logiciel 1) va rechercher des fichiers de script ou de données ; et 2) va sauvegarder l'image mémoire dans le fichier `.RData`. Le dossier de travail est déterminé au lancement de R.

- ▶ Les interfaces graphiques démarrent avec un répertoire de travail par défaut. Pour le changer, utiliser l'entrée appropriée dans le menu Fichier (Windows) ou Divers (Mac OS X). Consulter aussi les foires aux questions spécifiques aux interfaces graphiques (Ripley et Murdoch, 2011; Iacus et collab., 2011) pour des détails additionnels sur la gestion des répertoires de travail.
- ▶ Avec GNU Emacs, la situation est un peu plus simple puisque l'on doit spécifier un répertoire de travail chaque fois que l'on démarre un processus R ; voir l'annexe A.

## 1.8 Consulter l'aide en ligne

Les rubriques d'aide des diverses fonctions disponibles dans R contiennent une foule d'informations ainsi que des exemples d'utilisation. Leur consultation est tout à fait essentielle.

- ▶ Pour consulter la rubrique d'aide de la fonction `foo`, on peut entrer à la ligne de commande

```
> ?foo
```

ou

```
> help(foo)
```

## 1.9 Où trouver de la documentation

La documentation officielle de R se compose de six guides accessibles depuis le menu Aide des interfaces graphiques ou encore en ligne dans le site du projet R<sup>3</sup>. Pour le débutant, seuls *An Introduction to R* et, possiblement, *R Data Import/Export* peuvent s'avérer des ressources utiles à court terme.

Plusieurs livres — en versions papier ou électronique, gratuits ou non — ont été publiés sur R. On en trouvera une liste exhaustive dans la section Documentation du site du projet R.

Depuis plusieurs années maintenant, les ouvrages de Venables et Ripley (2000, 2002) demeurent des références standards *de facto* sur les langages S et R. Plus récent, Braun et Murdoch (2007) participe du même effort que le présent ouvrage en se concentrant sur la programmation en R plutôt que sur ses applications statistiques.

---

3. <http://www.r-project.org>

## 1.10 Exemples

```
### Générer deux vecteurs de nombres pseudo-aléatoires issus
### d'une loi normale centrée réduite.
x <- rnorm(50)
y <- rnorm(x)

### Graphique des couples (x, y).
plot(x, y)

### Graphique d'une approximation de la densité du vecteur x.
plot(density(x))

### Générer la suite 1, 2, ..., 10.
1:10

### La fonction 'seq' sert à générer des suites plus générales.
seq(from = -5, to = 10, by = 3)
seq(from = -5, length = 10)

### La fonction 'rep' sert à répéter des valeurs.
rep(1, 5)          # répéter 1 cinq fois
rep(1:5, 5)        # répéter le vecteur 1,...,5 cinq fois
rep(1:5, each = 5) # répéter chaque élément du vecteur cinq fois

### Arithmétique vectorielle.
v <- 1:12          # initialisation d'un vecteur
v + 2              # additionner 2 à chaque élément de v
v * -12:-1         # produit élément par élément
v + 1:3            # le vecteur le plus court est recyclé

### Vecteur de nombres uniformes sur l'intervalle [1, 10].
v <- runif(12, min = 1, max = 10)
v

### Pour afficher le résultat d'une affectation, placer la
### commande entre parenthèses.
( v <- runif(12, min = 1, max = 10) )

### Arrondi des valeurs de v à l'entier près.
( v <- round(v) )

### Créer une matrice 3 x 4 à partir des valeurs de
### v. Remarquer que la matrice est remplie par colonne.
```

```
( m <- matrix(v, nrow = 3, ncol = 4) )

### Les opérateurs arithmétiques de base s'appliquent aux
### matrices comme aux vecteurs.
m + 2
m * 3
m ^ 2

### Éliminer la quatrième colonne afin d'obtenir une matrice
### carrée.
( m <- m[, -4] )

### Transposée et inverse de la matrice m.
t(m)
solve(m)

### Produit matriciel.
m %*% m           # produit de m avec elle-même
m %*% solve(m)    # produit de m avec son inverse
round(m %*% solve(m)) # l'arrondi donne la matrice identité

### Consulter la rubrique d'aide de la fonction 'solve'.
?solve

### Liste des objets dans l'espace de travail.
ls()

### Nettoyage.
rm(x, y, v, m)
```

## 1.11 Exercices

- 1.1 Démarrer un processus S-Plus ou R à l'intérieur de Emacs.
- 1.2 Exécuter un à un les exemples de la section précédente. Une version électronique du code de cette section est disponible dans le site mentionné dans la préface.
- 1.3 Consulter les rubriques d'aide d'une ou plusieurs des fonctions rencontrées lors de l'exercice précédent. Observer d'abord comment les rubriques d'aide sont structurées — elles sont toutes identiques — puis exécuter quelques lignes d'exemples.
- 1.4 Lire le chapitre 1 de Venables et Ripley (2002) et exécuter les commandes de l'exemple de session de travail de la section 1.3. Bien que davantage orienté

vers les applications statistiques que vers la programmation, cet exemple démontre quelques-unes des possibilités du langage S.





# A GNU Emacs et ESS : la base

Emacs est l'Éditeur de texte des éditeurs de texte. Conçu à l'origine comme un éditeur pour les programmeurs (avec des modes spéciaux pour une multitude de langages différents), Emacs est devenu au fil du temps un environnement logiciel en soi dans lequel on peut réaliser une foule de tâches différentes : rédiger des documents  $\text{\LaTeX}$ , interagir avec R, SAS ou un logiciel de base de données, consulter son courrier électronique, gérer son calendrier ou même jouer à Tetris !

Cette annexe passe en revue les quelques commandes essentielles à connaître pour commencer à travailler avec GNU Emacs et le mode ESS. L'ouvrage de Cameron et collab. (2004) constitue une excellente référence pour l'apprentissage plus poussé de l'éditeur.

## A.1 Mise en contexte

Emacs est le logiciel étendard du projet GNU («*GNU is not Unix*»), dont le principal commanditaire est la *Free Software Foundation* (FSF) à l'origine de tout le mouvement du logiciel libre.

- ▶ Richard M. Stallman, président de la FSF et grand apôtre du libre, a écrit la première version de Emacs et il continue à ce jour à contribuer au projet.
- ▶ Les origines de Emacs remontent au début des années 1980, une époque où les interfaces graphiques n'existaient pas, le parc informatique était beaucoup plus hétérogène qu'aujourd'hui (les claviers n'étaient pas les mêmes d'une marque d'ordinateur à une autre) et les modes de communication entre les ordinateurs demeuraient rudimentaires.
- ▶ L'âge vénérable de Emacs transparait à plusieurs endroits, notamment dans la terminologie inhabituelle, les raccourcis clavier qui ne correspondent pas aux standards d'aujourd'hui ou la manipulation des fenêtres qui ne se fait pas avec une souris.

Emacs s'adapte à différentes tâches par l'entremise de *modes* qui modifient son comportement ou lui ajoutent des fonctionnalités. L'un de ces modes est ESS (*Emacs Speaks Statistics*).

- ▶ ESS permet d'interagir avec des logiciels statistiques (en particulier R, S+ et SAS) directement depuis Emacs.
- ▶ Quelques-uns des développeurs de ESS sont aussi des développeurs de R, dont la grande compatibilité entre les deux logiciels.
- ▶ Lorsque ESS est installé, le mode est activé automatiquement en ouvrant dans Emacs un fichier dont le nom se termine par l'extension `.R`.

## A.2 Installation

GNU Emacs et le mode ESS sont normalement livrés d'office avec toutes les distributions Linux. Pour les environnements Windows et Mac OS X, le plus simple consiste à télécharger et installer les distributions préparées par le présent auteur. Consulter le site

<http://vgoulet.act.ulaval.ca/emacs/>

## A.3 Description sommaire

Au lancement, Emacs affiche un écran d'information contenant des liens vers différentes ressources. Cet écran disparaît dès que l'on appuie sur une touche. La fenêtre Emacs se divise en quatre zones principales (voir la figure A.1) :

1. tout au haut de la fenêtre (ou de l'écran sous OS X), on trouve l'habituelle barre de menu dont le contenu change selon le mode dans lequel se trouve Emacs ;
2. l'essentiel de la fenêtre sert à afficher un *buffer*, soit le contenu d'un fichier ouvert ou l'invite de commande d'un programme externe ;
3. la ligne de mode est le séparateur horizontal contenant diverses informations sur le fichier ouvert et l'état de Emacs ;
4. le *minibuffer* est la région au bas de la fenêtre où l'on entre des commandes et reçoit de l'information de Emacs.

Il est possible de séparer la fenêtre Emacs en sous-fenêtres pour afficher plusieurs *buffers* à la fois. Il y a alors une ligne de mode pour chaque *buffer*.

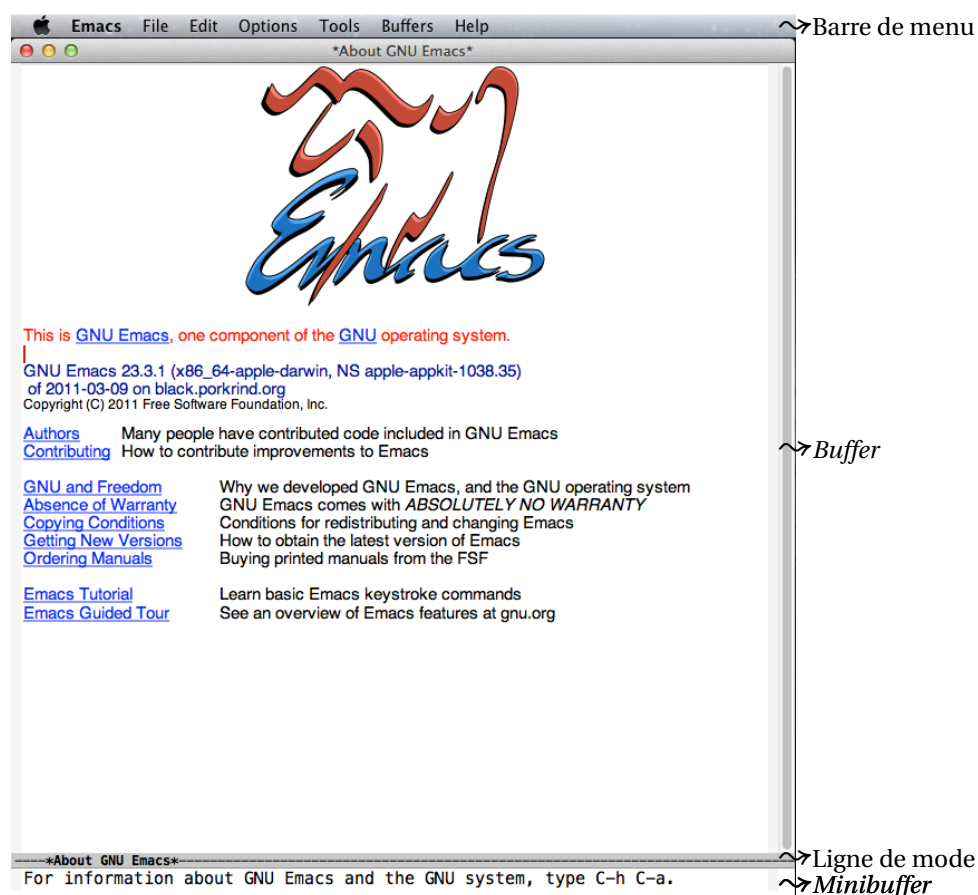


FIG. A.1: Fenêtre GNU Emacs et ses différentes parties au lancement de l'application sous Mac OS X. Sous Windows et Linux, la barre de menu se trouve à l'intérieur de la fenêtre.

## A.4 Emacs-ismes et Unix-ismes

Emacs a sa propre terminologie qu'il vaut mieux connaître lorsque l'on consulte la documentation. De plus, l'éditeur fait siennes certaines conventions du monde Unix et qui sont moins usitées sur les plateformes Windows et OS X.

- Dans les définitions de raccourcis claviers :
  - C est la touche Contrôle (^) ;
  - M est la touche Meta, qui correspond à la touche Alt de gauche sur un PC ou la touche Option (⌘) sur un Mac (toutefois, voir l'encadré à la page suivante) ;



Par défaut sous Mac OS X, la touche Meta est assignée à Option (⌥). Sur les claviers français, cela empêche d'accéder à certains caractères spéciaux tels que [, ], { ou }.

Une solution consiste à plutôt assigner la touche Meta à Commande (⌘). Cela bloque alors l'accès à certains raccourcis Mac, mais la situation est moins critique ainsi.

Pour assigner la touche Meta à Commande (⌘), il suffit d'insérer les lignes suivantes dans son fichier de configuration .emacs (voir la section A.7) :

```
;;; =====
;;; Assigner la touche Meta à Commande
;;; =====
(setq-default ns-command-modifier 'meta) ; Commande est Meta
(setq-default ns-option-modifier 'none) ; Option est Option
```

- ESC est la touche Échap (⌘) et est équivalente à Meta ;
- SPC est la barre d'espace ;
- RET est la touche Entrée (↵).
- ▶ Toutes les fonctionnalités de Emacs correspondent à une commande pouvant être tapée dans le *minibuffer*. M-x démarre l'invite de commande.
- ▶ Le caractère ~ représente le dossier vers lequel pointe la variable d'environnement \$HOME (Linux, OS X) ou %HOME% (Windows). C'est le dossier par défaut de Emacs.
- ▶ La barre oblique (/) est utilisée pour séparer les dossiers dans les chemins d'accès aux fichiers, même sous Windows.
- ▶ En général, il est possible d'appuyer sur TAB dans le *minibuffer* pour compléter les noms de fichiers ou de commandes.

## A.5 Commandes de base

Emacs comporte une pléthore de commandes, il serait donc futile de tenter d'en faire une liste exhaustive ici. Nous nous contenterons de mentionner les commandes les plus importantes regroupées par tâche.

Pour débiter, il est utile de suivre le Tour guidé de Emacs<sup>1</sup> et de lire le tutoriel de Emacs, que l'on démarre avec C-h t.

1. <http://www.gnu.org/software/emacs/tour/> ou cliquer sur le lien dans l'écran d'accueil.

### A.5.1 Les essentielles

M-x démarrer l'invite de commande

C-g bouton de panique : annuler, quitter ! Presser plus d'une fois au besoin.

### A.5.2 Manipulation de fichiers

Entre parenthèses, le nom de la commande Emacs correspondante. On peut entrer cette commande dans le *minibuffer* au lieu d'utiliser le raccourci clavier.



On remarquera qu'il n'existe pas de commande «nouveau fichier» dans Emacs. Pour créer un nouveau fichier, il suffit d'ouvrir un fichier n'existant pas.

C-x C-f ouvrir un fichier (*find-file*)

C-x C-s sauvegarder (*save-buffer*)

C-x C-w sauvegarder sous (*write-file*)

C-x k fermer un fichier (*kill-buffer*)

C-\_ annuler (pratiquement illimité) ; aussi C-x u (*undo*)

C-s recherche incrémentale avant (*isearch-forward*)

C-r Recherche incrémentale arrière (*isearch-backward*)

M-% rechercher et remplacer (*query-replace*)

### A.5.3 Sélection de texte, copier, coller, couper

C-SPC débute la sélection (*set-mark-command*)

C-w couper la sélection (*kill-region*)

M-w copier la sélection (*kill-ring-save*)

C-y coller (*yank*)

M-y remplacer le dernier texte collé par la sélection précédente (*yank-pop*)

- Il est possible d'utiliser les raccourcis clavier usuels de Windows (C-c, C-x, C-v) et OS X (⌘C, ⌘X, ⌘V) en activant le mode CUA dans le menu *Options*.
- On peut copier-coller directement avec la souris dans Windows en sélectionnant du texte puis en appuyant sur le bouton central (ou la molette) à l'endroit souhaité pour y copier le texte.

#### A.5.4 Manipulation de fenêtres

- C-x b changer de *buffer* (switch-buffer)
- C-x 2 séparer l'écran en deux fenêtres (split-window-vertically)
- C-x 1 conserver uniquement la fenêtre courante (delete-other-windows)
- C-x 0 fermer la fenêtre courante (delete-window)
- C-x o aller vers une autre fenêtre lorsqu'il y en a plus d'une (other-window)

#### A.5.5 Manipulation de fichiers de script dans le mode ESS

- C-c C-n évaluer la ligne sous le curseur dans le processus R, puis déplacer le curseur à la prochaine expression (ess-eval-line-and-step)
- C-c C-r évaluer la région sélectionnée dans le processus R (ess-eval-region)
- C-c C-f évaluer le code de la fonction courante dans le processus R (ess-eval-function)
- C-c C-l évaluer le code du fichier courant en entier dans le processus R (ess-load-file)
- C-c C-v aide sur une commande R (ess-display-help-on-object)

#### A.5.6 Interaction avec l'invite de commande R

- M-p, M-n navigation dans l'historique des commandes (previous-matching-history-from-input, next-matching-history-from-input)
- C-c C-e remplacer la dernière ligne au bas de la fenêtre (comint-show-maximum-output)
- M-h sélectionner le résultat de la dernière commande (mark-paragraph)
- C-c C-o effacer le résultat de la dernière commande (comint-delete-output)
- C-c C-v aide sur une commande R (ess-display-help-on-object)
- C-c C-q terminer le processus R (ess-quit)

#### A.5.7 Consultation des rubriques d'aide de R

- h ouvrir une nouvelle rubrique d'aide, par défaut pour le mot se trouvant sous le curseur (ess-display-help-on-object)
- n, p aller à la section suivante (n) ou précédente (p) de la rubrique (ess-skip-to-next-section, ess-skip-to-previous-section)

- l évaluer la ligne sous le curseur ; pratique pour exécuter les exemples  
(`ess-eval-line-and-step`)
- r évaluer la région sélectionnée (`ess-eval-region`)
- q retourner au processus ESS en laissant la rubrique d'aide visible  
(`ess-switch-to-end-of-ESS`)
- x fermer la rubrique d'aide et retourner au processus ESS  
(`ess-kill-buffer-and-go`)

## A.6 Anatomie d'une session de travail (bis)

On reprend ici les étapes d'une session de travail type présentées à la section 1.6, mais en expliquant comment compléter chacune dans Emacs avec le mode ESS.

1. Lancer Emacs et ouvrir un fichier de script avec

`C-x C-f`

ou avec le menu

`File|Open file...`

En spécifiant un nom de fichier qui n'existe pas déjà, on se trouve à créer un nouveau fichier de script. S'assurer de terminer le nom des nouveaux fichiers par `.R` pour que Emacs reconnaisse automatiquement qu'il s'agit de fichiers de script R.

2. Démarrer un processus R à l'intérieur même de Emacs avec

`M-x R ↵`

Emacs demandera alors de spécifier de répertoire de travail (*starting data directory*). Accepter la valeur par défaut, par exemple

`~/ ↵`

ou indiquer un autre dossier. Un éventuel message de Emacs à l'effet que le fichier `.Rhistory` n'a pas été trouvé est sans conséquence et peut être ignoré.

3. Composer le code. Lors de cette étape, on se déplacera souvent du fichier de script à la ligne de commande afin d'essayer diverses expressions. On exécutera également des parties seulement du code se trouvant dans le fichier de script. Les commandes les plus utilisées sont alors

`C-x o` pour se déplacer d'une fenêtre à l'autre ;

`C-c C-n` pour exécuter une ligne du fichier de script ;

`C-c C-e` pour replacer la ligne de commande au bas de la fenêtre.



4. Sauvegarder le fichier de script :

`C-x C-s`

Les quatrième et cinquième caractères de la ligne de mode changent de `**` à `--`.

5. Sauvegarder si désiré l'espace de travail de R avec `save.image()`. On le répète, cela n'est habituellement pas nécessaire à moins que l'espace de travail ne contienne des objets importants ou longs à recréer.
6. Quitter le processus R avec

`C-c C-q`

Cette commande ESS se chargera de fermer tous les fichiers associés au processus R. On peut ensuite quitter Emacs en fermant l'application de la manière usuelle.

## A.7 Configuration de l'éditeur

Une des grandes forces de Emacs est qu'à peu près chacune de ses facettes est configurable : couleurs, polices de caractère, raccourcis clavier, etc.

- Un utilisateur place ses commandes de configuration dans un fichier nommé `.emacs` (le point est important !) que Emacs lit au démarrage.
- Le fichier `.emacs` doit se trouver dans le dossier `~/`, c'est-à-dire dans le dossier de départ de l'utilisateur sous Linux et OS X, et dans le dossier référencé par la variable d'environnement `%HOME%` sous Windows.

## A.8 Aide et documentation

Emacs possède son propre système d'aide très exhaustif, mais dont la navigation est peu intuitive selon les standards d'aujourd'hui. Consulter le menu `Help`.

Autrement, on trouvera les manuels de Emacs et de ESS en divers formats dans les sites respectifs des deux projets :

<http://www.gnu.org/software/emacs>

<http://ess.r-project.org>

Enfin, si le désespoir vous prend au cours d'une séance de codage intensive, vous pouvez toujours consulter le psychothérapeute Emacs. On le trouve, bien entendu, dans le menu `Help` !



# Bibliographie

- Abelson, H., G. J. Sussman et J. Sussman. 1996, *Structure and Interpretation of Computer Programs*, 2<sup>e</sup> éd., MIT Press, ISBN 0-26201153-0.
- Becker, R. A. 1994, «A brief history of S», cahier de recherche, AT&T Bell Laboratories. URL <http://cm.bell-labs.com/cm/ms/departments/sia/doc/94.11.ps>.
- Becker, R. A. et J. M. Chambers. 1984, *S: An Interactive Environment for Data Analysis and Graphics*, Wadsworth, ISBN 0-53403313-X.
- Becker, R. A., J. M. Chambers et A. R. Wilks. 1988, *The New S Language: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics*, Wadsworth & Brooks/Cole, ISBN 0-53409192-X.
- Braun, W. J. et D. J. Murdoch. 2007, *A First Course in Statistical Programming with R*, Cambridge University Press, ISBN 978-0-52169424-7.
- Cameron, D., J. Elliott, M. Loy, E. S. Raymond et B. Rosenblatt. 2004, *Leaning GNU Emacs*, 3<sup>e</sup> éd., O'Reilly, Sebastopol, CA, ISBN 0-59600648-9.
- Chambers, J. M. 1998, *Programming with Data: A Guide to the S Language*, Springer, ISBN 0-38798503-4.
- Chambers, J. M. 2000, «Stages in the evolution of S», URL <http://cm.bell-labs.com/cm/ms/departments/sia/S/history.html>.
- Chambers, J. M. 2008, *Software for Data Analysis: Programming with R*, Springer, ISBN 978-0-38775935-7.
- Chambers, J. M. et T. J. Hastie. 1992, *Statistical Models in S*, Wadsworth & Brooks/Cole, ISBN 0-53416765-9.
- Hornik, K. 2011, «The R FAQ», URL <http://cran.r-project.org/doc/FAQ/R-FAQ.html>, ISBN 3-900051-08-9.

- Iacus, S. M., S. Urbanek et R. J. Goedman. 2011, «R for Mac OS X FAQ», URL <http://cran.r-project.org/bin/macosx/RMacOSX-FAQ.html>.
- Ihaka, R. et R. Gentleman. 1996, «R: A language for data analysis and graphics», *Journal of Computational and Graphical Statistics*, vol. 5, n° 3, p. 299–314.
- Ligges, U. 2003, «R-winedt», dans *Proceedings of the 3rd International Workshop on Distributed Statistical Computing (DSC 2003)*, édité par K. Hornik, F. Leisch et A. Zeileis, TU Wien, Vienna, Austria, ISSN 1609-395X. URL <http://www.ci.tuwien.ac.at/Conferences/DSC-2003/Proceedings/>.
- Redd, A. 2010, «Introducing NppToR: R interaction for Notepad++», *R Journal*, vol. 2, n° 1, p. 62–63. URL [http://journal.r-project.org/archive/2010-1/RJournal\\_2010-1.pdf](http://journal.r-project.org/archive/2010-1/RJournal_2010-1.pdf).
- Ripley, B. D. et D. J. Murdoch. 2011, «R for Windows FAQ», URL <http://cran.r-project.org/bin/windows/base/rw-FAQ.html>.
- Venables, W. N. et B. D. Ripley. 2000, *S Programming*, Springer, New York, ISBN 0-38798966-8.
- Venables, W. N. et B. D. Ripley. 2002, *Modern Applied Statistics with S*, 4<sup>e</sup> éd., Springer, New York, ISBN 0-38795457-0.

# Index

Les numéros de page en caractères gras indiquent les pages où les concepts sont introduits, définis ou expliqués.

!, **30**  
!=, **30**  
\*, **30**  
\*\*, **30**  
+, **30**  
-, **30**  
->, **11**  
..., **67**, **98**  
/, **30**  
<, **30**  
<-, **11**  
<<-, **54**  
<=, **30**  
=, **11**  
==, **30**  
>, **30**  
>=, **30**  
[, **133**  
[[ ]], **17**  
[ ], **15**, **16**, **18**  
%\*%, **30**, **63**  
%/%, **30**  
%%, **30**  
%in%, **32**, **38**  
%o%, **34**, **40**  
&, **30**  
, ^, **30**  
\_, **12**  
abs, **55**, **58**, **59**  
affectation, **11**  
apply, **35**, **40**, **42**, **67**, **67**, **68**, **69**, **73**,  
97–99, **101**  
array, **16**, **21**, **23**, **73**  
arrondi, **33**  
as.data.frame, **18**  
attach, **18**, **24**  
attribut, **14**  
  
bibliothèque, **32**  
boucle, **35**, **51**, **96**  
break, **35**, **42**, **55**, **58**, **59**  
by, **10**, **37**  
byrow, **31**  
  
c, **15**  
cat, **76**  
cbind, **17**, **18**, **23**, **39**  
ceiling, **33**, **38**  
character, **15**, **22**  
character (mode), **13**, **15**, **18**  
choose, **46**  
class, **20–24**, **72**, **76**  
class (attribut), **14**  
colMeans, **34**, **42**, **68**, **73**

- colnames, 18
- colSums, **34**, 40, 42, 49, 68
- colVars, **34**, 103
- compilé (langage), 2
- complex (mode), **13**, 18
- cummax, **33**, 39
- cummin, **33**, 39
- cumprod, **33**, 39, 46
- cumsum, **33**, 39
- data, 31, 37, 88
- data frame, 84
- data frame, **18**
- data.frame, **18**
- data.frame (classe), 18
- dbeta, 87
- dbinom, 47
- density, 10
- detach, **18**, 25
- dgamma, 87, 88
- diag, **33**, 39, 76
- diff, **33**, 39
- différences, 33
- dim, 20–24, 39, 73
- dim (attribut), **14**, 16
- dimension, 14, 26
- dimnames, 21, 31, 103
- dimnames (attribut), **14**
- distribution
  - bêta, 92
  - binomiale, 46, 92
  - binomiale négative, 92
  - Cauchy, 92
  - exponentielle, 92
  - F, 92
  - gamma, 48, 64, 92
  - géométrique, 92
  - hypergéométrique, 92
  - khi carré, 92
  - log-normale, 92, 93
  - logistique, 92
  - mélange discret, 93
  - mélange Poisson/gamma, 93
  - normale, 62, 64, 92
  - Pareto, 64, 78
  - Poisson, 46, 51, 92
  - t, 92
  - uniforme, 92
  - Weibull, 92
  - Wilcoxon, 92
- dnorm, 62
- Dossier de travail, voir répertoire de travail
- dpois, 47
- écart type, 33
- ecdf, 134
- else, **34**, 40, 41, 59, 76
- Emacs, 5, 54, 56, 57
  - C-\_, 109
  - C-g, 109
  - C-r, 109
  - C-s, 109
  - C-SPC, 109
  - C-w, 109
  - C-x 0, 110
  - C-x 1, 110
  - C-x 2, 110
  - C-x b, 110
  - C-x C-f, 109
  - C-x C-s, 109, 112
  - C-x C-w, 109
  - C-x k, 109
  - C-x o, 110
  - C-x o , 111
  - C-x u, 109
  - C-y, 109
- configuration, 112
- et S-Plus, 113–114
- M-%, 109

- M-w, 109
- M-x, 109
- M-y, 109
- nouveau fichier, 109
- rechercher et remplacer, 109
- sélection, 109
- sauvegarder, 109
- sauvegarder sous, 109
- ESS, 5, 54, 56
  - C-c C-e, 110
  - C-c C-e , 111
  - C-c C-f, 54, 110
  - C-c C-l, 110
  - C-c C-n, 56, 110
  - C-c C-n , 111
  - C-c C-o, 110
  - C-c C-q, 110, 112
  - C-c C-r, 110
  - C-c C-v, 110
  - h, 110
  - l, 111
  - M-h, 110
  - M-n, 110
  - M-p, 110
  - n, 110
  - p, 110
  - q, 111
  - r, 111
  - x, 111
- étiquette, 14, 26
- eval, 59
- exists, 24, 25
- exp, 47, 49
- expression, 11
- expression, 59
- extraction, voir aussi indîçage
  - dernières valeurs, 32
  - éléments différents, 32
  - premières valeurs, 32
- F, voir FALSE
- factorial, 42, **47**
- FALSE, 12
- fitdistr, 87
- floor, **33**, 38
- fonction
  - anonyme, 54
  - appel, 30
  - débogage, 56
  - définie par l'utilisateur, 53
  - générique, 72
  - maximum local, 83
  - minimum, 84, 85
  - minimum local, 83
  - optimisation, 86
  - racine, 82
  - résultat, 53
- for, **35**, 36, 40, 41, 60, 70, 96–98
- function, **53**, 55, 58–61, 74–76, 87, 88, 98–101
- function (mode), **13**
- gamma, 42, **47**
- head, **32**, 38
- hist, 75, 78
- if, **34**, 36, 40–42, 55, 58, 59, 76
- ifelse, **35**
- Im, 87
- indîçage
  - liste, **17**, 26
  - matrice, 16, **18**, 27
  - vecteur, **18**, 26
- interprété (langage), 2
- is.na, **15**, 25, 41
- is.null, **15**
- lapply, 35, 67, 69, **69**, 70, 74, 96
- length, 10, **13**, 19–23, 37–39
- lfactorial, 42

- lgamma, 42
- library, 88
- list, **17**, 21, 23, 24, 74, 88, 98, 99, 101
- list (mode), **13**, 17
- liste, 17
- log, 88
- logical, **15**, 22
- logical (mode), **13**, 14, 15, 18
- longueur, **13**, 26
- lower, 87
- ls, 11
  
- mapply, **70**, 74
- match, **32**, 38
- matrice, 16, 43, 62, 63, 67
  - diagonale, 33
  - identité, 33
  - inverse, 33
  - moyennes par colonne, 34
  - moyennes par ligne, 34
  - somme par colonne, 34
  - sommes par ligne, 34
  - transposée, 33
  - variance par colonne, 34
  - variance par ligne, 34
- matrix, 11, **16**, 20–24, 37, 62, 73, 74, 76, 97, 98
- max, 10, **33**, 39, 73
- maximum
  - cumulatif, 33
  - d'un vecteur, 33
  - local, 83
  - parallèle, 33
  - position dans un vecteur, 32
- mean, 14, 21, **33**, 39, 73, 75, 97–100
- median, **33**, 39, 97–100
- médiane, 33
- methods, **72**, 76
- min, 10, **33**, 39
- minimum
  - cumulatif, 33
  - d'un vecteur, 33
  - d'une somme, 84
  - fonction non linéaire, 84, 85
  - local, 83
  - parallèle, 33
  - position dans un vecteur, 32
- mode, **13**, 26
- mode, **13**, 21, 23, 24, 76
- moyenne
  - arithmétique, 33
  - harmonique, 51
  - pondérée, 51, 77
  - tronquée, 33
- ms, **84**, 88
  
- NA, **14**
- na.rm, **14**, 21, 73
- names, 18, 21, 22, 25
- names (attribut), **14**
- nchar, 20
- ncol, 11, 20, 22, 31, **34**, 37, 39, 73, 97, 98
- next, **35**
- nlm, **85**, 88
- nlmin, **84**, 85, 88
- nlminb, **86**
- noms d'objets
  - conventions, 12
  - réservés, 12
- Notepad++, 7
- nrow, 11, 20–22, 31, **34**, 37, 39, 73, 97, 98
- NULL, **15**
- NULL (mode), **15**
- numeric, **15**, 20, 22, 40, 41, 60
- numeric (mode), **13**, 15, 18
  
- optim, **86**, 88
- optimize, **83**, 87



- order, **32**, 38
- outer, **34**, 40, 49, 54, 56
- package, 32
  - MASS, 81, 86, 87
- paste, 78
- pgamma, 49
- plot, 10, 20, 72, 93
- pmax, **33**, 39, 40
- pmin, **33**, 39
- pnorm, 62
- point fixe, 50, 54
- polyroot, **83**, 87
- print, 36, 40–42, 56, 58, 59, 72, 73, 76
- prod, **33**, 34, 39, 40, 73
- produit, 33
  - cumulatif, 33
  - extérieur, 34
- q, 8
- quantile, 33
- quantile, **33**, 39
- Répertoire de travail, 8–9
- racine
  - d'un polynôme, 83
  - d'une fonction, 82
- .Random.seed, 91
- rang, 32
- range, **33**, 39, 97–100
- rank, **32**, 38
- rbind, **17**, 18, 23
- Re, 87
- Recall, 62
- renverser un vecteur, 32
- rep, 10, **32**, 37, 40, 42, 74, 75
- repeat, **35**, 41, 50, 55, 58, 59
- répétition de valeurs, 32
- replace, 25, 39
- replicate, **71**, 75, 100, 101
- return, **53**
- rev, **32**, 38, 39, 46
- rgamma, 88
- rm, 11
- rnorm, 10, 75
- round, 10, 11, **33**, 38
- row.names, 18, 103
- rowMeans, **34**, 42, 68, 97–99, 101
- rownames, 18, 97, 98, 103
- rowSums, **34**, 40, 42, 68, 73
- rowVars, **34**, 103
- runif, 10, **91**, 97–100
- S, 1, 2
- S+, 1
- S-PLUS, 1
- sample, 20, 25, 39, 43, 73–75, **93**
- sapply, 35, 67, 69, **69**, 70, 71, 74, 75, 96, 98, 99, 131
- save.image, 4, 8, 112
- Scheme, 1, 2
- sd, **33**, 39, 75
- seq, 10, 24, **32**, 37, 42, 74
- set.seed, **91**
- simulation
  - nombres uniformes, 91
  - planification, 95–103
  - variables aléatoires, 91
- solve, 11, **33**, 39
- somme, 33
  - cumulative, 33
- sort, **32**, 37
- source, 102
- start, 55, 58, 59, 88
- style, 57
- suite de nombres, 32
- sum, 14, **33**, 39, 40, 73, 74, 88
- summary, **33**, 39, 72
- switch, **35**
- sys.time, 60, 101
- system.time, 61, 101

T, voir TRUE  
t, 11, **33**, 39  
table, 93  
tableau, 16, 43, 67  
tail, **32**, 38  
tri, 32  
TRUE, 12  
trunc, **33**, 38  
  
unique, **32**, 38  
uniroot, **82**, 87  
unlist, **17**, 24, 74  
upper, 87  
  
valeur présente, 45, 51, 52  
var, **33**, 39, 61, 97–99, 101  
variable  
    globale, 54  
    locale, 54  
variance, 33  
vecteur, 15, 29  
vide, voir NULL  
vraisemblance, 84, 87  
  
which, **32**, 38  
which.max, **32**, 38  
which.min, **32**, 38  
while, **35**, 41, 61  
WinEdt, 7



ISBN  
978-2-98