

analyse-R

Introduction

l'analyse d'enquêtes
avec R et RStudio

Dernière mise à jour : 13 octobre 2016

Contributeurs

Par ordre alphabétique :

Julien Barnier, Julien Biaudet, François Briatte, Milan Bouchet-Valat, Frédérique Giraud, Joël Gombin, Mayeul Kauffmann, Joseph Larmarange, Nicolas Robette.

Création et Maintenance :

Joseph Larmarange <http://joseph.larmarange.net>

Présentation

L’objectif premier de **analyse-R** est de présenter comment réaliser des analyses statistiques et diverses opérations courantes (comme la manipulation de données ou la production de graphiques) avec R. Il ne s’agit pas d’un cours de statistiques : les différents chapitres presupposent donc que vous avez déjà une connaissance des différentes techniques présentées. Si vous souhaitez des précisions théoriques / méthodologiques à propos d’un certain type d’analyses, nous vous conseillons d’utiliser votre moteur de recherche préféré. En effet, on trouve sur internet de très nombreux supports de cours (sans compter les nombreux ouvrages spécialisés disponibles en librairie).

analyse-R est en cours de développement. La structuration du site et des chapitres sera probablement amenée à évoluer dans les semaines qui viennent, tout comme les contenus.

Les chapitres en cours d’écriture et/ou de refonte sont indiqués sur fond jaune orangé dans le menu située en haut de page.

Si vous constatez des incohérences et/ou si vous avez des suggestions d’améliorations, n’hésitez pas à les signaler sur <https://github.com/larmarange/analyse-R/issues>.

Table des matières

Si vous débutez avec **R** et **RStudio**, nous vous conseillons de parcourir en premier lieu les chapitres suivants :

1. Manipuler > Prise en main
2. Analyser > Statistiques introducives
3. Manipuler > Manipulations de données
4. Analyser > Statistiques intermédiaires

puis de compléter votre lecture en fonction de vos besoins.

Manipuler

```
## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.
## Use 'xml_find_first' instead.
## See help("Deprecated")

## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.
## Use 'xml_find_first' instead.
## See help("Deprecated")

## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.
## Use 'xml_find_first' instead.
## See help("Deprecated")

## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.
## Use 'xml_find_first' instead.
## See help("Deprecated")
```

Prise en main

Présentation et Philosophie	9
Installation de R et RStudio	13
Premier contact	15
Premier travail avec des données	35
Extensions	57
Vecteurs, indexation et assignation	61
Listes et Tableaux de données	81

Facteurs et vecteurs labellisés	107
Organiser ses fichiers	125
Import de données	135
Recodage	151
Où trouver de l’aide?	193

Manipulation de données

Introduction à dplyr	203
Introduction à data.table	205
Doublons	207
Tris	209
Sous-ensembles	213
Fusion de tables	221
Gestion des dates	227
Aggrégation	229
Fonctions à fenêtre	231
Restructuration de données	233
Manipuler du texte	235

Exporter

Export de données	237
Export de graphiques	239
Export de tableaux	247

Analyser

```
## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.  
## Use 'xml_find_first' instead.  
## See help("Deprecated")  
  
## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.  
## Use 'xml_find_first' instead.  
## See help("Deprecated")  
  
## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.
```

```

## Use 'xml_find_first' instead.
## See help("Deprecated")

## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.
## Use 'xml_find_first' instead.
## See help("Deprecated")

```

Statistiques introductives

Statistique univariée	249
Statistique bivariée	273
Introduction à ggplot2	295
Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2	317
Données pondérées	353
Graphiques de données pondérées	363

Statistiques intermédiaires

Intervalles de confiance	365
Comparaisons (moyennes et proportions)	373
Définir un plan d'échantillonnage complexe	385
Régression linéaire	389
Régression logistique	391
Analyse en composantes principales (ACP)	421
Analyse des correspondances multiples (ACM)	423
Classification ascendante hiérarchique (CAH)	459

Statistiques avancées

Modèles linéaires à effets mixtes	481
Modèles GEE	483
Séries temporelles	485
Modèles à temps discret	487
Analyse de survie	489
Analyse de séquences	491
Analyse de réseaux	513
Analyse spatiale	515

Approfondir

```
## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.  
## Use 'xml_find_first' instead.  
## See help("Deprecated")  
  
## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.  
## Use 'xml_find_first' instead.  
## See help("Deprecated")  
  
## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.  
## Use 'xml_find_first' instead.  
## See help("Deprecated")  
  
## Warning: 'xml_find_one' is deprecated.  
## Use 'xml_find_first' instead.  
## See help("Deprecated")
```

Graphiques

ggplot2♦: la grammaire des graphiques	517
♦tendre ggplot2	519
lattice♦: graphiques et formules	521
Diagrammes	523
Représenter des flux	525
Réseaux dynamiques	527
ggvis♦: les graphiques interactifs	529
htmlwidgets♦: la puissance de javascript	531
Cartes	533

Programmation

Conditions et comparaisons	535
Formules	539
Structures conditionnelles	553
Expressions régulières	555
Écrire ses propres fonctions	557
R Markdown♦: les rapports automatisés	559

Shiny♦: les interfaces interactives	561
Git	563
D♦velopper un package	565

Divers

Calculer un ♦ge	567
prevR♦: cartes de pr♦valence ♦ partir des EDS	575

Index

Index des concepts	577
Index des fonctions	607
Index des extensions	637

Licence

Le contenu de ce site est diffus♦ sous licence *Creative Commons Attribution - Pas d♦utilisation commerciale - Partage dans les m♦mes conditions* (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/fr/>).



CC by-nc-sa

Cela signifie donc que vous ♦tes libre de recopier / modifier / redistribuer les contenus d♦analyse-R, ♦ condition que vous citiez la source et que vos modifications soient elle-m♦mes distribu♦es sous la m♦me licence (autorisant ainsi d♦autres ♦ pouvoir r♦utiliser ♦ leur tour vos ajouts).

Contribuer

analyse-R est d♦velopp♦ avec RStudio et le code source est librement disponible sur GitHub♦: <https://github.com/larmarange/analyse-R>.

Ce projet se veut collaboratif. N♦h♦sitez donc pas ♦ proposer des corrections ou ajouts, voire m♦me ♦ r♦diger des chapitres additionnels.

Présentation et Philosophie

Présentation de R	9
Philosophie de R	10
Présentation de RStudio	11

Présentation de R

R est un langage orienté vers le traitement de données et l'analyse statistique derivée du langage S. Il est développé depuis une vingtaine d'années par un groupe de volontaires de différents pays. C'est un logiciel libre¹, publié sous licence GNU GPL.

L'utilisation de R présente plusieurs avantages :

- c'est un logiciel multiplateforme, qui fonctionne aussi bien sur des systèmes Linux, Mac OS X ou Windows ;
- c'est un logiciel libre, développé par ses utilisateurs et modifiable par tout un chacun ;
- c'est un logiciel gratuit ;
- c'est un logiciel très puissant, dont les fonctionnalités de base peuvent être étendues grâce à l'aide de plusieurs milliers d'extensions ;
- c'est un logiciel dont le développement est très actif et dont la communauté d'utilisateurs ne cesse de se largir ;
- les possibilités de manipulation de données sous R sont en général largement supérieures à celles des autres logiciels usuels d'analyse statistique ;
- c'est un logiciel avec d'excellentes capacités graphiques et de nombreuses possibilités d'export ;
- avec Rmarkdown², il est devenu très facile de produire des rapports automatisés dans divers format (Word, PDF, HTML, etc.) ;
- R est de plus utilisé dans tous les secteurs scientifiques, y compris dans le domaine des analyses d'enquêtes et, plus généralement, des sciences sociales.

1. Pour plus d'informations sur ce qu'est un logiciel libre, voir : <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.fr.html>.

2. Voir <http://rmarkdown.rstudio.com/>.

Comme rien n'est parfait, on peut également trouver quelques inconvénients :

- le logiciel, la documentation de référence et les principales ressources sont en anglais. Il est toutefois parfaitement possible d'utiliser R sans spécialement maîtriser cette langue ;
- il n'existe pas encore d'interface graphique pour R équivalente à celle d'autres logiciels comme SPSS ou Modalisa. R fonctionne à l'aide de scripts (des petits programmes) dit's et exact's au fur et mesure de l'analyse et se rapprocherait davantage de SAS dans son utilisation (mais avec une syntaxe et une philosophie très différentes). Ce point, qui peut apparaître comme un gros handicap, nécessite un temps d'apprentissage à tre un mode d'utilisation d'une grande souplesse ;
- comme R semble appartenir davantage à un langage de programmation qu'à un logiciel proprement dit, la courbe d'apprentissage peut être un peu raide, notamment pour ceux n'ayant jamais programmé auparavant.

Il est à noter que le développement autour de R a été particulièrement actif ces dernières années. On trouvera dès lors aujourd'hui de nombreuses extensions permettant de se faciliter la vie au quotidien, ce qui n'était pas vraiment encore le cas il y a 5 ans.

Philosophie de R

Quelques points particuliers dans le fonctionnement de R peuvent parfois dérouter les utilisateurs habitués d'autres logiciels :

- Sous R, en général, on ne voit pas directement les données sur lesquelles on travaille ; on ne dispose pas en permanence d'une vue des données sous forme de tableau³, comme sous Modalisa ou SPSS. Ceci peut être déroutant au début, mais on se rend vite compte qu'on n'a pas besoin de voir en permanence les données pour les analyser.
- Alors qu'avec la plupart des logiciels on refléchira avec un fichier de données ouvert à la fois, sous R chaque fichier de données correspondra à un objet différent chargé en mémoire, permettant de manipuler très facilement plusieurs objets à la fois (par exemple dans le cadre de fusion de tables⁴).
- Avec les autres logiciels, en général la production d'une analyse gagne un grand nombre de résultats de toutes sortes dans lesquels l'utilisateur est censé retrouver et isoler ceux qui l'intéressent. Avec R, c'est l'inverse : par défaut l'affichage est réduit au minimum et c'est l'utilisateur qui demande à voir des résultats supplémentaires ou plus détaillés.
- Sous R, les résultats des analyses sont eux aussi stockés dans des objets et sont dès lors manipulables.

3. On verra qu'il est possible avec RStudio de disposer d'une telle vue.

4. Voir par exemple la section d'dié ce sujet dans le [chapitre sur la manipulation de données](#).

Inhabituel au début, ce fonctionnement permet en fait assez rapidement de gagner du temps dans la conduite des analyses.

Présentation de RStudio

L'interface de base de R est assez rudimentaire (voir figure ci-après).

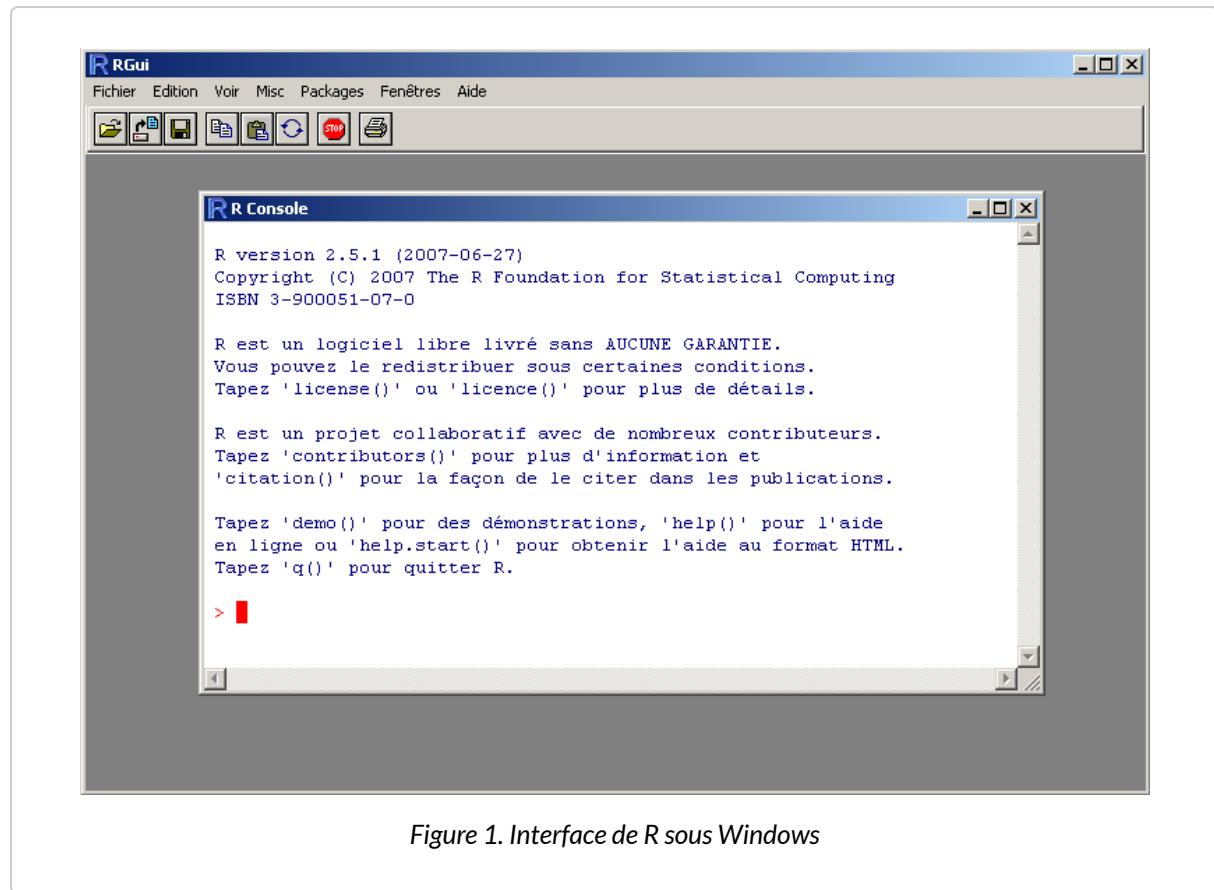


Figure 1. Interface de R sous Windows

RStudio est un environnement de développement intégré libre, gratuit, et qui fonctionne sous Windows, Mac OS X et Linux. Il complète R et fournit un éditeur de script avec coloration syntaxique, des fonctionnalités pratiques d'édition et d'exécution du code (comme l'autocomplétion), un affichage simultané du code, de la console R, des fichiers, graphiques et pages d'aide, une gestion des extensions, une intégration avec des systèmes de contrôle de versions comme git, etc. Il intègre de base divers outils comme par exemple la production de rapports au format Rmarkdown. Il est en développement actif et de nouvelles fonctionnalités sont ajoutées régulièrement. Son principal défaut est d'avoir une interface uniquement anglophone.

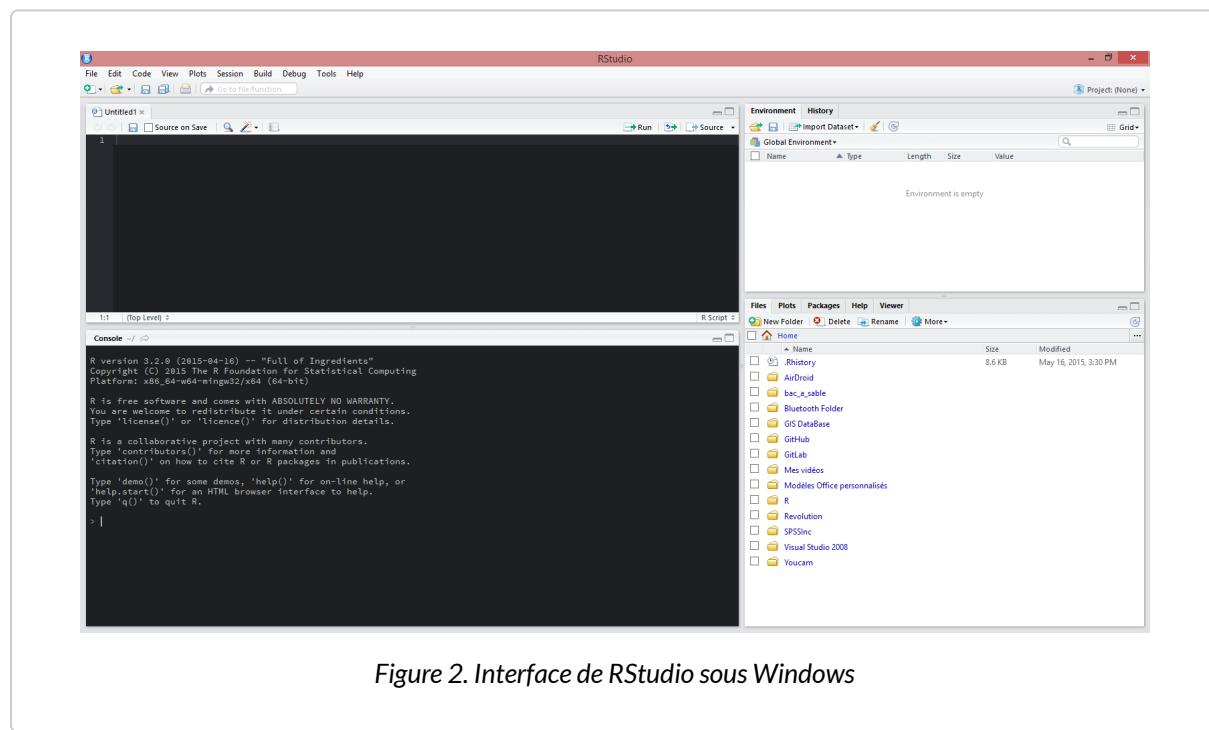


Figure 2. Interface de RStudio sous Windows

Pour une présentation plus générale de **RStudio** on pourra se référer au site du projet : <http://www.rstudio.com/>.

RStudio peut tout fait être utilisé pour découvrir et démarrer avec **R**. Les différents chapitres d'**analyse-R** partent du principe que vous utilisez **R** avec **RStudio**. Cependant, à part les éléments portant sur l'interface de **RStudio**, l'ensemble du code et des fonctions **R** peuvent être utilisés directement dans **R**, même en l'absence de **RStudio**.

La documentation de **RStudio** (en anglais) est disponible en ligne à <https://support.rstudio.com>. Pour être tenu informé des dernières évolutions de **RStudio**, mais également de plusieurs extensions développées dans le cadre de ce projet, vous pouvez suivre le blog dédié <http://blog.rstudio.org/>.

Installation de R et RStudio

Installation de R	13
Installation de RStudio	13
Mise à jour de R sous Windows	14

Il est préférable de commencer par installer R avant d'installer RStudio.

Installation de R

Pour une installation sous **Windows**, on se rendra sur cette page : <http://cran.r-project.org/bin/windows/base/> et l'on suivra le premier lien pour télécharger le programme d'installation. Une fois le programme d'installation lancé, il suffira d'installer R avec les options par défaut¹.

Pour **Mac OS X**, les fichiers d'installation sont disponibles à <http://cran.r-project.org/bin/macosx/>.

Si vous travaillez sous **Linux**, vous devriez pouvoir trouver R via votre gestionnaire de paquets, cela pouvant dépendre d'une distribution de Linux à une autre.

Installation de RStudio

Une fois R correctement installé, rendez-vous sur <http://www.rstudio.com/products/rstudio/download/> pour télécharger la dernière version stable de RStudio. Plus précisément, il s'agit de l'édition Open Source de RStudio Desktop (en effet, il existe aussi une version serveur).

Choisissez l'installateur correspondant à votre système d'exploitation et suivez les instructions du programme d'installation.

1. Dans le cas particulier où votre ordinateur est situé derrière un proxy, il est préférable de choisir *Options de démarrage personnalisées* lorsque cela vous sera demandé par le programme d'installation, puis *Internet2* lorsqu'on vous demandera le mode de connexion à Internet. Ainsi, R utilisera par défaut la configuration internet du navigateur **Internet Explorer** et prendra ainsi en compte les paramètres du proxy.

Si vous voulez tester les dernières fonctionnalités de **RStudio**, vous pouvez télécharger la version de développement (plus riche en fonctionnalités que la version stable, mais pouvant contenir des bugs) sur <http://www.rstudio.com/products/rstudio/download/preview/>.

Mise à jour de R sous Windows

Pour mettre à jour R sous **Windows**, il suffit de télécharger et d'installer la dernière version du programme d'installation.

Petite particularité, la nouvelle version sera installée côté à côté de l'ancienne version. Si vous souhaitez faire de la place sur votre disque dur, vous pouvez désinstaller l'ancienne version en utilisant l'utilitaire *Désinstaller un programme de Windows*.

Lorsque plusieurs versions de R sont disponibles, **RStudio** choisit par défaut la plus récente. Il est possible de spécifier à **RStudio** quelle version de R utiliser via le menu *Tools > Global Options > General*.

Petit défaut, les extensions (*packages*) sont installées par défaut sous **Windows** dans le répertoire `Documents de l'utilisateur > R > win-library > x.y` avec `x.y` correspondant au numéro de la version de R. Ainsi, si l'on travaillait avec la version 3.0 et que l'on passe à la version 3.2, les extensions que l'on avait sous l'ancienne version ne sont plus disponibles pour la nouvelle version. Une astuce consiste à recopier le contenu du répertoire `3.0` dans le répertoire `3.2`. Puis, on lancera **RStudio** (si il était déjà ouvert, on le fermera puis relancera) et on mettra à jour l'ensemble des packages, soit avec la fonction, `update.packages` soit en cliquant sur *Update* dans l'onglet *Packages* du quadrant inférieur droit.

Premier contact

L'invite de commandes	16
Des objets	20
Objets simples	20
Vecteurs	23
Des fonctions	26
Arguments	27
Quelques fonctions utiles	28
Aide sur une fonction	29
Interprétation des arguments	30
Autocomplétion	32

NOTE

Ce chapitre est inspiré de la section *Prise en main* du support de cours [Introduction à R réalisée par Julien Barnier](#).

Une fois **RStudio** lancé, vous devriez obtenir une fenêtre similaire à la figure ci-dessous.

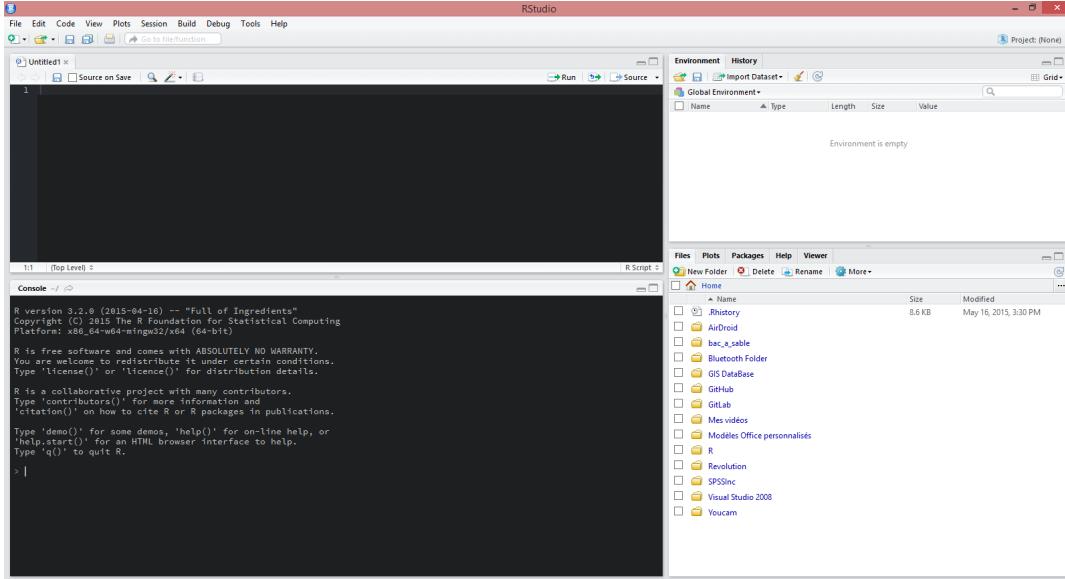


Figure 1. Interface de RStudio au démarrage

L'interface de **RStudio** est divisée en quatre quadrants :

- le quadrant supérieur gauche est dédié aux différents fichiers de travail (nous y reviendrons dans le chapitre Premier travail avec les données, page 35) ;
- le quadrant inférieur gauche correspond à ce que l'on appelle la *console*, c'est-à-dire R proprement dit ;
- le quadrant supérieur droit permet de connaître
 - la liste des objets en mémoire ou environnement de travail (onglet *Environment*)
 - ainsi que l'historique des commandes saisies dans la console (onglet *History*) ;
- le quadrant inférieur droit affiche
 - la liste des fichiers du répertoire de travail (onglet *Files*),
 - les graphiques réalisés (onglet *Plots*),
 - la liste des extensions disponibles (onglet *Packages*),
 - l'aide en ligne (onglet *Help*)
 - et un *Viewer* utilisé pour visualiser certains types de graphiques au format web.

Inutile de tout retenir pour le moment. Nous aborderons chaque outil en temps utile. Pour l'heure, concentrons-nous sur la console, c'est-à-dire le quadrant inférieur gauche.

L'invite de commandes

Au démarrage, la console contient un petit texte de bienvenue ressemblant peu près à ce qui suit :

```
R version 3.2.0 (2015-04-16) -- "Full of Ingredients"
Copyright (C) 2015 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)
```

```
R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.
```

```
R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.
```

```
Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.
```

```
>
```

suivi d'une ligne commençant par le caractère `>` et sur laquelle devrait se trouver votre curseur. Cette ligne est appelée l'invite de commande (ou prompt en anglais). Elle signifie que **R** est disponible et en attente de votre prochaine commande.

Nous allons tout de suite lui fournir une première commande. Tapez `2 + 3` dans la console et validez avec la touche **Entrée**.

```
R> 2 + 3
```

```
[1] 5
```

En premier lieu, vous pouvez noter la convention typographique utilisée dans ce document. Les commandes saisies dans la console sont indiquées sur un fond gris et précédées de `R>`. Le résultat renvoyé par **R** est quant à lui affiché juste en-dessous sur fond blanc.

Bien, nous savons désormais que **R** sait faire les additions à un chiffre¹. Nous pouvons désormais continuer avec d'autres opérations arithmétiques de base :

```
R> 8 - 12
```

```
[1] -4
```

1. La présence du `[1]` en début de ligne sera expliquée par la suite dans la section sur les vecteurs, page 23.

```
R> 14 * 25
```

```
[1] 350
```

```
R> -3/10
```

```
[1] -0.3
```

```
R> -0.3
```

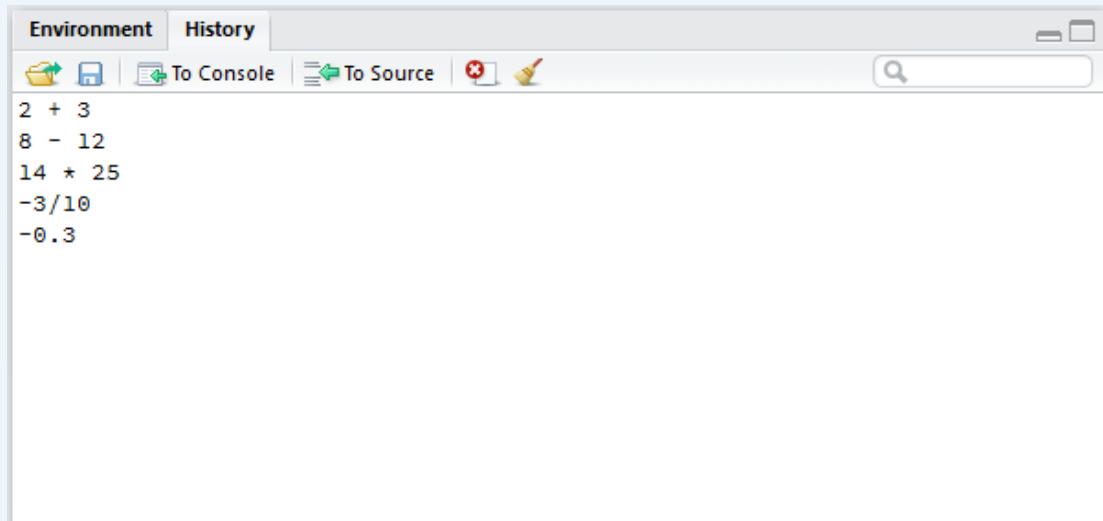
```
[1] -0.3
```

On remarquera que R est anglo-saxon. Les nombres sont donc saisies ~~à la française~~ |~~anglaise~~, c'est-à-dire en utilisant le point (.) comme séparateur pour les décimales.

NOTE

Une petite astuce très utile lorsque vous tapez des commandes directement dans la console : en utilisant les flèches Haut et Bas du clavier, vous pouvez naviguer dans l'historique des commandes tapées précédemment. Vous pouvez alors facilement réexécuter ou modifier une commande particulière.

Sous RStudio, l'onglet *History* du quadrant haut-droite vous permet de consulter l'historique des commandes que vous avez transmises à R.



Onglet History sous RStudio

Un double-clic sur une commande la recopiera automatiquement dans la console. Vous pouvez également sélectionner une ou plusieurs commandes puis cliquer sur *To Console*.

Voir également (en anglais) : <https://support.rstudio.com/hc/en-us/articles/200526217-Command-History>.

Lorsqu'on fournit à R une commande incomplète, celui-ci nous propose de la compléter en nous présentant une invite de commande spéciale utilisant les signes + . Imaginons par exemple que nous avons malencontreusement tapé sur Entrée alors que nous souhaitions calculer $4 * 3$:

```
R> 4 *
```

On peut alors compléter la commande en saisissant simplement 3 :

```
R> 4 *
```

```
+ 3
```

```
[1] 12
```

NOTE

Pour des commandes plus complexes, il arrive parfois qu’on se retrouve coincé avec une invite + sans plus savoir comment compléter la saisie correctement. On peut alors annuler la commande en utilisant la touche **Echap** ou **Esc** sous Windows.

Sous Linux on utilise le traditionnel **Control + C**.

Noter que les espaces autour des opérateurs n’ont pas d’importance lorsque l’on saisit les commandes dans R. Les trois commandes suivantes sont donc équivalentes, mais on priviliege en général la deuxième pour des raisons de lisibilité du code.

```
R> 10+2
```

```
10 + 2
```

```
10 + 2
```

Des objets

Objets simples

Faire des opérations arithmétiques, c’est bien, mais sans doute pas totalement suffisant. Notamment, on aimerait pouvoir réutiliser le résultat d’une opération sans avoir à le resaisir ou à le copier/coller.

Comme tout langage de programmation, R permet de faire cela en utilisant des objets. Prenons tout de suite un exemple :

```
R> x <- 2
```

Que signifie cette commande ? L’opérateur `<-` est appelé opérateur d’assignation. Il prend une valeur quelconque à droite et la place dans l’objet indiqué à gauche. La commande pourrait donc se lire *mettre la valeur 2 dans l’objet nommé x*.

IMPORTANT

Il existe trois opérateurs d'assignation sous R. Ainsi les trois écritures suivantes sont équivalentes :

```
R> x <- 2
x = 2
x <- 2
```

Cependant, pour une meilleure lecture du code, il est conseillé de ne utiliser que `<-`. Ainsi, l'objet créé est systématiquement affiché à gauche. De plus, le symbole `=` sert également pour écrire des conditions ou l'intérieur de fonctions. Il est donc préférable de ne pas l'utiliser pour assigner une valeur (afin d'éviter les confusions).

On va ensuite pouvoir réutiliser cet objet dans d'autres calculs ou simplement afficher son contenu :

```
R> x + 3
```

```
[1] 5
```

```
R> x
```

```
[1] 2
```

NOTE

Par défaut, si on donne à R seulement le nom d'un objet, il va se débrouiller pour nous présenter son contenu d'une manière plus ou moins lisible.

On peut utiliser autant d'objets qu'on veut. Ceux-ci peuvent contenir des nombres, des chaînes de caractères (indiquées par des guillemets droits doubles " ou simples ') et bien d'autres choses encore :

```
R> x <- 27  
y <- 10  
foo <- x + y  
foo
```

```
[1] 37
```

```
R> x <- "Hello"  
foo <- x  
foo
```

```
[1] "Hello"
```

IMPORTANT

Les noms d’objets peuvent contenir des lettres, des chiffres, les symboles . et _. Ils doivent impérativement commencer par une lettre (jamais par un chiffre). R fait la différence entre les majuscules et les minuscules, ce qui signifie que x et X sont deux objets différents. On évitera également d’utiliser des caractères accentués dans les noms d’objets. Comme les espaces ne sont pas autorisés on pourra les remplacer par un point ou un tiret bas.

Enfin, signalons que certains noms courts sont réservés par R pour son usage interne et doivent être évités. On citera notamment c, q, t, C, D, F, I, T, max, min.

Dans RStudio, l’onglet *Environment* dans le quadrant supérieur droit indique la liste des objets que vous avez précédemment créés, leur type et la taille qu’ils occupent en mémoire.

The screenshot shows the RStudio interface with the 'Environment' tab selected. The global environment contains three variables:

Name	Type	Length	Size	Value
foo	character	1	96 B	"Hello"
x	character	1	96 B	"Hello"
y	numeric	1	48 B	10

Figure 2. Onglet Environment de RStudio

Vecteurs

Imaginons maintenant que nous avons interrogé dix personnes au hasard dans la rue et que nous avons relevé pour chacune d'entre elles sa taille en centimètres. Nous avons donc une série de dix nombres que nous souhaiterions pouvoir regrouper de manière à pouvoir travailler sur l'ensemble de nos mesures.

Un ensemble de données de même nature constituent pour R un vecteur (en anglais vector) et se construit à l'aide d'une fonction nommée `c`². On l'utilise en lui donnant la liste de nos données, entre parenthèses, séparées par des virgules :

```
R> tailles <- c(167, 192, 173, 174, 172, 167, 171, 185,
  163, 170)
```

Ce faisant, nous avons créé un objet nommé `tailles` et comprenant l'ensemble de nos données, que nous pouvons afficher en saisissant simplement son nom :

```
R> tailles
[1] 167 192 173 174 172 167 171 185 163 170
```

Que se passe-t-il si on crée un vecteur plus grand ?

2. `c` est l'abréviation de `combine`. Le nom de cette fonction est très court car on l'utilise très souvent.

```
R> c(144, 168, 179, 175, 182, 188, 167, 152, 163, 145,
    176, 155, 156, 164, 167, 155, 157, 185, 155, 169,
    124, 178, 182, 195, 151, 185, 159, 156, 184, 172)
```

```
[1] 144 168 179 175 182 188 167 152 163 145 176
[12] 155 156 164 167 155 157 185 155 169 124 178
[23] 182 195 151 185 159 156 184 172
```

On a bien notre suite de trente tailles, mais on peut remarquer la présence de nombres entre crochets au début de chaque ligne ([1] , [12] et [23]). En fait ces nombres entre crochets indiquent la position du premier élément de la ligne dans notre vecteur. Ainsi, le 155 en début de deuxième ligne est le 12^e élément du vecteur, tandis que le 182 de la troisième ligne est la 23^e position.

On en déduira d'ailleurs que lorsque l'on fait :

```
R> 2
```

```
[1] 2
```

R considère en fait le nombre 2 comme un vecteur à un seul élément.

On peut appliquer des opérations arithmétiques simples directement sur des vecteurs :

```
R> tailles <- c(167, 192, 173, 174, 172, 167, 171, 185,
    163, 170)
tailles + 20
```

```
[1] 187 212 193 194 192 187 191 205 183 190
```

```
R> tailles/100
```

```
[1] 1.67 1.92 1.73 1.74 1.72 1.67 1.71 1.85 1.63
[10] 1.70
```

```
R> tailles^2
```

```
[1] 27889 36864 29929 30276 29584 27889 29241
[8] 34225 26569 28900
```

On peut aussi combiner des vecteurs entre eux. L'exemple suivant calcule l'indice de masse corporelle à partir de la taille et du poids :

```
R> tailles <- c(167, 192, 173, 174, 172, 167, 171, 185,
  163, 170)
poids <- c(86, 74, 83, 50, 78, 66, 66, 51, 50, 55)
tailles.m <- tailles/100
imc <- poids/(tailles.m^2)
imc
```

```
[1] 30.83653 20.07378 27.73230 16.51473 26.36560
[6] 23.66524 22.57105 14.90139 18.81892 19.03114
```

IMPORTANT

Quand on fait des opérations sur les vecteurs, il faut veiller soit utiliser un vecteur et un chiffre (dans des opérations du type `v * 2` ou `v + 10`), soit utiliser des vecteurs de même longueur (dans des opérations du type `u + v`).

Si on utilise des vecteurs de longueur différentes, on peut avoir quelques surprises. Quand R effectue une opération avec deux vecteurs de longueurs différentes, il recopie le vecteur le plus court de manière à lui donner la même taille que le plus long, ce qui s'appelle la règle de recyclage (*recycling rule*). Ainsi, `c(1,2) + c(4,5,6,7,8)` vaudra l'équivalent de `c(1,2,1,2,1) + c(4,5,6,7,8)`.

On a vu jusque-là des vecteurs composés de nombres, mais on peut tout fait créer des vecteurs composés de chaînes de caractères, représentant par exemple les réponses à une question ouverte ou fermée :

```
R> reponse <- c("Bac+2", "Bac", "CAP", "Bac", "Bac", "CAP",
  "BEP")
reponse
```

```
[1] "Bac+2" "Bac"   "CAP"   "Bac"   "Bac"
[6] "CAP"    "BEP"
```

Enfin, notons que l'on peut accéder à un élément particulier du vecteur en faisant suivre le nom du vecteur de crochets contenant le numéro de l'élément désiré. Par exemple :

```
R> reponse <- c("Bac+2", "Bac", "CAP", "Bac", "Bac", "CAP",
  "BEP")
reponse[2]
```

```
[1] "Bac"
```

Cette opération s’appelle l’indexation d’un vecteur. Il s’agit ici de sa forme la plus simple, mais il en existe d’autres beaucoup plus complexes. L’indexation des vecteurs et des tableaux dans R est l’un des éléments particulièrement souples et puissants du langage (mais aussi l’un des plus délicats à comprendre et à maîtriser). Nous en reparlerons dans le chapitre sur la [manipulation de données](#).

NOTE

Sous **RStudio**, vous avez du remarquer que ce dernier effectue une coloration syntaxique. Lorsque vous tapez une commande, les valeurs numériques sont affichées dans une certaine couleur, les valeurs textuelles dans une autre et les noms des fonctions dans une troisième. De plus, si vous tapez une parenthèse ouvrante, **RStudio** va créer automatiquement après le curseur la parenthèse fermante correspondante (de même avec les guillements ou les crochets). Si vous placez le curseur juste après une parenthèse fermante, la parenthèse ouvrante correspondante sera soulignée, ce qui sera bien pratique lors de la rédaction de commandes complexes.

Des fonctions

Nous savons désormais faire des opérations simples sur des nombres et des vecteurs, stocker ces données et résultats dans des objets pour les réutiliser par la suite.

Pour aller un peu plus loin nous allons aborder, après les objets, l’autre concept de base de R, à savoir les fonctions. Une fonction se caractérise de la manière suivante :

- elle a un nom ;
- elle accepte des arguments (qui peuvent avoir un nom ou pas) ;
- elle retourne un résultat et peut effectuer une action comme dessiner un graphique ou lire un fichier.

En fait rien de bien nouveau puisque nous avons déjà utilisé plusieurs fonctions jusqu’ici, dont la plus visible est la fonction `c`. Dans la ligne suivante :

```
R> reponse <- c("Bac+2", "Bac", "CAP", "Bac", "Bac", "CAP",
  "BEP")
```

on fait appel à la fonction nommée `c`, on lui passe en arguments (entre parenthèses et séparées par des virgules) une série de chaînes de caractères et elle retourne comme résultat un vecteur de chaînes de caractères, que nous stockons dans l'objet `reponse`.

Prenons tout de suite d'autres exemples de fonctions courantes :

```
R> tailles <- c(167, 192, 173, 174, 172, 167, 171, 185,
  163, 170)
length(tailles)
```

[1] 10

```
R> mean(tailles)
```

[1] 173.4

```
R> var(tailles)
```

[1] 76.71111

Ici, la fonction `length` nous renvoie le nombre d'éléments du vecteur, la fonction `mean` nous donne la moyenne des éléments du vecteur et fonction `var` sa variance.

Arguments

Les arguments de la fonction lui sont indiqués entre parenthèses, juste après son nom. En général les premiers arguments passés à la fonction sont des données servant au calcul et les suivants des paramètres influant sur ce calcul. Ceux-ci sont en général transmis sous la forme d'arguments nommés.

Reprendons l'exemple des tailles précédent :

```
R> tailles <- c(167, 192, 173, 174, 172, 167, 171, 185,  
163, 170)
```

Imaginons que le deuxième enquêté n’ait pas voulu nous répondre. Nous avons alors dans notre vecteur une valeur manquante. Celle-ci est symbolisée dans R par le code NA :

```
R> tailles <- c(167, NA, 173, 174, 172, 167, 171, 185,  
163, 170)
```

Recalculons notre taille moyenne :

```
R> mean(tailles)
```

```
[1] NA
```

Et oui, par défaut, R renvoie NA pour un grand nombre de calculs (dont la moyenne) lorsque les données comportent une valeur manquante. On peut cependant modifier ce comportement en fournissant un paramètre supplémentaire à la fonction mean, nommé na.rm :

```
R> mean(tailles, na.rm = TRUE)
```

```
[1] 171.3333
```

Positionner le paramètre na.rm à TRUE (vrai) indique à la fonction mean de ne pas tenir compte des valeurs manquantes dans le calcul.

Lorsqu’on passe un argument à une fonction de cette manière, c'est-à-dire sous la forme nom=valeur, on parle d’argument nommé.

IMPORTANT

NA signifie *not available*. Cette valeur particulière peut être utilisée pour indiquer une valeur manquante pour tout type de liste (nombres, textes, valeurs logique, etc.).

Quelques fonctions utiles

R capitulons la liste des fonctions que nous avons déjà rencontrées :

Fonction	Description
<code>c</code>	construit un vecteur à partir d'une série de valeurs
<code>length</code>	nombre d'éléments d'un vecteur
<code>mean</code>	moyenne d'un vecteur de type numérique
<code>var</code>	variance d'un vecteur de type numérique
<code>+ , - , * , /</code>	opérateurs mathématiques de base
<code>^</code>	passage à la puissance

On peut rajouter les fonctions de base suivantes :

Fonction	Description
<code>min</code>	valeur minimale d'un vecteur numérique
<code>max</code>	valeur maximale d'un vecteur numérique
<code>sd</code>	écart-type d'un vecteur numérique
<code>:</code>	génère une séquence de nombres. <code>1:4</code> équivaut à <code>c(1,2,3,4)</code>

Aide sur une fonction

Il est très fréquent de ne plus se rappeler quels sont les paramètres d'une fonction ou le type de résultat qu'elle retourne. Dans ce cas on peut très facilement accéder à l'aide en écrivant une fonction particulière avec `?` ou `help`. Ainsi, pour obtenir de l'aide sur la fonction `mean`, on saisira l'une des deux entrées équivalentes suivantes :

```
R> ?mean
    help("mean")
```

NOTE

L'utilisation du raccourci `?` ne fonctionne pas pour certains opérateurs comme `*`. Dans ce cas on pourra utiliser `? '*'` ou bien simplement `help("*")`.

Sous RStudio, le fichier d'aide associé apparaîtra dans le quadrant inférieur droit sous l'onglet *Help*.

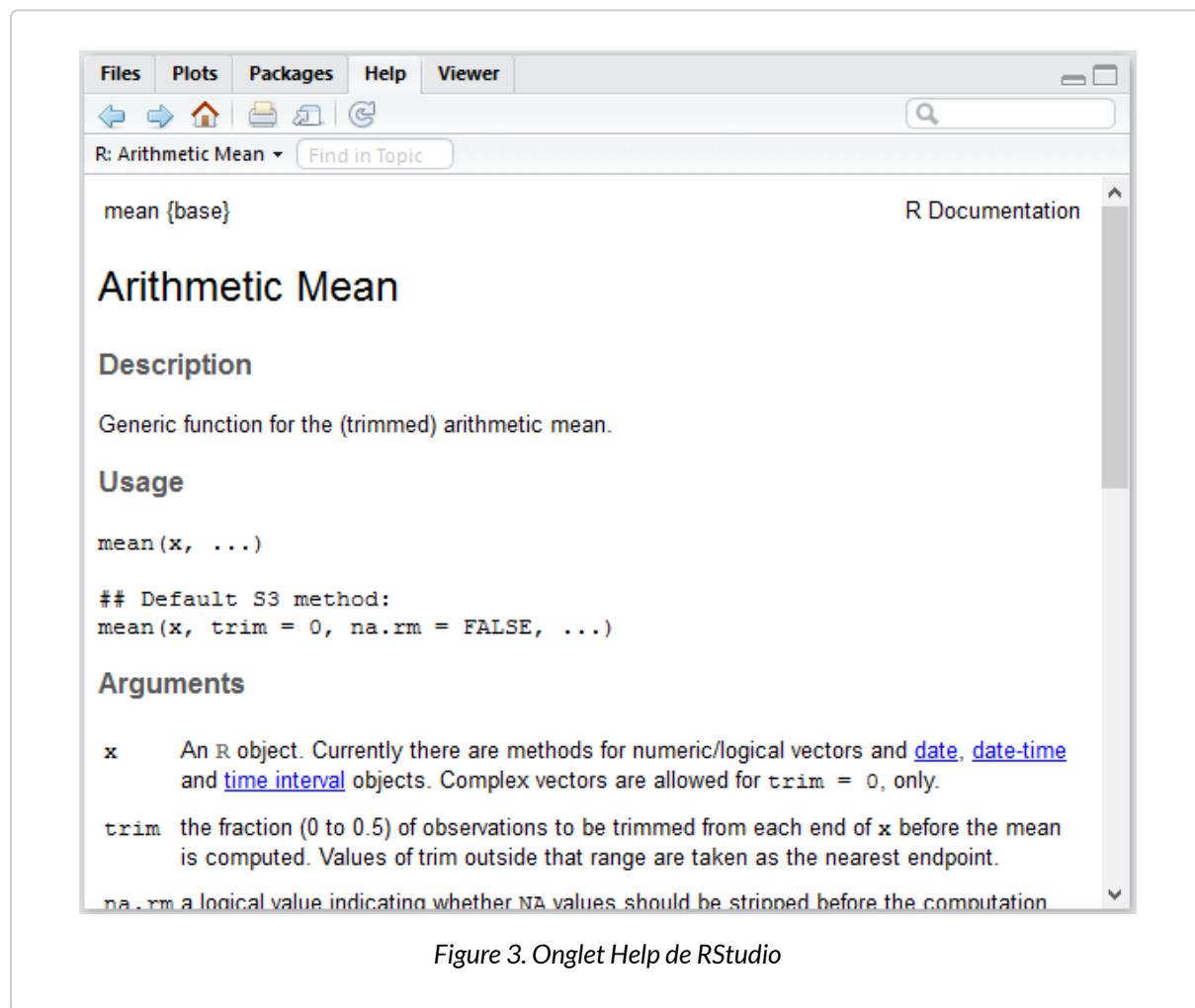


Figure 3. Onglet Help de RStudio

Cette page décrit (en anglais) la fonction, ses arguments, son résultat, le tout accompagné de diverses notes, références et exemples. Ces pages d'aide contiennent peu près tout ce que vous pourrez chercher à savoir, mais elles ne sont pas toujours d'une lecture aisée.

Un autre cas très courant dans R est de ne pas se souvenir ou de ne pas connaître le nom de la fonction effectuant une tâche donnée. Dans ce cas on se reportera aux différentes manières de trouver de l'aide décrites dans le chapitre Où trouver de l'aide ?, page 193.

Interprétation des arguments

Prenons l'exemple de la fonction `format` dont la version de base permet de mettre en forme un nombre. Affichons le fichier d'aide associé.

```
R> `?` (format)
```

La section *Usage* présente les arguments de cette fonction et leur valeur par défaut :

```
format(x, trim = FALSE, digits = NULL, nsmall = 0L,
       justify = c("left", "right", "centre", "none"),
       width = NULL, na.encode = TRUE, scientific = NA,
       big.mark = "", big.interval = 3L,
       small.mark = "", small.interval = 5L,
       decimal.mark = ".", zero.print = NULL,
       drop0trailing = FALSE, ...)
```

Regardons ce que cette fonction peut faire. Passons-lui un vecteur avec deux nombres :

```
R> format(c(12.3, 5678))
```

```
[1] " 12.3" "5678.0"
```

Elle renvoie un vecteur de chaînes de caractères. Le nombre de décimales a été harmonisé et des espaces ont été ajoutés au début du premier nombre afin que l'ensemble des valeurs soient alignées vers la droite.

L'argument `trim` permet de supprimer les espaces ajoutés en début de chaîne.

```
R> format(c(12.3, 5678), TRUE)
```

```
[1] "12.3" "5678.0"
```

Dans le cas présent, nous avons saisi les arguments de la fonction sans les nommer. Dès lors, R considère l'ordre dans lesquels nous avons saisi les arguments, ordre qui correspond à celui du fichier d'aide. Il a dès lors considéré que `c(12.3, 5678)` correspond à la valeur attribuée à `x` et que `TRUE` est la valeur attribuée à `trim`.

L'argument `nsmall` permet d'indiquer le nombre minimum de décimales que l'on souhaite afficher. Il est en quatrième position. Dès lors, pour pouvoir le renseigner avec des arguments non nommés, il faut fournir également une valeur pour le troisième argument `digits`.

```
R> format(c(12.3, 5678), TRUE, NULL, 2)
```

```
[1] "12.30" "5678.00"
```

Ce n’est pas forcément ce qu’il y a de plus pratique. Dès lors l’ordre des arguments nommés. En précisant `nsmall =` dans l’appel de la fonction, on pourra indiquer que l’on souhaite modifier spécifiquement cet argument. Lorsque l’on utilise des arguments non nommés, l’ordre n’importe plus puisque R sera en capacité de reconnaître ses petits.

```
R> format(nsmall = 2, x = c(12.3, 5678))
```

```
[1] " 12.30" "5678.00"
```

À l’usage, on aura le plus souvent recours à une combinaison d’arguments non nommés et d’arguments nommés. On indiquera les premiers arguments (qui correspondent en général aux données de départ) sans les nommer et on précisera les options souhaitées avec des arguments nommés. Par exemple, pour un affichage à la française :

```
R> format(c(12.3, 5678), decimal.mark = ",", big.mark = " ")
```

```
[1] " 12,3" "5 678,0"
```

Lorsque l’on regarde la section *Usage* du fichier d’aide, il apparaît que certains arguments, suivis par le symbole `=`, ont une valeur par défaut. Il n’est donc pas nécessaire de les inclure dans l’appel de la fonction, auquel cas la valeur par défaut sera prise en compte. Par contre, d’autres arguments, ici `x`, n’ont pas de valeur par défaut et il est donc nécessaire de fournir systématiquement une valeur.

```
R> format(decimal.mark = ",")
```

```
Error in format.default(decimal.mark = ","): l'argument "x" est manquant, avec aucune valeur par défaut
```

Enfin, pour certaines fonctions, on verra parfois apparaître le symbole `...`. Ce dernier correspond à un nombre indéterminé d’arguments. Il peut s’agir, comme dans le cas de `format` d’arguments additionnels qui seront utilisés dans certains cas de figure, ou bien d’arguments qui seront transmis à une fonction secondaire appelée par la fonction principale, ou encore, comme pour le cas de la fonction `c`, de la possibilité de saisir un nombre indéfini de données sources.

Autocomplétion

RStudio fournit un outil bien pratique appelé **autocomplete**³. Saisissez les premières lettres d’une fonction, par exemple `me` puis appuyez sur la touche **Tabulation**. RStudio affichera la liste des

3. En bon français, il faudrait dire *complètement automatique*.

fonctions dont le nom commence par `me` ainsi qu'un court descriptif de chacune. Un appui sur la touche `Entrée` provoquera la saisie du nom complet de la fonction choisie.

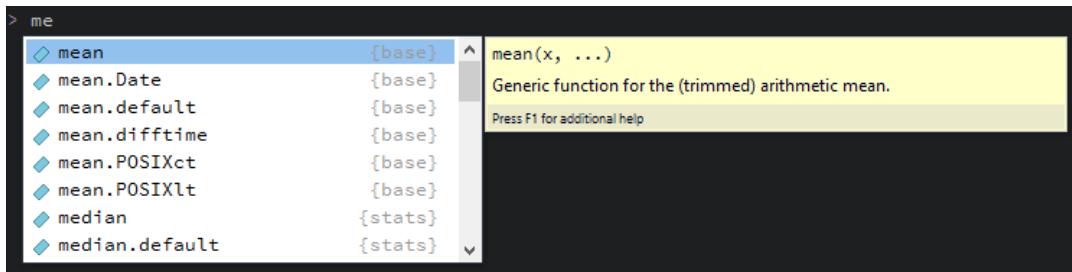


Figure 4. Auto-complétion sous RStudio

♦ L'intérieur des parenthèses d'une fonction, vous pouvez utiliser l'autocomplétion pour retrouver un argument de cette fonction.

Vous pouvez également utiliser l'autocomplétion pour retrouver le nom d'un objet que vous avez précédemment créé.

Pour plus de détails, voir la documentation officielle de RStudio (<https://support.rstudio.com/hc/en-us/articles/205273297-Code-Completion>).

Premier travail avec des données

Regrouper les commandes dans des scripts	35
Ajouter des commentaires	37
Tableaux de donn <small>ées</small>	39
Inspection visuelle des donn <small>ées</small>	40
Structure du tableau	42
Accéder aux variables	43
La fonction str	45
Quelques calculs simples	49
Nos premiers graphiques	53
Et ensuite ?	55

NOTE

Ce chapitre est inspiré de la section *Premier travail avec les données* du support de cours [Introduction à R réalisée par Julien Barnier](#).

Regrouper les commandes dans des scripts

Jusqu'à maintenant nous avons utilisé uniquement la console pour communiquer avec R via l'invite de commandes. Le principal problème de ce mode d'interaction est qu'une fois qu'une commande est tapée, elle est pour ainsi dire perdue, c'est-à-dire qu'on doit la saisir à nouveau si on veut l'exécuter une seconde fois. L'utilisation de la console est donc restreinte aux petites commandes jetables, le plus souvent utilisées comme test.

La plupart du temps, les commandes seront stockées dans un fichier à part, que l'on pourra facilement ouvrir, éditer et exécuter en tout ou partie si besoin. On appelle en général ce type de fichier un script.

Pour comprendre comment cela fonctionne, dans **RStudio** cliquez sur l'icône en haut à gauche représentant un fichier avec un signe plus vert, puis choisissez **R script**.

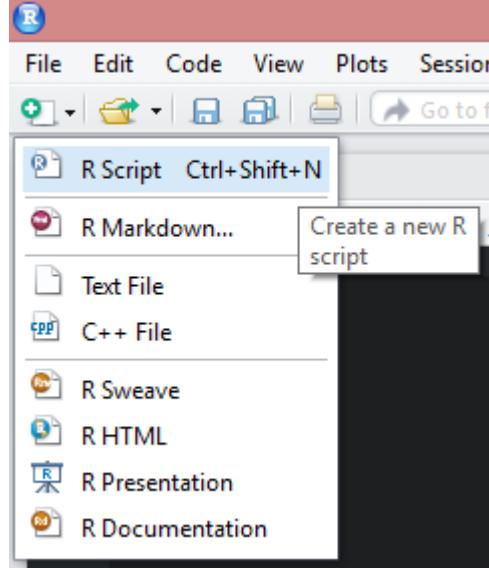


Figure 1. Créez un nouveau script R dans RStudio

Un nouvel onglet apparaît dans le quadrant supérieur gauche.

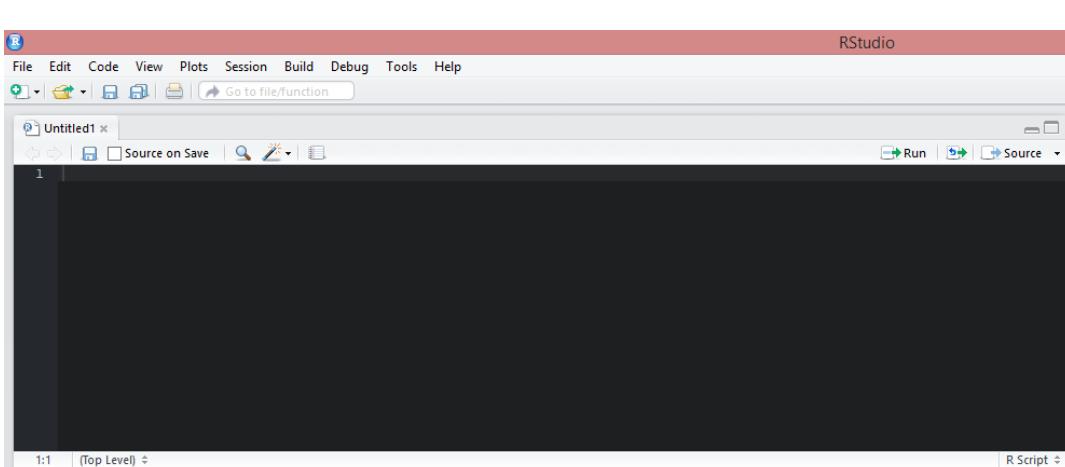


Figure 2. Onglet d'un script R dans RStudio

Nous pouvons désormais y saisir des commandes. Par exemple, tapez sur la première ligne la commande suivante : `2 + 2`. Ensuite, cliquez sur l'icône **Run** (en haut à droite de l'onglet du script) ou bien pressez simultanément les touches **CTRL** et **Entrée**¹.

Les lignes suivantes ont dû faire leur apparition dans la console :

```
R> 2 + 2
```

```
[1] 4
```

Voici donc comment soumettre rapidement à R les commandes saisies dans votre fichier. Vous pouvez désormais l'enregistrer, l'ouvrir plus tard, et en exécuter tout ou partie. À noter que vous avez plusieurs possibilités pour soumettre des commandes à R :

- vous pouvez exécuter la ligne sur laquelle se trouve votre curseur en cliquant sur *Run* ou en pressant simultanément les touches **CTRL** et **Entrée** ;
- vous pouvez sélectionner plusieurs lignes contenant des commandes et les exécuter toutes en une seule fois exactement de la même manière ;
- vous pouvez exécuter d'un coup l'intégralité de votre fichier en cliquant sur *File* → *Source*.

La plupart du travail sous R consistera donc à éditer un ou plusieurs fichiers de commandes et à envoyer régulièrement les commandes saisies à R en utilisant les raccourcis clavier *ad hoc*.

Pour plus d'information sur l'utilisation des scripts R dans RStudio, voir (en anglais) : <https://support.rstudio.com/hc/en-us/articles/200484448-Editing-and-Executing-Code>.

NOTE

Quand vous enregistrez un script sous RStudio, il est possible qu'il vous demande de choisir un type d'encodage des caractères (*Choose Encoding*). Si tel est le cas, utilisez de préférence **UTF-8**.

Ajouter des commentaires

Un commentaire est une ligne ou une portion de ligne qui sera ignorée par R. Ceci signifie qu'on peut y écrire ce qu'on veut et qu'on va les utiliser pour ajouter tout un tas de commentaires à notre code permettant de décrire les différentes étapes du travail, les choses à se rappeler, les questions en suspens, etc.

Un commentaire sous R commence par un ou plusieurs symboles `#` (qui se obtient avec les touches **Alt+Gr** et **3** sur les claviers de type PC). Tout ce qui suit ce symbole jusqu'à la fin de la ligne est considéré comme un commentaire. On peut créer une ligne entière de commentaire en la faisant débuter par `##`. Par exemple :

1. Sous Mac OS X, on utilise les touches **Pomme** et **Entrée**.

```
R> ## Tableau croisé de la CSP par le nombre de livres  
## lus. Attention au nombre de non réponses !
```

On peut aussi créer des commentaires pour une ligne en cours :

```
R> x <- 2 # On met 2 dans x, parce qu'il le vaut bien
```

IMPORTANT

Dans tous les cas, il est très important de documenter ses fichiers R au fur et à mesure, faute de quoi on risque de ne plus y comprendre grand chose si on les reprend ne serait-ce que quelques semaines plus tard.

Avec **RStudio**, vous pouvez également utiliser les commentaires pour créer des sections au sein de votre script et naviguer plus rapidement. Il suffit de faire suivre une ligne de commentaires d'au moins 4 signes moins (----). Par exemple, si vous saisissez ceci dans votre script :

```
R> ## Créez les objets ----  
  
x <- 2  
y <- 5  
  
## Calculs ----  
  
x + y
```

Vous verrez apparaître en bas à gauche de la fenêtre du script un symbole d'orange. Si vous cliquez dessus, un menu de navigation s'affichera vous permettant de vous déplacez rapidement au sein de votre script. Pour plus d'information, voir la documentation de **RStudio** (en anglais) : <https://support.rstudio.com/hc/en-us/articles/200484568-Code-Folding-and-Sections>.

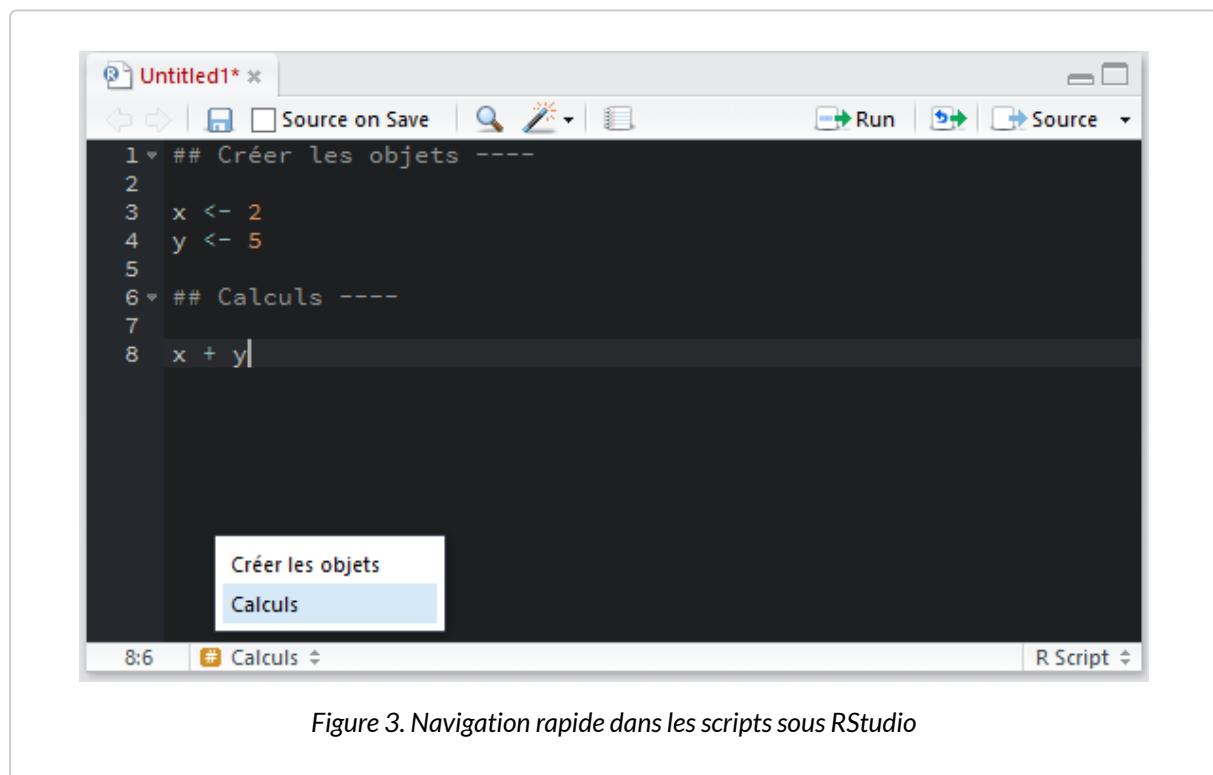


Figure 3. Navigation rapide dans les scripts sous RStudio

Notez : on remarquera au passage que le titre de l'onglet est affiché en rouge et suivi d'un astérisque (*), nous indiquant ainsi qu'il y a des modifications non enregistrées dans notre fichier.

Tableaux de données

Dans cette partie nous allons utiliser un jeu de données inclus dans l'extension `questionr`. L'installation de l'extension est décrite dans le chapitre Extensions, page 57.

Le jeu de données en question est un extrait de l'enquête *Histoire de vie* réalisée par l'INSEE en 2003. Il contient 2000 individus et 20 variables. Pour pouvoir utiliser ces données, il faut d'abord charger l'extension `questionr` (après l'avoir installée, bien entendu). Le chargement d'une extension en mémoire se fait à l'aide de la fonction `library`. Sous RStudio, vous pouvez également charger une extension en allant dans l'onglet *Packages* du quadrant inférieur droit qui liste l'ensemble des packages disponibles et en cliquant la case à cocher située à gauche du nom du package désiré.

```
R> library(questionr)
```

Puis nous allons indiquer à R que nous souhaitons accéder au jeu de données `hdv2003` à l'aide de la fonction `data` :

```
R> data(hdv2003)
```

Bien. Et maintenant, elles sont où mes données ? Et bien elles se trouvent dans un objet nommé `hdv2003` désormais chargé en mémoire et accessible directement. D'ailleurs, cet objet est maintenant visible dans l'onglet *Environment* du quadrant supérieur droit.

Essayons de taper son nom à l'invite de commande :

```
R> hdv2003
```

Le résultat (non reproduit ici) ne ressemble pas forcément à grand-chose. Il faut se rappeler que par défaut, lorsqu'on lui fournit seulement un nom d'objet, R essaye de l'afficher de la manière la meilleure (ou la moins pire) possible. La réponse à la commande `hdv2003` n'est donc rien moins que l'affichage des données brutes contenues dans cet objet.

Ce qui signifie donc que l'intégralité de notre jeu de données est inclus dans l'objet nommé `hdv2003` ! En effet, dans R, un objet peut très bien contenir un simple nombre, un vecteur ou bien le résultat d'une enquête tout entier. Dans ce cas, les objets sont appelés des *data frames*, ou tableaux de données. Ils peuvent être manipulés comme tout autre objet. Par exemple :

```
R> d <- hdv2003
```

va entrer la copie de l'ensemble de nos données dans un nouvel objet nommé `d`, ce qui peut paraître parfaitement inutile mais a en fait l'avantage de fournir un objet avec un nom beaucoup plus court, ce qui diminuera la quantité de texte à saisir par la suite.

Rsumons

Comme nous avons désormais décidé de saisir nos commandes dans un script et non plus directement dans la console, les premières lignes de notre fichier de travail sur les données de l'enquête *Histoire de vie* pourraient donc ressembler à ceci :

```
R> ## Chargement des extensions nécessaires ----
library(questionr)
## Jeu de données hdv2003 ----
data(hdv2003)
d <- hdv2003
```

Inspection visuelle des données

La particularité de R par rapport à d'autres logiciels comme **Modalisa** ou **SPSS** est de ne pas proposer, par défaut, de vue des données sous forme de tableau. Ceci peut parfois être un peu déstabilisant

dans les premiers temps d'utilisation, même si l'on perd vite l'habitude et qu'on finit par se rendre compte que voir les données n'est pas forcément un gage de productivité ou de rigueur dans le traitement.

Néanmoins, R propose une interface permettant de visualiser le contenu d'un tableau de données à l'aide de la fonction `View`:

R> `View(d)`

Sous RStudio, on peut aussi afficher la visionneuse (viewer) en cliquant sur la petite icône en forme de tableau située à droite de la ligne d'un tableau de données dans l'onglet *Environment* du quadrant supérieur droit (cf. figure ci-après).

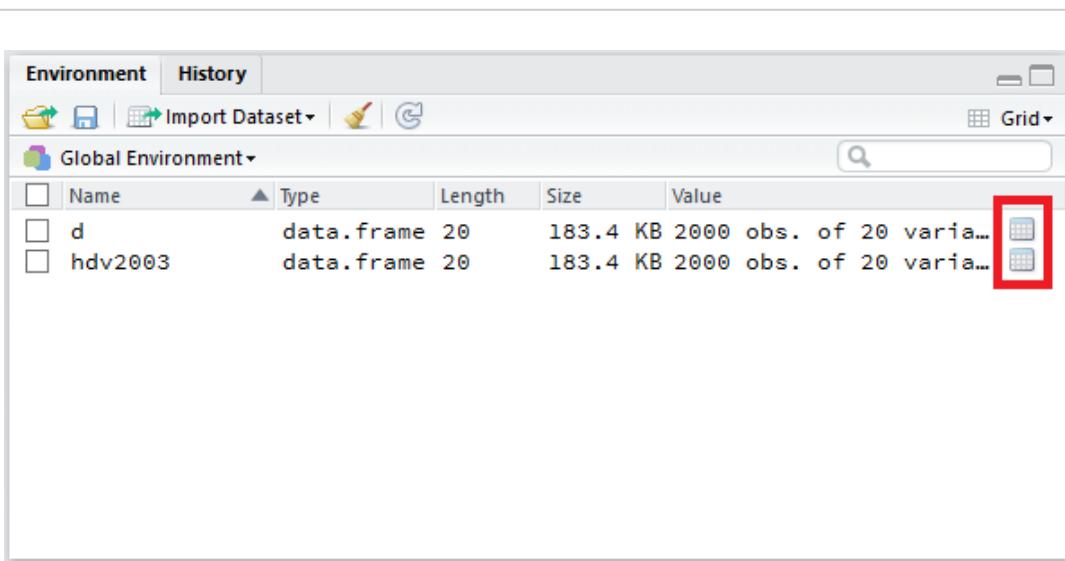


Figure 4. Icône pour afficher une vue du contenu d'un tableau

Dans tous les cas, RStudio lancera le viewer dans un onglet distinct dans le quadrant supérieur gauche. Le visualiseur de RStudio est plus avancé que celui-de base fournit par R. Il est possible de trier les données selon une variable en cliquant sur le nom de cette dernière. Il y a également un champs de recherche et un bouton *Filter* donnant accès à des options de filtrage avancées.

The screenshot shows a data frame titled "Untitled1" with 2,000 entries. The columns are: id, age, sexe, nivetud, poids, occup, qualif, freres.soeurs, and ciso. The data includes fields like "Enseignement supérieur y compris technique supérieur" for education level, "Employe" for occupation, and "Oui" for family status.

	id	age	sexe	nivetud	poids	occup	qualif	freres.soeurs	ciso
1	1	28	Femme	Enseignement supérieur y compris technique supérieur	2634.3982	Exerce une profession	Employe	8	Oui
2	2	23	Femme	NA	9738.3958	Etudiant, elevé	NA	2	Oui
3	3	59	Homme	Dernière année d'études primaires	3994.1025	Exerce une profession	Technicien	2	Non
4	4	34	Homme	Enseignement supérieur y compris technique supérieur	5731.6615	Exerce une profession	Technicien	1	Non
5	5	71	Femme	Dernière année d'études primaires	4329.0940	Retraite	Employe	0	Oui
6	6	35	Femme	Enseignement technique ou professionnel court	8674.6994	Exerce une profession	Employe	5	Non
7	7	60	Femme	Dernière année d'études primaires	6165.8035	Au foyer	Ouvrier qualifié	1	Oui
8	8	47	Homme	Enseignement technique ou professionnel court	12891.6408	Exerce une profession	Ouvrier qualifié	5	Non
9	9	20	Femme	NA	7808.8721	Etudiant, elevé	NA	4	Oui
10	10	28	Homme	Enseignement technique ou professionnel long	2277.1605	Exerce une profession	Autre	2	Non
11	11	65	Femme	Enseignement supérieur y compris technique supérieur	704.3227	Retraite	Employe	3	Oui
12	12	47	Homme	2ème cycle	6697.8682	Exerce une profession	Ouvrier qualifié	4	Oui
13	13	63	Femme	Dernière année d'études primaires	7118.4659	Retraite	Employe	1	Oui
14	14	67	Femme	Enseignement technique ou professionnel court	586.7714	Exerce une profession	NA	5	Oui
15	15	76	Femme	A arrêté ses études, avant la dernière année d'études ...	11042.0774	Retraite	NA	2	Oui
16	16	49	Femme	Enseignement technique ou professionnel court	9958.2287	Exerce une profession	Employe	3	Non
17	17	62	Homme	Enseignement supérieur y compris technique supérieur	4836.1393	Retraite	Cadre	4	Non

Figure 5. La visionneuse de données de RStudio

Structure du tableau

Avant de travailler sur les données, nous allons essayer de comprendre comment elles sont structurées. Lors de l'import de données depuis un autre logiciel (que nous aborderons dans un autre chapitre, page 135), il s'agira souvent de vérifier que l'importation se passe bien et roule.

Nous avons déjà vu qu'un tableau de données est organisé en lignes et en colonnes, les lignes correspondant aux observations et les colonnes aux variables. Les fonctions `nrow`, `ncol` et `dim` donnent respectivement le nombre de lignes, le nombre de colonnes et les dimensions de notre tableau. Nous pouvons donc dès lors et déjà vérifier que nous avons bien 2000 lignes et 20 colonnes :

```
R> nrow(d)
```

```
[1] 2000
```

```
R> ncol(d)
```

```
[1] 20
```

```
R> dim(d)
```

```
[1] 2000 20
```

La fonction `names` donne les noms des colonnes de notre tableau, c'est-à-dire les noms des variables :

```
R> names(d)
```

```
[1] "id"           "age"
[3] "sexe"         "nivetud"
[5] "poids"        "occup"
[7] "qualif"       "freres.soeurs"
[9] "calso"         "relig"
[11] "trav.imp"     "trav.satisf"
[13] "hard.rock"    "lecture.bd"
[15] "peche.chasse" "cuisine"
[17] "bricol"        "cinema"
[19] "sport"         "heures.tv"
```

Accéder aux variables

`d` représente donc l'ensemble de notre tableau de données. Nous avons vu que si l'on saisit simplement `d` à l'invite de commandes, on obtient un affichage du tableau en question. Mais comment accéder aux variables, c'est à dire aux colonnes de notre tableau ?

La réponse est simple : on utilise le nom de l'objet, suivi de l'opérateur `$`, suivi du nom de la variable, comme ceci :

```
R> d$sexe
```

Au regard du résultat (non reproduit ici), on constate alors que R a bien accédé au contenu de notre variable `sexe` du tableau `d` et a affiché son contenu, c'est-à-dire l'ensemble des valeurs prises par la variable.

Les fonctions `head` et `tail` permettent d'afficher seulement les premières (respectivement les dernières) valeurs prises par la variable. On peut leur passer en argument le nombre d'éléments à afficher :

```
R> head(d$nivetud)
```

```
[1] Enseignement superieur y compris technique superieur  
[2] <NA>  
[3] Derniere annee d'etudes primaires  
[4] Enseignement superieur y compris technique superieur  
[5] Derniere annee d'etudes primaires  
[6] Enseignement technique ou professionnel court  
8 Levels: N'a jamais fait d'etudes ...
```

```
R> tail(d$age, 10)
```

```
[1] 52 42 50 41 46 45 46 24 24 66
```

♦ noter que ces fonctions marchent aussi pour afficher les lignes du tableau d ♦:

```
R> head(d, 2)
```

```
   id age sexe  
1  1  28 Femme  
2  2  23 Femme  
                                nivetud  
1 Enseignement superieur y compris technique superieur  
2                                         <NA>  
      poids          occup qualif  
1 2634.398 Exerce une profession Employe  
2 9738.396 Etudiant, eleve <NA>  
freres.soeurs cuso relig  
1           8 Oui Ni croyance ni appartenance  
2           2 Oui Ni croyance ni appartenance  
trav.imp trav.satisf hard.rock  
1 Peu important Insatisfaction Non  
2 <NA>             <NA>     Non  
lecture.bd peche.chasse cuisine bricol cinema  
1       Non        Non    Oui    Non    Non  
2       Non        Non    Non    Non    Oui  
sport heures.tv  
1   Non        0  
2   Oui        1
```

La fonction str

La fonction `str` est plus complète que `names`. Elle liste les différentes variables, indique leur type et donne le cas échéant des informations supplémentaires ainsi qu'un échantillon des premières valeurs prises par cette variable :

```
R> str(d)
```

```
'data.frame': 2000 obs. of 20 variables:
 $ id          : int 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...
 $ age         : int 28 23 59 34 71 35 60 47 20 28 ...
 $ sexe        : Factor w/ 2 levels "Homme","Femme": 2 2 1 1 2 2 2 1 2 1 ...
 $ nivetud     : Factor w/ 8 levels "N'a jamais fait d'etudes",...: 8 NA 3 8 3
6 3 6 NA 7 ...
$ poids        : num 2634 9738 3994 5732 4329 ...
$ occup        : Factor w/ 7 levels "Exerce une profession",...: 1 3 1 1 4 1 6
1 3 1 ...
$ qualif       : Factor w/ 7 levels "Ouvrier specialise",...: 6 NA 3 3 6 6 2 2 N
A 7 ...
$ freres.soeurs: int 8 2 2 1 0 5 1 5 4 2 ...
$ cuso         : Factor w/ 3 levels "Oui","Non","Ne sait pas": 1 1 2 2 1 2 1 2
1 2 ...
$ relig         : Factor w/ 6 levels "Pratiquant regulier",...: 4 4 4 3 1 4 3 4
3 2 ...
$ trav.imp      : Factor w/ 4 levels "Le plus important",...: 4 NA 2 3 NA 1 NA 4
NA 3 ...
$ trav.satisf  : Factor w/ 3 levels "Satisfaction",...: 2 NA 3 1 NA 3 NA 2 NA 1
...
$ hard.rock    : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
$ lecture.bd   : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
$ peche.chasse : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 ...
$ cuisine       : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 2 1 1 2 1 1 2 2 1 1 ...
$ bricol        : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 ...
$ cinema        : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 2 1 2 1 2 1 1 2 2 ...
$ sport         : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 2 2 2 1 2 1 1 1 2 ...
$ heures.tv     : num 0 1 0 2 3 2 2.9 1 2 2 ...
```

La première ligne nous informe qu'il s'agit bien d'un tableau de données avec 2000 observations et 20 variables. Vient ensuite la liste des variables. La première se nomme `id` et est de type entier (`int`). La seconde se nomme `age` et est de type numérique (`num`). La troisième se nomme `sexe`, il s'agit d'un facteur (`factor`).

Un facteur est une variable pouvant prendre un nombre limité de modalités (*levels*). Ici notre variable a deux modalités possibles : Homme et Femme. Ce type de variable est décrit plus en détail dans le chapitre sur la [manipulation de données](#).

IMPORTANT

La fonction `str` est essentielle pour connaître et peut s'appliquer à n'importe quel type d'objet. C'est un excellent moyen de connaître en détail la structure d'un objet. Cependant, les résultats peuvent parfois trop détaillés et on lui priviliera dans certains cas la fonction `describe` que l'on abordera dans les prochains chapitres, cependant moins générique puisque ne s'appliquant qu'à des tableaux de données et à des vecteurs, tandis que `str` peut s'appliquer absolument à tout objet, y compris des fonctions.

```
R> describe(d)
```

```
[2000 obs. x 20 variables] tbl_df tbl data.frame

$id:
integer: 1 2 3 4 5 ...
min: 1 - max: 2000 - NAs: 0 (0%) - 2000 unique values

$age:
integer: 28 23 59 34 71 ...
min: 18 - max: 97 - NAs: 0 (0%) - 78 unique values

$sexe:
nominal factor: "Femme" "Femme" "Homme" "Homme" "Femme" ...
2 levels: Homme | Femme
NAs: 0 (0%)

$nvetud:
nominal factor: "Enseignement supérieur y compris technique supérieur" NA "Dernière année d'études primaires" "Enseignement supérieur y compris technique supérieur" "Dernière année d'études primaires" ...
8 levels: N'a jamais fait d'études | A arrêté ses études, avant la dernière année d'études primaires | Dernière année d'études primaires | 1er cycle | 2ème cycle | Enseignement technique ou professionnel court | Enseignement technique ou professionnel long | Enseignement supérieur y compris technique supérieur
NAs: 112 (0.1%)

$poids:
numeric: 2634.3982157 9738.3957759 3994.1024587 5731.6615081 4329.0940022 ...
min: 78.0783403 - max: 31092.14132 - NAs: 0 (0%) - 1877 unique values

$occup:
```

```
nominal factor: "Exerce une profession" "Etudiant, eleve" "Exerce une profession" "Exerce une profession" "Retraite" ...
7 levels: Exerce une profession | Chomeur | Etudiant, eleve | Retraite | Retire des affaires | Au foyer | Autre inactif
NAs: 0 (0%)

$qualif:
nominal factor: "Employe" NA "Technicien" "Technicien" "Employe" ...
7 levels: Ouvrier specialise | Ouvrier qualifie | Technicien | Profession intermediaire | Cadre | Employe | Autre
NAs: 347 (0.2%)

$freres.soeurs:
integer: 8 2 2 1 0 ...
min: 0 - max: 22 - NAs: 0 (0%) - 19 unique values

$cuso:
nominal factor: "Oui" "Oui" "Non" "Non" "Oui" ...
3 levels: Oui | Non | Ne sait pas
NAs: 0 (0%)

$relig:
nominal factor: "Ni croyance ni appartenance" "Ni croyance ni appartendance"
"Ni croyance ni appartenance" "Appartenance sans pratique" "Pratiquant regulier" ...
6 levels: Pratiquant regulier | Pratiquant occasionnel | Appartenance sans pratique | Ni croyance ni appartendance | Rejet | NSP ou NVPR
NAs: 0 (0%)

$strav.imp:
nominal factor: "Peu important" NA "Aussi important que le reste" "Moins important que le reste" NA ...
4 levels: Le plus important | Aussi important que le reste | Moins important que le reste | Peu important
NAs: 952 (0.5%)

$strav.satisf:
nominal factor: "Insatisfaction" NA "Equilibre" "Satisfaction" NA ...
3 levels: Satisfaction | Insatisfaction | Equilibre
NAs: 952 (0.5%)

$hard.rock:
nominal factor: "Non" "Non" "Non" "Non" "Non" ...
```

```

2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$lecture.bd:
nominal factor: "Non" "Non" "Non" "Non" "Non" ...
2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$peche.chasse:
nominal factor: "Non" "Non" "Non" "Non" "Non" ...
2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$cuisine:
nominal factor: "Oui" "Non" "Non" "Oui" "Non" ...
2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$bricol:
nominal factor: "Non" "Non" "Non" "Oui" "Non" ...
2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$cinema:
nominal factor: "Non" "Oui" "Non" "Oui" "Non" ...
2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$sport:
nominal factor: "Non" "Oui" "Oui" "Oui" "Non" ...
2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$heures.tv:
numeric: 0 1 0 2 3 ...
min: 0 - max: 12 - NAs: 5 (0%) - 30 unique values

```

Quelques calculs simples

Maintenant que nous savons accéder aux variables, effectuons quelques calculs simples comme la moyenne, la médiane, le minimum et le maximum, grâce à l'aide des fonctions `mean`, `median`, `min` et `max`.

```
R> mean(d$age)
```

```
[1] 48.157
```

```
R> median(d$age)
```

```
[1] 48
```

```
R> min(d$age)
```

```
[1] 18
```

```
R> max(d$age)
```

```
[1] 97
```

NOTE

Au sens strict, il ne s'agit pas d'un véritable âge moyen puisqu'il faudrait ajouter 0,5 à cette valeur calculée, un âge moyen se calculant à partir d'âges exacts et non à partir d'âges roulus. Voir le chapitre Calculer un âge, page 567.

On peut aussi très facilement obtenir un tri plat à l'aide la fonction `table`:

```
R> table(d$qualif)
```

Ouvrier spécialisé	Ouvrier qualifié
203	292
Technicien	Profession intermédiaire
86	160
Cadre	Employé
260	594
Autre	
58	

La fonction `summary`, bien pratique, permet d'avoir une vue résumée d'une variable. Elle s'applique à tout type d'objets (y compris un tableau de données entier) et se adapte à celui-ci.

```
R> summary(d$age)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
18.00	35.00	48.00	48.16	60.00	97.00

```
R> summary(d$qualif)
```

Ouvrier spécialisé	Ouvrier qualifié
203	292
Technicien	Profession intermédiaire
86	160
Cadre	Employé
260	594
Autre	NA's
58	347

```
R> summary(d)
```

id	age	sexe
Min. : 1.0	Min. :18.00	Homme: 899
1st Qu.: 500.8	1st Qu.:35.00	Femme:1101
Median :1000.5	Median :48.00	
Mean :1000.5	Mean :48.16	
3rd Qu.:1500.2	3rd Qu.:60.00	
Max. :2000.0	Max. :97.00	

niveau d'étude	
Enseignement technique ou professionnel court	:463
Enseignement supérieur y compris technique supérieur	:441
Dernière année d'études primaires	:341
1er cycle	:204
2ème cycle	:183
(Other)	:256
NA's	:112

poids	occup
Min. : 78.08	Exerce une profession:1049
1st Qu.: 2221.82	Chômeur : 134
Median : 4631.19	Etudiant, élève : 94
Mean : 5535.61	Retraite : 392

```
3rd Qu.: 7626.53   Retire des affaires : 77
Max.    :31092.14   Au foyer           : 171
                  Autre inactif       : 83
                  qualif      freres.soeurs
Employe          :594   Min.    : 0.000
Ouvrier qualifie :292   1st Qu.: 1.000
Cadre            :260   Median  : 2.000
Ouvrier specialise :203   Mean    : 3.283
Profession intermediaire:160   3rd Qu.: 5.000
(Other)          :144   Max.    :22.000
NA's             :347

      also
Oui      : 936
Non     :1037
Ne sait pas:  27
```

```
      relig
Pratiquant regulier :266
Pratiquant occasionnel :442
Appartenance sans pratique :760
Ni croyance ni appartenance:399
Rejet              : 93
NSP ou NVPR         : 40
```

```
      trav.imp
Le plus important      : 29
Aussi important que le reste:259
Moins important que le reste:708
Peu important          : 52
NA's                  :952
```

```
      trav.satisf hard.rock lecture.bd
Satisfaction :480 Non:1986 Non:1953
Insatisfaction:117 Oui: 14 Oui: 47
Equilibre      :451
NA's          :952
```

```
peche.chasse cuisine bricol cinema
Non:1776 Non:1119 Non:1147 Non:1174
Oui: 224  Oui: 881 Oui: 853  Oui: 826
```

```
sport      heures.tv
Non:1277   Min.   : 0.000
Oui: 723    1st Qu.: 1.000
             Median : 2.000
             Mean   : 2.247
             3rd Qu.: 3.000
             Max.   :12.000
             NA's   :5
```

Nos premiers graphiques

R est très puissant en termes de représentations graphiques, notamment grâce à des extensions dedicées. Pour l'heure contentons-nous d'un premier essai à l'aide de la fonction graphique `plot`.

```
R> plot(d$sex)
```

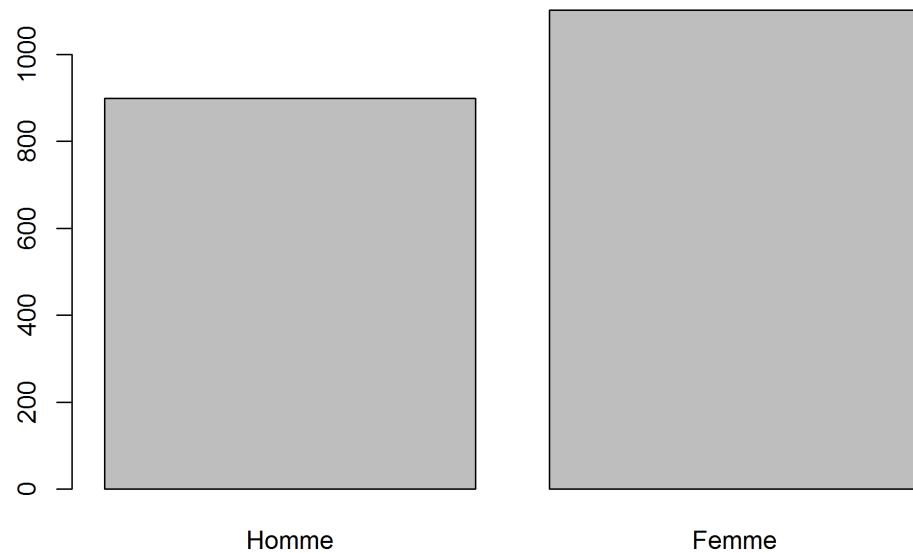


Figure 6. Nombre d'observations par sexe

Essayons avec deux variables :

```
R> plot(d$hard.rock, d$age)
```

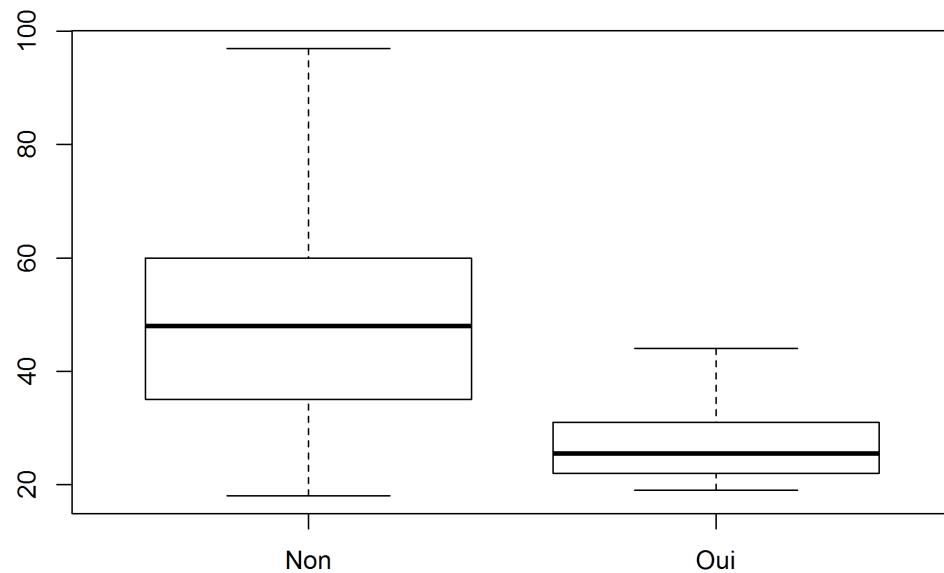


Figure 7. Âge des enquêtés selon qu'ils écoutent ou non du hard rock

Il semblerait bien que les amateurs de hard rock soient plus jeunes.

Et ensuite ?

Nous n'avons qu'aperçu des possibilités de R. Avant de pouvoir nous lancer dans des analyses statistiques, il est préférable de revenir un peu aux fondamentaux de R (les types d'objets, la syntaxe, le recodage de variables) mais aussi comment installer des extensions, importer des données, etc. Nous vous conseillons donc de poursuivre la lecture de la section *Prise en main* puis de vous lancer à l'assaut de la section *Statistique introductive*.

Extensions

Présentation	57
Le «Hadleyverse»	58
Installation depuis CRAN	58
Installation depuis GitHub	59
Mise à jour des extensions	59

Présentation

L'installation par défaut du logiciel R contient le cœur du programme ainsi qu'un ensemble de fonctions de base fournissant un grand nombre d'outils de traitement de données et d'analyse statistiques.

R étant un logiciel libre, il bénéficie d'une forte communauté d'utilisateurs qui peuvent librement contribuer au développement du logiciel en lui ajoutant des fonctionnalités supplémentaires. Ces contributions prennent la forme d'extensions (*packages*) pouvant être installées par l'utilisateur et fournissant alors diverses fonctionnalités supplémentaires.

Il existe un très grand nombre d'extensions (plus de 6500 à ce jour), qui sont diffusées par un réseau baptisé **CRAN** (*Comprehensive R Archive Network*).

La liste de toutes les extensions disponibles sur CRAN est disponible ici : <http://cran.r-project.org/web/packages/>.

Pour faciliter un peu le repérage des extensions, il existe un ensemble de regroupements thématiques (économie, finance, géostatistique, données spatiales...) baptisés *Task views* : <http://cran.r-project.org/web/views/>.

On y trouve notamment une Task view dédiée aux sciences sociales, listant de nombreuses extensions potentiellement utiles pour les analyses statistiques dans ce champ disciplinaire : <http://cran.r-project.org/web/views/SocialSciences.html>.

Le «Hadleyverse»

Hadley Wickham est professeur associé à l'université de Rice et scientifique en chef à Rstudio. Il a développé de nombreux extensions pour R (plus d'une cinquantaine à ce jour) qui, pour la plupart, fonctionne de manière harmonieuse entre elles. Par ailleurs, la plupart sont intégrées parfaitement avec RStudio. On nomme un peu familièrement «Hadleyverse» l'ensemble constitué par les différentes extensions créées par Hadley Wickham.

Pour certaines tâches, il peut exister plusieurs solutions / extensions différentes pour les réaliser. Dans la mesure où il n'est pas possible d'être exhaustif, nous avons fait le choix dans le cadre de analyse-R de choisir en priorité, lorsque cela est possible, les extensions proposées par Hadley Wickham, en particulier `haven`, `readr` et `readxl` pour l'import de données, `dplyr`, `tidyverse` ou `reshape2` pour la manipulation de données, `ggplot2` pour les graphiques, `lubridate` pour la gestion des dates ou encore `stringr` pour la manipulation de chaînes de caractères.

Installation depuis CRAN

L'installation d'une extension se fait par la fonction `install.packages`, qui on fournit le nom de l'extension. Par exemple, si on souhaite installer l'extension `ade4`:

```
R> install.packages("ade4", dep = TRUE)
```

L'option `dep=TRUE` indique à R de télécharger et d'installer également toutes les extensions dont l'extension choisie dépend pour son fonctionnement.

Sous RStudio, on pourra également cliquer sur *Install* dans l'onglet *Packages* du quadrant inférieur droit.

Une fois l'extension installée, elle peut être appelée depuis la console ou un fichier script avec la fonction `library` ou la fonction `require`:

```
R> library(ade4)
```

À partir de là, on peut utiliser les fonctions de l'extension, consulter leur page d'aide en ligne, accéder aux jeux de données qu'elle contient, etc.

Pour mettre à jour l'ensemble des extensions installées, la fonction `update.packages` suffit:

```
R> update.packages()
```

Sous **RStudio**, on pourra alternativement cliquer sur *Update* dans l'onglet *Packages* du quadrant inférieur droit.

Si on souhaite désinstaller une extension précédemment installée, on peut utiliser la fonction `remove.packages`:

```
R> remove.packages("ade4")
```

IMPORTANT

Il est important de bien comprendre la différence entre `install.packages` et `library`. La première va chercher les extensions sur internet et les installe en local sur le disque dur de l'ordinateur. On n'a besoin de effectuer cette opération qu'une seule fois. La seconde lit les informations de l'extension sur le disque dur et les met à disposition de R. On a besoin de l'exécuter à chaque début de session ou de script.

Installation depuis GitHub

Certains packages sont développés sur **GitHub**. Dans lors, la version de développement sur GitHub peut contenir des fonctions qui ne sont pas encore disponibles dans la version stable disponible sur **CRAN**. Ils arrivent aussi parfois que certains packages ne soient disponibles que sur **GitHub**.

L'installation d'un package depuis GitHub est très facile grâce à la fonction `install_github` de l'extension `devtools` (que l'on aura probablement installée depuis CRAN ;-)).

Mise à jour des extensions

Il est facile de mettre à jour l'ensemble des extensions installées, soit avec la fonction, `update.packages` soit en cliquant sur *Update* dans l'onglet *Packages* du quadrant inférieur droit.

Vecteurs, indexation et assignation

Présentation des vecteurs	62
Les principaux types de vecteurs	62
Création	64
La fonction c	64
La fonction rep	65
La fonction seq	66
L'opérateur :	67
Longueur d'un vecteur	67
Quelques vecteurs remarquables	68
Combiner des vecteurs	69
Valeurs manquantes	70
Indexation par position	71
Des vecteurs nommés	73
Indexation par nom	74
Indexation par condition	75
Assignation par indexation	78
En résumé	80

Nous allons reprendre plusieurs éléments de base du langage R que nous avons djà abordé mais de manière plus formelle. Une bonne compréhension des bases du langage, bien qu'un peu ardue de prime abord, permet de comprendre le sens des commandes que l'on utilise et de pleinement exploiter la puissance que R offre en matière de manipulation de données.

Dans ce chapitre, nous reviendrons sur les vecteurs, tandis que les listes et les tableaux de données seront abordés dans un chapitre dédié, page 81.

Présentation des vecteurs

Les vecteurs sont l'un des objets de bases de R et correspondent à une «liste de valeurs». Leurs propriétés fondamentales sont :

- les vecteurs sont unidimensionnels (i.e. c'est un objet à une seule dimension, à la différence d'une matrice par exemple);
- toutes les valeurs d'un vecteur sont de un seul et même type;
- les vecteurs ont une longueur qui correspond au nombre de valeurs contenues dans le vecteur.

Les principaux types de vecteurs

Dans R, il existe quatre types fondamentaux de vecteurs :

- les nombres réels (c'est-à-dire les nombres décimaux que nous utilisons au quotidien),
- les nombres entiers,
- les chaînes de caractères (qui correspondent à du texte) et
- les valeurs logiques ou valeurs booléennes, à savoir «vrai» ou «faux».

Pour connaître la nature d'un objet, le plus simple est d'utiliser la fonction `class`. Par exemple :

```
R> class(12.5)
```

```
[1] "numeric"
```

La réponse "numeric" nous indique qu'il s'agit d'un nombre réel. Parfois, vous pourrez rencontrer le terme "double" qui désigne également les nombres réels. Notez que R étant anglophone, la décimale est indiquée avec un point (.) et non avec une virgule comme c'est l'usage en français.

Essayons avec un nombre entier :

```
R> class(3)
```

```
[1] "numeric"
```

Sous R, lorsqu'on tape un nombre sans autre précision, il est considéré par défaut comme un nombre réel. Pour indiquer spécifiquement que l'on veut un nombre entier, il faut rajouter le suffixe L :

```
R> class(3L)
```

```
[1] "integer"
```

Au quotidien, il arrive rarement d'avoir à utiliser ce suffixe, mais il est toujours bon de le connaître au cas où vous le rencontreriez dans des manuels ou des exemples de code.

Pour saisir une chaîne de caractères, on aura recours aux doubles guillemets droits (" ") :

```
R> class("abc")
```

```
[1] "character"
```

Il est également possible d'utiliser des guillemets simples ('), dès lors que l'on utilise bien le même type de guillemets pour indiquer le début et la fin de la chaîne de caractères (par exemple 'abc').

Enfin, les valeurs logiques se indiquent avec TRUE pour vrai et FALSE pour faux. Il est aussi possible d'utiliser les raccourcis T et F . Attention à bien utiliser les majuscules, R étant sensible à la casse.

```
R> class(TRUE)
```

```
[1] "logical"
```

En résumé, les classes R des quatre types fondamentaux de vecteur sont :

Exemple	Classe R	Type
5L	integer	nombre entier
3.14	numeric	nombre réel
"abcd"	character	chaîne de caractères
TRUE	logical	booléenne

En plus des types de base, il existe de nombreuses autres classes de vecteurs dans R que nous aborderons ultérieurement dans d'autres chapitres. Les plus courantes sont :

Classe R	Type
factor	facteur, page 108
labelled	vecteur labellisé, page 113
Date	date, page 227
POSIXct	date et heure, page 227

Création

La fonction c

Pour créer un vecteur, on utilisera la fonction `c`, la lettre «c» étant un raccourci du mot anglais *combine* puisque cette fonction permet de combiner des valeurs individuelles dans un vecteur unique. Il suffit de lui passer la liste des valeurs à combiner :

```
R> taille <- c(1.88, 1.65, 1.92, 1.76)
taille
```

```
[1] 1.88 1.65 1.92 1.76
```

```
R> class(taille)
```

```
[1] "numeric"
```

```
R> sexe <- c("h", "f", "h", "f")
sexe
```

```
[1] "h" "f" "h" "f"
```

```
R> class(sexe)
```

```
[1] "character"
```

```
R> urbain <- c(TRUE, TRUE, FALSE, FALSE)
urbain
```

```
[1] TRUE TRUE FALSE FALSE
```

```
R> class(urbain)
```

```
[1] "logical"
```

Nous l'avons vu, toutes les valeurs d'un vecteur doivent obligatoirement du même type. Dans lors, si l'on essaie de combiner des valeurs de différents types, R essaiera de les convertir au mieux. Par exemple :

```
R> x <- c(2L, 3.14, "a")
x
```

```
[1] "2"     "3.14"  "a"
```

```
R> class(x)
```

```
[1] "character"
```

Dans le cas présent, toutes les valeurs ont été converties en chaînes de caractères.

La fonction rep

Dans certaines situations, on peut avoir besoin de créer un vecteur d'une certaine longueur mais dont toutes les valeurs sont identiques. Cela se réalise facilement avec `rep` qui l'on indiquera la valeur à répéter puis le nombre de répétitions :

```
R> rep(2, 10)
```

```
[1] 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
```

On peut aussi lui indiquer plusieurs valeurs qui seront alors répétées en boucle :

```
R> rep(c("a", "b"), 3)
```

```
[1] "a" "b" "a" "b" "a" "b"
```

La fonction seq

Dans d'autres situations, on peut avoir besoin de créer un vecteur contenant une suite de valeurs, ce qui se réalise aisément avec `seq` qui prend les arguments `from` (point de départ), `to` (point d'arrivée) et `by` (pas). Quelques exemples valent mieux qu'un long discours :

```
R> seq(1, 10)
```

```
[1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
```

```
R> seq(5, 17, by = 2)
```

```
[1] 5 7 9 11 13 15 17
```

```
R> seq(10, 0)
```

```
[1] 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
```

```
R> seq(100, 10, by = -10)
```

```
[1] 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10
```

```
R> seq(1.23, 5.67, by = 0.33)
```

```
[1] 1.23 1.56 1.89 2.22 2.55 2.88 3.21 3.54 3.87  
[10] 4.20 4.53 4.86 5.19 5.52
```

Loprateur :

Loprateur `:` est un raccourci de la fonction `seq` pour créer une suite de nombres entiers. Il seutilise ainsi`:`

```
R> 1:5
```

```
[1] 1 2 3 4 5
```

```
R> 24:32
```

```
[1] 24 25 26 27 28 29 30 31 32
```

```
R> 55:43
```

```
[1] 55 54 53 52 51 50 49 48 47 46 45 44 43
```

Nous verrons un peu plus loin que ce raccourci est fort pratique.

Longueur dun vecteur

Un vecteur dispose donc de une longueur qui correspond aux nombres de valeurs qui le compose. Elle se obtient avec `length``:`

```
R> length(taille)
```

```
[1] 4
```

```
R> length(c("a", "b"))
```

```
[1] 2
```

Il est possible de faire un vecteur de longueur nulle avec `c()`. Bien videmment sa longueur est zéro.

```
R> length(c())
```

```
[1] 0
```

Quelques vecteurs remarquables

R fournit quelques vecteurs particuliers qui sont directement accessibles :

- `LETTERS` : les 26 lettres de l'alphabet en majuscules
- `letters` : les 26 lettres de l'alphabet en minuscules
- `month.name` : les noms des 12 mois de l'année en anglais
- `month.abb` : la version abrégée des 12 mois en anglais
- `pi` : la constante mathématique π

```
R> LETTERS
```

```
[1] "A" "B" "C" "D" "E" "F" "G" "H" "I" "J" "K"  
[12] "L" "M" "N" "O" "P" "Q" "R" "S" "T" "U" "V"  
[23] "W" "X" "Y" "Z"
```

```
R> letters
```

```
[1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k"  
[12] "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s" "t" "u" "v"  
[23] "w" "x" "y" "z"
```

```
R> length(letters)
```

```
[1] 26
```

```
R> month.name
```

```
[1] "January"   "February"  "March"  
[4] "April"      "May"       "June"  
[7] "July"       "August"    "September"  
[10] "October"    "November"  "December"
```

```
R> month.abb
```

```
[1] "Jan" "Feb" "Mar" "Apr" "May" "Jun" "Jul"  
[8] "Aug" "Sep" "Oct" "Nov" "Dec"
```

```
R> length(month.abb)
```

```
[1] 12
```

```
R> pi
```

```
[1] 3.141593
```

```
R> length(pi)
```

```
[1] 1
```

Combiner des vecteurs

Pour combiner des vecteurs, rien de plus simple. Il suffit d'utiliser `c` ! Les valeurs des différents vecteurs seront mises bout à bout pour créer un unique vecteur.

```
R> x <- c(2, 1, 3, 4)  
length(x)
```

```
[1] 4
```

```
R> y <- c(9, 1, 2, 6, 3, 0)  
length(y)
```

```
[1] 6
```

```
R> z <- c(x, y)
z
```

```
[1] 2 1 3 4 9 1 2 6 3 0
```

```
R> length(z)
```

```
[1] 10
```

```
R> min_maj <- c(letters, LETTERS)
min_maj
```

```
[1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k"
[12] "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s" "t" "u" "v"
[23] "w" "x" "y" "z" "A" "B" "C" "D" "E" "F" "G"
[34] "H" "I" "J" "K" "L" "M" "N" "O" "P" "Q" "R"
[45] "S" "T" "U" "V" "W" "X" "Y" "Z"
```

```
R> length(min_maj)
```

```
[1] 52
```

Valeurs manquantes

Lorsque l’on travaille avec des données d’enquêtes, il est fréquent que certaines données soient manquantes, en raison d’un refus du participant de répondre à une question donnée ou d’un oubli ou d’un dysfonctionnement du matériel de mesure, etc.

Une valeur manquante s’indique sous R avec NA (pour *not available*). Cette valeur peut s’appliquer à n’importe quel type de vecteur, qu’il soit numérique, textuel ou logique.

```
R> taille <- c(1.88, NA, 1.65, 1.92, 1.76, NA)
sexes <- c("h", "f", NA, "h", NA, "f")
```

Les valeurs manquantes sont prises en compte dans le calcul de la longueur du vecteur.

```
R> length(taille)
```

```
[1] 6
```

Il ne faut pas confondre `NA` avec un autre objet que l'on rencontre sous R et appellé `NULL` qui représente l'«objet vide». `NULL` ne contient absolument rien du tout. La différence se comprends mieux lorsque que l'on essaie de combiner ces objets :

```
R> c(NULL, NULL, NULL)
```

```
NULL
```

```
R> length(c(NULL, NULL, NULL))
```

```
[1] 0
```

On peut combiner `NULL` avec `NULL`, du vide plus du vide renverra toujours du vide dont la dimension est égale à zéro.

```
R> c(NA, NA, NA)
```

```
[1] NA NA NA
```

```
R> length(c(NA, NA, NA))
```

```
[1] 3
```

Par contre, un vecteur composé de trois valeurs manquantes a une longueur de 3, même si toutes ses valeurs sont manquantes.

Indexation par position

L'indexation est l'une des fonctionnalités les plus puissantes mais aussi les plus difficiles à maîtriser de R. Il s'agit d'opérations permettant de sélectionner des sous-ensembles de valeurs en fonction de différents critères. Il existe trois types d'indexation : (i) l'indexation par position, (ii)

I♦indexation par nom et (iii) I♦indexation par condition. Le principe est toujours le m♦me♦: on indique entre crochets ([]) ce que l♦on souhaite garder ou non.

Pour rappel, les crochets s♦obtiennent sur un clavier fran♦ais de type PC en appuyant sur la touche **Alt♦Gr** et la touche ((ou)).

Commen♦ons par l♦indexation par position encore appellée indexation directe. Ce mode le plus simple d♦indexation consiste ♦ indiquer la position des ♦l♦ments ♦ conserver.

Reprenons notre vecteur `taille` ♦:

```
R> taille
```

```
[1] 1.88 NA 1.65 1.92 1.76 NA
```

Si on souhaite le premier ♦l♦ment du vecteur, on peut faire ♦:

```
R> taille[1]
```

```
[1] 1.88
```

Si on souhaite les trois premiers ♦l♦ments ou les ♦l♦ments 2, 5 et 6♦:

```
R> taille[1:3]
```

```
[1] 1.88 NA 1.65
```

```
R> taille[c(2, 5, 6)]
```

```
[1] NA 1.76 NA
```

Si on veut le dernier ♦l♦ment♦:

```
R> taille[length(taille)]
```

```
[1] NA
```

Il est tout ♦ fait possible de s♦lectionner les valeurs dans le d♦sordre♦:

```
R> taille[c(5, 1, 4, 3)]
```

```
[1] 1.76 1.88 1.92 1.65
```

Dans le cadre de l'indexation par position, il est également possible de spécifier des nombres négatifs. Auquel cas, cela signifiera «toutes les valeurs sauf celles-là». Par exemple :

```
R> taille[c(-1, -5)]
```

```
[1] NA 1.65 1.92 NA
```

À noter, si l'on indique une position au-delà de la longueur du vecteur, R renverra NA. Par exemple :

```
R> taille[23:25]
```

```
[1] NA NA NA
```

Des vecteurs nommés

Les différentes valeurs d'un vecteur peuvent être nommées. Une première manière de nommer les éléments d'un vecteur est de le faire à sa création :

```
R> sexe <- c(Michel = "h", Anne = "f", Dominique = NA,
  Jean = "h", Claude = NA, Marie = "f")
```

Lorsque l'on affiche le vecteur, la présentation change quelque peu.

```
R> sexe
```

Michel	Anne	Dominique	Jean	Claude
"h"	"f"	NA	"h"	NA
Marie				
"f"				

La liste des noms s'obtient avec `names`.

```
R> names(sexe)
```

```
[1] "Michel"     "Anne"       "Dominique"  
[4] "Jean"       "Claude"     "Marie"
```

Pour ajouter ou modifier les noms d'un vecteur, on doit attribuer un nouveau vecteur de noms :

```
R> names(sexe) <- c("Michael", "Anna", "Dom", "John",  
+                     "Alex", "Mary")  
sexé
```

Michael	Anna	Dom	John	Alex	Mary
"h"	"f"	NA	"h"	NA	"f"

Pour supprimer tout les noms, il y a la fonction `unname` :

```
R> anonyme <- unname(sexe)  
anonyme
```

```
[1] "h" "f" NA "h" NA "f"
```

Indexation par nom

Lorsqu'un vecteur est nommé, il est dès lors possible d'accéder à ses valeurs à partir de leur nom. Il s'agit de l'indexation par nom.

```
R> sexe["Anna"]
```

```
Anna  
"f"
```

```
R> sexe[c("Mary", "Michael", "John")]
```

Mary	Michael	John
"f"	"h"	"h"

Par contre il n'est pas possible d'utiliser l'opérateur `-` comme pour l'indexation directe. Pour exclure un élément en fonction de son nom, on doit utiliser une autre forme d'indexation, l'indexation par condition, expliquée dans la section suivante. On peut ainsi faire :

```
R> sexe[names(sexe) != "Dom"]
```

pour sélectionner tous les éléments sauf celui qui s'appelle «Dom».

Indexation par condition

L'indexation par condition consiste à fournir un vecteur logique indiquant si chaque élément doit être inclus (si `TRUE`) ou exclu (si `FALSE`). Par exemple :

```
R> sexe
```

Michael	Anna	Dom	John	Alex	Mary
"h"	"f"	NA	"h"	NA	"f"

```
R> sexe[c(TRUE, FALSE, FALSE, TRUE, FALSE, FALSE)]
```

Michael	John
"h"	"h"

Écrire manuellement une telle condition n'est pas très pratique à l'usage. Mais supposons que nous ayons également à notre disposition les deux vecteurs suivants, également de longueur 6.

```
R> urbain <- c(TRUE, FALSE, FALSE, FALSE, TRUE, TRUE)
poids <- c(80, 63, 75, 87, 82, 67)
```

Le vecteur `urbain` est un vecteur logique. On peut directement l'utiliser pour avoir le sexe des enquêtés habitant en milieu urbain :

```
R> sexe[urbain]
```

Michael	Alex	Mary
"h"	NA	"f"

Supposons que l'on souhaite maintenant avoir la taille des individus pesant 80 kilogrammes ou plus. Nous pouvons effectuer une comparaison à l'aide des opérateurs de comparaison suivants :

Opérateur de comparaison	Signification
<code>==</code>	égal
<code>!=</code>	différent de
<code>></code>	strictement supérieur
<code><</code>	strictement inférieur
<code>>=</code>	supérieur ou égal
<code><=</code>	inférieur ou égal

Voyons tout de suite un exemple :

```
R> poids >= 80
```

```
[1] TRUE FALSE FALSE TRUE TRUE FALSE
```

Que s'est-il passé ? Nous avons fourni à R une condition et il nous a renvoyé un vecteur logique avec autant d'éléments qu'il y a d'observations et dont la valeur est `TRUE` si la condition est remplie et `FALSE` dans les autres cas. Nous pouvons alors utiliser ce vecteur logique pour obtenir la taille des participants pesant 80 kilogrammes ou plus :

```
R> taille[poids >= 80]
```

```
[1] 1.88 1.92 1.76
```

On peut combiner ou modifier des conditions à l'aide des opérateurs logiques habituels :

Opérateur logique	Signification
<code>&</code>	et logique
<code> </code>	ou logique
<code>!</code>	négation logique

Comment les utilise-t-on ? Voyons tout de suite un exemple. Supposons que je veuille identifier les personnes pesant 80 kilogrammes ou plus et vivant en milieu urbain :

```
R> poids >= 80 & urbain
```

```
[1] TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE
```

Les résultats sont différents si je souhaite isoler les personnes pesant 80 kilogrammes ou plus **ou** vivant milieu urbain :

```
R> poids >= 80 | urbain
```

```
[1] TRUE FALSE FALSE TRUE TRUE TRUE
```

Une remarque importante : quand l'un des termes d'une condition comporte une valeur manquante (NA), le résultat de cette condition n'est pas toujours TRUE ou FALSE , il peut aussi être à son tour une valeur manquante.

```
R> taille
```

```
[1] 1.88 NA 1.65 1.92 1.76 NA
```

```
R> taille > 1.8
```

```
[1] TRUE NA FALSE TRUE FALSE NA
```

On voit que le test NA > 1.8 ne renvoie ni vrai ni faux, mais NA .

Une autre conséquence importante de ce comportement est qu'on ne peut pas utiliser l'opérateur l'expression == NA pour tester la présence de valeurs manquantes. On utilisera à la place la fonction *ad hoc* **is.na** :

```
R> is.na(taille > 1.8)
```

```
[1] FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE
```

Pour compliquer encore un peu le tout, lorsqu'on utilise une condition pour l'indexation, si la condition renvoie NA , R ne sélectionne pas seulement mais retourne quand même la valeur NA . Ceci a donc des conséquences sur le résultat d'une indexation par comparaison.

Par exemple si je cherche à connaître le poids des personnes mesurant 1,80 mètre ou plus :

```
R> taille
```

```
[1] 1.88 NA 1.65 1.92 1.76 NA
```

```
R> poids
```

```
[1] 80 63 75 87 82 67
```

```
R> poids[taille > 1.8]
```

```
[1] 80 NA 87 NA
```

Les éléments pour lesquels la taille n'est pas connue ont été transformés en NA, ce qui n'influera pas le calcul d'une moyenne. Par contre, lorsqu'on utilisera assignation et indexation ensemble, cela peut créer des problèmes. Il est donc préférable lorsque l'on a des valeurs manquantes de les exclure ainsi :

```
R> poids[taille > 1.8 & !is.na(taille)]
```

```
[1] 80 87
```

Pour plus de détails sur les conditions et le calcul logique dans R, on pourra se référer au chapitre dédié, page 535.

Assignment par indexation

Dans tous les exemples précédents, on a utilisé l'indexation pour extraire une partie d'un vecteur, en plaçant l'opération d'indexation à droite de l'opérateur <- .

Mais l'indexation peut également être placée à gauche de cet opérateur d'assignation. Dans ce cas, les éléments sélectionnés par l'indexation sont alors remplacés par les valeurs indiquées à droite de l'opérateur <- .

Prenons donc un exemple simple :

```
R> v <- 1:5
```

v

[1] 1 2 3 4 5

```
R> v[1] <- 3
```

v

[1] 3 2 3 4 5

Cette fois, au lieu d'utiliser quelque chose comme `x <- v[1]`, qui aurait placé la valeur du premier élément de `v` dans `x`, on a utilisé `v[1] <- 3`, ce qui a mis à jour le premier élément de `v` avec la valeur 3. Ceci fonctionne également pour les différents types d'indexation voqués précédemment :

```
R> sexe["Alex"] <- "f"
```

Enfin on peut modifier plusieurs éléments d'un seul coup soit en fournissant un vecteur, soit en profitant du mécanisme de recyclage. Les deux commandes suivantes sont ainsi rigoureusement équivalentes :

```
R> sexe[c(1, 3, 4)] <- c("Homme", "Homme", "Homme")
R> sexe[c(1, 3, 4)] <- "Homme"
```

L'assignation par indexation peut aussi être utilisée pour ajouter une ou plusieurs valeurs à un vecteur :

```
R> length(sexe)
```

[1] 6

```
R> sexe[7] <- "f"
R> sexe
```

Michael	Anna	Dom	John	Alex	Mary
"Homme"	"f"	"Homme"	"Homme"	"f"	"f"
					"f"

```
R> length(sexe)
```

```
[1] 7
```

On commence à voir comment l'utilisation de l'indexation par conditions et de l'assignation va nous permettre de faire des recodages (que nous aborderons plus en détail dans un chapitre dédié, page 151).

En résumé

- Un vecteur est un objet unidimensionnel contenant une liste de valeurs qui sont toutes du même type (entières, numériques, textuelles ou logiques).
- La fonction `class` permet de connaître le type de vecteur et la fonction `length` sa longueur, c'est-à-dire le nombre d'éléments du vecteur.
- La fonction `c` sert à créer et à combiner des vecteurs.
- Les valeurs manquantes sont représentées avec `NA`. Un vecteur peut être nommé, c'est-à-dire qu'un nom textuel a été associé à chaque élément. Cela peut se faire lors de sa création ou avec la fonction `names`.
- L'indexation consiste à extraire certains éléments d'un vecteur. Pour cela, on indique ce que l'on souhaite extraire entre crochets (`[]`) juste après le nom du vecteur. Le type d'indexation dépend du type d'information transmise.
- Si il s'agit de nombres entiers, c'est l'indexation par position : les nombres représentent la position dans le vecteur des éléments que l'on souhaite extraire. Un nombre négatif s'interprète comme «tous les éléments sauf celui-là».
- Si l'on indique des chaînes de caractères, c'est l'indexation par nom : on indique le nom des éléments que l'on souhaite extraire. Cette forme d'indexation ne fonctionne que si le vecteur est nommé.
- Si l'on transmet des valeurs logiques, le plus souvent sous la forme d'une condition, c'est l'indexation par condition : `TRUE` indique les éléments à extraire et `FALSE` les éléments à exclure. Il faut être vigilant aux valeurs manquantes (`NA`) dans ce cas précis.
- Enfin, il est possible de modifier que certains éléments d'un vecteur en ayant recours à la fois à l'indexation (`[]`) et à l'assignation (`<-`).

Listes et Tableaux de données

Listes	81
Propriétés et création	81
Indexation	84
Tableaux de données	88
Propriétés et création	88
Indexation	91
Afficher les données	95
En résumé	104

NOTE

Il est préférable d'avoir déjà lu le chapitre Vecteurs, indexation et assignation, page 61 avant d'aborder celui-ci.

Listes

Par nature, les vecteurs ne peuvent contenir que des valeurs de même type (numériques, textuels ou logique). Or, on peut avoir besoin de représenter des objets plus complexes composés d'éléments disparates. C'est ce que permettent les listes.

Propriétés et création

Une liste se crée tout simplement avec la fonction `list`:

```
R> l1 <- list(1:5, "abc")  
l1
```

```
[[1]]  
[1] 1 2 3 4 5  
  
[[2]]  
[1] "abc"
```

Une liste est un ensemble d'objets, quels qu'ils soient, chaque élément d'une liste pouvant avoir ses propres dimensions. Dans notre exemple précédent, nous avons créé une liste `l1` composée de deux éléments : un vecteur d'entiers de longueur 5 et un vecteur textuel de longueur 1. La longueur d'une liste correspond aux nombres d'éléments qu'elle contient et s'obtient avec `length` :

```
R> length(l1)
```

```
[1] 2
```

Comme les vecteurs, une liste peut être nommées et les noms des éléments d'une liste accessibles avec `names` :

```
R> l2 <- list(minuscules = letters, majuscules = LETTERS,  
mois = month.name)  
l2
```

```
$minuscules  
[1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k"  
[12] "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s" "t" "u" "v"  
[23] "w" "x" "y" "z"  
  
$majuscules  
[1] "A" "B" "C" "D" "E" "F" "G" "H" "I" "J" "K"  
[12] "L" "M" "N" "O" "P" "Q" "R" "S" "T" "U" "V"  
[23] "W" "X" "Y" "Z"  
  
$mois  
[1] "January"   "February"   "March"  
[4] "April"      "May"        "June"  
[7] "July"       "August"     "September"  
[10] "October"    "November"   "December"
```

```
R> length(l2)
```

```
[1] 3
```

```
R> names(l2)
```

```
[1] "minuscules" "majuscules" "mois"
```

Que se passe-t-il maintenant si l'on effectue la commande suivante ?

```
R> l <- list(l1, l2)
```

À votre avis, quelle est la longueur de cette nouvelle liste l ?

```
R> length(l)
```

```
[1] 2
```

Et bien non ! Elle est de longueur 2, car nous avons créé une liste composée de deux éléments qui sont eux-mêmes des listes. Cela est plus lisible si l'on fait appel à la fonction `str` qui permet de visualiser la structure d'un objet.

```
R> str(l)
```

```
List of 2
$ :List of 2
..$ : int [1:5] 1 2 3 4 5
..$ : chr "abc"
$ :List of 3
..$ minuscules: chr [1:26] "a" "b" "c" "d" ...
..$ majuscules: chr [1:26] "A" "B" "C" "D" ...
..$ mois       : chr [1:12] "January" "February" "March" "April" ...
```

Une liste peut contenir tout type d'objets, y compris d'autres listes. Pour combiner les éléments d'une liste, il faut utiliser la fonction `append` :

```
R> l <- append(l1, l2)
length(l)
```

```
[1] 5
```

```
R> str(l)
```

```
List of 5
$ : int [1:5] 1 2 3 4 5
$ : chr "abc"
$ minuscules: chr [1:26] "a" "b" "c" "d" ...
$ majuscules: chr [1:26] "A" "B" "C" "D" ...
$ mois : chr [1:12] "January" "February" "March" "April" ...
```

On peut noter en passant qu'une liste peut tout fait n'être que partiellement nommée.

Indexation

Les crochets simples (`[]`) fonctionnent comme pour les vecteurs. On peut utiliser la fois l'indexation par position, l'indexation par nom et l'indexation par condition.

```
R> l
```

```
[[1]]
[1] 1 2 3 4 5

[[2]]
[1] "abc"

$minuscules
[1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k"
[12] "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s" "t" "u" "v"
[23] "w" "x" "y" "z"

$majuscules
[1] "A" "B" "C" "D" "E" "F" "G" "H" "I" "J" "K"
[12] "L" "M" "N" "O" "P" "Q" "R" "S" "T" "U" "V"
[23] "W" "X" "Y" "Z"

$mois
[1] "January" "February" "March"
```

```
[4] "April"      "May"       "June"
[7] "July"       "August"     "September"
[10] "October"    "November"   "December"
```

R> l[c(1, 3, 4)]

```
[[1]]
[1] 1 2 3 4 5

$minuscules
[1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k"
[12] "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s" "t" "u" "v"
[23] "w" "x" "y" "z"

$majuscules
[1] "A" "B" "C" "D" "E" "F" "G" "H" "I" "J" "K"
[12] "L" "M" "N" "O" "P" "Q" "R" "S" "T" "U" "V"
[23] "W" "X" "Y" "Z"
```

R> l[c("majuscules", "minuscules")]

```
$majuscules
[1] "A" "B" "C" "D" "E" "F" "G" "H" "I" "J" "K"
[12] "L" "M" "N" "O" "P" "Q" "R" "S" "T" "U" "V"
[23] "W" "X" "Y" "Z"

$minuscules
[1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k"
[12] "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s" "t" "u" "v"
[23] "w" "x" "y" "z"
```

R> l[c(TRUE, TRUE, FALSE, FALSE, TRUE)]

```
[[1]]
[1] 1 2 3 4 5

[[2]]
[1] "abc"

$mois
[1] "January"   "February"  "March"
```

```
[4] "April"      "May"       "June"  
[7] "July"       "August"     "September"  
[10] "October"    "November"   "December"
```

Même si l'on extrait un seul élément, l'extraction obtenue avec les crochets simples renvoie toujours une liste, ici composée d'un seul élément :

```
R> str(l[1])
```

```
List of 1  
$ : int [1:5] 1 2 3 4 5
```

Supposons que je souhaite calculer la moyenne des valeurs du premier élément de ma liste. Essayons la commande suivante :

```
R> mean(l[1])
```

```
Warning in mean.default(l[1]): argument is not  
numeric or logical: returning NA
```

```
[1] NA
```

Nous obtenons un message d'erreur. En effet, R ne sait pas calculer une moyenne à partir d'une liste. Ce qu'il lui faut, c'est un vecteur de valeurs numériques. Autrement dit, ce que nous cherchons à obtenir c'est le contenu même du premier élément de notre liste et non une liste à un seul élément.

C'est ici que les doubles crochets ([]) vont rentrer en jeu. Pour ces derniers, nous pourrons utiliser l'indexation par position ou l'indexation par nom, mais pas l'indexation par condition. De plus, le critère que l'on indiquera doit indiquer un et un seul élément de notre liste. Au lieu de renvoyer une liste à un élément, les doubles crochets vont renvoyer l'élément désigné. Vite, un exemple :

```
R> str(l[1])
```

```
List of 1  
$ : int [1:5] 1 2 3 4 5
```

```
R> str(l[[1]])
```

```
int [1:5] 1 2 3 4 5
```

Maintenant, nous pouvons calculer notre moyenne :

```
R> mean(l[[1]])
```

```
[1] 3
```

Nous pouvons aussi tester l'indexation par nom.

```
R> l[["mois"]]
```

```
[1] "January"   "February"  "March"
[4] "April"      "May"       "June"
[7] "July"       "August"    "September"
[10] "October"   "November"  "December"
```

Mais il faut avouer que cette écriture avec doubles crochets et guillemets est un peu lourde. Heureusement, un nouvel acteur entre en scène : le symbole dollar (\$). C'est un raccourci des doubles crochets pour l'indexation par nom. Que l'on utilise ainsi :

```
R> l$mois
```

```
[1] "January"   "February"  "March"
[4] "April"      "May"       "June"
[7] "July"       "August"    "September"
[10] "October"   "November"  "December"
```

Les écritures `l$mois` et `l[["mois"]]` sont équivalentes. Attention ! Cela ne fonctionne que pour l'indexation par nom.

```
R> l$1
```

```
Error: unexpected numeric constant in "l$1"
```

L'assignation par indexation fonctionne également avec les doubles crochets ou le signe dollar :

```
R> l[[2]] <- list(c("un", "vecteur", "textuel"))
  l$mois <- c("Janvier", "Février", "Mars")
  l
```

```
[[1]]
[1] 1 2 3 4 5

[[2]]
[[2]][[1]]
[1] "un"      "vecteur" "textuel"

$minuscules
[1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k"
[12] "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s" "t" "u" "v"
[23] "w" "x" "y" "z"

$majuscules
[1] "A" "B" "C" "D" "E" "F" "G" "H" "I" "J" "K"
[12] "L" "M" "N" "O" "P" "Q" "R" "S" "T" "U" "V"
[23] "W" "X" "Y" "Z"

$mois
[1] "Janvier" "Février" "Mars"
```

Tableaux de données

Il y a un type d'objets que nous avons déjà abordé dans le chapitre Premier travail avec les données, page 35, il s'agit du tableau de données ou *data frame* en anglais.

Propriétés et création

Dans R, les tableaux de données sont tout simplement des listes avec quelques propriétés spécifiques :

- les tableaux de données ne peuvent contenir que des vecteurs ;
- tous les vecteurs d'un tableau de données ont la même longueur ;
- tous les éléments d'un tableau de données sont nommés et ont chacun un nom unique.

Dès lors, un tableau de données correspond aux fichiers de données que l'on a l'habitude de manipuler dans d'autres logiciels de statistiques comme **SPSS** ou **Stata**. Les variables sont organisées en colonnes et les observations en lignes.

On peut créer un tableau de données avec la fonction `data.frame`:

```
R> df <- data.frame(sexe = c("f", "f", "h", "h"), age = c(52,
  31, 29, 35), blond = c(FALSE, TRUE, TRUE, FALSE))
df
```

	sexe	age	blond
1	f	52	FALSE
2	f	31	TRUE
3	h	29	TRUE
4	h	35	FALSE

```
R> str(df)
```

```
'data.frame': 4 obs. of 3 variables:
$ sexe : Factor w/ 2 levels "f","h": 1 1 2 2
$ age  : num 52 31 29 35
$ blond: logi FALSE TRUE TRUE FALSE
```

La fonction `data.frame` a un gros défaut: si on ne désactive pas l'option `stringsAsFactors` elle transforme les chaînes de caractères, ici la variable `sexe` en facteurs (un type de vecteur que nous aborderons plus en détail dans un prochain chapitre, page 107).

```
R> df <- data.frame(sexe = c("f", "f", "h", "h"), age = c(52,
  31, 29, 35), blond = c(FALSE, TRUE, TRUE, FALSE),
  stringsAsFactors = FALSE)
df
```

	sexe	age	blond
1	f	52	FALSE
2	f	31	TRUE
3	h	29	TRUE
4	h	35	FALSE

```
R> str(df)
```

```
'data.frame': 4 obs. of 3 variables:
$ sexe : chr "f" "f" "h" "h"
$ age  : num 52 31 29 35
$ blond: logi FALSE TRUE TRUE FALSE
```

Un tableau de données étant une liste, la fonction `length` renverra le nombre d'éléments de la liste, donc dans le cas présent le nombre de variables et `names` leurs noms :

```
R> length(df)
```

```
[1] 3
```

```
R> names(df)
```

```
[1] "sexe"   "age"    "blond"
```

Comme tous les éléments d'un tableau de données ont la même longueur, cet objet peut être vu comme bidimensionnel. Les fonctions `nrow`, `ncol` et `dim` donnent respectivement le nombre de lignes, le nombre de colonnes et les dimensions de notre tableau.

```
R> nrow(df)
```

```
[1] 4
```

```
R> ncol(df)
```

```
[1] 3
```

```
R> dim(df)
```

```
[1] 4 3
```

De plus, tout comme les colonnes ont un nom, il est aussi possible de nommer les lignes avec `row.names` :

```
R> row.names(df) <- c("Anna", "Mary-Ann", "Michael", "John")  
df
```

	sex	age	blond
Anna	f	52	FALSE
Mary-Ann	f	31	TRUE

```
Michael      h  29  TRUE
John        h  35 FALSE
```

Indexation

Les tableaux de données étant des listes, nous pouvons donc utiliser les crochets simples ([]), les crochets doubles ([[]]) et le symbole dollar (\$) pour extraire des parties de notre tableau, de la même manière que pour n'importe quelle liste.

```
R> df[1]
```

```
sex
Anna      f
Mary-Ann   f
Michael    h
John      h
```

```
R> df[[1]]
```

```
[1] "f" "f" "h" "h"
```

```
R> df$sex
```

```
[1] "f" "f" "h" "h"
```

Cependant, un tableau de données étant un objet bidimensionnel, il est également possible d'extraire des données sur deux dimensions, à savoir un premier critère portant sur les lignes et un second portant sur les colonnes. Pour cela, nous utiliserons les crochets simples ([]) en séparant nos deux critères par une virgule (,).

Un premier exemple :

```
R> df
```

```
sex age blond
Anna      f  52 FALSE
Mary-Ann   f  31  TRUE
```

```
Michael      h  29  TRUE
John        h  35 FALSE
```

```
R> df[3, 2]
```

```
[1] 29
```

Cette première commande indique que nous souhaitons la troisième ligne de la seconde colonne, autrement dit l'âge de Michael. Le même résultat peut être obtenu avec l'indexation par nom, l'indexation par condition, ou un mélange de tout ça.

```
R> df["Michael", "age"]
```

```
[1] 29
```

```
R> df[c(F, F, T, F), c(c(F, T, F))]
```

```
[1] 29
```

```
R> df[3, "age"]
```

```
[1] 29
```

```
R> df["Michael", 2]
```

```
[1] 29
```

Il est également possible de ne préciser qu'un seul critère. Par exemple, si je souhaite les deux premières observations, ou les variables sexe et blond:

```
R> df[1:2, ]
```

```
       sexe age blond
Anna      f  52 FALSE
Mary-Ann   f  31  TRUE
```

```
R> df[, c("sex", "blond")]
```

	sex	blond
Anna	f	FALSE
Mary-Ann	f	TRUE
Michael	h	TRUE
John	h	FALSE

Il a suffit de laisser un espace vide avant ou après la virgule. ATTENTION ! Il est cependant important de laisser la virgule pour indiquer à R que l'on souhaite effectuer une indexation sur deux dimensions. Si l'on oublie la virgule, cela nous ramène au mode de fonctionnement des listes. Et le résultat n'est pas forcément le même :

```
R> df[2, ]
```

	sex	age	blond
Mary-Ann	f	31	TRUE

```
R> df[, 2]
```

```
[1] 52 31 29 35
```

```
R> df[2]
```

	age
Anna	52
Mary-Ann	31
Michael	29
John	35

NOTE

Au passage, on pourra noter quelques subtilités sur le résultat renvoyé.

```
R> str(df[2, ])
```

```
'data.frame': 1 obs. of 3 variables:  
 $ sexe : chr "f"  
 $ age  : num 31  
 $ blond: logi TRUE
```

```
R> str(df[, 2])
```

```
num [1:4] 52 31 29 35
```

```
R> str(df[2])
```

```
'data.frame': 4 obs. of 1 variable:  
 $ age: num 52 31 29 35
```

```
R> str(df[[2]])
```

```
num [1:4] 52 31 29 35
```

`df[2,]` signifie que l'on veut toutes les variables pour le second individu. Le résultat est un tableau de données à une ligne et trois colonnes. `df[2]` correspond au mode d'extraction des listes et renvoie donc une liste à un élément, en l'occurrence un tableau de données à quatre observations et une variable. `df[[2]]` quant à lui renvoie le contenu de cette variable, soit un vecteur numérique de longueur quatre. Reste `df[, 2]` qui signifie renvoie toutes les observations pour la seconde colonne. Or l'indexation bidimensionnelle a un fonctionnement un peu particulier : par défaut cela renvoie un tableau de données mais si il n'y a qu'une seule variable dans l'extraction, c'est un vecteur qui est renvoyé. Pour plus de détails, on pourra consulter l'entrée d'aide de `[.data.frame`.

Afficher les données

Prenons un tableau de données un peu plus conséquent, en l'occurrence un jeu de données disponible dans l'extension `questionr` et correspondant à un extrait de l'enquête *Histoire de vie réalisée par l'INSEE en 2003*. Il contient 2000 individus et 20 variables.

```
R> library(questionr)
data(hdv2003)
d <- hdv2003
```

Si l'on demande à afficher l'objet `d` dans la console (résultat non reproduit ici), R va afficher l'ensemble du contenu de `d` à l'écran ce qui, sur un tableau de cette taille, ne sera pas très lisible. Pour une exploration visuelle, le plus simple est souvent d'utiliser la visionneuse intégrée à RStudio et que l'on peut appeler avec la fonction `View`.

```
R> View(d)
```

Les fonctions `head` et `tail`, qui marchent également sur les vecteurs, permettent d'afficher seulement les premières (respectivement les dernières) lignes d'un tableau de données :

```
R> head(d)
```

	<code>id</code>	<code>age</code>	<code>sexe</code>		<code>nivetud</code>
1	1	28	Femme		
2	2	23	Femme		
3	3	59	Homme		
4	4	34	Homme		
5	5	71	Femme		
6	6	35	Femme		
					<code>nivetud</code>
1				Enseignement supérieur y compris technique supérieur	
2					<NA>
3				Dernière année d'études primaires	
4				Enseignement supérieur y compris technique supérieur	
5					Dernière année d'études primaires
6				Enseignement technique ou professionnel court	
				poids	occup qualif
1	2634.398			Exerce une profession	Employé
2	9738.396			Etudiant, élève	<NA>
3	3994.102			Exerce une profession	Technicien
4	5731.662				Technicien
5	4329.094			Retraite	Employé

```

6 8674.699 Exerce une profession      Employe
freres.soeurs cleso                  relig
1          8 Oui Ni croyance ni appartenance
2          2 Oui Ni croyance ni appartenance
3          2 Non Ni croyance ni appartenance
4          1 Non Appartenance sans pratique
5          0 Oui           Pratiquant regulier
6          5 Non Ni croyance ni appartenance
                           trav.imp   trav.satisf
                           Peu important Insatisfaction
2                      <NA>           <NA>
3 Aussi important que le reste      Equilibre
4 Moins important que le reste     Satisfaction
5                      <NA>           <NA>
6          Le plus important      Equilibre
hard.rock lecture.bd peche.chasse cuisine
1        Non       Non       Non      Oui
2        Non       Non       Non      Non
3        Non       Non       Non      Non
4        Non       Non       Non      Oui
5        Non       Non       Non      Non
6        Non       Non       Non      Non
bricol cinema sport heures.tv
1      Non       Non       Non      0
2      Non       Oui      Oui      1
3      Non       Non       Oui      0
4      Oui      Oui      Oui      2
5      Non       Non       Non      3
6      Non       Oui      Oui      2

```

```
R> tail(d, 2)
```

```

id age sexe
1999 1999 24 Femme
2000 2000 66 Femme
                           nivetud
1999 Enseignement technique ou professionnel court
2000 Enseignement technique ou professionnel long
                           poids      occup qualif
1999 13740.810 Exerce une profession Employe
2000 7709.513           Au foyer Employe
freres.soeurs cleso
1999          2 Non
2000          3 Non
                           relig

```

```

1999 Appartenance sans pratique
2000 Appartenance sans pratique
                           trav.imp trav.satisf
1999 Moins important que le reste   Equilibre
2000                               <NA>      <NA>
    hard.rock lecture.bd peche.chasse cuisine
1999      Non        Non        Non        Non
2000      Non        Oui        Non        Oui
    bricol cinema sport heures.tv
1999     Non      Oui      Non      0.3
2000     Non      Non      Non      0.0

```

L'extension `dplyr`, que nous n'aborderons en détails que plus tard, page 203, propose une fonction `glimpse` (ce qui signifie «aperçu» en anglais) qui permet de visualiser rapidement et de manière condensée le contenu d'un tableau de données.

```
R> library(dplyr)
glimpse(d)
```

```

Observations: 2,000
Variables: 20
$ id              (int) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,...
$ age             (int) 28, 23, 59, 34, 71, 35,...
$ sexe            (fctr) Femme, Femme, Homme, H...
$ nivetud         (fctr) Enseignement superieur...
$ poids            (dbl) 2634.3982, 9738.3958, 3...
$ occup            (fctr) Exerce une profession, ...
$ qualif           (fctr) Employe, NA, Technicie...
$ freres.soeurs  (int) 8, 2, 2, 1, 0, 5, 1, 5, ...
$ cuso             (fctr) Oui, Oui, Non, Non, Ou...
$ relig             (fctr) Ni croyance ni apparte...
$ trav.imp          (fctr) Peu important, NA, Aus...
$ trav.satisf       (fctr) Insatisfaction, NA, Eq...
$ hard.rock         (fctr) Non, Non, Non, Non, No...
$ lecture.bd        (fctr) Non, Non, Non, Non, No...
$ peche.chasse      (fctr) Non, Non, Non, Non, No...
$ cuisine           (fctr) Oui, Non, Non, Oui, No...
$ bricol            (fctr) Non, Non, Non, Oui, No...
$ cinema             (fctr) Non, Oui, Non, Oui, No...
$ sport              (fctr) Non, Oui, Oui, Oui, No...
$ heures.tv          (dbl) 0.0, 1.0, 0.0, 2.0, 3.0...

```

L'extension `questionr` propose une fonction `lookfor` qui permet de lister les différentes variables d'un fichier de données :

```
R> lookfor(d)
```

```
variable
1      id
2      age
3      sexe
4      nivetud
5      poids
6      occup
7      qualif
8  freres.soeurs
9      ciso
10     relig
11     trav.imp
12     trav.satisf
13     hard.rock
14     lecture.bd
15     peche.chasse
16     cuisine
17     bricol
18     cinema
19     sport
20     heures.tv
```

Lorsque l'on a un gros tableau de données avec de nombreuses variables, il peut être difficile de retrouver la ou les variables d'intérêt. Il est possible d'indiquer à `lookfor` un mot-clé pour limiter la recherche. Par exemple :

```
R> lookfor(d, "trav")
```

```
variable
11     trav.imp
12 trav.satisf
```

Il est à noter que si la recherche n'est pas sensible à la casse (i.e. aux majuscules et aux minuscules), elle est sensible aux accents.

La méthode `summary` qui fonctionne sur tout type d'objet permet d'avoir quelques statistiques de base sur les différentes variables de notre tableau, les statistiques affichées dépendant du type de variable.

R> **summary**(d)

<pre> id age sexe Min. : 1.0 Min. :18.00 Homme: 899 1st Qu.: 500.8 1st Qu.:35.00 Femme:1101 Median :1000.5 Median :48.00 Mean :1000.5 Mean :48.16 3rd Qu.:1500.2 3rd Qu.:60.00 Max. :2000.0 Max. :97.00 </pre> <pre> nivetud Enseignement technique ou professionnel court :463 Enseignement supérieur y compris technique supérieur:441 Dernière année d'études primaires :341 1er cycle :204 2ème cycle :183 (Other) :256 NA's :112 </pre> <pre> poids occup Min. : 78.08 Exerce une profession:1049 1st Qu.: 2221.82 Chômeur : 134 Median : 4631.19 Etudiant, élève : 94 Mean : 5535.61 Retraite : 392 3rd Qu.: 7626.53 Retire des affaires : 77 Max. :31092.14 Au foyer : 171 Autre inactif : 83 </pre> <pre> qualif freres.soeurs Employé :594 Min. : 0.000 Ouvrier qualifié :292 1st Qu.: 1.000 Cadre :260 Median : 2.000 Ouvrier spécialisé :203 Mean : 3.283 Profession intermédiaire:160 3rd Qu.: 5.000 (Other) :144 Max. :22.000 NA's :347 </pre> <pre> cuso Oui : 936 Non :1037 Ne sait pas: 27 </pre> <pre> relig Pratiquant régulier :266 Pratiquant occasionnel :442 Appartenance sans pratique :760 </pre>

```
Ni croyance ni appartenance:399
Rejet : 93
NSP ou NVPR : 40

trav.imp
Le plus important : 29
Aussi important que le reste:259
Moins important que le reste:708
Peu important : 52
NA's :952

trav.satisf hard.rock lecture.bd
Satisfaction :480 Non:1986 Non:1953
Insatisfaction:117 Oui: 14 Oui: 47
Equilibre :451
NA's :952

peche.chasse cuisine bricol cinema
Non:1776 Non:1119 Non:1147 Non:1174
Oui: 224 Oui: 881 Oui: 853 Oui: 826

sport heures.tv
Non:1277 Min. : 0.000
Oui: 723 1st Qu.: 1.000
Median : 2.000
Mean : 2.247
3rd Qu.: 3.000
Max. :12.000
NA's :5
```

On peut également appliquer `summary` à une variable particulière.

```
R> summary(d$sex)
```

```
Homme Femme
899 1101
```

```
R> summary(d$age)
```

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
age	18.00	35.00	48.00	48.16	60.00	97.00

L'extension `questionr` fournit également une fonction bien pratique pour décrire les différentes variables d'un tableau de données. Il s'agit de `describe`. Faisons de suite un essai :

```
R> describe(d)
```

```
[2000 obs. x 20 variables] tbl_df tbl data.frame

$id:
integer: 1 2 3 4 5 ...
min: 1 - max: 2000 - NAs: 0 (0%) - 2000 unique values

$age:
integer: 28 23 59 34 71 ...
min: 18 - max: 97 - NAs: 0 (0%) - 78 unique values

$sexe:
nominal factor: "Femme" "Femme" "Homme" "Homme" "Femme" ...
2 levels: Homme | Femme
NAs: 0 (0%)

$nivetud:
nominal factor: "Enseignement supérieur y compris technique supérieur" NA "Dernière année d'études primaires" "Enseignement supérieur y compris technique supérieur" "Dernière année d'études primaires" ...
8 levels: N'a jamais fait d'études | A arrêté ses études, avant la dernière année d'études primaires | Dernière année d'études primaires | 1er cycle | 2ème cycle | Enseignement technique ou professionnel court | Enseignement technique ou professionnel long | Enseignement supérieur y compris technique supérieur
NAs: 112 (0.1%)

$poids:
numeric: 2634.3982157 9738.3957759 3994.1024587 5731.6615081 4329.0940022 ...
min: 78.0783403 - max: 31092.14132 - NAs: 0 (0%) - 1877 unique values

$occup:
nominal factor: "Exerce une profession" "Etudiant, élève" "Exerce une profession" "Exerce une profession" "Retraite" ...
7 levels: Exerce une profession | Chômeur | Etudiant, élève | Retraite | Retire des affaires | Au foyer | Autre inactif
```

```
NAs: 0 (0%)  
  
$qualif:  
nominal factor: "Employe" NA "Technicien" "Technicien" "Employe" ...  
7 levels: Ouvrier specialise | Ouvrier qualifie | Technicien | Profession intermediaire | Cadre | Employe | Autre  
NAs: 347 (0.2%)  
  
$freres.soeurs:  
integer: 8 2 2 1 0 ...  
min: 0 - max: 22 - NAs: 0 (0%) - 19 unique values  
  
$clso:  
nominal factor: "Oui" "Oui" "Non" "Non" "Oui" ...  
3 levels: Oui | Non | Ne sait pas  
NAs: 0 (0%)  
  
$relig:  
nominal factor: "Ni croyance ni appartenance" "Ni croyance ni appartenance" "Ni croyance ni appartenance" "Appartenance sans pratique" "Pratiquant regulier" ...  
6 levels: Pratiquant regulier | Pratiquant occasionnel | Appartenance sans pratique | Ni croyance ni appartenance | Rejet | NSP ou NVPR  
NAs: 0 (0%)  
  
$trav.imp:  
nominal factor: "Peu important" NA "Aussi important que le reste" "Moins important que le reste" NA ...  
4 levels: Le plus important | Aussi important que le reste | Moins important que le reste | Peu important  
NAs: 952 (0.5%)  
  
$trav.satisf:  
nominal factor: "Insatisfaction" NA "Equilibre" "Satisfaction" NA ...  
3 levels: Satisfaction | Insatisfaction | Equilibre  
NAs: 952 (0.5%)  
  
$hard.rock:  
nominal factor: "Non" "Non" "Non" "Non" "Non" ...  
2 levels: Non | Oui  
NAs: 0 (0%)  
  
$lecture.bd:  
nominal factor: "Non" "Non" "Non" "Non" "Non" ...  
2 levels: Non | Oui  
NAs: 0 (0%)  
  
$peche.chasse:
```

```

nominal factor: "Non" "Non" "Non" "Non" "Non" ...
2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$cuisine:
nominal factor: "Oui" "Non" "Non" "Oui" "Non" ...
2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$bricol:
nominal factor: "Non" "Non" "Non" "Oui" "Non" ...
2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$cinema:
nominal factor: "Non" "Oui" "Non" "Oui" "Non" ...
2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$sport:
nominal factor: "Non" "Oui" "Oui" "Oui" "Non" ...
2 levels: Non | Oui
NAs: 0 (0%)

$heures.tv:
numeric: 0 1 0 2 3 ...
min: 0 - max: 12 - NAs: 5 (0%) - 30 unique values

```

Comme on le voit sur cet exemple, `describe` nous affiche le type des variables, les premières valeurs de chacune, le nombre de valeurs manquantes, le nombre de valeurs différentes (uniques) ainsi que quelques autres informations suivant le type de variables.

Il est possible de restreindre l'affichage à seulement quelques variables en indiquant le nom de ces dernières.

```
R> describe(d, "age", "trav.satisf")
```

```
[2000 obs. x 20 variables] tbl_df tbl data.frame

$age:
integer: 28 23 59 34 71 ...
min: 18 - max: 97 - NAs: 0 (0%) - 78 unique values

$trav.satisf:
nominal factor: "Insatisfaction" NA "Equilibre" "Satisfaction" NA ...
```

```
3 levels: Satisfaction | Insatisfaction | Equilibre  
NAs: 952 (0.5%)
```

On peut également transmettre juste une variable :

```
R> describe(d$sexe)
```

```
[2000 obs.]  
nominal factor: "Femme" "Femme" "Homme" "Homme" "Femme" ...  
2 levels: Homme | Femme  
NAs: 0 (0%)
```

En rsum?

Les Listes

- Les listes sont des objets unidimensionnels pouvant contenir tout type d'objet, y compris d'autres listes.
- Elles ont une longueur que l'on obtient avec `length`.
- On crée une liste avec `list` et on peut fusionner des listes avec `append`.
- Tout comme les vecteurs, les listes peuvent être nommées et les noms des éléments s'obtiennent avec `names`.
- Les crochets simples (`[]`) permettent de sélectionner les éléments d'une liste, en utilisant l'indexation par position, l'indexation par nom ou l'indexation par condition. Cela renvoie toujours une autre liste.
- Les doubles crochets (`[[]]`) renvoient directement le contenu d'un élément de la liste que l'on aura sélectionné par position ou par nom.
- Le symbole `$` est un raccourci pour facilement sélectionner un élément par son nom, `liste$nom` étant équivalent à `liste[["nom"]]`.

Les Tableaux de données

- Les tableaux de données sont des listes avec des propriétés particulières:
 - i. tous les éléments sont des vecteurs;
 - ii. tous les vecteurs ont la même longueur;
 - iii. tous les vecteurs ont un nom et ce nom est unique.
- On peut créer un tableau de données avec `data.frame`.
- Les tableaux de données correspondent aux fichiers de données que l'on utilise couramment dans d'autres logiciels de statistiques : les variables sont représentées en colonnes et les observations en lignes.

- Ce sont des objets bidimensionnels : `ncol` renvoie le nombre de colonnes et `nrow` le nombre de lignes.
- Les doubles crochets (`[[[]]`) et le symbole dollar (`$`) fonctionnent comme pour les listes et permettent d'accéder aux variables.
- Il est possible d'utiliser des coordonnées bidimensionnelles avec les crochets simples (`[]`) en indiquant un critère sur les lignes puis un critère sur les colonnes, séparés par une virgule (`,`).

Facteurs et vecteurs labellisés

Facteurs	108
Vecteurs labellisés	113
Les étiquettes de variable	114
Les étiquettes de valeur	116
Assignation et condition	121
Quelques fonctions supplémentaires	123

Dans le chapitre sur les vecteurs, page 61, nous avons abordé les types fondamentaux de vecteurs (numériques, textuels, logiques). Mais il existe de nombreux autres classes de vecteurs afin de représenter des données diverses (comme les dates). Dans ce chapitre, nous nous intéressons plus particulièrement aux variables catégorielles.

Les facteurs (ou *factors* en anglais) sont un type de vecteur générés nativement par R et utilisés dans de nombreux domaines (modèles statistiques, représentations graphiques, etc.).

Les facteurs sont souvent mis en regard des données labellisées telles qu'elles sont utilisées dans d'autres logiciels comme SPSS ou Stata. Or, les limites propres aux facteurs font qu'ils ne sont pas adaptés pour rendre compte des différents usages qui sont fait des données labellisées. Plusieurs extensions (telles que `memisc` ou `Hmisc`) ont proposé leur propre solution qui, bien qu'elles apportaient un plus pour la gestion des données labellisées, ne permettaient pas que celles-ci soient utilisées en dehors de ces extensions ou des extensions compatibles. Nous aborderons ici une nouvelle classe de vecteurs, la classe `labelled`, introduite par l'extension `haven` (que nous aborderons dans le cadre de l'import de données, page 135) et qui peut être manipulée avec l'extension homonyme `labelled`.

Facteurs

Dans ce qui suit on travaillera sur le jeu de données tiré de l'enquête *Histoire de vie*, fourni avec l'extension **questionr**.

```
R> library(questionr)
  data(hdv2003)
  d <- hdv2003
```

Jetons un œil à la liste des variables de `d`:

```
R> str(d)
```

```
'data.frame': 2000 obs. of 20 variables:
 $ id          : int 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...
 $ age         : int 28 23 59 34 71 35 60 47 20 28 ...
 $ sexe        : Factor w/ 2 levels "Homme","Femme": 2 2 1 1 2 2 2 1 2 1 ...
 $ nivetud     : Factor w/ 8 levels "N'a jamais fait d'etudes",...: 8 NA 3 8 3
 6 3 6 NA 7 ...
 $ poids        : num 2634 9738 3994 5732 4329 ...
 $ occup        : Factor w/ 7 levels "Exerce une profession",...: 1 3 1 1 4 1 6
 1 3 1 ...
 $ qualif       : Factor w/ 7 levels "Ouvrier specialise",...: 6 NA 3 3 6 6 2 2 N
 A 7 ...
 $ freres.soeurs: int 8 2 2 1 0 5 1 5 4 2 ...
 $ cuso         : Factor w/ 3 levels "Oui","Non","Ne sait pas": 1 1 2 2 1 2 1 2
 1 2 ...
 $ relig         : Factor w/ 6 levels "Pratiquant regulier",...: 4 4 4 3 1 4 3 4
 3 2 ...
 $ trav.imp      : Factor w/ 4 levels "Le plus important",...: 4 NA 2 3 NA 1 NA 4
 NA 3 ...
 $ trav.satisf   : Factor w/ 3 levels "Satisfaction",...: 2 NA 3 1 NA 3 NA 2 NA 1
 ...
 $ hard.rock     : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
 $ lecture.bd    : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
 $ peche.chasse  : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 ...
 $ cuisine       : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 2 1 1 2 1 1 2 2 1 1 ...
 $ bricol         : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 ...
 $ cinema         : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 2 1 2 1 2 1 1 2 2 ...
 $ sport          : Factor w/ 2 levels "Non","Oui": 1 2 2 2 1 2 1 1 1 2 ...
 $ heures.tv     : num 0 1 0 2 3 2 2.9 1 2 2 ...
```

Nous voyons que de nombreuses variables de ce tableau de données, telles que `sexe` ou `nivetud`, sont du type facteur.

Les facteurs prennent leurs valeurs dans un ensemble de modalités prédefinies et ne peuvent en prendre d'autres. La liste des valeurs possibles est donnée par la fonction `levels` :

```
R> levels(d$sexe)
```

```
[1] "Homme" "Femme"
```

Si on veut modifier la valeur du sexe du premier individu de notre tableau de données avec une valeur non autorisée, on obtient un message d'erreur et une valeur manquante est utilisée à la place :

```
R> d$sexe[1] <- "Chihuahua"
```

```
Warning in `<- .factor`(`*tmp*`, 1, value =  
structure(c(NA, 2L, 1L, 1L, : invalid factor  
level, NA generated
```

```
R> d$sexe[1]
```

```
[1] <NA>  
Levels: Homme Femme
```

```
R> d$sexe[1] <- "Homme"  
d$sexe[1]
```

```
[1] Homme  
Levels: Homme Femme
```

On peut très facilement créer un facteur à partir d'une variable textuelle avec la fonction `factor` :

```
R> v <- factor(c("H", "H", "F", "H"))  
v
```

```
[1] H H F H  
Levels: F H
```

Par défaut, les niveaux d'un facteur nouvellement créés sont l'ensemble des valeurs de la variable textuelle, ordonnées par ordre alphabétique. Cette ordre des niveaux est utilisé chaque fois qu'on utilise des fonctions comme `table`, par exemple :

```
R> table(v)
```

```
v  
F H  
1 3
```

On peut modifier cet ordre au moment de la création du facteur en utilisant l'option `levels` :

```
R> v <- factor(c("H", "H", "F", "H"), levels = c("H",  
"F"))  
table(v)
```

```
v  
H F  
3 1
```

On peut aussi modifier l'ordre des niveaux d'une variable déjà existante :

```
R> d$qualif <- factor(d$qualif, levels = c("Ouvrier specialise",  
"Ouvrier qualifie", "Employe", "Technicien", "Profession intermediaire",  
"Cadre", "Autre"))  
table(d$qualif)
```

Ouvrier specialise	Ouvrier qualifie
203	292
Employe	Technicien
594	86
Profession intermediaire	Cadre
160	260
Autre	
58	

NOTE

L'extension `questionr` propose une *interface interactive* pour le réordonnancement des niveaux d'un facteur. Cette fonction, nommée `iorder`, vous permet de réordonner les modalités de manière graphique et de générer le code R correspondant.

Dans l'exemple précédent, si vous exécutez :

```
R> iorder(d, "qualif")
```

RStudio devrait ouvrir une fenêtre semblable à celle de la figure ci-dessous.

Interface de la commande iorder

Vous pouvez alors déplacer les modalités par glisser-déposer, vérifier le résultat dans l'onglet Vérification et, une fois le résultat satisfaisant, copier le code générér pour l'inclure dans votre script.

On peut également modifier les niveaux eux-mêmes. Imaginons que l'on souhaite créer une nouvelle variable `qualif.abr` contenant les noms abrégés des catégories socioprofessionnelles de `qualif`. On peut alors procéder comme suit :

```
R> d$qualif.abr <- factor(d$qualif, levels = c("Ouvrier specialise",
  "Ouvrier qualifie", "Employe", "Technicien", "Profession intermediaire",
  "Cadre", "Autre"), labels = c("OS", "OQ", "Empl",
  "Tech", "Interm", "Cadre", "Autre"))
table(d$qualif.abr)
```

OS	OQ	Empl	Tech	Interm	Cadre	Autre
203	292	594	86	160	260	58

Dans ce qui précède, le paramètre `levels` de `factor` permet de spécifier quels sont les niveaux retenus dans le facteur résultat, ainsi que leur ordre. Le paramètre `labels`, lui, permet de modifier les noms de ces niveaux dans le facteur résultat. Il est donc capital d'indiquer les noms de `labels` exactement dans le même ordre que les niveaux de `levels`. Pour s'assurer de ne pas avoir commis d'erreur, il est recommandé d'effectuer un tableau croisé entre l'ancien et le nouveau facteur :

```
R> table(d$qualif, d$qualif.abr)
```

	OS	OQ	Empl	Tech
Ouvrier specialise	203	0	0	0
Ouvrier qualifie	0	292	0	0
Employe	0	0	594	0
Technicien	0	0	0	86
Profession intermediaire	0	0	0	0
Cadre	0	0	0	0
Autre	0	0	0	0

	Interm	Cadre	Autre
Ouvrier specialise	0	0	0
Ouvrier qualifie	0	0	0
Employe	0	0	0
Technicien	0	0	0
Profession intermediaire	160	0	0
Cadre	0	260	0
Autre	0	0	58

On a donc ici un premier moyen d'effectuer un recodage des modalités d'une variable de type facteur. D'autres méthodes existent, que nous aborderons dans le chapitre Recodage, page 151.

Il faut noter que par défaut, les valeurs manquantes ne sont pas considérées comme un niveau de facteur. On peut cependant les transformer en niveau en utilisant la fonction `addNA`. Ceci signifie cependant qu'elles ne seront plus considérées comme manquantes par R mais comme une modalité à part entière :

```
R> summary(d$trav.satisf)
```

Satisfaction	Insatisfaction	Equilibre
480	117	451
NA's		
952		

```
R> summary(addNA(d$trav.satisf))
```

Satisfaction	Insatisfaction	Equilibre
480	117	451
<NA>		
952		

La fonction `addNAstr` de l'extension `questionr` fait la même chose mais permet de spécifier l'étiquette de la modalité des valeurs manquantes.

```
R> library(questionr)
summary(addNAstr(d$trav.satisf, "Manquant"))
```

Satisfaction	Insatisfaction	Equilibre
480	117	451
Manquant		
952		

Vecteurs labellisés

Nous abordons ici une nouvelle classe de vecteurs, la classe `labelled`, introduite récemment par l'extension `haven` (que nous aborderons dans le cadre de l'import de données, page 135) et qui peut être manipulée avec l'extension homonyme `labelled`.

Pour cette section, nous allons utiliser d'autres données d'exemple, également disponibles dans l'extension `questionr`. Il s'agit d'un ensemble de trois tableaux de données (`menages`, `femmes` et `enfants`) contenant les données d'une enquête de condition. Commençons par les charger en mémoire :

```
R> library(questionr)
    data(fecondite)
```

Pour ailleurs, nous allons avoir besoin de l'extension **labelled** qui permet de manipuler ces données labellisées.

```
R> library(labelled)
```

Les étiquettes de variable

Les étiquettes de variable permettent de donner un nom long, plus explicite, aux différentes colonnes d'un tableau de données (ou encore directement à un vecteur autonome).

La visonneuse de données de **RStudio** sait reconnaître et afficher ces étiquettes de variable lorsqu'elles existent. Essayez par exemple la commande suivante :

```
R> View(femmes)
```

Les fonctions **lookfor** et **describe** de l'extension **questionr** affichent également les étiquettes de variables lorsqu'elles existent.

```
R> lookfor(femmes, "res")
```

variable	label
7 milieu	Milieu de résidence
8 region	Région de résidence

```
R> describe(femmes$id_femme)
```

[2000 obs.] Identifiant de l'enquête
integer: 391 1643 85 881 1981 ...
min: 1 - max: 2000 - NAs: 0 (0%) - 2000 unique values

Pour manipuler les étiquettes de variable, il suffit d'utiliser la fonction **var_label** de l'extension **labelled**.

```
R> var_label(femmes$id_menage)
```

```
[1] "Identifiant du ménage"
```

```
R> var_label(femmes$id_menage) <- "ID du ménage auquel elle appartient"
var_label(femmes$id_menage)
```

```
[1] "ID du ménage auquel elle appartient"
```

On utilisera la valeur `NULL` pour supprimer une étiquette :

```
R> v <- c(1, 5, 2, 4, 1)
var_label(v)
```

```
NULL
```

```
R> var_label(v) <- "Ma variable"
var_label(v)
```

```
[1] "Ma variable"
```

```
R> var_label(v) <- NULL
var_label(v)
```

```
NULL
```

```
R> var_label(v) <- "Une autre étiquette"
var_label(v)
```

```
[1] "Une autre étiquette"
```

Le fait d'ajouter une étiquette à un vecteur ne modifie en rien son type. Regardons la structure de notre objet `v` :

```
R> str(v)
```

```
atomic [1:5] 1 5 2 4 1
- attr(*, "label")= chr "Une autre étiquette"
```

Que voit-on ? Notre vecteur possède maintenant ce qu'on appelle un attribut, c'est-à-dire une information supplémentaire qui lui est attachée. Un objet peut avoir plusieurs attributs. Ici, notre étiquette de variable est stockée dans un attribut nommé "label". Cela ne modifie en rien sa nature. Il ne s'agit que d'information en plus. Toutes les fonctions ne tiennent pas compte des étiquettes de variable. Peu importe ! La présence d'un attribut ne les empêchera de fonctionner. De même, même si l'extension `labelled` n'est pas installée sur votre machine, vous pourrez toujours manipuler vos données comme si de rien n'était.

On peut associer une étiquette de variable à n'importe quel type de variable, quelle soit numérique, textuelle, un facteur ou encore des dates.

Les étiquettes de valeur

Les étiquettes de valeur consistent à attribuer une étiquette textuelle à certaines valeurs d'un vecteur. Elles ne peuvent seulement s'appliquer qu'aux vecteurs numériques ou textuels.

Lorsqu'un vecteur possède des étiquettes de valeur, sa classe change et devient `labelled`. Regardons quelques exemples. Tout d'abord, jetons un aperçu au contenu de l'objet `femmes` grâce à la fonction `glimpse` de l'extension `dplyr`.

```
R> library(dplyr)
glimpse(femmes)
```

```
Observations: 2,000
Variables: 17
$ id_femme      (int) 391, 1643, 85, 881, 19...
$ id_menage     (int) 381, 1515, 85, 844, 17...
$ poids         (dbl) 1.803150, 1.803150, 1....
$ date_entretien (date) 2012-05-05, 2012-01-2...
$ date_naissance (date) 1997-03-07, 1982-01-0...
$ age           (dbl) 15, 30, 33, 43, 25, 18...
$ milieu        (lgl) 2, 2, 2, 2, 2, 2, ...
$ region         (lgl) 4, 4, 4, 4, 3, 3, ...
$ educ           (lgl) 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, ...
$ travail         (lgl) 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, ...
$ matri          (lgl) 0, 2, 2, 2, 1, 0, 1, ...
$ religion        (lgl) 1, 3, 2, 3, 2, 2, 3, ...
```

```
$ journal      (lbl) 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, ...
$ radio        (lbl) 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, ...
$ tv           (lbl) 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, ...
$ nb_enf_ideal (lbl) 4, 4, 4, 4, 4, 5, 10, ...
$ test         (lbl) 0, 9, 0, 0, 1, 0, 0, ...
```

Il apparaît que la variable `region` est de type `labelled`. On peut le confirmer avec `class`.

```
R> class(femmes$region)
```

```
[1] "labelled"
```

Regardons les premières valeurs prises par cette variable.

```
R> head(femmes$region)
```

```
<Labelled double>
[1] 4 4 4 4 4 3
```

```
Labels:
  value label
    1   Nord
    2   Est
    3   Sud
    4 Ouest
```

Nous voyons que quatre étiquettes de valeurs ont été associées à notre variable. Le code 1 correspond ainsi à la région «Nord», le code 2 à la région «Est», etc. Laissons de côté pour le moment la colonne `is_na` que nous aborderons dans une prochaine section.

La liste des étiquettes est également renvoyée par la fonction `describe` de `questionr`.

```
R> describe(femmes$region)
```

```
[2000 obs.] Région de résidence
labelled numeric: 4 4 4 4 4 ...
min: 1 - max: 4 - NAs: 0 (0%) - 4 unique values
4 value labels: [1] Nord [2] Est [3] Sud [4] Ouest
```

L'extension `labelled` fournit la fonction `val_labels` qui renvoie la liste des étiquettes de valeurs d'une variable sous la forme d'un vecteur nommé et la fonction `val_label` (notez l'absence de

qui renvoie la étiquette associée à une valeur particulière. Si il n'y a pas de étiquette de valeur, ces fonctions renvoient `NULL`.

```
R> val_labels(femmes$region)
```

```
Nord   Est   Sud Ouest  
1      2      3      4
```

```
R> val_label(femmes$region, 2)
```

```
[1] "Est"
```

```
R> val_label(femmes$region, 6)
```

```
NULL
```

```
R> val_labels(femmes$age)
```

```
NULL
```

Re-regardons d'un peu plus près les premières valeurs de notre variable `region`.

```
R> head(femmes$region)
```

```
<Labelled double>  
[1] 4 4 4 4 4 3
```

```
Labels:  
value label  
1 Nord  
2 Est  
3 Sud  
4 Ouest
```

On sait qu'il s'agit de valeurs numériques. Et l'affichage indique que notre variable est plus précisément du type `labelled double`. Pour rappel, `double` est synonyme de `numeric`. Autrement dit, la classe `labelled` ne modifie pas le type sous-jacent d'un vecteur, que l'on peut toujours obtenir avec la fonction `typeof`. Nous pouvons également tester si notre variable est numérique avec la fonction `is.numeric`.

```
R> typeof(femmes$region)
```

```
[1] "double"
```

```
R> is.numeric(femmes$region)
```

```
[1] TRUE
```

→ la différence des facteurs, le type original d'une variable labellisée n'est pas modifié par la présence de étiquettes de valeur. Ainsi, il reste possible de calculer une moyenne à partir de notre variable *region* (même si cela n'est pas pertinent ici d'un point de vue statistique).

```
R> mean(femmes$region)
```

```
[1] 2.412
```

Avec un vecteur, nous aurions eu un bon message d'erreur.

```
R> mean(d$nivetud)
```

```
Warning in mean.default(d$nivetud): argument is
not numeric or logical: returning NA
```

```
[1] NA
```

Nous allons voir qu'il est aussi possible d'associer des étiquettes de valeurs à des vecteurs textuels. Créons tout d'abord un vecteur textuel qui nous servira d'exemple.

```
R> v <- c("f", "f", "h", "f", "h")
v
```

```
[1] "f" "f" "h" "f" "h"
```

Le plus facile pour lui associer des étiquettes de valeur est d'utiliser `val_label`.

```
R> val_label(v, "f") <- "femmes"  
val_label(v, "h") <- "hommes"  
v
```

```
<Labelled character>  
[1] "f" "f" "h" "f" "h"
```

```
Labels:  
value label  
f femmes  
h hommes
```

```
R> typeof(v)
```

```
[1] "character"
```

Notre vecteur `v` a automatiquement été transformé en un vecteur de la classe `labelled`. Mais son type sous-jacent est resté "character". Par ailleurs, les données elles-mêmes n'ont pas été modifiées et ont conservé leurs valeurs originales.

Il est également possible de définir/modifier/supprimer l'ensemble des étiquettes de valeur d'une variable avec `val_labels` en lui assignant un vecteur nommé.

```
R> val_labels(v) <- c(Homme = "h", Femme = "f", `Valeur indéterminée` = "i")  
v
```

```
<Labelled character>  
[1] "f" "f" "h" "f" "h"  
  
Labels:  
value label  
h Homme  
f Femme  
i Valeur indéterminée
```

Comme précédemment, on utilisera `NULL` pour supprimer une ou toutes les étiquettes.

```
R> val_label(v, "i") <- NULL
v
```

```
<Labelled character>
[1] "f" "f" "h" "f" "h"
```

Labels:
 value label
 h Homme
 f Femme

```
R> val_labels(v) <- NULL
v
```

```
[1] "f" "f" "h" "f" "h"
```

```
R> class(v)
```

```
[1] "character"
```

Si l'on supprime toutes les étiquettes de valeur, alors notre vecteur retrouve sa classe initiale.

Attribution et condition

Les étiquettes de valeur sont plus souples que les facteurs, en ce sens qu'il n'est pas obligatoire d'indiquer une étiquette pour chaque valeur prise par une variable. Alors qu'il n'est pas possible avec un facteur d'assigner une valeur qui n'a pas été préalablement définie comme une des modalités possibles du facteur, nous n'avons pas cette limite avec les vecteurs labellisés.

```
R> femmes$region[3] <- 5
```

Important : quand on assigne une valeur à un facteur, on doit transmettre le texte correspondant à la modalité, alors que pour un vecteur labellisé on transmettra le code sous-jacent (pour rappel, les étiquettes de valeur ne sont qu'une information additionnelle).

De plus, nous avons vu que les données initiales n'étaient pas modifiées par l'ajout ou la suppression d'étiquettes de valeur, alors que pour les facteurs ce n'est pas vrai. Pour mieux comprendre, essayons la commande suivante :

```
R> unclass(factor(v))
```

```
[1] 1 1 2 1 2  
attr(,"levels")  
[1] "f" "h"
```

Un facteur stocke de manière interne les valeurs sous la forme d'une suite d'entiers, d'arrant toujours par 1, forcément consécutifs, et dont les valeurs dépendent de l'ordre des facteurs. Pour s'en rendre compte :

```
R> unclass(factor(v, levels = c("h", "f")))
```

```
[1] 2 2 1 2 1  
attr(,"levels")  
[1] "h" "f"
```

```
R> unclass(factor(v, levels = c("f", "h")))
```

```
[1] 1 1 2 1 2  
attr(,"levels")  
[1] "f" "h"
```

Ce qui importe pour un facteur ce sont les modalités de ce dernier tandis que pour un vecteur labellisées ce sont les valeurs du vecteur elles-mêmes. Cela reste vrai pour l'écriture de conditions.

Prenons un premier exemple avec un facteur :

```
R> describe(d$sex)
```

```
[2000 obs.]  
nominal factor: "Homme" "Femme" "Homme" "Homme" "Femme" ...  
2 levels: Homme | Femme  
NAs: 0 (0%)
```

```
R> table(d$sex == "Homme")
```

	FALSE	TRUE
1	1100	900

```
R> table(d$sex == 1)
```

FALSE
2000

La condition valide est celle utilisant "Homme" qui est la valeur de la modalité du facteur.

Et avec un vecteur labellisé?

```
R> describe(femmes$milieu)
```

[2000 obs.] Milieu de résidence
labelled numeric: 2 2 2 2 2 ...
min: 1 - max: 2 - NAs: 0 (0%) - 2 unique values
2 value labels: [1] urbain [2] rural

```
R> table(femmes$milieu == "urbain")
```

FALSE
2000

```
R> table(femmes$milieu == 1)
```

FALSE TRUE
1088 912

Ici, pour être valide, la condition doit porter sur les valeurs de la variable elle-même et non sur les étiquettes.

Quelques fonctions supplémentaires

L'extension **labelled** fournit quelques fonctions supplémentaires qui peuvent s'avérer utiles :

- `labelled` pour créer directement des vecteurs labellisés;
- `nolabel_to_na` pour convertir les valeurs n'ayant pas d'étiquette en NA ;
- `val_labels_to_na` qui, à l'inverse, converti les valeurs avec étiquette en NA ;
- `sort_val_labels` pour trier l'ordre des étiquettes de valeurs.

On pourra se référer à l'aide de chacune de ces fonctions.

L’import de données labellisées, page 135 et le recodage de variables, page 151 (dont la conversion d’un vecteur labellisé en facteur) seront quant à eux abordés dans les prochains chapitres.

Organiser ses fichiers

Le répertoire de travail	125
Les projets dans RStudio	126
Créer un nouveau projet	127
Fonctionnement par défaut des projets	130
Options des projets	131
Naviguer dans un projet & un autre	131
Voir aussi	132
Appeler un script depuis un autre script	132

Le répertoire de travail

Chaque fois que l'on demandera à R de charger ou d'enregistrer un fichier (en particulier lorsque l'on cherchera à importer des données, voir le chapitre dédié, page 135), R évaluera le nom du fichier qu'on lui a transmis par rapport au répertoire de travail actuellement défini, qui correspond au répertoire dans lequel R est actuellement en train de se exécuter.

Pour connaître le répertoire de travail actuel, on pourra utiliser la fonction `getwd()`:

```
R> getwd()
```

Lorsque l'on travaille sous RStudio, le répertoire de travail est également affiché dans le quadrant inférieur droit, en gris, à la droite du mot Console (voir la capture d'écran ci-dessous).

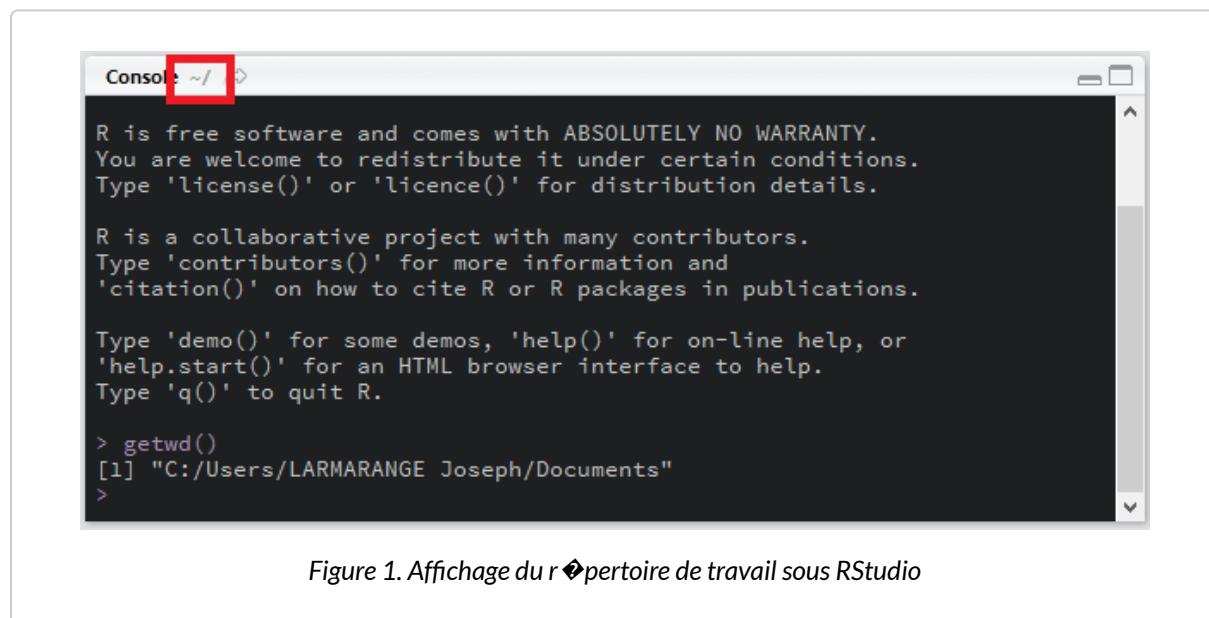


Figure 1. Affichage du répertoire de travail sous RStudio

Le symbole `~` correspond dans ce cas-là au répertoire utilisateur système, dont l'emplacement dépend du système d'exploitation. Sous **Windows**, il s'agit du répertoire *Mes documents* ou *Documents* (le nom varie suivant la version de **Windows**).

Le répertoire de travail peut être modifié avec la fonction `setwd` ou, sous **RStudio**, via le menu *Session > Set Working Directory*. Cependant, nous allons voir que nous n'aurons en pratique presque jamais besoin de le faire si l'on travaille avec **RStudio**.

Les projets dans RStudio

RStudio dispose d'une fonctionnalité très pratique pour organiser son travail en différents projets.

L'idée principale est de regrouper tous les fichiers / documents relatifs à un même projet (que ce soit les données, les scripts, les rapports automatisés) dans un répertoire dédié¹.

Le menu *Projects* est accessible via une icône dédiée située tout en haut à droite (voir la capture d'écran ci-après).

1. Dans lequel il sera possible de créer des sous-répertoires.

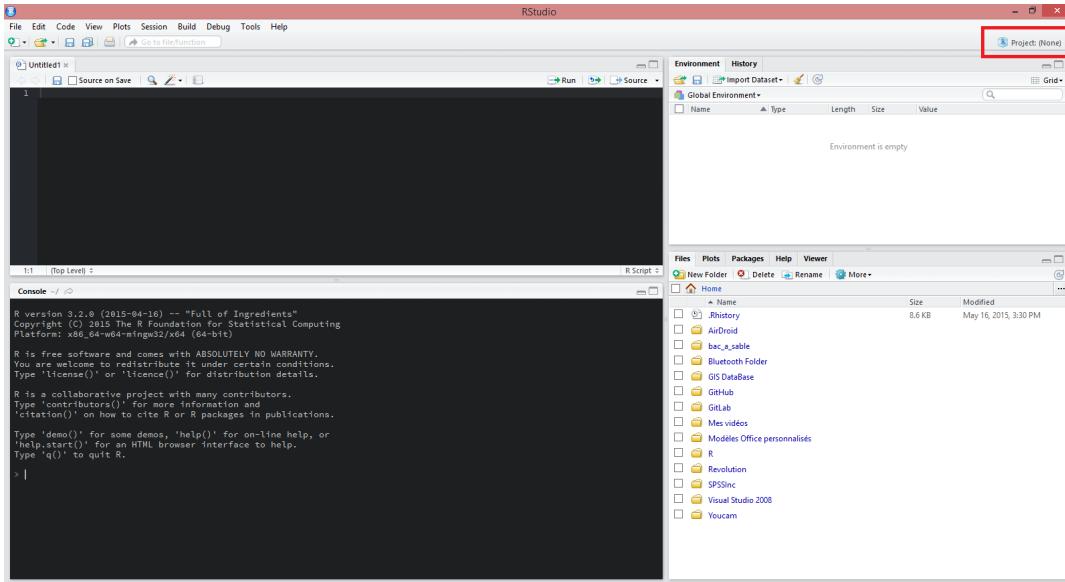


Figure 2. Accès au menu Projects sous RStudio

Créer un nouveau projet

Dans le menu **Projects** on sélectionnera l'option **New project**. **RStudio** nous demandera dans un premier temps si l'on souhaite créer un projet (i) dans un nouveau répertoire, (ii) dans un répertoire déjà existant ou bien (iii) à partir d'un gestionnaire de versions (**Git** ou **SVN**).

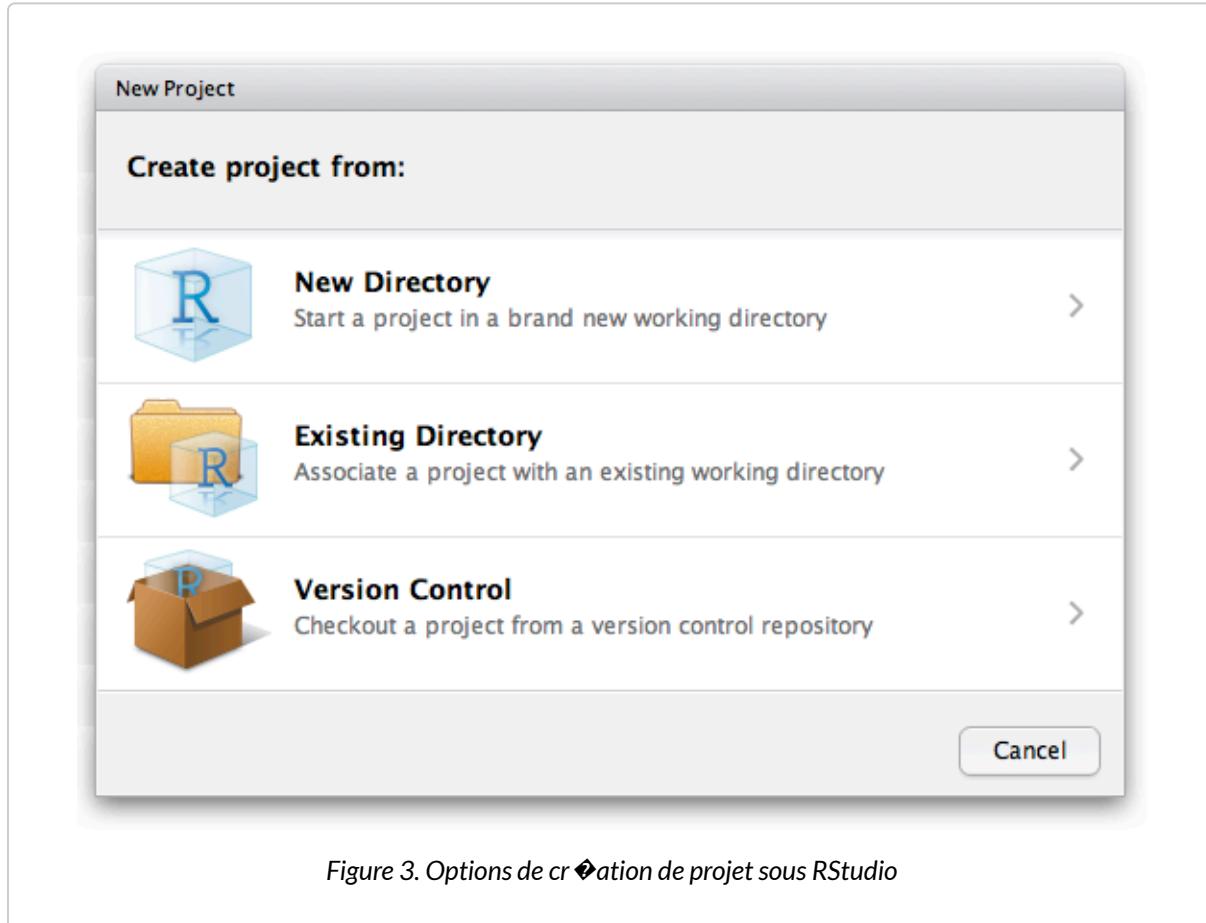


Figure 3. Options de création de projet sous RStudio

Si vous débutez avec R, laissez de côté pour le moment les gestionnaires de versions qui sont destinés aux utilisateurs avancés (et présentés dans le chapitre Git, page 563). Dans le cadre d'un usage courant, on aura recours à New Directory.

RStudio nous demande alors le type de projet que l'on souhaite créer : (i) un projet vide, (ii) une extension R ou (iii) une application Shiny.

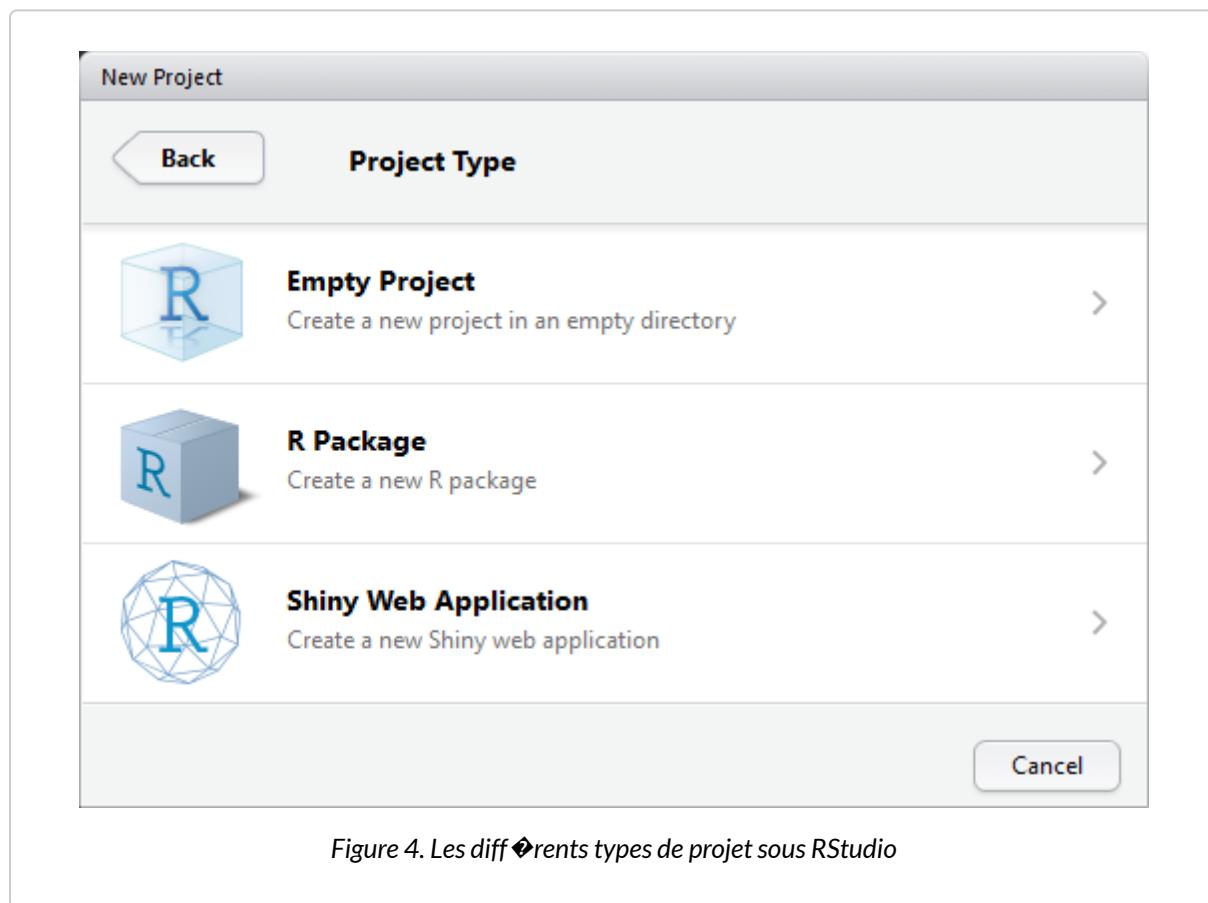


Figure 4. Les différents types de projet sous RStudio

Il est encore un peu tôt pour se lancer dans la création de sa propre extension pour R (voir le chapitre Développer un package, page 565). Les applications **Shiny** (voir le chapitre dédié, page 561) sont des applications webs interactives. L'encore, on attendra une meilleure maîtrise de R pour se lancer dans ce type de projets. Dans un contexte d'analyse données, on choisira dès lors *Empty project*.

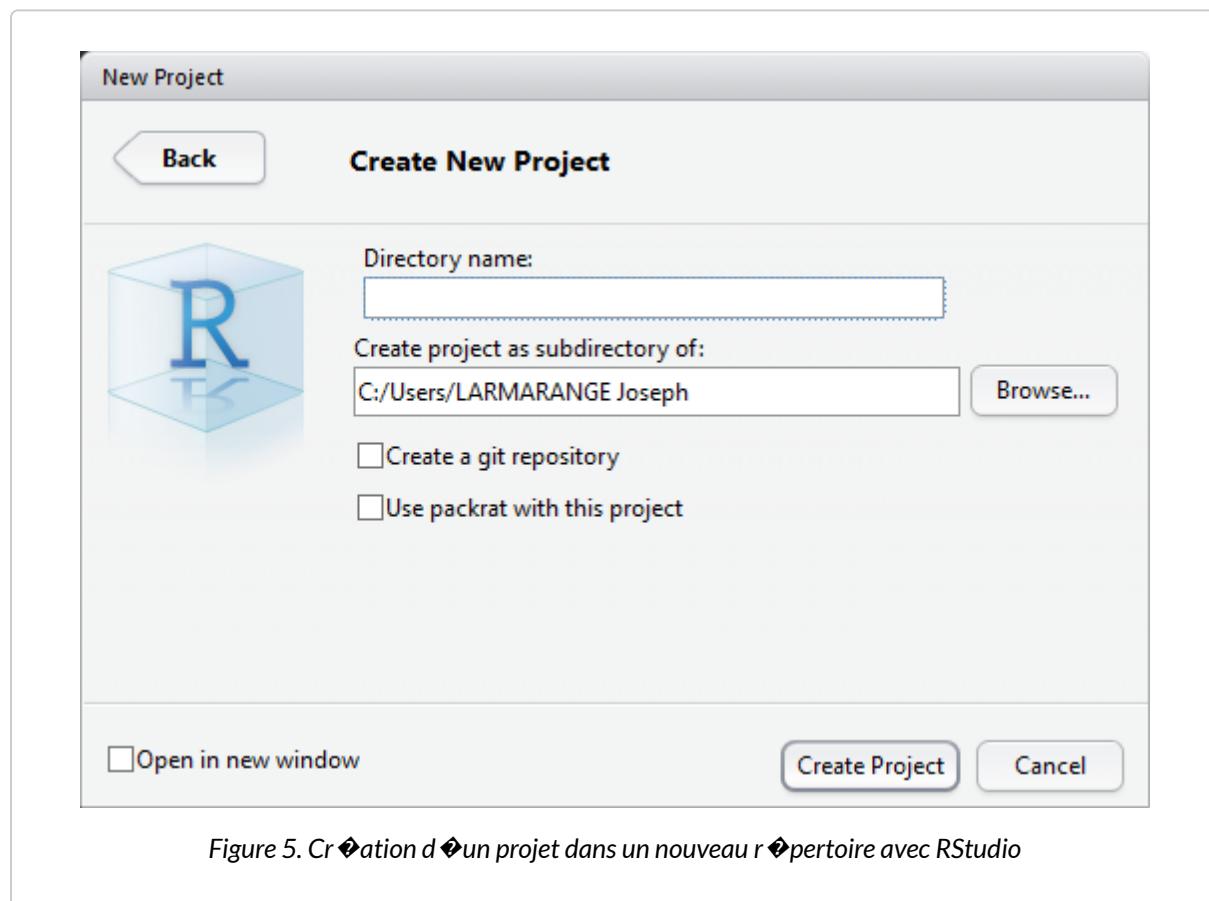


Figure 5. Création d'un projet dans un nouveau répertoire avec RStudio

En premier lieu, on indiquera le nom de notre projet, qui sera également le nom du répertoire qui sera créé pour stocker les données du projet. Puis, on indiquera le répertoire parent, c'est-à-dire le répertoire dans lequel le répertoire de notre projet sera créé.

Les deux options suivantes concernent que les utilisateurs avancés. RStudio nous demande si on veut activer Git sur ce projet (Git étant un gestionnaire de versions, l'option n'étant affichée que si Git est installé sur votre PC) et si on souhaite utiliser l'extension **packrat** sur ce projet. **packrat** permet une gestion des extensions utilisées, projet par projet, ce qui n'est vraiment utile que dans le cadre d'analyses bien spécifiques.

Il ne nous reste plus qu'à cliquer sur *Create Project*.

Fonctionnement par défaut des projets

Lorsque l'on ouvre un projet, RStudio effectue différentes actions :

- le nom du projet est affiché en haut à droite côté de l'icône projets ;
- une nouvelle session R est exécutée (ainsi si on passe d'un projet à un autre, les objets du projet que l'on vient de fermer ne sont plus en mémoire) ;

- le répertoire de travail de R est défini comme étant le répertoire du projet (d'où le fait que l'on n'a pas à se préoccuper de définir le répertoire de travail lorsque l'on travaille avec des projets RStudio) ;
- les objets créés (et sauvegardés dans le fichier `.Rdata`) lors d'une précédente session de travail sont chargés en mémoire ;
- l'historique des commandes saisies lors de nos précédentes sessions de travail sont chargées dans l'onglet *History* ;
- les scripts ouverts lors d'une précédente session de travail sont automatiquement ouverts ;
- divers paramètres de RStudio sont restaurés dans l'état dans lequel ils étaient la dernière fois que l'on a travaillé sur ce projet.

Autrement dit, lorsque l'on ouvre un projet RStudio, on revient à l'état de notre projet tel qu'il était la dernière fois que l'on a travaillé dessus. Pratique, non ?

Petite précision toutefois, les extensions que l'on avait chargées en mémoire avec la fonction `library` ne sont pas automatiquement rechargeées en mémoire. Il faudra donc les appeler à nouveau lors de notre session de travail.

Options des projets

Via le menu *Projects > Projects options* (accessible via l'icône projets en haut à droite), il est possible de personnaliser plusieurs options spécifiquement pour ce projet.

On retiendra surtout les 3 options principales de l'onglet *General* :

- à l'ouverture du projet, doit-on charger en mémoire les objets sauvegardés lors d'une précédente session de travail ?
- à la fermeture du projet, doit-on sauvegarder (dans le fichier `.Rdata`) les différents objets en mémoire ? Si l'on choisit l'option Ask, alors une fenêtre vous demandera si il faut faire cette sauvegarde chaque fois que vous fermerez le projet.
- à la fermeture du projet, faut-il sauver l'historique des commandes ?

Naviguer d'un projet à un autre

RStudio se souvient des derniers projets sur lesquels vous avez travaillé. Lorsque vous cliquez sur le menu projets, vous verrez une liste de ces différents projets. Il suffit de cliquer sur le nom du projet désiré pour fermer automatiquement le projet en cours et ouvrir le projet désiré.

Votre projet n'apparaît pas dans la liste ? Pas de panique. Il suffit de sélectionner *Open project* puis de parcourir vos répertoires pour indiquer à RStudio le projet à ouvrir.

Vous pouvez noter au passage une option *Open project in new window* qui permet d’ouvrir un projet dans une nouvelle fenêtre. En effet, il est tout à fait possible d’avoir plusieurs projets ouverts en même temps. Dans ce cas-là, chaque projet aura sa propre session R. Les objets chargés en mémoire pour le projet A ne seront pas accessibles dans le cadre du projet B et inversement.

Voir aussi

On pourra se référer à la documentation officielle de RStudio : <https://support.rstudio.com/hc/en-us/articles/200526207-Using-Projects>.

Appeler un script depuis un autre script

Au sein d’un même projet, on peut avoir plusieurs scripts R. Cela permet de mieux organiser son code. Par exemple, on pourra avoir un premier script chargé d’importer les données, un second dédié à la création de nouvelles variables et un troisième dédié aux analyses statistiques.

Il est possible d’appeler un script au sein d’un autre script à l’aide de la fonction `source` à laquelle on précisera le nom de fichier du script en question.

Supposons par exemple que l’on ait préparé un script `preparation.R` chargé d’importer les données et de les mettre en forme. Au début de notre script `analyses.R`, on pourra indiquer :

```
R> source("preparation.R")
```

Si l’on exécute notre script `analyses.R`, au moment de l’appel à `source("preparation.R")`, le fichier `preparation.R` sera chargé en mémoire et exécuté, puis le programme continuera avec les commandes suivant du fichier `analyses.R`.

Ici, on a indiqué à `source` le fichier `preparation.R` sans mention de répertoire. Dès lors, R va aller chercher ce fichier dans le répertoire de travail. Sur un gros projet, on peut être amené à organiser ses fichiers en plusieurs sous-répertoires pour une meilleure lisibilité. Dès lors, il faudra indiquer le chemin relatif pour accéder à un fichier, c'est-à-dire le chemin à partir du répertoire de travail. Supposons que notre fichier `preparation.R` est enregistré dans un sous-répertoire `import`. Dans ce cas-là, on appellera notre fichier ainsi :

```
R> source("import/preparation.R")
```

NOTE

On remarquera qu'on a utilisé une barre oblique ou *slash* (/) entre le nom du répertoire et le nom du fichier, ce qui est l'usage courant sous **Linux** et **Mac OS X**, tandis que sous **Windows** on utilise d'ordinaire une barre oblique inversée ou *antislash* (\). Sous R, on utilisera toujours la barre oblique simple (/), sachant de retrouver ses petits selon le système d'exploitation.

Par ailleurs, l'autocomplétion de **RStudio** fonctionne aussi pour les noms de fichiers. Essayez par exemple d'appuyer sur la touche **Tab** après avoir taper les premières lettres du nom de votre fichier.

Import de données

Importer des fichiers texte	136
Structure d'un fichier texte	136
La fonction <code>read.table</code>	137
Interface graphique avec RStudio	140
Importer depuis des logiciels de statistique	141
SPSS	142
SAS	143
Stata	144
Excel	145
dBase	146
Donn <small>ées</small> spatiales	147
Shapefile	147
Rasters	148
Autres sources	148
Sauver ses donn <small>ées</small>	149

IMPORTANT

Importer des données est souvent l'une des premières opérations que l'on effectue lorsque l'on débute sous R, et ce n'est pas la moins compliquée. En cas de problème il ne faut donc pas hésiter à demander de l'aide par les différents moyens disponibles (voir le chapitre Où trouver de l'aide ?, page 193) avant de se décourager.

N'hésitez donc pas à relire régulièrement ce chapitre en fonction de vos besoins.

Avant toute chose, il est important de bien organiser ses différents fichiers (voir le chapitre `dédié`, page 125). Concernant les données sources que l'on utilisera pour ses analyses, je vous recommande de les placer dans un sous-répertoire dédié de votre projet.

Lorsque l'on importe des données, il est également important de vérifier que l'import s'est correctement déroulé (voir la section Inspecter les données, page 40 du chapitre *Premier travail avec les données*).

Importer des fichiers texte

Les fichiers texte constituent un des formats les plus largement supportés par la majorité des logiciels statistiques. Presque tous permettent d’exporter des données dans un format texte, y compris les tableurs comme Libre Office, Open Office ou Excel.

Cependant, il existe une grande variété de format texte, qui peuvent prendre différents noms selon les outils, tels que *texte tabulé* ou *texte (separateur : tabulation)*, **CSV** (pour *comma-separated value*, sachant que suivant les logiciels le séparateur peut être une virgule ou un point-virgule).

Structure d’un fichier texte

Dès lors, avant d’importer un fichier texte dans R, il est indispensable de regarder comment ce dernier est structuré. Pour cela, il faut tout d’abord l’ouvrir avec un éditeur de texte pour voir comment les données se présentent.

Pour l’exemple, téléchargez le fichier http://lamarange.github.io/analyse-R/data/exemple_texte_tabule.txt et copiez-le dans un sous-repertoire `data` de votre projet. Nous pouvons directement ouvrir ce fichier avec **RStudio**, soit via le menu *File > Open file*, soit en cliquant sur ce fichier dans l’onglet *Files* du quadrant inférieur droit.

Le fichier apparaît dès lors dans un onglet dédié du quadrant supérieur gauche. Cependant, par défaut, on peut pas voir la différence entre un espace, une tabulation ou un retour à la ligne, c'est-à-dire entre les caractères qui sont invisibles à l’écran. Pour les afficher, il faut se rendre dans le menu *Tools > Global options > Code > Display* et activer l’option *Show whitespaces characters*. Dès lors, les espaces sont indiqués par un petit point gris, les tabulations par une petite flèche et les retours à la ligne par une sorte de tiret plié droit vers le bas.

```

exem_import_export.Rmd * exemple_texte_tabule.txt *
ABC 🔎
1 'Sexe'\t'Age'\t'Taille'\t'Etudes'
2 'F'\t45\t1,67\t' primaire'
3 'H'\t32\t1,83\t ''
4 'H'\t24\t1,72\t'supérieur'
5 'F'\t36\t1,64\t'secondaire'
6 'F'\t23\t1,54\t'supérieur'
7 'H'\t18\t1,62\t' primaire'
8 'F'\t34\t1,68\t'secondaire'
9

```

Text File

Figure 1. Visualisation d'un fichier texte sous RStudio

Il importe de prendre note des éléments suivants :

- La première ligne contient-elle le nom des variables ? Ici c'est le cas.
- Quel est le caractère séparateur entre les différentes variables (encore appelé séparateur de champs) ? Ici, RStudio affiche une petite flèche. Il s'agit donc d'une tabulation. Dans le cadre d'un fichier CSV, il aurait pu s'agir d'une virgule ou d'un point-virgule.
- Quel est le caractère utilisé pour indiquer les décimales (le séparateur decimal) ? Il s'agit en général d'un point (l'anglo-saxonne) ou d'une virgule (la française). Ici, c'est la virgule qui est utilisée.
- Les valeurs textuelles sont-elles encadrées par des guillemets et, si oui, s'agit-il de guillemets simples (') ou de guillemets doubles ("") ? Ici, il s'agit de guillemets simples.
- Pour les variables textuelles, y a-t-il des valeurs manquantes et si oui comment sont-elles indiquées ? Par exemple, le texte NA est parfois utilisé. Dans notre exemple, il s'agit de la chaîne de caractères vide (que l'on note "" sous R) qui est utilisée pour indiquer une valeur manquante.

La fonction `read.table`

La fonction de base permettant d'importer un fichier texte est la fonction `read.table`. Elle accepte de très nombreuses options. Pour toutes les afficher, on aura recours à `?read.table`. Les plus importantes sont :

Argument	Détail
header	TRUE ou FALSE : indique si la première ligne du fichier contient le nom des variables
sep	le séparateur de champs : si il s'agit d'une virgule on indiquera "," , pour une tabulation on entrera "\t"
quote	les guillemets utilisés autour des variables textes (si c'est le cas) : on saisira "" si pas de guillemets, "" pour des guillemets simples et "\" pour des guillemets doubles
dec	le séparateur décimal, usuellement "." ou ","
na.strings	les valeurs textuelles qui doivent être interprétées comme manquantes
stringsAsFactors	TRUE ou FALSE : les variables textuelles doivent-elles être converties en facteurs ?

NOTE

Certains caractères sont parfois précisés dans une barre oblique inversée ou *antislash* (\). Cela correspond à des caractères spéciaux. En effet, " est utilisé pour délimiter dans le code le début et la fin d'une chaîne de caractères. Comment indiquer à R le caractère " proprement dit. Et bien avec \" . De même, \t sera interprété comme une tabulation et non comme la lettre t .

Pour une liste complète des caractères spéciaux, voir ?Quotes .

Pour en revenir à notre exemple, on l'importera donc ainsi :

```
R> d <- read.table("data/exemple_texte_tabule.txt", header = TRUE,
+ sep = "\t", quote = "", dec = ",", na.strings = "")
```

	Sexe	Age	Taille	Etudes
1	F	45	1.67	primaire
2	H	32	1.83	<NA>
3	H	24	1.72	supérieur
4	F	36	1.64	secondaire
5	F	23	1.54	supérieur
6	H	18	1.62	primaire
7	F	34	1.68	secondaire

Aide ! Que se passe-t-il ? Au lieu d'afficher `supérieur`, R affiche `supérieur`. C'est un problème classique d'encodage quand il y a des accents dans nos données. En effet, il y a de nombreuses manières différentes en informatique de coder les différents caractères¹. La première chose à faire est donc de vérifier la documentation associée à votre source de données. Il est possible que soit précis l'encodage des caractères.

Si ce n'est pas le cas, il est fort probable que vos données aient été encodées soit en **latin1** (langues européennes occidentales), soit en **UTF-8** (unicode). On pourra donc essayer ces deux encodages et regarder le résultat obtenu. L'encodage peut être précis avec l'argument `encoding`.

```
R> d <- read.table("data/exemple_texte_tabule.txt", header = TRUE,
  sep = "\t", quote = "", dec = ",", na.strings = "",
  encoding = "latin1")
d
```

	Sexe	Age	Taille	Etudes
1	F	45	1.67	primaire
2	H	32	1.83	<NA>
3	H	24	1.72	supérieur
4	F	36	1.64	secondaire
5	F	23	1.54	supérieur
6	H	18	1.62	primaire
7	F	34	1.68	secondaire

```
R> d <- read.table("data/exemple_texte_tabule.txt", header = TRUE,
  sep = "\t", quote = "", dec = ",", na.strings = "",
  encoding = "UTF-8")
d
```

	Sexe	Age	Taille	Etudes
1	F	45	1.67	primaire
2	H	32	1.83	<NA>
3	H	24	1.72	supérieure
4	F	36	1.64	secondaire
5	F	23	1.54	supérieure
6	H	18	1.62	primaire
7	F	34	1.68	secondaire

1. Pour plus de détails, ne pas hésiter à aller lire la page [Wikipedia Codage des caractères](#). Historiquement, les premiers systèmes d'encodage de caractères ne permettaient pas de coder les lettres non accentuées, ce qui convient très bien en anglais, mais pose tout un tas de problèmes pour les autres langues. Dans lors, de nombreux systèmes ont été développés, plus ou moins différents pour chaque langue. Depuis les années 1990, un projet appelé *Unicode* vise à définir une norme universelle permettant de rendre compte de l'ensemble des langues humaines. Le format **UTF-8** issu du projet *Unicode* est aujourd'hui le format le plus employé sur Internet.

Notre fichier était encodé en **UTF-8**. Problème résolu !

R propose quelques fonctions qui sont des raccourcis de `read.table` correspondant aux situations les plus courantes :

Fonction	Séparateur de champs	Séparateur de décimale	Guillemets
<code>read.csv</code>	virgule	point	doubles
<code>read.csv2</code>	point-virgule	point	doubles
<code>read.delim</code>	tabulation	point	doubles
<code>read.delim2</code>	tabulation	virgule	doubles

NOTE

Une extension de l’import de fichiers texte est en cours de développement : `readr`. Elle permet notamment de spécifier les colonnes correspondant des variables date afin qu’elles soient converties dans un format approprié à l’import.

Interface graphique avec RStudio

RStudio fournit une interface graphique pour faciliter l’import d’un fichier texte. Pour cela, il suffit d’aller dans le menu *Tools > Import Dataset* et de choisir l’option *From Text File* si le fichier est présent sur votre disque dur ou *From Web URL* si le fichier source est disponible sur Internet.

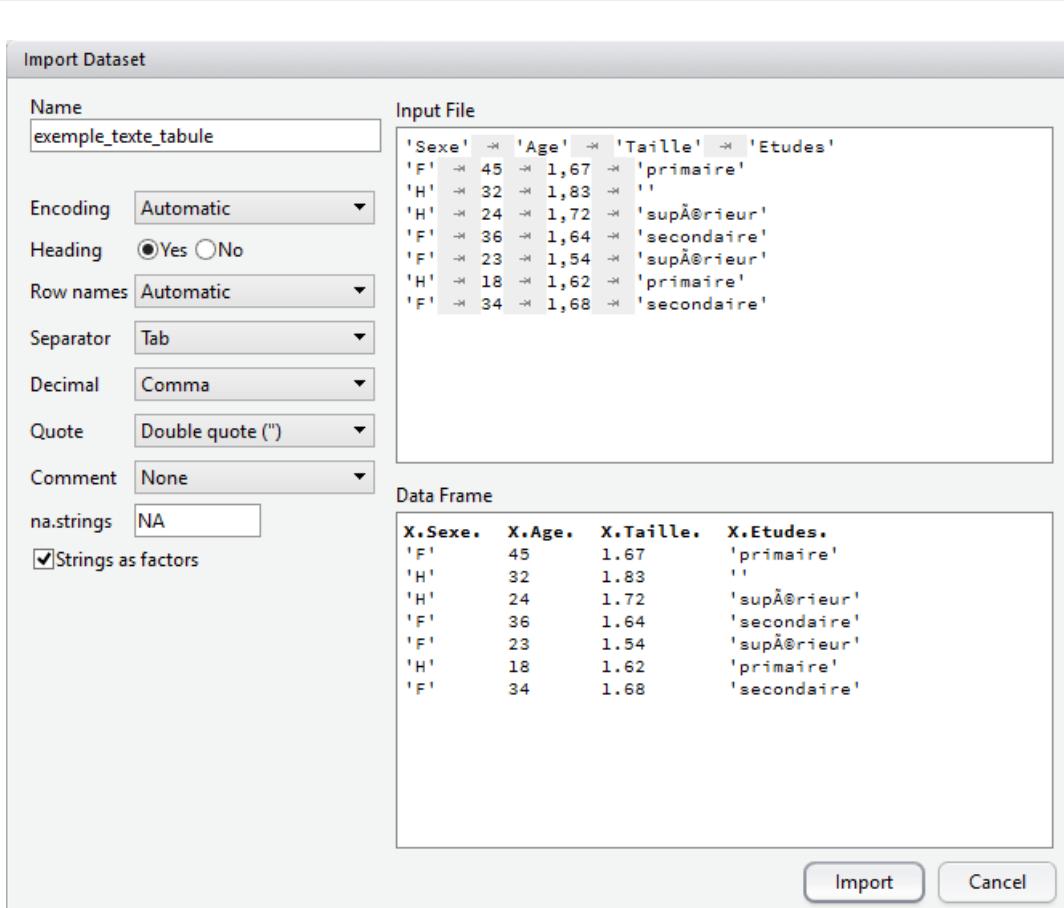


Figure 2. Importer un fichier texte avec RStudio

L'interface de **RStudio** vous présente sous *Input File* les données telles qu'elles sont stockées dans le fichier. Dans la colonne de gauche, vous pouvez spécifier le nom de l'objet à créer et différentes options d'import. En temps réel, vous pouvez visualiser le résultat sous *Data Frame*.

Une fois que vous avez cliqué sur *Import*, le code nécessaire à l'import sera automatiquement copié dans la console et **RStudio** ouvrira le visualiseur de données afin que vous puissiez contrôler le résultat obtenu.

Importer depuis des logiciels de statistique

Plusieurs extensions existent pour importer des fichiers de données issus d'autres logiciels de statistiques. En premier lieu, il y a **foreign**, installée par défaut avec R et décrite en détails dans le manuel *R Data Import/Export* disponible sur <http://cran.r-project.org/manuals.html>. Un des soucis majeurs de cette extension réside dans la manière dont elle traite les métadonnées utilisées en particulier dans les fichiers **SAS**, **SPSS** et **Stata**, à savoir les étiquettes de variable, les étiquettes de valeur et les

valeurs manquantes déclarées. En effet, chaque fonction va importer ces métadonnées sous la forme d’attributs dont le nom diffère de celui d’une fonction à l’autre. Par ailleurs, selon les options retenues, les variables labellisées seront parfois transformées ou non en facteurs. Enfin, `foreign` ne sait pas toujours importer les différents types de variables représentant des dates et des heures.

L’extension `haven` (qui fait partie du “Hadleyverse”) tente de remédier à plusieurs des limitations rencontrées avec `foreign`:

- le format des métadonnées importées est uniforme, quel que soit le type de fichier source (**SAS**, **SPSS** ou **Stata**);
- les variables labellisées ne sont pas transformées en facteurs, mais héritent d’une nouvelle classe `labelled`, la valeur initiale restant inchangée;
- les différents formats de date sont convertis dans des classes R appropriées, utilisables en particulier avec `lubridate`;
- `haven` peut lire les fichiers **SAS natifs** (extension `.sas7bdat`) ce que ne peut pas faire `foreign`;
- `haven` peut lire les fichiers **Stata** 13 et 14, alors que `foreign` ne sait lire ces fichiers que jusqu'à la version 12;
- les tableaux de données produits ont directement la classe `tbl_df` ce qui permet d'utiliser directement les fonctionnalités de l'extension `dplyr`.

Cependant, `haven` est encore une extension récente. Plusieurs bugs ont été identifiés dans la version 0.2.0 disponible sur CRAN (en particulier concernant l'importation des dates). Il est donc préférable d'utiliser la version de développement disponible sur GitHub (qui gère correctement les dates).

Pour cela, vous pouvez utiliser le code ci-dessous :

```
R> if (!require(devtools)) install.packages("devtools")
  devtools::install_github("hadley/haven")
```

SPSS

Les fichiers générés par SPSS sont de deux types : les fichiers **SPSS natifs** natifs (extension `.sav`) et les fichiers au format **SPSS export** (extension `.por`).

Dans les deux cas, on aura recours à la fonction `read_spss` :

```
R> library(haven)
donnees <- read_spss("data/fichier.sav")
```

NOTE

Si vous préférez utiliser l'extension `foreign`, la fonction correspondante est `read.spss`. On indiquera → la fonction de renvoyer un tableau de données avec l'argument `to.data.frame = TRUE`.

Par défaut, les variables numériques pour lesquelles des étiquettes de valeurs ont été définies sont transformées en variables de type facteur, les étiquettes définies dans SPSS étant utilisées comme *labels* du facteur. De même, si des valeurs manquantes ont été définies dans SPSS, ces dernières seront toutes transformées en `NA` (R ne permettant pas de gérer plusieurs types de valeurs manquantes). Ce comportement peut être modifié avec `use.value.labels` et `use.missing`.

```
R> library(foreign)
donnees <- read.spss("data/fichier.sav", to.data.frame = TRUE,
                      use.value.labels = FALSE, use.missing = FALSE)
```

Il est important de noter que `read.spss` de l'extension `foreign` ne sait pas importer les dates. Ces dernières sont donc automatiquement transformées en valeurs numériques.

SPSS stocke les dates sous la forme du nombre de secondes depuis le début du calendrier grégorien, → savoir le 14 octobre 1582. Dans lors, si l'on des dates dans un fichier SPSS et que ces dernières ont été converties en valeurs numériques, on pourra essayer la commande suivante :

```
R> donnees$date <- as.POSIXlt(donnees$date, origin = "1582-10-14")
```

SAS

Les fichiers **SAS** se présentent en général sous deux formats : format **SAS export** (extension `.xport` ou `.xpt`) ou format **SAS natif** (extension `.sas7bdat`).

Les fichiers **SAS natifs** peuvent être importés directement avec `read_sas` de l'extension `haven` :

```
R> library(haven)
donnees <- read_sas("data/fichier.sas7bdat")
```

Au besoin, on pourra préciser en deuxième argument le nom d'un fichier **SAS catalogue** (extension `.sas7bcat`) contenant les métadonnées du fichier de données.

```
R> library(haven)
donnees <- read_sas("data/fichier.sas7bdat", "data/fichier.sas7bcat")
```

Les fichiers au format **SAS export** peuvent être importés via la fonction `read.xport` de l'extension **foreign**. Celle-ci se utilise très simplement, en lui passant le nom du fichier en argument :

```
R> library(foreign)
donnees <- read.xport("data/fichier.xpt")
```

Stata

Pour les fichiers **Stata** (extension `.dta`), on aura recours aux fonctions `read_dta` et `read_stata` de l'extension **haven**. Ces deux fonctions sont identiques.

```
R> library(haven)
donnees <- read_dta("data/fichier.dta")
```

NOTE

Si l'on préfère utiliser l'extension **foreign**, on aura recours à la fonction **read.dta**.

L'option **convert.factors** indique si les variables labellisées doivent être converties automatiquement en facteurs. Pour un résultat similaire à celui de **haven**, on choisira donc :

```
R> library(foreign)
donnees <- read.dta(, convert.factors = FALSE)
```

L'option **convert.dates** permet de convertir les dates du format **Stata** dans un format de dates gérés par R. Cependant, cela ne marche pas toujours. Dans ces cas-là, l'opération suivante peut fonctionner. Sans garantie n'importe, il est toujours vivement conseillé de vérifier le résultat obtenu !

```
R> donnees$date <- as.Date(donnees$Date, origin = "1960-01-01")
```

Excel

Une première approche pour importer des données Excel dans R consiste à les exporter depuis Excel dans un fichier texte (texte tabulé ou CSV) puis de suivre la procédure d'importation d'un fichier texte.

Une feuille Excel peut également être importée directement avec l'extension **readxl** qui appartient à la même famille que **haven** et **readr**.

La fonction **read_excel** permet d'importer à la fois des fichiers **.xls** (Excel 2003 et précédents) et **.xlsx** (Excel 2007 et suivants).

```
R> library(readxl)
donnees <- read_excel("data/fichier.xlsx")
```

Une seule feuille de calculs peut être importée à la fois. On pourra préciser la feuille désirée avec **sheet** en indiquant soit le nom de la feuille, soit sa position (première, seconde, etc.).

```
R> donnees <- read_excel("data/fichier.xlsx", sheet = 3)
donnees <- read_excel("data/fichier.xlsx", sheet = "mes_donnees")
```

On pourra préciser avec `col_names` si la première ligne contient le nom des variables.

Par défaut, `read_excel` va essayer de deviner le type (numérique, textuelle, date) de chaque colonne. Au besoin, on pourra indiquer le type souhaité de chaque colonne avec `col_types`.

NOTE

Une alternative est l’extension `xlsx` qui propose deux fonctions différentes pour importer des fichiers Excel : `read.xlsx` et `read.xlsx2`. La finalité est la même mais leur fonctionnement interne est différent. En cas de difficultés d’import, on pourra tester l’autre pour voir si le résultat est différent. Il est important de spécifier la position de la feuille de calculs que l’on souhaite importer.

```
R> library(xlsx)
donnees <- read.xlsx("data/fichier.xlsx", 1)
```

dBase

L’Insee diffuse ses fichiers depuis son site Web au format **dBase** (extension `.dbf`). Ceux-ci sont directement lisibles dans R avec la fonction `read.dbf` de l’extension `foreign`.

```
R> library(foreign)
donnees <- read.dbf("data/fichier.dbf")
```

La principale limitation des fichiers **dBase** est de ne pas gérer plus de 256 colonnes. Les tables des enquêtes de l’Insee sont donc parfois découpées en plusieurs fichiers `.dbf` qu’il convient de fusionner avec la fonction `merge`. L’utilisation de cette fonction est détaillée dans le chapitre sur la manipulation de données.

Données spatiales

Shapefile

Les fichiers **Shapefile** sont couramment utilisés pour changer des données géographiques. La majorité des logiciels de **SIG** (systèmes d'informations géographiques) sont en capacité d'importer et d'exporter des données dans ce format.

Un **shapefile** contient toute l'information liée à la géométrie des objets décrits, qui peuvent être :

- des points
- des lignes
- des polygones

Son extension est classiquement `.shp` et il est toujours accompagné de deux autres fichiers de même nom et d'extensions :

- un fichier `.dbf`, qui contient les données attributaires relatives aux objets contenues dans le **shapefile**
- un fichier `.shx`, qui stocke l'index de la géométrie

D'autres fichiers peuvent être également fournis :

- `.sbn` et `.sbx` - index spatial des formes.
- `.fbn` et `.fbx` - index spatial des formes pour les shapefile en lecture seule
- `.ain` et `.aih` - index des attributs des champs actifs dans une table ou dans une table d'attributs du thème
- `.prj` - information sur le système de coordonnées
- `.shp.xml` - métadonnées du shapefile.
- `.atx` - fichier d'index des attributs pour le fichier `.dbf`
- `.qix`

En premier lieu, il importe que tous les fichiers qui compose un même **shapefile** soit situés dans le même répertoire et aient le même nom (seule l'extension étant différente).

L'extension `maptools` fournit les fonctions permettant d'importer un **shapefile** dans R. Le résultat obtenu utilisera l'une des différentes classes spatiales fournies par l'extension `sp`.

La fonction générique d'import est `readShapeSpatial` :

```
R> library(maptools)
donnees_spatiales <- readShapeSpatial("data/fichier.shp")
```

Si l'on connaît déjà le type de données du **shapefile** (points, lignes ou polygones), on pourra utiliser directement `readShapePoints`, `readShapeLines` ou `readShapePoly`.

Rasters

Il existe de multiples formats pour stocker des données matricielles spatiales. L'un des plus communs est le format **ASCII grid** aussi connu sous le nom de **Arc/Info ASCII grid** ou **ESRI grid**. L'extension de ce format n'est pas toujours uniforme. On trouve parfois `.asc` ou encore `.ag` voir même `.txt`.

Pour importer ce type de fichier, on pourra avoir recours à la fonction `readAsciiGrid` de l'extension `maptools`. Le résultat sera, par défaut, au format `SpatialGridDataFrame` de l'extension `sp`.

```
R> library(maptools)
donnees_spatiales <- readAsciiGrid("data/fichier.asc")
```

L'extension `raster` permet d'effectuer de multiples manipulations sur les données du type `raster`. Elle est en capacité d'importer des données depuis différents formats (plus précisément les formats pris en charge par la librairie **GDAL**).

De plus, les fichiers raster pouvant être particulièrement volumineux (jusqu'à plusieurs Go de données), l'extension `raster` est capable de travailler sur un fichier raster sans avoir à le charger intégralement en mémoire.

Pour plus d'informations, voir les fonctions `raster` et `getValues`.

Autres sources

R offre de très nombreuses autres possibilités pour accéder aux données. Il est ainsi possible d'importer des données depuis d'autres applications qui n'ont pas été développées (**Epi Info**, **S-Plus**, etc.), de se connecter à un système de base de données relationnelle type **MySQL**, de lire des données via **ODBC** ou des connexions réseau, etc.

Pour plus d'informations on consultera le manuel *R Data Import/Export* :
<http://cran.r-project.org/manuals.html>.

Sauver ses données

R dispose également de son propre format pour sauvegarder et changer des données. On peut sauver n'importe quel objet créé avec R et il est possible de sauver plusieurs objets dans un même fichier. L'usage est d'utiliser l'extension `.RData` pour les fichiers de données R. La fonction d'utiliser s'appelle tout simplement `save`.

Par exemple, si l'on souhaite sauvegarder son tableau de données `d` ainsi que les objets `tailles` et `poids` dans un fichier `export.RData`:

```
R> save(d, tailles, poids, file = "export.RData")
```

À tout moment, il sera toujours possible de recharger ces données en mémoire à l'aide de la fonction `load`:

```
R> load("export.RData")
```

IMPORTANT

Si entre temps vous avez modifié votre tableau `d`, vos modifications seront perdues. En effet, si lors du chargement de données, un objet du même nom existe en mémoire, ce dernier sera remplacé par l'objet importé.

La fonction `save.image` est un raccourci pour sauvegarder tous les objets de la session de travail dans le fichier `.RData` (un fichier un peu étrange car il n'a pas de nom mais juste une extension). Lors de la fermeture de RStudio, il vous sera demandé si vous souhaitez enregistrer votre session. Si vous répondiez Oui, c'est cette fonction `save.image` qui sera appliquée.

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


Recodage

Renommer des variables	152
Convertir une variable	153
Variable numérique ou textuelle en facteur	154
Conversion d'un facteur	154
Conversion d'un vecteur labellisé	156
Découper une variable numérique en classes	158
Regrouper les modalités d'une variable	162
Variables calculées	168
Combiner plusieurs variables	169
Variables scores	170
Vérification des recodages	171
Recodage et data.table	172

NOTE

La version originale de ce chapitre a été écrite par Julien Barnier dans le cadre du support de cours [Introduction à R](#).

Le recodage de variables est une opération extrêmement fréquente lors du traitement d'enquête. Celui-ci utilise soit l'une des formes d'indexation décrites précédemment, soit des fonctions *ad hoc* de R.

On passe ici en revue différents types de recodage parmi les plus courants. Les exemples se appuient, comme précédemment, sur l'extrait de l'enquête *Histoire de vie*:

```
R> library(questionr)
  data(hdv2003)
d <- hdv2003
```

Renommer des variables

Une opération courante lorsqu'on a importé des variables depuis une source de données externe consiste à renommer les variables importées. Sous R les noms de variables doivent être à la fois courts et explicites.

IMPORTANT

Les noms de variables peuvent contenir des lettres, des chiffres (mais ils ne peuvent pas commencer par un chiffre), les symboles . et _ et doivent commencer par une lettre. R fait la différence entre les majuscules et les minuscules, ce qui signifie que x et X sont deux noms de variable différents. On évitera également d'utiliser des caractères accentués dans les noms de variable. Comme les espaces ne sont pas autorisés, on pourra les remplacer par un point ou un tiret bas.

On peut lister les noms des variables d'un tableau de données (*data.frame*) à l'aide de la fonction `names` :

```
R> names(d)
```

```
[1] "id"          "age"
[3] "sexe"        "nivetud"
[5] "poids"       "occup"
[7] "qualif"      "freres.soeurs"
[9] "cuso"         "relig"
[11] "trav.imp"    "trav.satisf"
[13] "hard.rock"   "lecture.bd"
[15] "peche.chasse" "cuisine"
[17] "bricol"       "cinema"
[19] "sport"        "heures.tv"
```

Cette fonction peut également être utilisée pour renommer l'ensemble des variables. Si par exemple on souhaitait passer les noms de toutes les variables en majuscules, on pourrait faire :

```
R> d.maj <- d
  names(d.maj) <- c("ID", "AGE", "SEXE", "NIVETUD", "POIDS",
    "OCCUP", "QUALIF", "FRERES.SOEURS", "CLSO", "RELIG",
    "TRAV.IMP", "TRAV.SATISF", "HARD.ROCK", "LECTURE.BD",
    "PECHE.CHASSE", "CUISINE", "BRICOL", "CINEMA",
    "SPORT", "HEURES.TV")
  summary(d.maj$SEXE)
```

Homme	Femme
899	1101

Ce type de renommage peut être utile lorsqu'on souhaite passer en revue tous les noms de variables d'un fichier importé pour les corriger le cas échéant. Pour faciliter un peu ce travail pas forcément passionnant, on peut utiliser la fonction `dput` :

```
R> dput(names(d))
```

```
c("id", "age", "sexe", "nivetud", "poids", "occup", "qualif",
  "freres.soeurs", "clso", "relig", "trav.imp", "trav.satisf",
  "hard.rock", "lecture.bd", "peche.chasse", "cuisine", "bricol",
  "cinema", "sport", "heures.tv")
```

On obtient en résultat la liste des variables sous forme de vecteur déclaré. On n'a plus alors qu'à copier/coller cette chaîne, rajouter `names(d) <-` devant et modifier un à un les noms des variables.

Si on souhaite seulement modifier le nom d'une variable, on peut utiliser la fonction `rename.variable` de l'extension `questionr`. Celle-ci prend en argument le tableau de données, le nom actuel de la variable et le nouveau nom. Par exemple, si on veut renommer la variable `bricol` du tableau de données `d` en `bricolage`:

```
R> d <- rename.variable(d, "bricol", "bricolage")
  table(d$bricolage)
```

Non	Oui
1147	853

Convertir une variable

Il peut arriver qu'on veuille transformer une variable d'un type dans un autre.

Variable numérique ou textuelle en facteur

Par exemple, on peut considérer que la variable numérique `freres.soeurs` est une fausse variable numérique et qu'une représentation sous forme de facteur serait plus adéquate. Dans ce cas il suffit de faire appel à la fonction `factor` :

```
R> d$fs.fac <- factor(d$freres.soeurs)
  levels(d$fs.fac)
```

```
[1] "0"   "1"   "2"   "3"   "4"   "5"   "6"   "7"   "8"
[10] "9"   "10"  "11"  "12"  "13"  "14"  "15"  "16"  "18"
[19] "22"
```

La conversion d'une variable caractères en facteur se fait de la même manière.

La conversion d'un facteur ou d'une variable numérique en variable caractères peut se faire à l'aide de la fonction `as.character` :

```
R> d$fs.char <- as.character(d$freres.soeurs)
  d$qualif.char <- as.character(d$qualif)
```

Conversion d'un facteur

La conversion d'un facteur en caractères est fréquemment utilisée lors des recodages du fait qu'il est impossible d'ajouter de nouvelles modalités à un facteur de cette manière. Par exemple, la première des commandes suivantes génère un message d'avertissement, tandis que les deux autres fonctionnent :

```
R> d.temp <- d
  d.temp$qualif[d.temp$qualif == "Ouvrier specialise"] <- "Ouvrier"
```

```
Warning in `[<-factor`(`*tmp*`, d.temp$qualif ==
  "Ouvrier specialise", : invalid factor level, NA
  generated
```

```
R> d$qualif.char <- as.character(d$qualif)
d$qualif.char[d$qualif.char == "Ouvrier specialise"] <- "Ouvrier"
```

Dans le premier cas, le message d'avertissement indique que toutes les modalités Ouvrier specialise de notre variable *qualif* ont été remplacées par des valeurs manquantes NA.

Enfin, une variable de type caractères dont les valeurs seraient des nombres peut être convertie en variable numérique avec la fonction **as.numeric**.

```
R> v <- c("1", "3.1415", "4", "5.6", "1", "4")
v
```

```
[1] "1"      "3.1415" "4"      "5.6"    "1"
[6] "4"
```

```
R> as.numeric(v)
```

```
[1] 1.0000 3.1415 4.0000 5.6000 1.0000 4.0000
```

IMPORTANT

Lorsque l’on convertit un facteur avec `as.numeric`, on obtient le numéro de chaque facteur (première modalité, seconde modalité, etc.). Si la valeur numérique qui nous intéresser est en fait contenu dans le nom des modalités, il faut convertir au préalable notre facteur en variable textuelle.

```
R> vf <- factor(v)  
vf
```

```
[1] 1      3.1415 4      5.6    1      4  
Levels: 1 3.1415 4 5.6
```

```
R> as.numeric(vf)
```

```
[1] 1 2 3 4 1 3
```

```
R> as.numeric(as.character(vf))
```

```
[1] 1.0000 3.1415 4.0000 5.6000 1.0000 4.0000
```

ATTENTION : la valeur numérique associée à chaque étiquette d’un facteur change lorsque l’on modifie l’ordre des étiquettes d’un facteur. Dans lors, il est **fortement déconseillé** de convertir un facteur en variable numérique.

Conversion d’un vecteur labellisé

Nous avons abordé dans un chapitre précédent, page 113 la gestion de données labellisées à l’aide de l’extension `labelled`. Les vecteurs labellisés sont beaucoup plus souples que les facteurs lors de la préparation des données, puisque la liste des modalités autorisées n’est pas fixe à l’avance. De plus, cela permet également de documenter au-fur-et-mesure les nouvelles variables que l’on crée.

Nous verrons dans les chapitres d’analyse, notamment quand il s’agit de calculer des modèles, qu’il est nécessaire de coder les variables catégorielles sous forme de facteurs. Il est très facile de convertir un vecteur labellisé en facteur à l’aide la fonction `to_factor` de l’extension `labelled`¹.

```
R> library(labelled)
v <- labelled(c(1, 2, 9, 3, 3, 2, NA), c(oui = 1, `peut-être` = 2,
  non = 3, `ne sait pas` = 9))
v
```

```
<Labelled double>
[1] 1 2 9 3 3 2 NA

Labels:
  value      label
    1        oui
    2    peut-être
    3       non
    9 ne sait pas
```

```
R> to_factor(v)
```

```
[1] oui          peut-être   ne sait pas
[4] non          non         peut-être
[7] <NA>
Levels: oui peut-être non ne sait pas
```

Il possible d'indiquer si l'on souhaite, comme des étiquettes du facteur, utiliser les étiquettes de valeur (par défaut), les valeurs elles-mêmes, ou bien les étiquettes de valeurs prefixées par la valeur d'origine indiquée entre crochets.

```
R> to_factor(v, "l")
```

```
[1] oui          peut-être   ne sait pas
[4] non          non         peut-être
[7] <NA>
Levels: oui peut-être non ne sait pas
```

```
R> to_factor(v, "v")
```

```
[1] 1 2 9 3 3 2 <NA>
Levels: 1 2 3 9
```

1. On priviliera la fonction `to_factor` à la fonction `as_factor` de l'extension `haven`, la première ayant plus de possibilités et un comportement plus consistant.

```
R> to_factor(v, "p")
```

```
[1] [1] oui      [2] peut-être  
[3] [9] ne sait pas [3] non  
[5] [3] non      [2] peut-être  
[7] <NA>  
4 Levels: [1] oui [2] peut-être ... [9] ne sait pas
```

Par défaut, les étiquettes du facteur seront triées selon l’ordre des étiquettes de valeur. Mais cela peut être modifié avec l’argument `sort_levels` si l’on préfère trier selon les valeurs ou selon l’ordre alphabétique des étiquettes.

```
R> to_factor(v, sort_levels = "v")
```

```
[1] oui      peut-être  ne sait pas  
[4] non      non      peut-être  
[7] <NA>  
Levels: oui peut-être non ne sait pas
```

```
R> to_factor(v, sort_levels = "l")
```

```
[1] oui      peut-être  ne sait pas  
[4] non      non      peut-être  
[7] <NA>  
Levels: ne sait pas non oui peut-être
```

D’autres options sont disponibles. On se réferra à la documentation complète de la fonction.

Découper une variable numérique en classes

Le premier type de recodage consiste à découper une variable de type numérique en un certain nombre de classes. On utilise pour cela la fonction `cut`.

Celle-ci prend, outre la variable à découper, un certain nombre d’arguments :

- `breaks` indique soit le nombre de classes souhaité, soit, si on lui fournit un vecteur, les limites des classes ;
- `labels` permet de modifier les noms de modalités attribuées aux classes ;
- `include.lowest` et `right` influent sur la manière dont les valeurs situées à la frontière des classes seront incluses ou exclues ;

- `dig.lab` indique le nombre de chiffres après la virgule à conserver dans les noms de modalités.

Prenons tout de suite un exemple et tentons de découper notre variable `age` en cinq classes et de placer le résultat dans une nouvelle variable nommée `age5cl`:

```
R> d$age5cl <- cut(d$age, 5)
table(d$age5cl)
```

Intervalle d'âge	Nombre d'observations
(17.9, 33.8]	454
(33.8, 49.6]	628
(49.6, 65.4]	556
(65.4, 81.2]	319
(81.2, 97.1]	43

Par défaut R nous a bien créé cinq classes d'amplitudes égales. La première classe va de 17,9 à 32,2 ans (en fait de 17 à 32), etc.

Les frontières de classe seraient plus présentables si elles utilisaient des nombres ronds. On va donc spécifier manuellement le découpage souhaité, par tranches de 20 ans:

```
R> d$age20 <- cut(d$age, c(0, 20, 40, 60, 80, 100))
table(d$age20)
```

Intervalle d'âge	Nombre d'observations
(0, 20]	72
(20, 40]	660
(40, 60]	780
(60, 80]	436
(80, 100]	52

On aurait pu tenir compte des extrêmes pour la première et la dernière valeur:

```
R> range(d$age)
```

```
[1] 18 97
```

```
R> d$age20 <- cut(d$age, c(18, 20, 40, 60, 80, 97))
table(d$age20)
```

Intervalle d'âge	Nombre d'observations
(18, 20]	55
(20, 40]	660
(40, 60]	780
(60, 80]	436
(80, 97]	52

Les symboles dans les noms attribués aux classes ont leur importance: (signifie que la frontière de la classe est exclue, tandis que [signifie qu'elle est incluse. Ainsi, (20,40] signifie strictement supérieur à 20 et inférieur ou égal à 40.

On remarque que du coup, dans notre exemple précédent, la valeur minimale, 18, est exclue de notre première classe, et qu'une observation est donc absente de ce découpage. Pour résoudre ce problème on peut soit faire commencer la première classe à 17, soit utiliser l'option `include.lowest=TRUE` :

```
R> d$age20 <- cut(d$age, c(17, 20, 40, 60, 80, 97))





```

```
(17,20] (20,40] (40,60] (60,80] (80,97]
    72      660     780     436      52
```

```
R> d$age20 <- cut(d$age, c(18, 20, 40, 60, 80, 97), include.lowest = TRUE)





```

```
[18,20] (20,40] (40,60] (60,80] (80,97]
    72      660     780     436      52
```

On peut également modifier le sens des intervalles avec l'option `right=FALSE`, et indiquer manuellement les noms des modalités avec `labels` :

```
R> d$age20 <- cut(d$age, c(18, 20, 40, 60, 80, 97), right = FALSE,
  include.lowest = TRUE)





```

```
[18,20) [20,40) [40,60) [60,80) [80,97]
    48      643     793     454      62
```

```
R> d$age20 <- cut(d$age, c(18, 20, 40, 60, 80, 97), include.lowest = TRUE,
  labels = c("<20ans", "21-40 ans", "41-60ans", "61-80ans",
  ">80ans"))





```

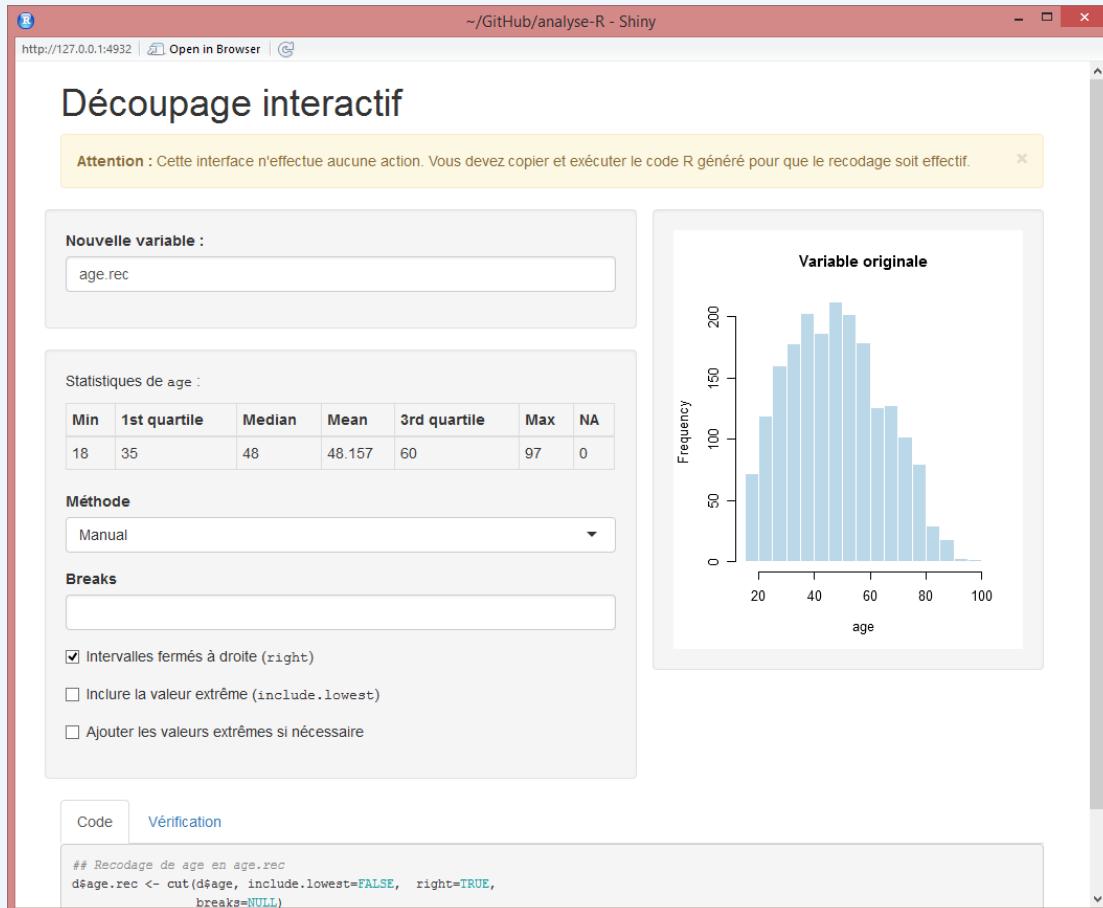
```
<20ans 21-40 ans 41-60ans 61-80ans >80ans
    72      660     780     436      52
```

NOTE

L'extension `questionr` propose une interface interactive à la fonction `cut`, nommée `icut`. Elle se utilise de la manière suivante :

```
R> iut(d, age)
```

RStudio devrait ouvrir une fenêtre semblable à l'image ci-dessous.



Capture d'écran de l'icut

Vous pouvez alors indiquer les limites de vos classes ainsi que quelques options complémentaires. Ces limites sont représentées graphiquement sur l'histogramme de la variable d'origine.

L'onglet **Vérification** affiche un tri plat et un graphique en barres de la nouvelle variable. Une fois le résultat satisfaisant, vous pouvez récupérer le code généré pour l'inclure dans votre script.

L'extension `questionr` propose aussi une fonction `quant.cut` permettant de découper une variable numérique en un nombre de classes données ayant des effectifs semblables. Il suffit de lui passer le nombre de classes en argument :

```
R> d$age6cl <- quant.cut(d$age, 6)
table(d$age6cl)
```

[18,30)	[30,39)	[39,48)	[48,55.667)
302	337	350	344
[55.667,66)	[66,97]		
305	362		

`quant.cut` admet les mêmes autres options que `cut` (`include.lowest`, `right`, `labels` etc.).

Regrouper les modalités d'une variable

Pour regrouper les modalités d'une variable qualitative (d'un facteur le plus souvent), on peut utiliser directement l'indexation.

Ainsi, si on veut recoder la variable `qualif` dans une variable `qualif.reg` plus compacte, on peut utiliser :

```
R> table(d$qualif)
```

Ouvrier specialise	Ouvrier qualifie
203	292
Technicien	Profession intermediaire
86	160
Cadre	Employe
260	594
Autre	
58	

```
R> d$qualif.reg[d$qualif == "Ouvrier specialise"] <- "Ouvrier"
d$qualif.reg[d$qualif == "Ouvrier qualifie"] <- "Ouvrier"
d$qualif.reg[d$qualif == "Employe"] <- "Employe"
d$qualif.reg[d$qualif == "Profession intermediaire"] <- "Intermediaire"
d$qualif.reg[d$qualif == "Technicien"] <- "Intermediaire"
d$qualif.reg[d$qualif == "Cadre"] <- "Cadre"
d$qualif.reg[d$qualif == "Autre"] <- "Autre"





```

	Autre	Cadre	Employe
Intermediaire	58	260	594
	246	495	Ouvrier

On aurait pu représenter ce recodage de manière plus compacte, notamment en commençant par copier le contenu de *qualif* dans *qualif.reg*, ce qui permet de ne pas s'occuper de ce qui ne change pas.

Il est cependant nécessaire de ne pas copier *qualif* sous forme de facteur, sinon on ne pourrait ajouter de nouvelles modalités. On copie donc la version caractères de *qualif* grâce à la fonction `as.character`:

```
R> d$qualif.reg <- as.character(d$qualif)
d$qualif.reg[d$qualif == "Ouvrier specialise"] <- "Ouvrier"
d$qualif.reg[d$qualif == "Ouvrier qualifie"] <- "Ouvrier"
d$qualif.reg[d$qualif == "Profession intermediaire"] <- "Intermediaire"
d$qualif.reg[d$qualif == "Technicien"] <- "Intermediaire"





```

	Autre	Cadre	Employe
Intermediaire	58	260	594
	246	495	Ouvrier

On peut faire une version encore plus compacte en utilisant l'opérateur logique ou (|) :

```
R> d$qualif.reg <- as.character(d$qualif)
d$qualif.reg[d$qualif == "Ouvrier specialise" | d$qualif ==
  "Ouvrier qualifie"] <- "Ouvrier"
d$qualif.reg[d$qualif == "Profession intermediaire" |
  d$qualif == "Technicien"] <- "Intermediaire"
table(d$qualif.reg)
```

Autre	Cadre	Employe
58	260	594
Intermediaire	Ouvrier	
246		495

Enfin, pour terminer ce petit tour d'horizon, on peut également remplacer l'opérateur `|` par `%in%`, qui peut parfois être plus lisible :

```
R> d$qualif.reg <- as.character(d$qualif)
d$qualif.reg[d$qualif %in% c("Ouvrier specialise",
  "Ouvrier qualifie")] <- "Ouvrier"
d$qualif.reg[d$qualif %in% c("Profession intermediaire",
  "Technicien")] <- "Intermediaire"
table(d$qualif.reg)
```

Autre	Cadre	Employe
58	260	594
Intermediaire	Ouvrier	
246		495

Dans tous les cas le résultat obtenu est une variable de type caractère. On pourra la convertir en facteur par un simple :

```
R> d$qualif.reg <- factor(d$qualif.reg)
```

Si on souhaite recoder les valeurs manquantes, il suffit de faire appel à la fonction `is.na` :

```
R> table(d$trav.satisf)
```

Satisfaction	Insatisfaction	Equilibre
480	117	451

```
R> d$trav.satisf.reg <- as.character(d$trav.satisf)
  d$trav.satisf.reg[is.na(d$trav.satisf)] <- "Manquant"
table(d$trav.satisf.reg)
```

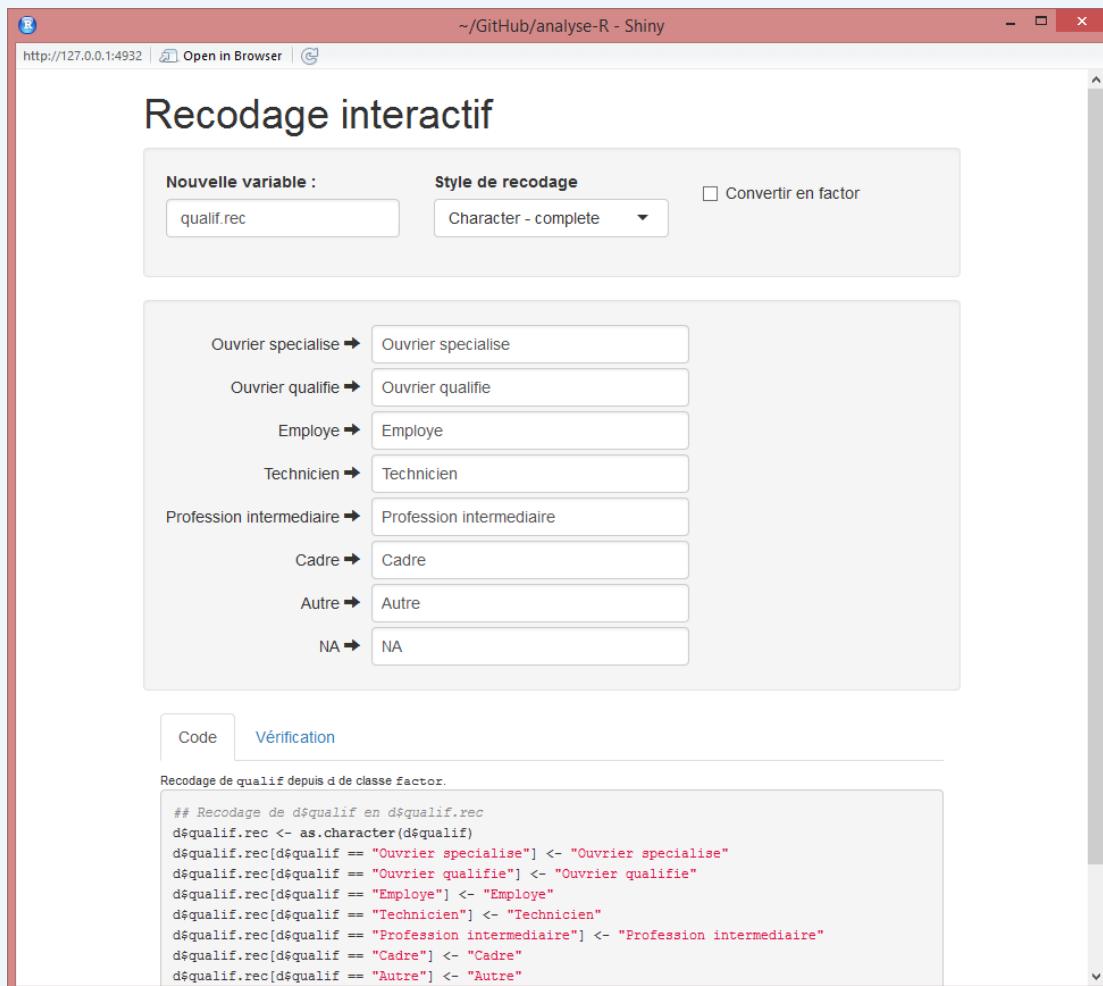
	Equilibre	Insatisfaction	Manquant
	451	117	952
Satisfaction			
	480		

NOTE

`questionr` propose une interface interactive pour le recodage d'une variable qualitative (renommage et regroupement de modalités). Cette fonction, nommée `irec`, se utilise de la manière suivante :

```
R> irec(d, qualif)
```

RStudio va alors ouvrir une fenêtre semblable à l'image ci-dessous :



Capture de irec

Vous pouvez alors sélectionner différentes options, et pour chaque ancienne modalité, indiquer la nouvelle valeur correspondante. Pour regrouper des modalités, il suffit de leur assigner des nouvelles valeurs identiques. Dans tous les cas n'hésitez pas à expérimenter, l'interface se contente de

générer du code R à copier/coller dans votre script mais ne l'exécute pas, et ne modifie donc jamais vos données !

L'onglet *Vérification* affiche un tri croissant de l'ancienne et de la nouvelle variable pour vérifier que le recodage est correct. Une fois le résultat satisfaisant, vous pouvez récupérer le code généré dans l'onglet *Code* pour l'inclure dans votre script.

NOTE

Les exemples précédents montrent bien qu'il est parfois malaisé d'utiliser des facteurs lorsque l'on recode des variables. Les vecteurs labellisés sont, quant à eux, plus souples. **Attention :** avec des vecteurs labellisés, on utilisera les valeurs sous-jacentes et non les étiquettes pour écrire des conditions.

```
R> data(fecondite)
library(labelled)
describe(femmes$educ)
```

```
[2000 obs.] Niveau d'éducation
labelled numeric: 0 0 0 0 1 ...
min: 0 - max: 3 - NAs: 0 (0%) - 4 unique values
4 value labels: [0] aucun [1] primaire [2] secondaire [3] supérieur
```

```
R> femmes$educ2 <- 0
femmes$educ2[femmes$educ >= 2] <- 1
var_label(femmes$educ2) <- "A atteint un niveau secondaire ou supérieur ?"
val_labels(femmes$educ2) <- c(non = 0, oui = 1)
describe(femmes$educ2)
```

```
[2000 obs.] A atteint un niveau secondaire ou supérieur ?
labelled numeric: 0 0 0 0 0 ...
min: 0 - max: 1 - NAs: 0 (0%) - 2 unique values
2 value labels: [0] non [1] oui
```

Variables calculées

La création d'une variable numérique à partir de calculs sur une ou plusieurs autres variables numériques se fait très simplement.

Supposons que l'on souhaite calculer une variable indiquant l'écart entre le nombre d'heures passées à regarder la télévision et la moyenne globale de cette variable. On pourrait alors faire :

```
R> range(d$heures.tv, na.rm = TRUE)
```

```
[1] 0 12
```

```
R> mean(d$heures.tv, na.rm = TRUE)
```

```
[1] 2.246566
```

```
R> d$ecart.heures.tv <- d$heures.tv - mean(d$heures.tv,
  na.rm = TRUE)
range(d$ecart.heures.tv, na.rm = TRUE)
```

```
[1] -2.246566 9.753434
```

```
R> mean(d$ecart.heures.tv, na.rm = TRUE)
```

```
[1] 4.714578e-17
```

Autre exemple tiré du jeu de données rp99 : si on souhaite calculer le pourcentage d'actifs dans chaque commune, on peut diviser la population active *pop.act* par la population totale *pop.tot*.

```
R> data("rp99")
rp99$part.actifs <- rp99$pop.act/rp99$pop.tot * 100
```

Combiner plusieurs variables

La combinaison de plusieurs variables se fait à l'aide des techniques d'indexation décrites précédemment. Le plus compliqué est d'arriver à formuler des conditions parfois complexes de manière rigoureuse.

On peut ainsi vouloir combiner plusieurs variables qualitatives en une seule :

```
R> d$act.manuelles <- NA
  d$act.manuelles[d$cuisine == "Oui" & d$bricol == "Oui"] <- "Cuisine et Bricolage"
  d$act.manuelles[d$cuisine == "Oui" & d$bricol == "Non"] <- "Cuisine seulement"
  d$act.manuelles[d$cuisine == "Non" & d$bricol == "Oui"] <- "Bricolage seulement"
  d$act.manuelles[d$cuisine == "Non" & d$bricol == "Non"] <- "Ni cuisine ni bricolage"
  table(d$act.manuelles)
```

Bricolage seulement	Cuisine et Bricolage
437	416
Cuisine seulement Ni cuisine ni bricolage	
465	682

On peut également combiner variables qualitatives et variables quantitatives :

```
R> d$age.sex <- NA
  d$age.sex[d$sex == "Homme" & d$age < 40] <- "Homme moins de 40 ans"
  d$age.sex[d$sex == "Homme" & d$age >= 40] <- "Homme plus de 40 ans"
  d$age.sex[d$sex == "Femme" & d$age < 40] <- "Femme moins de 40 ans"
  d$age.sex[d$sex == "Femme" & d$age >= 40] <- "Femme plus de 40 ans"
  table(d$age.sex)
```

Femme moins de 40 ans	Femme plus de 40 ans
376	725
Homme moins de 40 ans	Homme plus de 40 ans
315	584

Les combinaisons de variables un peu complexes nécessitent parfois un petit travail de réflexion. En particulier, l'ordre des commandes de recodage a parfois une influence dans le résultat final.

Pour combiner rapidement plusieurs variables entre elles, on peut aussi avoir recours à la fonction `interaction` qui créera un facteur avec un niveau pour chaque combinaison de modalités des variables sources.

```
R> d$age20.sex <- interaction(d$sex, d$age20)
  table(d$age20.sex)
```

Homme.<20ans	Femme.<20ans	Homme.21-40 ans
34	38	291
Femme.21-40 ans	Homme.41-60ans	Femme.41-60ans
369	352	428
Homme.61-80ans	Femme.61-80ans	Homme.>80ans
205	231	17
Femme.>80ans		
35		

Variables scores

Une variable score est une variable calculée en additionnant des poids accordés aux modalités d'une série de variables qualitatives.

Pour prendre un exemple tout à fait arbitraire, imaginons que nous souhaitons calculer un score d'activités extérieures. Dans ce score on considère que le fait d'aller au cinéma passe à 10, celui de pêcher ou chasser vaut 30 et celui de faire du sport vaut 20. On pourrait alors calculer notre score de la manière suivante :

```
R> d$score.ext <- 0
  d$score.ext[d$cinema == "Oui"] <- d$score.ext[d$cinema ==
  "Oui"] + 10
  d$score.ext[d$peche.chasse == "Oui"] <- d$score.ext[d$peche.chasse ==
  "Oui"] + 30
  d$score.ext[d$sport == "Oui"] <- d$score.ext[d$sport ==
  "Oui"] + 20
  table(d$score.ext)
```

0	10	20	30	40	50	60
800	342	229	509	31	41	48

Cette notation étant un peu lourde, on peut l'alléger un peu en utilisant la fonction `ifelse`. Celle-ci prend en argument une condition et deux valeurs. Si la condition est vraie elle retourne la première valeur, sinon elle retourne la seconde.

```
R> d$score.ext <- 0
d$score.ext <- ifelse(d$cinema == "Oui", 10, 0) + ifelse(d$peche.chasse ==
  "Oui", 30, 0) + ifelse(d$sport == "Oui", 20, 0)
table(d$score.ext)
```

	0	10	20	30	40	50	60
800	342	229	509	31	41	48	

Vérification des recodages

Il est très important de vérifier, notamment après les recodages les plus complexes, qu'on a bien obtenu le résultat escompté. Les deux points les plus sensibles étant les valeurs manquantes et les erreurs dans les conditions.

Pour vérifier tout cela, le plus simple est sans doute de faire des tableaux croisés entre la variable recodée et celles ayant servi au recodage. Il aide des fonctions `table` ou `xtabs`, et de vérifier le nombre de valeurs manquantes dans la variable recodée avec `summary`, `freq` ou `table`.

Par exemple :

```
R> d$act.manuelles <- NA
d$act.manuelles[d$cuisine == "Oui" & d$bricol == "Oui"] <- "Cuisine et Bricolage"
d$act.manuelles[d$cuisine == "Oui" & d$bricol == "Non"] <- "Cuisine seulement"
d$act.manuelles[d$cuisine == "Non" & d$bricol == "Oui"] <- "Bricolage seulement"
d$act.manuelles[d$cuisine == "Non" & d$bricol == "Non"] <- "Ni cuisine ni bricolage"
table(d$act.manuelles, d$cuisine)
```

	Non	Oui
Bricolage seulement	437	0
Cuisine et Bricolage	0	416
Cuisine seulement	0	465
Ni cuisine ni bricolage	682	0

```
R> table(d$act.manuelles, d$bricol)
```

	Non	Oui
Bricolage seulement	0	437
Cuisine et Bricolage	0	416
Cuisine seulement	465	0
Ni cuisine ni bricolage	682	0

Recodage et data.table

Nous aborderons dans un prochain chapitre, page 205 l'extension **data.table** qui étend les tableaux de données et modifie complètement la syntaxe utilisée entre les crochets. Elle nécessite un petit temps d'adaptation mais, une fois maîtrisée, elle facilite le quotidien lorsqu'il s'agit de manipuler et recoder les données. Ci-dessous, un petit avant-goût, reprenons quelques exemples précédents. La syntaxe de **data.table** sera explicitée en détail dans le chapitre dédié, page 205.

```
R> library(data.table)
dt <- data.table(hdv2003)

dt[, score.ext := 0]
```

```
      id age sexe
1:    1 28 Femme
2:    2 23 Femme
3:    3 59 Homme
4:    4 34 Homme
5:    5 71 Femme
---
1996: 1996 45 Homme
1997: 1997 46 Homme
1998: 1998 24 Homme
1999: 1999 24 Femme
2000: 2000 66 Femme
                           nivetud
1: Enseignement superieur y compris technique superieur
2:                                         NA
3:                               Derniere annee d'etudes primaires
4: Enseignement superieur y compris technique superieur
5:                               Derniere annee d'etudes primaires
---
1996:           Enseignement technique ou professionnel court
```

1997:	Enseignement technique ou professionnel court		
1998:	Enseignement technique ou professionnel long		
1999:	Enseignement technique ou professionnel court		
2000:	Enseignement technique ou professionnel long		
	poids	occup	
1:	2634.3982	Exerce une profession	
2:	9738.3958	Etudiant, eleve	
3:	3994.1025	Exerce une profession	
4:	5731.6615	Exerce une profession	
5:	4329.0940	Retraite	

1996:	8092.1473	Exerce une profession	
1997:	955.8787	Exerce une profession	
1998:	5320.1624	Exerce une profession	
1999:	13740.8095	Exerce une profession	
2000:	7709.5131	Au foyer	
	qualif freres.soeurs	clso	
1:	Employe	8	Oui
2:	NA	2	Oui
3:	Technicien	2	Non
4:	Technicien	1	Non
5:	Employe	0	Oui

1996:	Technicien	3	Non
1997:	Ouvrier qualifie	4	Oui
1998:	Technicien	1	Oui
1999:	Employe	2	Non
2000:	Employe	3	Non
	relig		
1:	Ni croyance ni appartenance		
2:	Ni croyance ni appartenance		
3:	Ni croyance ni appartenance		
4:	Appartenance sans pratique		
5:	Pratiquant regulier		

1996:	Ni croyance ni appartenance		
1997:	Pratiquant occasionnel		
1998:	Rejet		
1999:	Appartenance sans pratique		
2000:	Appartenance sans pratique		
	trav.imp	trav.satisf	
1:	Peu important	Insatisfaction	
2:	NA	NA	
3:	Aussi important que le reste	Equilibre	
4:	Moins important que le reste	Satisfaction	
5:	NA	NA	

```

1996: Moins important que le reste      Equilibre
1997:          Le plus important      Equilibre
1998: Moins important que le reste      Satisfaction
1999: Moins important que le reste      Equilibre
2000:                               NA      NA
    hard.rock lecture.bd peche.chasse cuisine
1:     Non      Non      Non      Oui
2:     Non      Non      Non      Non
3:     Non      Non      Non      Non
4:     Non      Non      Non      Oui
5:     Non      Non      Non      Non
---
1996:     Non      Non      Non      Non
1997:     Non      Non      Oui      Oui
1998:     Non      Non      Non      Non
1999:     Non      Non      Non      Non
2000:     Non      Oui      Non      Oui
    bricol cinema sport heures.tv score.ext
1:   Non   Non   Non    0.0      0
2:   Non   Oui   Oui    1.0      0
3:   Non   Non   Oui    0.0      0
4:   Oui   Oui   Oui    2.0      0
5:   Non   Non   Non    3.0      0
---
1996:   Oui   Non   Non    3.0      0
1997:   Oui   Non   Non    0.0      0
1998:   Oui   Oui   Oui    1.4      0
1999:   Non   Oui   Non    0.3      0
2000:   Non   Non   Non    0.0      0

```

```
R> dt[cinema == "Oui", score.ext := score.ext + 10]
```

```

      id age sexe
1:   1  28 Femme
2:   2  23 Femme
3:   3  59 Homme
4:   4  34 Homme
5:   5  71 Femme
---
1996: 1996  45 Homme
1997: 1997  46 Homme
1998: 1998  24 Homme
1999: 1999  24 Femme
2000: 2000  66 Femme

```

nivetud

1: Enseignement superieur y compris technique superieur
 2: NA
 3: Derniere annee d'etudes primaires
 4: Enseignement superieur y compris technique superieur
 5: Derniere annee d'etudes primaires

 1996: Enseignement technique ou professionnel court
 1997: Enseignement technique ou professionnel court
 1998: Enseignement technique ou professionnel long
 1999: Enseignement technique ou professionnel court
 2000: Enseignement technique ou professionnel long
 poids occup
 1: 2634.3982 Exerce une profession
 2: 9738.3958 Etudiant, eleve
 3: 3994.1025 Exerce une profession
 4: 5731.6615 Exerce une profession
 5: 4329.0940 Retraite

 1996: 8092.1473 Exerce une profession
 1997: 955.8787 Exerce une profession
 1998: 5320.1624 Exerce une profession
 1999: 13740.8095 Exerce une profession
 2000: 7709.5131 Au foyer
 qualif freres.soeurs cuso
 1: Employe 8 Oui
 2: NA 2 Oui
 3: Technicien 2 Non
 4: Technicien 1 Non
 5: Employe 0 Oui

 1996: Technicien 3 Non
 1997: Ouvrier qualifie 4 Oui
 1998: Technicien 1 Oui
 1999: Employe 2 Non
 2000: Employe 3 Non
 relig
 1: Ni croyance ni appartenance
 2: Ni croyance ni appartenance
 3: Ni croyance ni appartenance
 4: Appartenance sans pratique
 5: Pratiquant regulier

 1996: Ni croyance ni appartenance
 1997: Pratiquant occasionnel
 1998: Rejet
 1999: Appartenance sans pratique
 2000: Appartenance sans pratique

```

trav.imp      trav.satisf
1:          Peu important Insatisfaction
2:                      NA             NA
3: Aussi important que le reste      Equilibre
4: Moins important que le reste     Satisfaction
5:                      NA             NA
---
1996: Moins important que le reste      Equilibre
1997:          Le plus important      Equilibre
1998: Moins important que le reste     Satisfaction
1999: Moins important que le reste      Equilibre
2000:                      NA             NA
hard.rock lecture.bd peche.chasse cuisine
1:      Non       Non       Non      Oui
2:      Non       Non       Non      Non
3:      Non       Non       Non      Non
4:      Non       Non       Non      Oui
5:      Non       Non       Non      Non
---
1996:      Non       Non       Non      Non
1997:      Non       Non       Oui      Oui
1998:      Non       Non       Non      Non
1999:      Non       Non       Non      Non
2000:      Non       Oui       Non      Oui
bricol cinema sport heures.tv score.ext
1:    Non     Non     Non      0.0      0
2:    Non     Oui     Oui      1.0     10
3:    Non     Non     Oui      0.0      0
4:    Oui     Oui     Oui      2.0     10
5:    Non     Non     Non      3.0      0
---
1996:   Oui     Non     Non      3.0      0
1997:   Oui     Non     Non      0.0      0
1998:   Oui     Oui     Oui      1.4     10
1999:   Non     Oui     Non      0.3     10
2000:   Non     Non     Non      0.0      0

```

```
R> dt[peche.chasse == "Oui", score.ext := score.ext + 30]
```

	id	age	sexe		
1:	1	28	Femme		
2:	2	23	Femme		
3:	3	59	Homme		
4:	4	34	Homme		
5:	5	71	Femme		

1996: 1996 45 Homme
 1997: 1997 46 Homme
 1998: 1998 24 Homme
 1999: 1999 24 Femme
 2000: 2000 66 Femme

nivetud

1: Enseignement superieur y compris technique superieur
 2:
 3: Derniere annee d'etudes primaires
 4: Enseignement superieur y compris technique superieur
 5: Derniere annee d'etudes primaires

1996: Enseignement technique ou professionnel court
 1997: Enseignement technique ou professionnel court
 1998: Enseignement technique ou professionnel long
 1999: Enseignement technique ou professionnel court
 2000: Enseignement technique ou professionnel long

poids occup

1: 2634.3982 Exerce une profession
 2: 9738.3958 Etudiant, eleve
 3: 3994.1025 Exerce une profession
 4: 5731.6615 Exerce une profession
 5: 4329.0940 Retraite

1996: 8092.1473 Exerce une profession
 1997: 955.8787 Exerce une profession
 1998: 5320.1624 Exerce une profession
 1999: 13740.8095 Exerce une profession
 2000: 7709.5131 Au foyer

qualif freres.soeurs cuso

1: Employe 8 Oui
 2: NA 2 Oui
 3: Technicien 2 Non
 4: Technicien 1 Non
 5: Employe 0 Oui

1996: Technicien 3 Non
 1997: Ouvrier qualifie 4 Oui
 1998: Technicien 1 Oui
 1999: Employe 2 Non
 2000: Employe 3 Non

relig

1: Ni croyance ni appartenance
 2: Ni croyance ni appartenance
 3: Ni croyance ni appartenance
 4: Appartenance sans pratique

```

5:          Pratiquant régulier
---
1996: Ni croyance ni appartenance
1997:     Pratiquant occasionnel
1998:             Rejet
1999: Appartenance sans pratique
2000: Appartenance sans pratique
      trav.imp   trav.satisf
1:          Peu important Insatisfaction
2:                      NA           NA
3: Aussi important que le reste    Equilibre
4: Moins important que le reste   Satisfaction
5:                      NA           NA
---
1996: Moins important que le reste    Equilibre
1997:          Le plus important    Equilibre
1998: Moins important que le reste   Satisfaction
1999: Moins important que le reste    Equilibre
2000:                      NA           NA
      hard.rock lecture.bd peche.chasse cuisine
1:        Non       Non       Non      Oui
2:        Non       Non       Non      Non
3:        Non       Non       Non      Non
4:        Non       Non       Non      Oui
5:        Non       Non       Non      Non
---
1996:        Non       Non       Non      Non
1997:        Non       Non       Oui      Oui
1998:        Non       Non       Non      Non
1999:        Non       Non       Non      Non
2000:        Non       Oui       Non      Oui
      bricol cinema sport heures.tv score.ext
1:  Non   Non   Non    0.0      0
2:  Non   Oui   Oui    1.0     10
3:  Non   Non   Oui    0.0      0
4:  Oui   Oui   Oui    2.0     10
5:  Non   Non   Non    3.0      0
---
1996:  Oui   Non   Non    3.0      0
1997:  Oui   Non   Non    0.0     30
1998:  Oui   Oui   Oui    1.4     10
1999:  Non   Oui   Non    0.3     10
2000:  Non   Non   Non    0.0      0

```

```
R> dt[sport == "Oui", score.ext := score.ext + 20]
```

```

      id age sexe
1:   1 28 Femme
2:   2 23 Femme
3:   3 59 Homme
4:   4 34 Homme
5:   5 71 Femme
---
1996: 1996 45 Homme
1997: 1997 46 Homme
1998: 1998 24 Homme
1999: 1999 24 Femme
2000: 2000 66 Femme
                           nivetud
1: Enseignement superieur y compris technique superieur
2:                               NA
3:                         Derniere annee d'etudes primaires
4: Enseignement superieur y compris technique superieur
5:                         Derniere annee d'etudes primaires
---
1996:      Enseignement technique ou professionnel court
1997:      Enseignement technique ou professionnel court
1998:      Enseignement technique ou professionnel long
1999:      Enseignement technique ou professionnel court
2000:      Enseignement technique ou professionnel long
      poids          occup
1: 2634.3982 Exerce une profession
2: 9738.3958    Etudiant, eleve
3: 3994.1025 Exerce une profession
4: 5731.6615 Exerce une profession
5: 4329.0940        Retraite
---
1996: 8092.1473 Exerce une profession
1997: 955.8787 Exerce une profession
1998: 5320.1624 Exerce une profession
1999: 13740.8095 Exerce une profession
2000: 7709.5131        Au foyer
      qualif freres.soeurs cuso
1:       Employe           8 Oui
2:             NA            2 Oui
3:       Technicien         2 Non
4:       Technicien         1 Non
5:       Employe           0 Oui
---
1996:       Technicien         3 Non

```

```

1997: Ouvrier qualifie          4  Oui
1998:      Technicien           1  Oui
1999:      Employe             2  Non
2000:      Employe             3  Non
                               relig
1: Ni croyance ni appartenance
2: Ni croyance ni appartenance
3: Ni croyance ni appartenance
4: Appartenance sans pratique
5:      Pratiquant regulier
---
1996: Ni croyance ni appartenance
1997:      Pratiquant occasionnel
1998:                  Rejet
1999:  Appartenance sans pratique
2000:  Appartenance sans pratique
                               trav.imp   trav.satisf
1:            Peu important Insatisfaction
2:                      NA          NA
3: Aussi important que le reste    Equilibre
4: Moins important que le reste    Satisfaction
5:                      NA          NA
---
1996: Moins important que le reste    Equilibre
1997:      Le plus important    Equilibre
1998: Moins important que le reste    Satisfaction
1999: Moins important que le reste    Equilibre
2000:                      NA          NA
      hard.rock lecture.bd peche.chasse cuisine
1:      Non      Non      Non  Oui
2:      Non      Non      Non  Non
3:      Non      Non      Non  Non
4:      Non      Non      Non  Oui
5:      Non      Non      Non  Non
---
1996:      Non      Non      Non  Non
1997:      Non      Non      Oui  Oui
1998:      Non      Non      Non  Non
1999:      Non      Non      Non  Non
2000:      Non      Oui      Non  Oui
      bricol cinema sport heures.tv score.ext
1:  Non  Non  Non  0.0    0
2:  Non  Oui  Oui  1.0   30
3:  Non  Non  Oui  0.0   20
4:  Oui  Oui  Oui  2.0   30
5:  Non  Non  Non  3.0    0
---

```

1996:	Oui	Non	Non	3.0	0
1997:	Oui	Non	Non	0.0	30
1998:	Oui	Oui	Oui	1.4	30
1999:	Non	Oui	Non	0.3	10
2000:	Non	Non	Non	0.0	0

```
R> table(dt$score.ext)
```

0	10	20	30	40	50	60
800	342	229	509	31	41	48

```
R> dt[cuisine == "Oui" & bricol == "Oui", act.manuelles := "Cuisine et Bricolage"]
```

id	age	sexe
1:	1	28 Femme
2:	2	23 Femme
3:	3	59 Homme
4:	4	34 Homme
5:	5	71 Femme

1996:	1996	45 Homme
1997:	1997	46 Homme
1998:	1998	24 Homme
1999:	1999	24 Femme
2000:	2000	66 Femme
		nivetud
1:	Enseignement superieur y compris technique superieur	NA
2:		NA
3:	Derniere annee d'etudes primaires	
4:	Enseignement superieur y compris technique superieur	
5:	Derniere annee d'etudes primaires	

1996:	Enseignement technique ou professionnel court	
1997:	Enseignement technique ou professionnel court	
1998:	Enseignement technique ou professionnel long	
1999:	Enseignement technique ou professionnel court	
2000:	Enseignement technique ou professionnel long	
	poids	occup
1:	2634.3982	Exerce une profession
2:	9738.3958	Etudiant, eleve
3:	3994.1025	Exerce une profession
4:	5731.6615	Exerce une profession

```

5: 4329.0940          Retraite
---
1996: 8092.1473 Exerce une profession
1997: 955.8787 Exerce une profession
1998: 5320.1624 Exerce une profession
1999: 13740.8095 Exerce une profession
2000: 7709.5131      Au foyer
                  qualif freres.soeurs cuso
1:      Employe          8  Oui
2:            NA           2  Oui
3:      Technicien        2  Non
4:      Technicien        1  Non
5:      Employe          0  Oui
---
1996:      Technicien      3  Non
1997: Ouvrier qualifie    4  Oui
1998:      Technicien      1  Oui
1999:      Employe         2  Non
2000:      Employe         3  Non
relig
1: Ni croyance ni appartenance
2: Ni croyance ni appartenance
3: Ni croyance ni appartenance
4: Appartenance sans pratique
5:      Pratiquant régulier
---
1996: Ni croyance ni appartenance
1997:      Pratiquant occasionnel
1998:          Rejet
1999: Appartenance sans pratique
2000: Appartenance sans pratique
                  trav.imp   trav.satisf
1:          Peu important Insatisfaction
2:                    NA           NA
3: Aussi important que le reste     Equilibre
4: Moins important que le reste    Satisfaction
5:                    NA           NA
---
1996: Moins important que le reste     Equilibre
1997:          Le plus important     Equilibre
1998: Moins important que le reste    Satisfaction
1999: Moins important que le reste     Equilibre
2000:                    NA           NA
hard.rock lecture.bd peche.chasse cuisine
1:      Non      Non      Non      Oui
2:      Non      Non      Non      Non
3:      Non      Non      Non      Non

```

```

4: Non Non Non Oui
5: Non Non Non Non
---
1996: Non Non Non Non
1997: Non Non Oui Oui
1998: Non Non Non Non
1999: Non Non Non Non
2000: Non Oui Non Oui
      bricol cinema sport heures.tv score.ext
1: Non Non Non 0.0 0
2: Non Oui Oui 1.0 30
3: Non Non Oui 0.0 20
4: Oui Oui Oui 2.0 30
5: Non Non Non 3.0 0
---
1996: Oui Non Non 3.0 0
1997: Oui Non Non 0.0 30
1998: Oui Oui Oui 1.4 30
1999: Non Oui Non 0.3 10
2000: Non Non Non 0.0 0
      act.manuelles
1: NA
2: NA
3: NA
4: Cuisine et Bricolage
5: NA
---
1996: NA
1997: Cuisine et Bricolage
1998: NA
1999: NA
2000: NA

```

```
R> dt[cuisine == "Oui" & bricol == "Non", act.manuelles := "Cuisine seulement"]
```

```

      id age sexe
1: 1 28 Femme
2: 2 23 Femme
3: 3 59 Homme
4: 4 34 Homme
5: 5 71 Femme
---
1996: 1996 45 Homme
1997: 1997 46 Homme
1998: 1998 24 Homme

```

```

1999: 1999 24 Femme
2000: 2000 66 Femme
                                nivetud
1: Enseignement superieur y compris technique superieur      NA
2:
3:                               Derniere annee d'etudes primaires
4: Enseignement superieur y compris technique superieur
5:                               Derniere annee d'etudes primaires
---
1996:      Enseignement technique ou professionnel court
1997:      Enseignement technique ou professionnel court
1998:      Enseignement technique ou professionnel long
1999:      Enseignement technique ou professionnel court
2000:      Enseignement technique ou professionnel long
           poids          occup
1: 2634.3982 Exerce une profession
2: 9738.3958    Etudiant, eleve
3: 3994.1025 Exerce une profession
4: 5731.6615 Exerce une profession
5: 4329.0940        Retraite
---
1996: 8092.1473 Exerce une profession
1997: 955.8787 Exerce une profession
1998: 5320.1624 Exerce une profession
1999: 13740.8095 Exerce une profession
2000: 7709.5131        Au foyer
           qualif freres.soeurs cuso
1:     Employe      8 Oui
2:       NA         2 Oui
3:     Technicien    2 Non
4:     Technicien    1 Non
5:     Employe      0 Oui
---
1996:     Technicien    3 Non
1997: Ouvrier qualifie    4 Oui
1998:     Technicien    1 Oui
1999:     Employe      2 Non
2000:     Employe      3 Non
           relig
1: Ni croyance ni appartenance
2: Ni croyance ni appartenance
3: Ni croyance ni appartenance
4: Appartenance sans pratique
5:     Pratiquant regulier
---
1996: Ni croyance ni appartenance
1997:     Pratiquant occasionnel

```

1998:	Rejet			
1999:	Appartenance sans pratique			
2000:	Appartenance sans pratique			
		trav.imp	trav.satisf	
1:	Peu important	Insatisfaction		
2:	NA	NA		
3:	Aussi important que le reste	Equilibre		
4:	Moins important que le reste	Satisfaction		
5:	NA	NA		

1996:	Moins important que le reste	Equilibre		
1997:	Le plus important	Equilibre		
1998:	Moins important que le reste	Satisfaction		
1999:	Moins important que le reste	Equilibre		
2000:	NA	NA		
	hard.rock lecture.bd peche.chasse cuisine			
1:	Non	Non	Non	Oui
2:	Non	Non	Non	Non
3:	Non	Non	Non	Non
4:	Non	Non	Non	Oui
5:	Non	Non	Non	Non

1996:	Non	Non	Non	Non
1997:	Non	Non	Oui	Oui
1998:	Non	Non	Non	Non
1999:	Non	Non	Non	Non
2000:	Non	Oui	Non	Oui
	bricol cinema sport heures.tv score.ext			
1:	Non	Non	0.0	0
2:	Non	Oui	1.0	30
3:	Non	Oui	0.0	20
4:	Oui	Oui	2.0	30
5:	Non	Non	3.0	0

1996:	Oui	Non	3.0	0
1997:	Oui	Non	0.0	30
1998:	Oui	Oui	1.4	30
1999:	Non	Oui	0.3	10
2000:	Non	Non	0.0	0
	act.manuelles			
1:	Cuisine seulement			
2:	NA			
3:	NA			
4:	Cuisine et Bricolage			
5:	NA			

1996:	NA			

```
1997: Cuisine et Bricolage
1998: NA
1999: NA
2000: Cuisine seulement
```

```
R> dt[cuisine == "Non" & bricol == "Oui", act.manuelles := "Bricolage seulement"]
```

```
      id age sexe
1:   1 28 Femme
2:   2 23 Femme
3:   3 59 Homme
4:   4 34 Homme
5:   5 71 Femme
---
1996: 1996 45 Homme
1997: 1997 46 Homme
1998: 1998 24 Homme
1999: 1999 24 Femme
2000: 2000 66 Femme
                               nivetud
1: Enseignement superieur y compris technique superieur
2:                                         NA
3:                               Derniere annee d'etudes primaires
4: Enseignement superieur y compris technique superieur
5:                               Derniere annee d'etudes primaires
---
1996:     Enseignement technique ou professionnel court
1997:     Enseignement technique ou professionnel court
1998:     Enseignement technique ou professionnel long
1999:     Enseignement technique ou professionnel court
2000:     Enseignement technique ou professionnel long
      poids          occup
1: 2634.3982 Exerce une profession
2: 9738.3958    Etudiant, eleve
3: 3994.1025 Exerce une profession
4: 5731.6615 Exerce une profession
5: 4329.0940    Retraite
---
1996: 8092.1473 Exerce une profession
1997: 955.8787 Exerce une profession
1998: 5320.1624 Exerce une profession
1999: 13740.8095 Exerce une profession
2000: 7709.5131    Au foyer
      qualif freres.soeurs cuso
1: Employe          8 Oui
```

2:	NA	2	Oui
3:	Technicien	2	Non
4:	Technicien	1	Non
5:	Employe	0	Oui

1996:	Technicien	3	Non
1997:	Ouvrier qualifie	4	Oui
1998:	Technicien	1	Oui
1999:	Employe	2	Non
2000:	Employe	3	Non
relig			
1:	Ni croyance ni appartenance		
2:	Ni croyance ni appartenance		
3:	Ni croyance ni appartenance		
4:	Appartenance sans pratique		
5:	Pratiquant regulier		

1996:	Ni croyance ni appartenance		
1997:	Pratiquant occasionnel		
1998:	Rejet		
1999:	Appartenance sans pratique		
2000:	Appartenance sans pratique		
trav.imp trav.satisf			
1:	Peu important	Insatisfaction	
2:	NA	NA	
3:	Aussi important que le reste	Equilibre	
4:	Moins important que le reste	Satisfaction	
5:	NA	NA	

1996:	Moins important que le reste	Equilibre	
1997:	Le plus important	Equilibre	
1998:	Moins important que le reste	Satisfaction	
1999:	Moins important que le reste	Equilibre	
2000:	NA	NA	
hard.rock lecture.bd peche.chasse cuisine			
1:	Non	Non	Oui
2:	Non	Non	Non
3:	Non	Non	Non
4:	Non	Non	Oui
5:	Non	Non	Non

1996:	Non	Non	Non
1997:	Non	Oui	Oui
1998:	Non	Non	Non
1999:	Non	Non	Non
2000:	Non	Oui	Oui
bricol cinema sport heures.tv score.ext			

```

1: Non Non Non 0.0 0
2: Non Oui Oui 1.0 30
3: Non Non Oui 0.0 20
4: Oui Oui Oui 2.0 30
5: Non Non Non 3.0 0
---
1996: Oui Non Non 3.0 0
1997: Oui Non Non 0.0 30
1998: Oui Oui Oui 1.4 30
1999: Non Oui Non 0.3 10
2000: Non Non Non 0.0 0
      act.manuelles
1: Cuisine seulement
2: NA
3: NA
4: Cuisine et Bricolage
5: NA
---
1996: Bricolage seulement
1997: Cuisine et Bricolage
1998: Bricolage seulement
1999: NA
2000: Cuisine seulement

```

```
R> dt[cuisine == "Non" & bricol == "Non", act.manuelles := "Ni cuisine ni bricolage"]
```

```

      id age sexe
1: 1 28 Femme
2: 2 23 Femme
3: 3 59 Homme
4: 4 34 Homme
5: 5 71 Femme
---
1996: 1996 45 Homme
1997: 1997 46 Homme
1998: 1998 24 Homme
1999: 1999 24 Femme
2000: 2000 66 Femme
      nivetud
1: Enseignement superieur y compris technique superieur
2: NA
3: Derniere annee d'etudes primaires
4: Enseignement superieur y compris technique superieur
5: Derniere annee d'etudes primaires

```

1996: Enseignement technique ou professionnel court
 1997: Enseignement technique ou professionnel court
 1998: Enseignement technique ou professionnel long
 1999: Enseignement technique ou professionnel court
 2000: Enseignement technique ou professionnel long
 poids occup
 1: 2634.3982 Exerce une profession
 2: 9738.3958 Etudiant, eleve
 3: 3994.1025 Exerce une profession
 4: 5731.6615 Exerce une profession
 5: 4329.0940 Retraite

1996: 8092.1473 Exerce une profession
 1997: 955.8787 Exerce une profession
 1998: 5320.1624 Exerce une profession
 1999: 13740.8095 Exerce une profession
 2000: 7709.5131 Au foyer
 qualif freres.soeurs cuso
 1: Employe 8 Oui
 2: NA 2 Oui
 3: Technicien 2 Non
 4: Technicien 1 Non
 5: Employe 0 Oui

1996: Technicien 3 Non
 1997: Ouvrier qualifie 4 Oui
 1998: Technicien 1 Oui
 1999: Employe 2 Non
 2000: Employe 3 Non
 relig
 1: Ni croyance ni appartenance
 2: Ni croyance ni appartenance
 3: Ni croyance ni appartenance
 4: Appartenance sans pratique
 5: Pratiquant regulier

1996: Ni croyance ni appartenance
 1997: Pratiquant occasionnel
 1998: Rejet
 1999: Appartenance sans pratique
 2000: Appartenance sans pratique
 trav.imp trav.satisf
 1: Peu important Insatisfaction
 2: NA NA
 3: Aussi important que le reste Equilibre
 4: Moins important que le reste Satisfaction

```

5:                               NA      NA
---
1996: Moins important que le reste      Equilibre
1997:          Le plus important      Equilibre
1998: Moins important que le reste      Satisfaction
1999: Moins important que le reste      Equilibre
2000:                               NA      NA
      hard.rock lecture.bd peche.chasse cuisine
1:    Non     Non     Non     Oui
2:    Non     Non     Non     Non
3:    Non     Non     Non     Non
4:    Non     Non     Non     Oui
5:    Non     Non     Non     Non
---
1996:      Non     Non     Non     Non
1997:      Non     Non     Oui     Oui
1998:      Non     Non     Non     Non
1999:      Non     Non     Non     Non
2000:      Non     Oui     Non     Oui
      bricol cinema sport heures.tv score.ext
1:    Non     Non     Non     0.0      0
2:    Non     Oui     Oui     1.0     30
3:    Non     Non     Oui     0.0     20
4:    Oui     Oui     Oui     2.0     30
5:    Non     Non     Non     3.0      0
---
1996:    Oui     Non     Non     3.0      0
1997:    Oui     Non     Non     0.0     30
1998:    Oui     Oui     Oui     1.4     30
1999:    Non     Oui     Non     0.3     10
2000:    Non     Non     Non     0.0      0
      act.manuelles
1:    Cuisine seulement
2: Ni cuisine ni bricolage
3: Ni cuisine ni bricolage
4:    Cuisine et Bricolage
5: Ni cuisine ni bricolage
---
1996:    Bricolage seulement
1997: Cuisine et Bricolage
1998:    Bricolage seulement
1999: Ni cuisine ni bricolage
2000:    Cuisine seulement

```

```
R> table(dt$act.manuelles)
```

Bricolage seulement	Cuisine et Bricolage
437	416
Cuisine seulement Ni cuisine ni bricolage	
465	682

O♦ trouver de l♦ aide??

Aide en ligne	193
Aide sur une fonction	194
Naviguer dans l♦ aide	195
Ressources sur le Web	195
Moteur de recherche	195
Aide en ligne	196
Ressources officielles	196
Revue	198
Ressources francophones	198
RStudio	199
Antis♦ches (cheatsheet)	199
O♦ poser des questions?	199
Les forums d♦analyse-R	199
Liste R-soc	199
StackOverflow	200
Forum Web en fran♦ais	200
Canaux IRC (chat)	200
Listes de discussion officielles	201

NOTE

La version originale de ce chapitre a ♦t♦ écrite par Julien Barnier dans le cadre du support de cours [Introduction ♦ R](#).

Aide en ligne

R dispose d♦une aide en ligne tr♦s compl♦te, mais dont l♦usage n♦est pas forc♦ment tr♦s simple. D♦une part car elle est int♦gralement en anglais, d♦autre part car son organisation prend un certain temps ♦ tre ma♦trise.

Aide sur une fonction

La fonction la plus utile est sans doute `help` (ou son équivalent `?`) qui permet d'afficher la page d'aide liée à une ou plusieurs fonctions. Celle-ci permet de lister les arguments de la fonction, d'avoir des informations détaillées sur son fonctionnement, les résultats qu'elle retourne, etc.

Pour accéder à l'aide de la fonction `mean`, par exemple, il vous suffit de saisir directement :

```
R> ?mean
```

ou bien

```
R> help("mean")
```

Sous **RStudio**, la page d'aide correspondante s'affichera sous l'onglet *Help* dans le quadrant inférieur droit.

Chaque page d'aide comprend plusieurs sections, en particulier :

Section	Contenu
<i>Description</i>	donne un résumé en une phrase de ce que fait la fonction
<i>Usage</i>	indique la ou les manières de l'utiliser
<i>Arguments</i>	détaille tous les arguments possibles et leur signification
<i>Value</i>	indique la forme du résultat renvoyé par la fonction
<i>Details</i>	apporte des précisions sur le fonctionnement de la fonction
<i>Note</i>	pour des remarques éventuelles
<i>References</i>	pour des références bibliographiques ou des URL associées
<i>See Also</i>	très utile, renvoie vers d'autres fonctions semblables ou liées, ce qui peut être très utile pour découvrir ou retrouver une fonction dont on a oublié le nom
<i>Examples</i>	série d'exemples d'utilisation

Les exemples peuvent être directement exécutés en utilisant la fonction `example` :

```
R> example(mean)
```

```
mean> x <- c(0:10, 50)
mean> xm <- mean(x)
mean> c(xm, mean(x, trim = 0.10))
[1] 8.75 5.50
```

Naviguer dans l'aide

La fonction `help.start()` permet d'afficher le sommaire de l'aide en ligne. Saisissez simplement :

```
R> help.start()
```

Si vous souhaitez rechercher quelque chose dans le contenu de l'aide, vous pouvez utiliser la fonction `help.search()` (ou `??` qui est équivalente) qui renvoie une liste des pages d'aide contenant les termes recherchés.

Par exemple :

```
R> help.search("logistic")
```

ou

```
R> ??logistic
```

pour rechercher les pages de l'aide qui contiennent le terme *logistic*.

Ressources sur le Web

De nombreuses ressources existent en ligne, mais la plupart sont en anglais.

Moteur de recherche

Le fait que le logiciel s'appelle R ne facilite malheureusement pas les recherches sur le Web. La solution à ce problème a été trouvée grâce à la constitution d'un moteur de recherche *ad hoc*

partir de Google, nommée **Rseek**:

<http://www.rseek.org/>.

Les requêtes saisies dans **Rseek** sont exécutées dans des corpus préparés liés à R, notamment les documents et manuels, les listes de discussion ou le code source du programme.

Les requêtes devront cependant être formulées en anglais.

Aide en ligne

Le site **R documentation** propose un accès clair et rapide à la documentation de R et des extensions hébergées sur le **CRAN** (ainsi que certaines extensions hébergées sur **GitHub**). Il permet notamment de rechercher et naviguer facilement entre les pages des différentes fonctions :

<http://www.rdocumentation.org/>.

Ressources officielles

La documentation officielle de R est accessible en ligne depuis le site du projet :

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

Les liens de l’entrée *Documentation* du menu de gauche vous permettent d'accéder à différentes ressources.

Manuels

Les *manuels* sont des documents complets de présentation de certains aspects de R. Ils sont accessibles en ligne, ou téléchargeables au format **PDF**:

<http://cran.r-project.org/manuals.html>.

On notera plus particulièrement *An introduction to R*, normalement destinée aux débutants, mais qui nécessite quand même un minimum d'aisance en informatique et en statistiques :

<http://cran.r-project.org/doc/manuals/R-intro.html>.

R Data Import/Export explique notamment comment importer des données depuis d'autres logiciels :

<http://cran.r-project.org/doc/manuals/R-data.html>.

FAQ

Les FAQ (frequently asked questions) regroupent des questions fréquemment posées et leurs réponses. À lire donc ou, au moins, parcourir avant toute chose :

<http://cran.r-project.org/faqs.html>.

La FAQ la plus utile est la FAQ généraliste sur R :

<http://cran.r-project.org/doc/FAQ/R-FAQ.html>.

Mais il existe également une FAQ dédiée aux questions liées à Windows et une autre à la plateforme Mac OS X.

NOTE

Les manuels et les FAQ sont accessibles même si vous n'avez pas d'accès à Internet en utilisant la fonction `help.start` décrite précédemment.

R-announce

R-announce est la liste de diffusion électronique officielle du projet. Elle ne comporte qu'un nombre réduit de messages (quelques-uns par mois tout au plus) et diffuse les annonces concernant de nouvelles versions de R ou d'autres informations particulièrement importantes. On peut s'y abonner à l'adresse suivante :

<https://stat.ethz.ch/mailman/listinfo/r-announce>

R Journal

R Journal est la revue officielle du projet R, qui a succédé à la lettre de nouvelles **R News**. Elle paraît entre deux et cinq fois par an et contient des informations sur les nouvelles versions du logiciel, des articles présentant des extensions, des exemples d'analyse. Les parutions sont annoncées sur la liste de diffusion **R-announce** et les numéros sont téléchargeables à l'adresse suivante :

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

Autres documents

On trouvera de nombreux documents dans différentes langues, en général au format PDF, dans le répertoire suivant :

<http://cran.r-project.org/doc/contrib/>.

Parmi ceux-ci, les cartes de référence peuvent être très utiles, ce sont des aides-mémoire recensant les fonctions les plus courantes :

<http://cran.r-project.org/doc/contrib/Short-refcard.pdf>

On notera également un document d'introduction en anglais progressif et s'appuyant sur des méthodes statistiques relativement simples :

<http://cran.r-project.org/doc/contrib/Verzani-SimpleR.pdf>

Pour les utilisateurs déjà habitués à SAS ou SPSS, le livre *R for SAS and SPSS Users* et le document gratuit qui en est tiré peuvent être de bonnes ressources, tout comme le site web Quick-R : <http://rforsasandspssusers.com/> et <http://www.statmethods.net/>.

Revue

La revue *Journal of Statistical Software* est une revue électronique anglophone, dont les articles sont en accès libre, et qui traite de l’utilisation de logiciels d’analyse de données dans un grand nombre de domaines. De nombreux articles (la majorité) sont consacrés à R et à la présentation d’extensions plus ou moins spécialisées.

Les articles qui y sont publiés prennent souvent la forme de tutoriels plus ou moins accessibles mais qui fournissent souvent une bonne introduction et une ressource riche en informations et en liens.

Adresse de la revue :

<http://www.jstatsoft.org/>

Ressources francophones

Il existe des ressources en français sur l’utilisation de R, mais peu sont réellement destinées aux débutants, elles nécessitent en général des bases à la fois en informatique et en statistique.

Le document le plus abordable et le plus complet est sans doute *R pour les débutants*, d’Emmanuel Paradis, accessible au format PDF :

http://cran.r-project.org/doc/contrib/Paradis-rdebut斯_fr.pdf.

La somme de documentation en français la plus importante liée à R est sans nulle doute celle mise à disposition par le Pôle bioinformatique lyonnais. Leur site propose des cours complets de statistique utilisant R :

<http://pbil.univ-lyon1.fr/R/enseignement.html>.

La plupart des documents sont assez pointus niveau mathématique et plutôt orientés biostatistique, mais on trouvera des documents plus introductifs ici :

<http://pbil.univ-lyon1.fr/R/html/cours1>.

Dans tous les cas la somme de travail et de connaissances mise à disposition librement est impressionnante. Enfin, le site de Vincent Zoonekynd (http://zoonek2.free.fr/UNIX/48_R_2004/all.html) comprend de nombreuses notes prises au cours de sa découverte du logiciel. On notera cependant que l’auteur est normalien et docteur en mathématiques.

RStudio

La documentation officielle de **RStudio** est disponible sur <https://support.rstudio.com> (catégorie Documentation disponible en milieu de page).

Antisères (cheatsheet)

On peut trouver un peu partout sur internet des antisères (*cheatsheets* en anglais) qui sont en général un fichier PDF résumant les principales fonctions d'une extension ou d'un package donné. Ces antisères peuvent être imprimées afin de les avoir facilement à porter de main.

Pour les trouver, il suffit d'effectuer une recherche **Google** avec les mots-clés `R cheatsheet` ou `<pkg> cheatsheet` en remplaçant `<pkg>` par le nom du package qui nous intéressera.

Où poser des questions ?

La communauté des utilisateurs de R est très active et en général très contente de pouvoir répondre aux questions (nombreuses) des débutants et à celles (tout aussi nombreuses) des utilisateurs plus expérimentés. Dans tous les cas, les règles de base à respecter avant de poser une question sont toujours les mêmes : avoir cherché soi-même la réponse auparavant, notamment dans les FAQ et dans l'aide en ligne, et poser sa question de la manière la plus claire possible, de préférence avec un exemple de code posant problème.

Les forums d'analyse-R

En premier lieu (autopromotion oblige), chaque chapitre du site d'analyse-R (<http://larmarange.github.io/analyse-R/>) comporte en bas de page une fonctionnalité permettant de laisser des commentaires. On peut donc y poser une question en lien avec le chapitre concerné.

Liste R-soc

Une liste de discussion a été créée spécialement pour permettre aide et échanges autour de l'utilisation de R en sciences sociales. Elle est hébergée par le CRU et on peut s'y abonner à l'adresse suivante :

<https://listes.cru.fr/sympa/subscribe/r-soc>.

Grâce aux services offerts par le site gmane.org, la liste est également disponible sous d’autres formes (forum Web, blog, **NNTP**, flux **RSS**) permettant de lire et de poster sans avoir à s’inscrire et à recevoir les messages sous forme de courrier électronique. Pour plus d’informations :

<http://dir.gmane.org/gmane.comp.lang.r.user.french>.

StackOverflow

Le site **StackOverflow** (qui fait partie de la famille des sites **StackExchange**) comprend une section (anglophone) dédiée à R qui permet de poser des questions et en général d’obtenir des réponses assez rapidement :

<http://stackoverflow.com/questions/tagged/r>.

La première chose à faire, évidemment, est de vérifier que sa question n’a pas déjà été posée.

Forum Web en français

Le Cirad a mis en ligne un forum dédié aux utilisateurs de R, très actif :

<http://forums.cirad.fr/logiciel-R/index.php>.

Les questions diverses et variées peuvent être posées dans la rubrique *Questions en cours* :

<http://forums.cirad.fr/logiciel-R/viewforum.php?f=3>.

Il est tout de même conseillé de faire une recherche rapide sur le forum avant de poser une question, pour voir si la réponse ne se trouve pas déjà.

Canaux IRC (chat)

L’IRC, ou *Internet Relay Chat* est le véritable ancêtre toujours très actif des messageries instantanées actuelles. Un canal (en anglais) est notamment dédié aux échanges autour de R (#R).

Si vous avez déjà l’habitude d’utiliser **IRC**, il vous suffit de pointer votre client **privfr** sur **Freenode** (`irc.freenode.net`) puis de rejoindre l’un des canaux en question.

Sinon, le plus simple est certainement d’utiliser l’interface web de **Mibbit**, accessible à l’adresse <http://www.mibbit.com/>.

Dans le champ *Connect to IRC*, sélectionnez *Freenode.net*, puis saisissez un pseudonyme dans le champ *Nick* et #R dans le champ *Channel*. Vous pourrez alors discuter directement avec les personnes présentes.

Le canal #R est normalement peuplé de personnes qui seront très heureuses de répondre à toutes les questions, et en général l’ambiance y est très bonne. Une fois votre question posée, n’hésitez pas

♦♦tre patient et ♦♦ attendre quelques minutes, voire quelques heures, le temps qu♦un des habitu♦s vienne y faire un tour.

Listes de discussion officielles

La liste de discussion d♦entraide (par courrier ♦lectronique) officielle du logiciel R s♦appelle **R-help**. On peut s♦y abonner ♦ l♦adresse suivante, mais il s♦agit d♦une liste avec de nombreux messages♦: <https://stat.ethz.ch/mailman/listinfo/r-help>.

Pour une consultation ou un envoi ponctuels, le mieux est sans doute d♦utiliser les interfaces Web fournies par **gmane.org**♦:

<http://blog.gmane.org/gmane.comp.lang.r.general>.

R-help est une liste avec de nombreux messages, suivie par des sp♦cialistes de R, dont certains des d♦veloppeurs principaux. Elle est cependant ♦ r♦server aux questions particuli♦rement techniques qui n♦ont pas trouv♦ de r♦ponses par d♦autres biais.

Dans tous les cas, il est n♦cessaire avant de poster sur cette liste de bien avoir pris connaissance du *posting guide* correspondant♦:

<http://www.r-project.org/posting-guide.html>.

Plusieurs autres listes plus sp♦cialis♦es existent ♦galement, elles sont list♦es ♦ l♦adresse suivante♦:

<http://www.r-project.org/mail.html>.

Introduction ♦ dplyr

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours de écriture.

Introduction ↗ data.table

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Doublons

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Tris

Fonctions R de base	209
Extension dplyr	212
Extension data.table	212

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Dans ce qui suit on travaillera sur le jeu de données tiré de l'enquête *Histoire de vie*, fourni avec l'extension `questionr`.

```
R> library(questionr)
  data(hdv2003)
  d <- hdv2003
```

Fonctions R de base

La fonction `sort` permet de trier les éléments d'un vecteur.

```
R> sort(c(2, 5, 6, 1, 8))
```

```
[1] 1 2 5 6 8
```

On peut appliquer cette fonction à une variable, mais celle-ci ne permet que d'ordonner les valeurs de cette variable, et pas l'ensemble du tableau de données dont elle fait partie. Pour cela nous avons besoin d'une autre fonction, nommée `order`. Celle-ci ne renvoie pas les valeurs du vecteur triées, mais les emplacements de ces valeurs.

Un exemple pour comprendre :

```
R> order(c(15, 20, 10))
```

```
[1] 3 1 2
```

Le résultat renvoyé signifie que la plus petite valeur est la valeur située en 3^e position, suivie de celle en 1^{re} position et de celle en 2^e position. Tout cela ne paraît pas passionnant à première vue, mais si on mélange ce résultat avec un peu d'indexation directe, ça devient intéressant !

```
R> head(order(d$age))
```

```
[1] 162 215 346 377 511 646
```

Ce que cette fonction renvoie, c'est l'ordre dans lequel on doit placer les éléments de `age`, et donc par extension les lignes de `d`, pour que la variable soit triée par ordre croissant. Par conséquent, si on fait :

```
R> d.tri <- d[order(d$age), ]
```

Alors on a trié les lignes de d par ordre de Δ croissant ! Et si on fait un petit :

```
R> head(d.tri, 3)
```

	id	age	sexe	nivetud	poids			
162	162	18	Homme	<NA>	4982.964			
215	215	18	Homme	<NA>	4631.188			
346	346	18	Femme	<NA>	1725.410			
			occup	qualif	freres.soeurs	clso		
162	Etudiant,	eleve	<NA>			2	Non	
215	Etudiant,	eleve	<NA>			2	Oui	
346	Etudiant,	eleve	<NA>			9	Non	
				relig	trav.imp			
162	Appartenance	sans pratique		<NA>				
215	Ni croyance	ni appartenance		<NA>				
346	Pratiquant	regulier		<NA>				
			trav.satisf	hard.rock	lecture.bd	peche.chasse		
162		<NA>		Non		Non		Non
215		<NA>		Non		Non		Non
346		<NA>		Non		Non		Non
			cuisine	bricol	cinema	sport	heures.tv	
162		Non	Non	Non	Oui		3	

215	Oui	Non	Oui	Oui	2
346	Non	Non	Oui	Non	2

On a les caractéristiques des trois enquêtés les plus jeunes.

On peut également trier par ordre décroissant en utilisant l'option `decreasing=TRUE`. On peut donc afficher les caractéristiques des trois individus les plus âgés avec :

```
R> head(d[order(d$age, decreasing = TRUE), ], 3)
```

	id	age	sexe		nivetud	poids
1916	1916	97	Femme			
270	270	96	Femme			
1542	1542	93	Femme			
				occup	qualif	freres.soeurs
1916				Autre	inactif	Autre
270				Retraite		<NA>
1542				Retire des affaires		<NA>
				calso	relig	trav.imp
1916				Non	Pratiquant occasionnel	<NA>
270				Oui	Ni croyance ni appartenance	<NA>
1542				Non	Pratiquant occasionnel	<NA>
				trav.satisf	hard.rock	lecture.bd
1916				<NA>	Non	Non
270				<NA>	Non	Non
1542				<NA>	Non	Non
				peche.chasse	cuisine	bricol cinema sport
1916				Non	Non	Non
270				Non	Non	Non
1542				Non	Non	Oui
				heures.tv		
1916				3		
270				6		
1542				3		

On peut également trier selon plusieurs variables. Ainsi, si l'on souhaite trier le tableau par sexe puis, au sein de chaque sexe, par age :

```
R> d.tri <- d[order(d$sexe, d$age), ]
```

NOTE

Si l’on transmets une variable textuelle, le tri sera réalisée de manière alphabétique alors que si l’on transmet un facteur, le tri sera effectué selon l’ordre des facteurs (que l’on peut visualiser avec `levels`).

Extension dplyr

Extension data.table

Sous-ensembles

Par indexation	213
Fonction subset	215
Fonction tapply	217
Extension dplyr	219
Extension data.table	219

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Dans ce qui suit on travaillera sur le jeu de données tiré de l'enquête *Histoire de vie*, fourni avec l'extension [questionr](#).

```
R> library(questionr)
  data(hdv2003)
  d <- hdv2003
```

Par indexation

La première manière de construire des sous-populations est d'utiliser l'indexation par conditions. On peut ainsi facilement sélectionner une partie des observations suivant un ou plusieurs critères et placer le résultat dans un nouveau tableau de données.

Par exemple si l'on souhaite isoler les hommes et les femmes :

```
R> dh <- d[d$sex == "Homme", ]
  df <- d[d$sex == "Femme", ]
  table(d$sex)
```

```
Homme Femme
 899   1101
```

```
R> dim(dh)
```

```
[1] 899 20
```

```
R> dim(df)
```

```
[1] 1101 20
```

On a à partir de l' trois tableaux de données, `d` comportant la population totale, `dh` seulement les hommes et `df` seulement les femmes.

On peut également combiner plusieurs critères :

```
R> dh.25 <- d[d$sex == "Homme" & d$age <= 25, ]
  dim(dh.25)
```

```
[1] 86 20
```

Si on utilise directement l'indexation, il convient cependant d'être extrêmement prudent avec les valeurs manquantes. Comme indiqué précédemment, la présence d'une valeur manquante dans une condition fait que celle-ci est évaluée en `NA` et qu'au final la ligne correspondante est conservée par l'indexation :

```
R> summary(d$trav.satisf)
```

Satisfaction	Insatisfaction	Equilibre
480	117	451
NA's		
952		

```
R> d.satisf <- d[d$trav.satisf == "Satisfaction", ]
  dim(d.satisf)
```

```
[1] 1432 20
```

Comme on le voit, ici `d.satisf` contient les individus ayant la modalité `Satisfaction` mais aussi ceux ayant une valeur manquante `NA`. C'est pourquoi il faut toujours soit vérifier au préalable qu'on n'a pas de valeurs manquantes dans les variables de la condition, soit exclure explicitement les `NA` de la manière suivante :

```
R> d.satisf <- d[d$trav.satisf == "Satisfaction" & !is.na(d$trav.satisf),
  ]
  dim(d.satisf)
```

```
[1] 480 20
```

C'est notamment pour cette raison qu'on priviliera le plus souvent utiliser la fonction `subset`.

Fonction `subset`

La fonction `subset` permet d'extraire des sous-populations de manière plus simple et un peu plus intuitive que l'indexation directe.

Celle-ci prend trois arguments principaux :

- le nom de l'objet de départ ;
- une condition sur les observations (`subset`) ;
- éventuellement une condition sur les colonnes (`select`).

Reprendons tout de suite un exemple déjà vu :

```
R> dh <- subset(d, sexe == "Homme")
  df <- subset(d, sexe == "Femme")
```

L'utilisation de `subset` présente plusieurs avantages. Le premier est d'économiser quelques touches. On n'est en effet pas obligé de saisir le nom du tableau de données dans la condition sur les lignes. Ainsi les deux commandes suivantes sont équivalentes :

```
R> dh <- subset(d, d$sex == "Homme")
dh <- subset(d, sexe == "Homme")
```

Le second avantage est que `subset` s'occupe du problème des valeurs manquantes `NA` et les exclut de lui-même, contrairement au comportement par défaut :

```
R> summary(d$trav.satisf)
```

Satisfaction	Insatisfaction	Equilibre
480	117	451
NA's		
952		

```
R> d.satisf <- d[d$trav.satisf == "Satisfaction", ]
dim(d.satisf)
```

```
[1] 1432 20
```

```
R> d.satisf <- subset(d, trav.satisf == "Satisfaction")
dim(d.satisf)
```

```
[1] 480 20
```

Dans le cas présent, l'extraction obtenue avec `subset` est équivalente à :

```
R> d.satisf <- d[d$trav.satisf == "Satisfaction" & !is.na(d$trav.satisf),
      ]
dim(d.satisf)
```

```
[1] 480 20
```

Enfin, l'utilisation de l'argument `select` est simplifiée pour l'expression de condition sur les colonnes. On peut ainsi spécifier les noms de variable sans guillemets et leur appliquer directement l'opérateur d'exclusion `-` :

```
R> d2 <- subset(d, select = c(sexe, sport))
d2 <- subset(d, age > 25, select = -c(id, age, cinema))
```

Fonction tapply

NOTE

Cette section documente une fonction qui peut être très utile, mais pas forcément indispensable au départ.

La fonction `tapply` n'est qu'indirectement liée à la notion de sous-population, mais peut permettre d'éviter d'avoir à créer ces sous-populations dans certains cas.

Son fonctionnement est assez simple, mais pas forcément intuitif. La fonction prend trois arguments : un vecteur, un facteur et une fonction. Elle applique ensuite la fonction aux éléments du vecteur correspondant à un même niveau du facteur. Vite, un exemple !

```
R> tapply(d$age, d$sex, mean)
```

Homme	Femme
48.16129	48.15350

Qu'est-ce que ça signifie ? Ici `tapply` a sélectionné toutes les observations correspondant à Homme, puis appliquée la fonction `mean` aux valeurs de `age` correspondantes. Puis elle a fait de même pour les observations correspondant à Femme. On a donc ici la moyenne d'âge chez les hommes et chez les femmes.

On peut fournir peu près n'importe quelle fonction à `tapply` :

```
R> tapply(d$bricol, d$sex, freq)
```

\$Homme
n % val%
Non 384 42.7 42.7
Oui 515 57.3 57.3
NA 0 0.0 NA

\$Femme
n % val%
Non 763 69.3 69.3
Oui 338 30.7 30.7
NA 0 0.0 NA

Les arguments supplémentaires fournis à `tapply` sont en fait fournis directement à la fonction appelée.

```
R> tapply(d$bricol, d$sex, freq, total = TRUE)
```

```
$Homme
      n      %    val%
Non   384  42.7  42.7
Oui   515  57.3  57.3
NA     0   0.0    NA
Total 899 100.0 100.0
```

```
$Femme
      n      %    val%
Non   763  69.3  69.3
Oui   338  30.7  30.7
NA     0   0.0    NA
Total 1101 100.0 100.0
```

NOTE

La fonction `by` est un équivalent (pour les tableaux de données) de `tapply`. La présentation des résultats diffère largement.

```
R> tapply(d$age, d$sex, mean)
```

```
Homme      Femme
48.16129  48.15350
```

```
R> by(d$age, d$sex, mean)
```

```
d$sex: Homme
[1] 48.16129
-----
d$sex: Femme
[1] 48.1535
```

Extension dplyr

Extension data.table

Fusion de tables

Un premier exemple : les enquêtes INSEE	221
Un second exemple : une enquête ménage	225
Extension dplyr	225
Extension data.table	225

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Un premier exemple : les enquêtes INSEE

Lorsqu'on traite de grosses enquêtes, notamment les enquêtes de l'INSEE, on a souvent à gérer des données réparties dans plusieurs tables, soit du fait de la construction du questionnaire, soit du fait de contraintes techniques (fichiers **dbf** ou **Excel** limités à 256 colonnes, par exemple).

Une opération relativement courante consiste à fusionner plusieurs tables pour regrouper tout ou partie des données dans un unique tableau.

Nous allons simuler artificiellement une telle situation en créant deux tables à partir de l'extrait de l'enquête *Histoire de vie*:

```
R> library(questionr)
    data(hdv2003)
    d <- hdv2003
    dim(d)
```

```
[1] 2000    20
```

```
R> d1 <- subset(d, select = c("id", "age", "sexe"))
    dim(d1)
```

[1] 2000 3

```
R> d2 <- subset(d, select = c("id", "clso"))
    dim(d2)
```

[1] 2000 2

On a donc deux tableaux de données, `d1` et `d2`, comportant chacun 2000 lignes et respectivement 3 et 2 colonnes. Comment les rassembler pour en former un ?

Intuitivement, cela paraît simple. Il suffit de coller d₂ la droite de d₁, comme dans l'exemple suivant.

id	v1	v2		id	v3		id	v1	v2	v3
1	H	12		1	rouge		1	H	12	rouge
2	H	17	+	2	bleu	=	2	H	17	bleu
3	F	41		3	bleu		3	F	41	bleu
4	F	9		4	rouge		4	F	9	rouge
?	?	?		?	?	?	?	?	?	?

Cela semble fonctionner. La fonction qui permet d'effectuer cette opération sous R s'appelle `cbind`, elle colle des tableaux côte à côte en regroupant leurs colonnes¹.

```
R> head(cbind(d1, d2))
```

	id	age	sexe	id	clos
1	1	28	Femme	1	Oui
2	2	23	Femme	2	Oui
3	3	59	Homme	3	Non
4	4	34	Homme	4	Non
5	5	71	Femme	5	Oui
6	6	35	Femme	6	Non

1. L'equivalent de `cbind` pour les lignes s'appelle `rbind`.

♦ part le fait qu♦on a une colonne *id* en double, le r♦sultat semble satisfaisant. ♦ première vue seulement. Imaginons maintenant que nous avons travaill♦ sur *d1* et *d2*, et que nous avons ordonné les lignes de *d1* selon l♦ge des enquêt♦s♦:

```
R> d1 <- d1[order(d1$age), ]
```

R♦p♦tons l♦op♦ration de collage♦:

```
R> head(cbind(d1, d2))
```

	<i>id</i>	<i>age</i>	<i>sexe</i>	<i>id</i>	<i>clso</i>
162	162	18	Homme	1	Oui
215	215	18	Homme	2	Oui
346	346	18	Femme	3	Non
377	377	18	Homme	4	Non
511	511	18	Homme	5	Oui
646	646	18	Homme	6	Non

Que constate-t-on♦? La pr♦sence de la variable *id* en double nous permet de voir que les identifiants ne co♦ncident plus♦! En regroupant nos colonnes nous avons donc attribué ♦ des individus les r♦ponces d♦autres individus.

La commande `cbind` ne peut en effet fonctionner que si les deux tableaux ont exactement le m♦me nombre de lignes, et dans le m♦me ordre, ce qui n♦est pas le cas ici.

On va donc ♦tre oblig♦ de proc♦der ♦ une fusion des deux tableaux, qui va permettre de rendre ♦ chaque ligne ce qui lui appartient. Pour cela nous avons besoin d♦un identifiant qui permet d♦identifier chaque ligne de mani♦re unique et qui doit ♦tre pr♦sent dans tous les tableaux. Dans notre cas, c♦est plut♦t rapide, il s♦agit de la variable *id*.

Une fois l♦identifiant identifié², on peut utiliser la commande `merge`. Celle-ci va fusionner les deux tableaux en supprimant les colonnes en double et en regroupant les lignes selon leurs identifiants♦:

```
R> d.complet <- merge(d1, d2, by = "id")
head(d.complet)
```

	<i>id</i>	<i>age</i>	<i>sexe</i>	<i>clso</i>
1	1	28	Femme	Oui
2	2	23	Femme	Oui
3	3	59	Homme	Non
4	4	34	Homme	Non

2. Si vous me passez l♦expression♦

5	5	71	Femme	Oui
6	6	35	Femme	Non

Ici l'utilisation de la fonction `merge` est plutôt simple car nous sommes dans le cas de figure idéal : les lignes correspondent parfaitement et l'identifiant est clairement identifié. Parfois les choses peuvent être un peu plus compliquées :

- parfois les identifiants n'ont pas le même nom dans les deux tableaux. On peut alors les spécifier par les options `by.x` et `by.y` ;
- parfois les deux tableaux comportent des colonnes (hors identifiants) ayant le même nom. `merge` conserve dans ce cas ces deux colonnes mais les renomme en les suffixant par `.x` pour celles provenant du premier tableau et `.y` pour celles du second ;
- parfois on n'a pas d'identifiant unique présent dans les deux tableaux, mais on en construit un à partir de plusieurs variables. On peut alors donner un vecteur en paramètres de l'option `by`, par exemple `by=c("nom","prenom","date.naissance")`.

Une subtilité supplémentaire intervient lorsque les deux tableaux fusionnés n'ont pas exactement les mêmes lignes. Par défaut, `merge` ne conserve que les lignes présentes dans les deux tableaux :

id	v1	id	v2	id	v1	v2
1	H	1	10	1	H	10
2	H	2	15	2	H	15
3	F	5	31			

On peut cependant modifier ce comportement avec les options `all.x` et `all.y`.

Ainsi, `all.x=TRUE` indique de conserver toutes les lignes du premier tableau. Dans ce cas `merge` donne une valeur `NA` pour ces lignes aux colonnes provenant du second tableau. Ce qui donnerait :

id	v1	id	v2	id	v1	v2
1	H	1	10	1	H	10
2	H	2	15	2	H	15
3	F	5	31	3	F	NA

L'option `all.y=TRUE` fait la même chose en conservant toutes les lignes du second tableau.

id	v1	id	v2	id	v1	v2
1	H	1	10	1	H	10
2	H	2	15	2	H	15
3	F	5	31	5	NA	31

Enfin, on peut décider de conserver toutes les lignes des deux tableaux en utilisant à la fois `all.x=TRUE` et `all.y=TRUE`, ce qui donne :

id	v1	+	id	v2	=	id	v1	v2
1	H		1	10		1	H	10
2	H		2	15		2	H	15
3	F		5	31		3	F	NA
						5	NA	31

Parfois, l'un des identifiants est présent plusieurs reprises dans l'un des tableaux (par exemple lorsque l'une des tables est un ensemble de ménages et que l'autre décrit l'ensemble des individus de ces ménages). Dans ce cas les lignes de l'autre table sont dupliquées autant de fois que nécessaires :

id	v1	+	id	v2	=	id	v1	v2
1	H		1	10		1	H	10
2	H		1	18		1	H	18
3	F		1	21		1	H	21
			2	15		2	H	15
			3	42		3	F	42

Un second exemple : une enquête ménage

Extension dplyr

Voir aussi `combine` de `dplyr` et `rbind.fill` de `plyr`.

Extension data.table

Gestion des dates

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Aggr~~o~~gation

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'~~o~~criture.

Fonctions ↗ fen↗tre

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d↗criture.

Restructuration de donnés

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d  criture.

Manipuler du texte

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Export de données

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

R propose différentes fonctions permettant d'exporter des données vers des formats variés.

Type de fichier souhaité	Fonction	Extension
texte	<code>write.table</code>	<code>utils</code>
CSV	<code>write.csv</code>	<code>utils</code>
CSV	<code>write_csv</code>	<code>readr</code>
Excel	<code>write.xlsx</code>	<code>xlsx</code>
dBase	<code>write.dbf</code>	<code>foreign</code>
SPSS	<code>write_sav</code>	<code>haven</code>
SPSS	<code>write.foreign</code>	<code>foreign</code>
Stata	<code>write.dta</code>	<code>foreign</code>
Stata	<code>write_dta</code>	<code>haven</code>
SAS	<code>write.foreign</code>	<code>foreign</code>
SPSS	<code>write.foreign</code>	<code>foreign</code>
Shapefile	<code>writePointsShape</code>	<code>maptools</code>
Shapefile	<code>writeLinesShape</code>	<code>maptools</code>
Shapefile	<code>writePolyShape</code>	<code>maptools</code>
ASCII Grid	<code>writeAsciiGrid</code>	<code>maptools</code>

◆ nouveau, pour plus de détails on se renferera aux pages d’aide de ces fonctions et au manuel *R Data Import/Export* accessible ◆ l’adresse suivante : <http://cran.r-project.org/manuals.html>.

Export de graphiques

Via l'interface de RStudio	239
Sauvegarder le fichier en tant qu'image	240
Sauvegarder le graphique en PDF	242
Copier le graphique dans le presse-papier	243
Export avec les commandes de R	244
Export avec ggplot2	245

Via l'interface de RStudio

L'export de graphiques est très facile avec **RStudio**. Lorsque l'on crée un graphique, ce dernier est affiché sous l'onglet *Plots* dans le quadrant inférieur droit. Il suffit de cliquer sur *Export* pour avoir accès à trois options différentes :

- *Save as image* pour sauvegarder le graphique en tant que fichier image ;
- *Save as PDF* pour sauvegarder le graphique dans un fichier **PDF** ;
- *Copy to Clipboard* pour copier le graphique dans le presse-papier (et pouvoir ainsi le coller ensuite dans un document **Word** par exemple).

Sauvegarder le fichier en tant qu'image

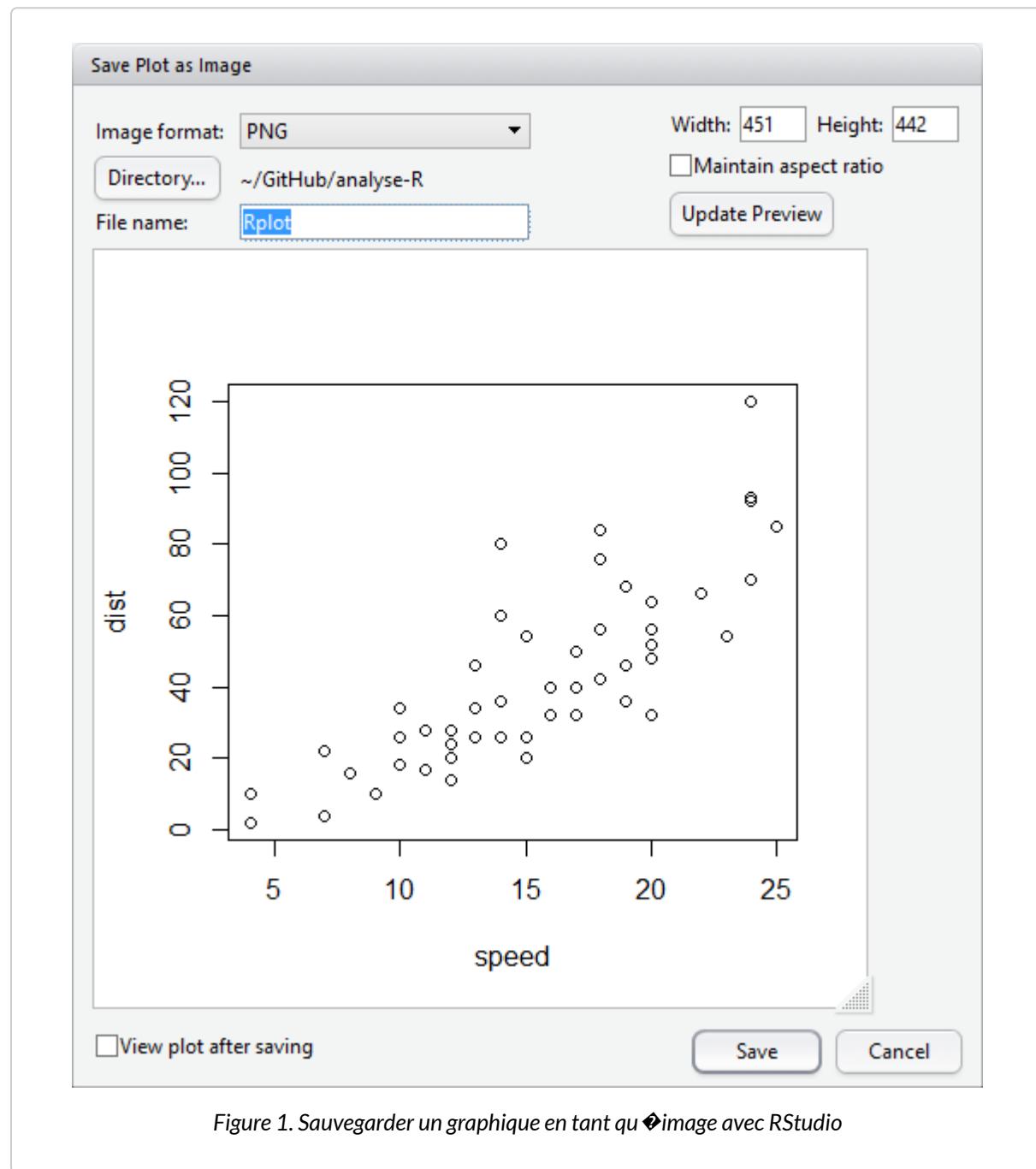


Figure 1. Sauvegarder un graphique en tant qu'image avec RStudio

La boîte de dialogue qui s'ouvre propose différentes options d'export :

- le type de fichier désiré;

- le nom du fichier ;
- le répertoire où le fichier doit être créé (par défaut, il s'agit du répertoire de travail) ;
- la taille de l'image.

R peut exporter un graphique dans une grande variété de formats. Nous n'aborderons ici que les principaux. Les formats **PNG**, **JPEG** et **TIFF** sont des formats de type **bitmap** (on parle aussi d'**images matricielles**¹). L'image est stockée sous forme de points, sa qualité dépendant de sa **resolution**, c'est-à-dire du nombre total de points qui la composent. L'intérêt des images matricielles est de toujours interpréter la manière identique quelque soit l'outil utilisé. Par contre, elles ne sont pas adaptées lorsque l'on souhaite effectuer des retouches avec un logiciel de dessin.

Pour une utilisation sur un site web, on priviliera une résolution d'image modérée (entre 400 et 800 pixels de largeur) et les formats **PNG** ou **JPEG**. Pour un document destiné à l'impression, on priviliera une résolution plus élevée, pour éviter un phénomène dit de **pixellisation**.

Les **images vectorielles**² ont l'avantage de pouvoir être redimensionnées à volonté sans perte de qualité et produisent des fichiers en général de plus petite taille³. Elles sont donc tout fait adaptées pour l'impression. Si l'on souhaite importer l'image dans **Word**, on choisira le format **Metafile** (le seul compris par ce logiciel). Pour **Libre Office** ou **Open Office**, on choisira le format **SVG**.

SVG (*scalable vector graphic*⁴) est un format libre permettant de créer une image vectorielle. Les fichiers **SVG** peuvent être directement lus par la majorité des navigateurs récents (**Firefox**, **Chrome**, etc.). De plus, le logiciel libre de dessins **Inkscape**⁵ permet d'éditer et de modifier des fichiers **SVG**. Ce format est donc tout fait adapté pour les graphiques que l'on souhaite retoucher avant publication. Depuis **Inkscape**, il sera possible de faire un export **PNG** en haute résolution pour intégration dans un fichier **Word**.

On pourra modifier la taille de l'image avec les paramètres *Height* (hauteur) et *Width* (largeur). En cliquant sur *Update Preview* la prévisualisation du rendu final sera mise à jour.

1. Voir http://fr.wikipedia.org/wiki/Image_matricielle.

2. Voir http://fr.wikipedia.org/wiki/Image_vectorielle.

3. Sauf dans le cas des graphiques complexes reposant sur des gradients de couleurs, comme les cartes produites à partir de rasters. Auquel cas, il sera parfois préférable de privilier un export dans un format **bitmap**.

4. Voir https://www.wikiwand.com/fr/Scalable_Vector_Graphics.

5. téléchargeable gratuitement sur <https://inkscape.org/fr/>.

Sauvegarder le graphique en PDF

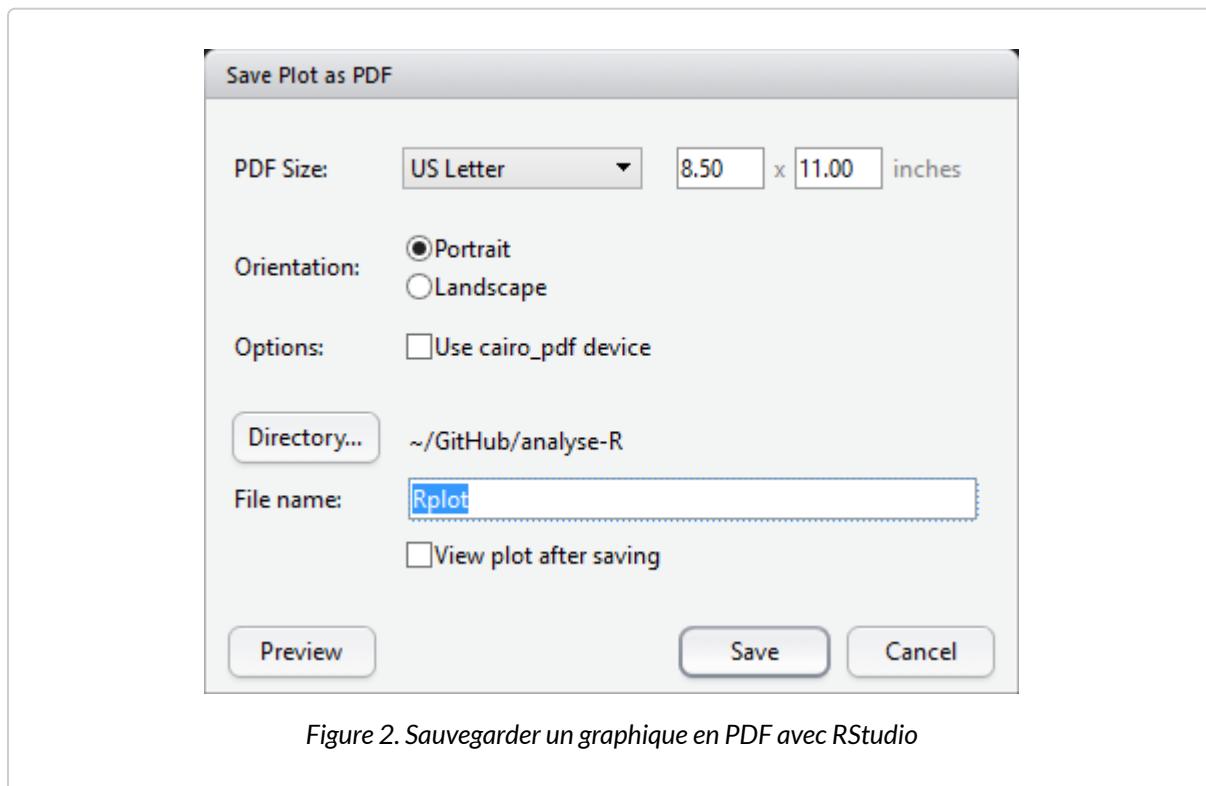


Figure 2. Sauvegarder un graphique en PDF avec RStudio

Les options de la boîte de dialogue permettent de modifier la taille du fichier **PDF** et, bien entendu, d’indiquer le nom et le répertoire du fichier à créer.

En cliquant sur *Preview*, RStudio générera un fichier temporaire afin de visualiser le rendu final.

Copier le graphique dans le presse-papier

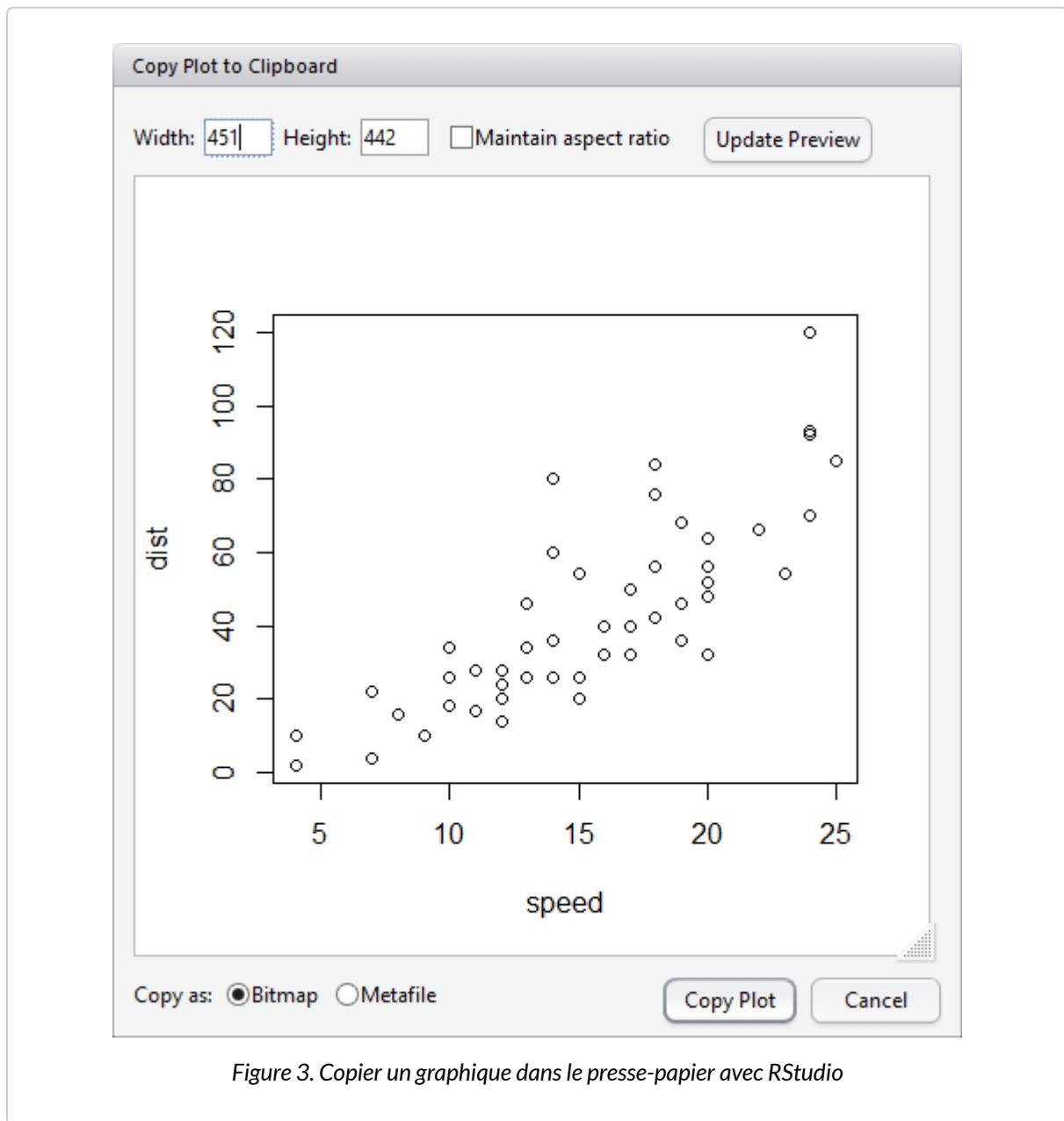


Figure 3. Copier un graphique dans le presse-papier avec RStudio

Il est possible de redimensionner le graphique. De plus, on précisera si l'on souhaite copier une version matricielle (*bitmap*) ou vectorielle (*metafile*) du graphique.

Export avec les commandes de R

On peut également exporter les graphiques dans des fichiers de différents formats directement avec des commandes R. Ceci a l'avantage de fonctionner sur toutes les plateformes et de faciliter la mise à jour du graphique exporté (on n'a qu'à relancer les commandes concernées pour que le fichier externe soit mis à jour).

La première possibilité est d'exporter le contenu d'une fenêtre d'application existante à l'aide de la fonction `dev.print`. On doit fournir à celle-ci le format de l'export (option `device`) et le nom du fichier (option `file`).

Par exemple :

```
R> boxplot(rnorm(100))
  dev.print(device = png, file = "export.png", width = 600)
```

Les formats de sortie possibles varient selon les plateformes, mais on retrouve partout les formats `bitmap`, `png`, `jpeg`, `tiff` et les formats vectoriels `svg`, `postscript` ou `pdf`.

L'autre possibilité est de rediriger directement la sortie graphique dans un fichier, avant d'exécuter la commande générant la figure. On doit pour cela faire appel à l'une des commandes permettant cette redirection. Les plus courantes sont `png`, `jpeg` et `tiff` pour les formats `bitmap`, `svg`, `pdf`, `postscript` et `win.metafile` pour les formats vectoriels.

Ces fonctions prennent différentes options permettant de personnaliser la sortie graphique. Les plus courantes sont `width` et `height` qui donnent la largeur et la hauteur de l'image générée (en pixels pour les images bitmap, en pouces pour les images vectorielles) et `pointsize` qui donne la taille de base des polices de caractère utilisées.

```
R> png(file = "out.png", width = 800, height = 700)
  plot(rnorm(100))
  dev.off()
  pdf(file = "out.pdf", width = 9, height = 9, pointsize = 10)
  plot(rnorm(150))
  dev.off()
```

Il est nécessaire de faire un appel à la fonction `dev.off` après génération du graphique pour que le résultat soit bien écrit dans le fichier de sortie (dans le cas contraire on se retrouve avec un fichier vide).

Export avec ggplot2

Les graphiques produits par `ggplot2` peuvent être sauvegardés manuellement, comme vu précédemment, ou programmatiquement. Pour sauvegarder le dernier graphique affiché par `ggplot2` au format PNG, il suffit d'utiliser la fonction `ggsave`, qui permet d'en régler la taille (en pouces) et la résolution (en pixels par pouce ; 72 par défaut) :

```
R> ggsave("mon_graphique.png", width = 11, height = 8)
```

De la même manière, pour sauvegarder n'importe quel graphique construit avec `ggplot2` et stocké dans un objet, il suffit de préciser le nom de cet objet, comme ci-dessous, où l'on sauvegarde le graphique contenu dans l'objet `p` au format vectoriel PDF, qui préserve la netteté du texte et des autres éléments du graphique n'importe quelle résolution d'affichage :

```
R> ggsave("mon_graphique.pdf", plot = p, width = 11, height = 8)
```


Export de tableaux

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Statistique univariée

Variable quantitative	250
Principaux indicateurs	250
Histogramme	251
Densité et répartition cumulée	254
Boîtes à moustaches	256
Variable qualitative	260
Tris à plat	260
Représentation graphique	264
Exporter les graphiques obtenus	270

NOTE

Ce chapitre est inspiré de la section *Premier travail avec les données* du support de cours [Introduction à R réalisée par Julien Barnier](#).

On entend par statistique univariée l'étude d'une seule variable, que celle-ci soit quantitative ou qualitative. La statistique univariée fait partie de la statistique descriptive.

Nous utiliserons dans ce chapitre les données de l'enquête *Histoire de vie 2003* fournies avec l'extension [questionr](#).

```
R> library(questionr)
  data("hdv2003")
  d <- hdv2003
```

Variable quantitative

Principaux indicateurs

Comme la fonction `str` nous l’a indiqué, notre tableau `d` contient plusieurs variables numériques ou variables quantitatives, dont la variable `heures.tv` qui représente le nombre moyen passé par les enquêtés à regarder la télévision quotidiennement. On peut essayer de déterminer quelques caractéristiques de cette variable, en utilisant les fonctions `mean` (moyenne), `sd` (écart-type), `min` (minimum), `max` (maximum) et `range` (étendue) :

```
R> mean(d$heures.tv)
```

```
[1] NA
```

```
R> mean(d$heures.tv, na.rm = TRUE)
```

```
[1] 2.246566
```

```
R> sd(d$heures.tv, na.rm = TRUE)
```

```
[1] 1.775853
```

```
R> min(d$heures.tv, na.rm = TRUE)
```

```
[1] 0
```

```
R> max(d$heures.tv, na.rm = TRUE)
```

```
[1] 12
```

```
R> range(d$heures.tv, na.rm = TRUE)
```

```
[1] 0 12
```

On peut lui ajouter la fonction `median` qui donne la valeur médiane, `quantile` qui calcule plusieurs types de quantiles, et le très utile `summary` qui donne toutes ces informations ou presque en une seule fois, avec en prime le nombre de valeurs manquantes (NA) :

```
R> median(d$heures.tv, na.rm = TRUE)
```

```
[1] 2
```

```
R> quantile(d$heures.tv, na.rm = TRUE)
```

0%	25%	50%	75%	100%
0	1	2	3	12

```
R> summary(d$heures.tv)
```

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
	0.000	1.000	2.000	2.247	3.000	12.000
NA's						5

La fonction `summary` est une fonction générique qui peut être utilisée sur tout type d'objet, y compris un tableau de données. Essayez donc `summary(d)`.

Histogramme

Tout cela est bien pratique, mais pour pouvoir observer la distribution des valeurs d'une variable quantitative, il n'y a quand même rien de mieux qu'un bon graphique.

On peut commencer par un histogramme de la répartition des valeurs. Celui-ci peut être générée très facilement avec la fonction `hist` :

```
R> hist(d$heures.tv, main = "Nombre d'heures passées devant la télé par jour",
       xlab = "Heures", ylab = "Effectif")
```

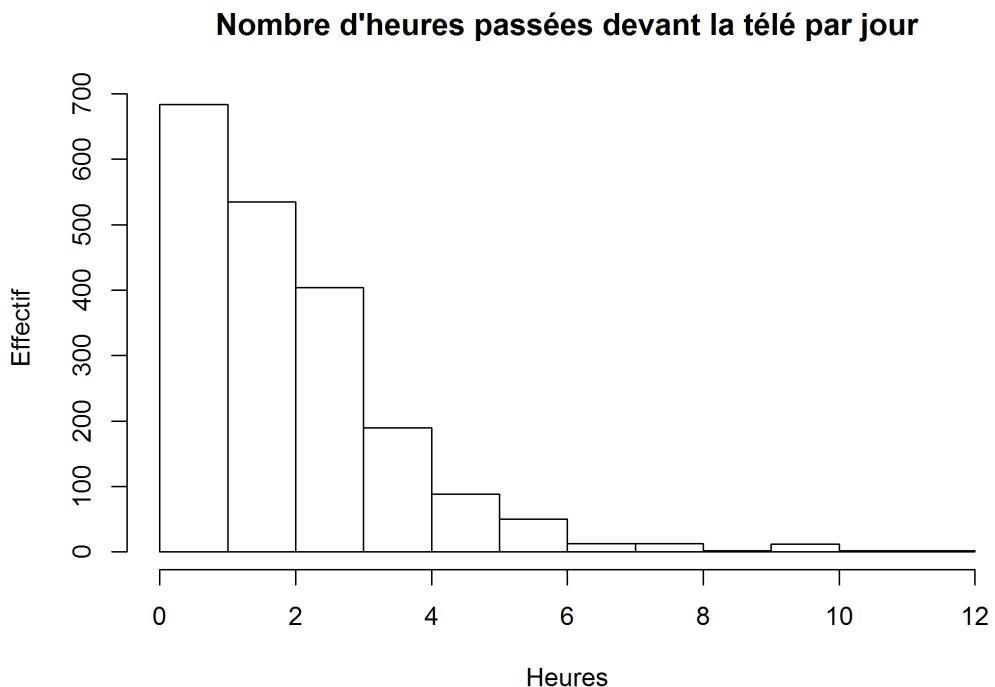


Figure 1. Exemple d'histogramme

Sous RStudio, les graphiques s'affichent dans l'onglet *Plots* du quadrant inférieur droit. Il est possible d'afficher une version plus grande de votre graphique en cliquant sur *Zoom*.

Ici, les options `main`, `xlab` et `ylab` permettent de personnaliser le titre du graphique, ainsi que les étiquettes des axes. De nombreuses autres options existent pour personnaliser l'histogramme, parmi celles-ci on notera :

- `probability` si elle vaut `TRUE`, l'histogramme indique la proportion des classes de valeurs au lieu des effectifs.
- `breaks` permet de contrôler les classes de valeurs. On peut lui passer un chiffre, qui indiquera alors le nombre de classes, un vecteur, qui indique alors les limites des différentes classes, ou encore une chaîne de caractères ou une fonction indiquant comment les classes doivent être calculées.
- `col` la couleur de l'histogramme¹.

Voir la page d'aide de la fonction `hist` pour plus de détails sur les différentes options. Les deux figures ci-après sont deux autres exemples d'histogramme.

```
R> hist(d$heures.tv, main = "Heures de télé en 7 classes",
       breaks = 7, xlab = "Heures", ylab = "Proportion",
       probability = TRUE, col = "orange")
```

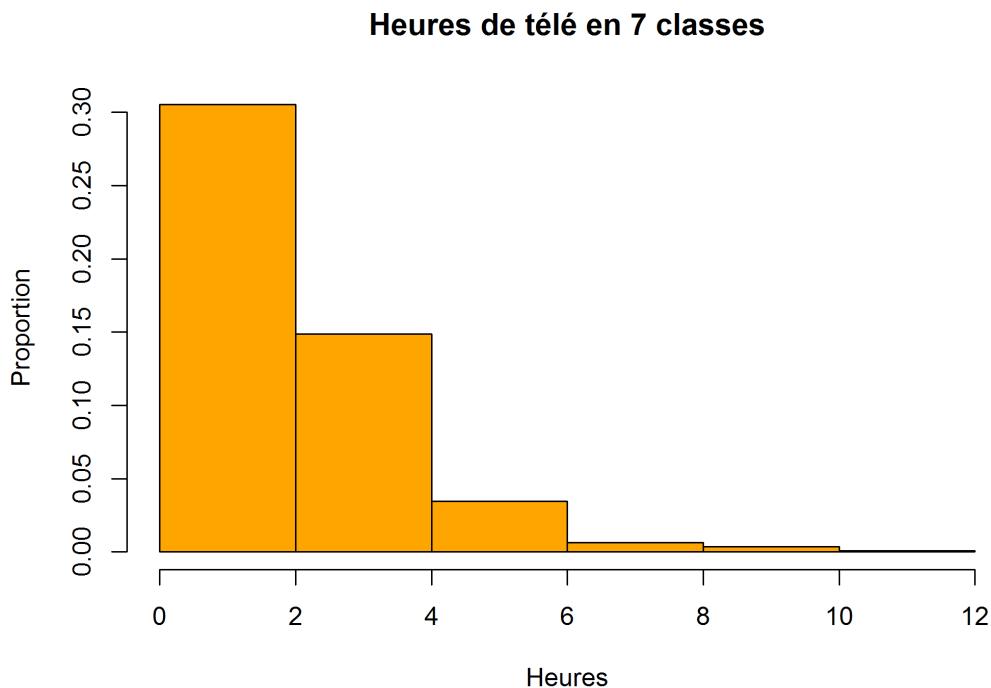


Figure 2. Un autre exemple d'histogramme

1. Il existe un grand nombre de couleurs prédéfinies dans R. On peut récupérer leur liste en utilisant la fonction `colors` en tapant simplement `colors()` dans la console, ou en consultant le document suivant : <http://www.stat.columbia.edu/~tzheng/files/Rcolor.pdf>.

```
R> hist(d$heures.tv, main = "Heures de télé avec classes spécifiées",
       breaks = c(0, 1, 4, 9, 12), xlab = "Heures", ylab = "Proportion",
       col = "red")
```

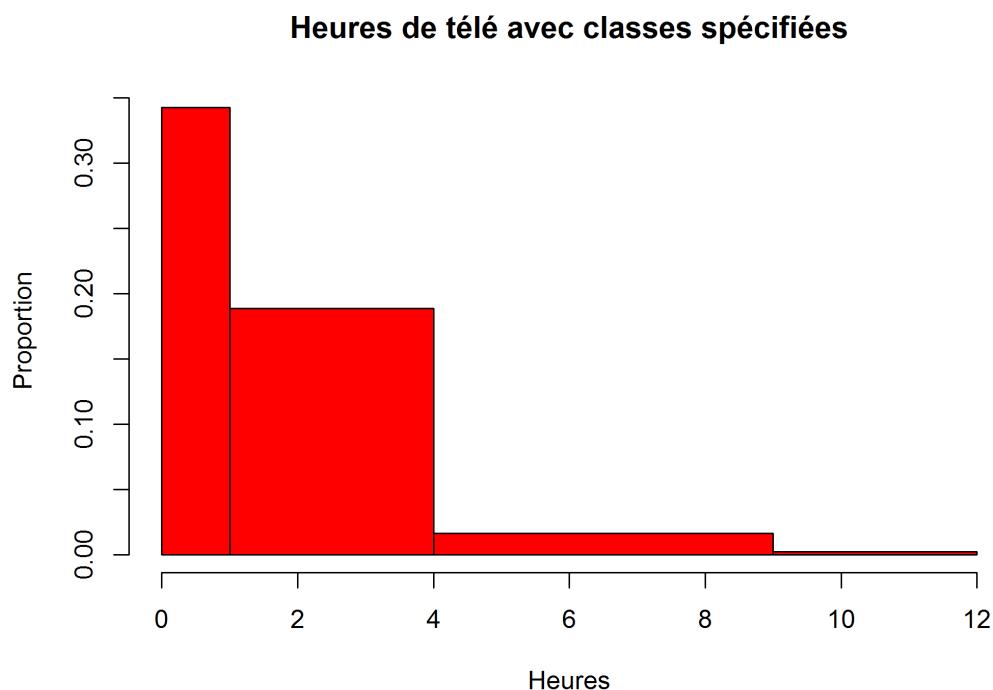


Figure 3. Encore un autre exemple d'histogramme

Densité et répartition cumulée

La fonction `density` permet d'obtenir une estimation par noyau² de la distribution du nombre d'heures consacrées à regarder la télévision. Le paramètre `na.rm = TRUE` indique que l'on souhaite retirer les valeurs manquantes avant de calculer cette courbe de densité.

Le résultat de cette estimation est ensuite représenté graphiquement à l'aide de `plot`. L'argument `main` permet de spécifier le titre du graphique.

2. Voir https://fr.wikipedia.org/wiki/Estimation_par_noyau

```
R> plot(density(d$heures.tv, na.rm = TRUE), main = "Heures consacrées à la télévision")
```

Heures consacrées à la télévision

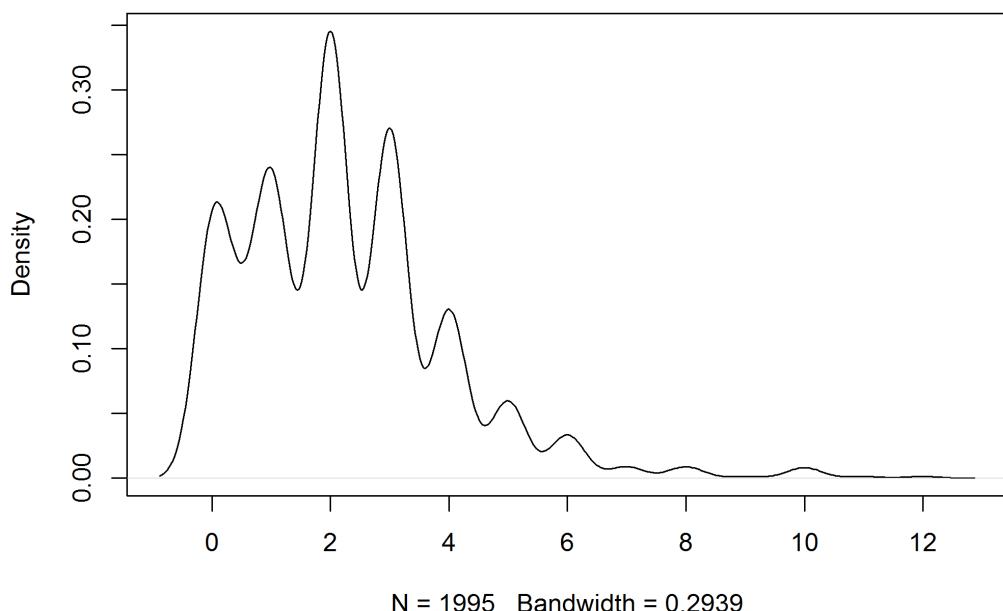


Figure 4. Courbe de densité

De manière similaire, on peut calculer la fonction de répartition empirique ou *empirical cumulative distribution function* en anglais avec la fonction `ecdf`. Le résultat obtenu peut, une fois encore, être représenté sur un graphique à l'aide de la fonction `plot`.

```
R> plot(ecdf(d$heures.tv))
```

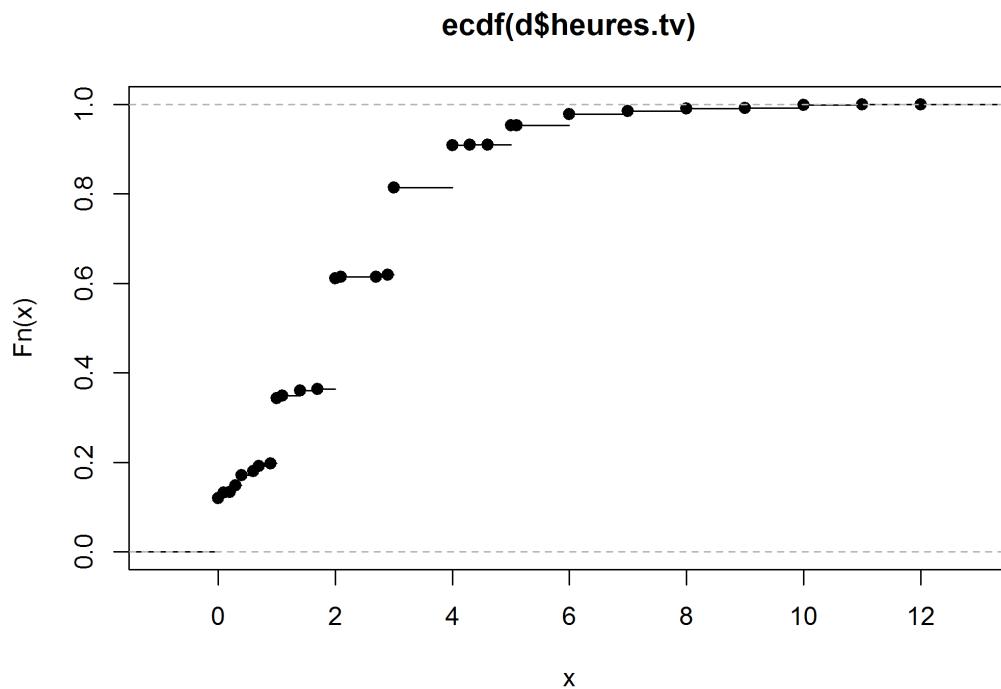


Figure 5. Fonction de répartition empirique cumulée

Boîtes à moustaches

Les boîtes à moustaches, ou *boxplots* en anglais, sont une autre représentation graphique de la répartition des valeurs d'une variable quantitative. Elles sont particulièrement utiles pour comparer les distributions de plusieurs variables ou d'une même variable entre différents groupes, mais peuvent aussi être utilisées pour représenter la dispersion d'une unique variable. La fonction qui produit ces graphiques est la fonction `boxplot`.

```
R> boxplot(d$heures.tv, main = "Nombre d'heures passées devant la télé par jour",
           ylab = "Heures")
```

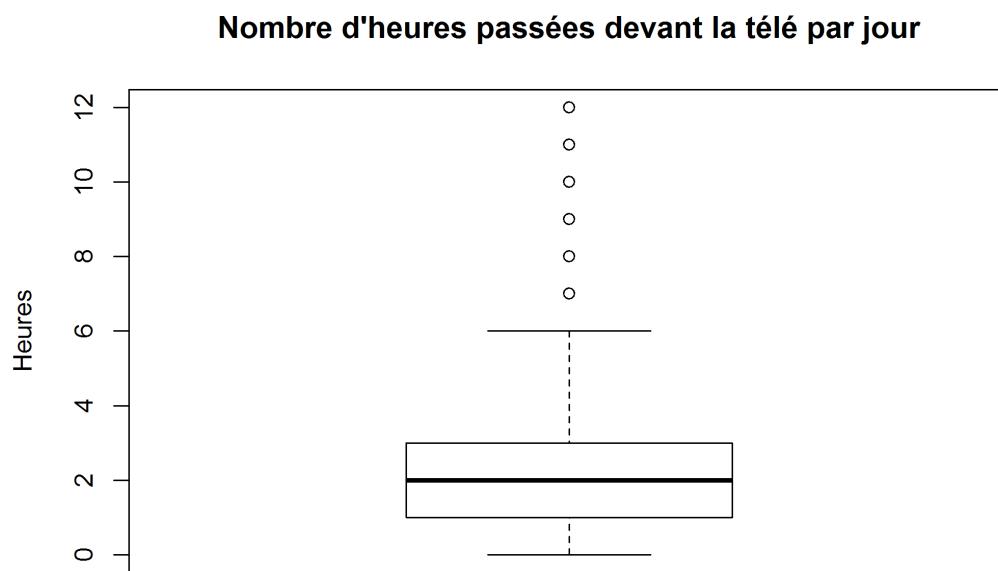


Figure 6. Exemple de boîte à moustaches

Comment interpréter ce graphique ? On le comprendra mieux à partir de la figure ci-après³.

3. Le code ayant servi à générer cette figure est une copie quasi conforme de celui présent dans l'excellent document de Jean Lobry sur les graphiques de base avec R, téléchargeable sur le site du Pole bioinformatique lyonnais : <http://pbil.univ-lyon1.fr/R/pdf/lang04.pdf>.

```
R> boxplot(d$heures.tv, col = grey(0.8), main = "Nombre d'heures passées devant la télé par jour",
            ylab = "Heures")
abline(h = median(d$heures.tv, na.rm = TRUE), col = "navy",
       lty = 2)
text(1.35, median(d$heures.tv, na.rm = TRUE) + 0.15,
     "Médiane", col = "navy")
Q1 <- quantile(d$heures.tv, probs = 0.25, na.rm = TRUE)
abline(h = Q1, col = "darkred")
text(1.35, Q1 + 0.15, "Q1 : premier quartile", col = "darkred",
     lty = 2)
Q3 <- quantile(d$heures.tv, probs = 0.75, na.rm = TRUE)
abline(h = Q3, col = "darkred")
text(1.35, Q3 + 0.15, "Q3 : troisième quartile", col = "darkred",
     lty = 2)
arrows(x0 = 0.7, y0 = quantile(d$heures.tv, probs = 0.75,
                                 na.rm = TRUE), x1 = 0.7, y1 = quantile(d$heures.tv,
                                 probs = 0.25, na.rm = TRUE), length = 0.1, code = 3)
text(0.7, Q1 + (Q3 - Q1)/2 + 0.15, "h", pos = 2)
mtext("L'inter-quartile h contient 50 % des individus",
      side = 1)
abline(h = Q1 - 1.5 * (Q3 - Q1), col = "darkgreen")
text(1.35, Q1 - 1.5 * (Q3 - Q1) + 0.15, "Q1 -1.5 h",
     col = "darkgreen", lty = 2)
abline(h = Q3 + 1.5 * (Q3 - Q1), col = "darkgreen")
text(1.35, Q3 + 1.5 * (Q3 - Q1) + 0.15, "Q3 +1.5 h",
     col = "darkgreen", lty = 2)
```

Nombre d'heures passées devant la télé par jour

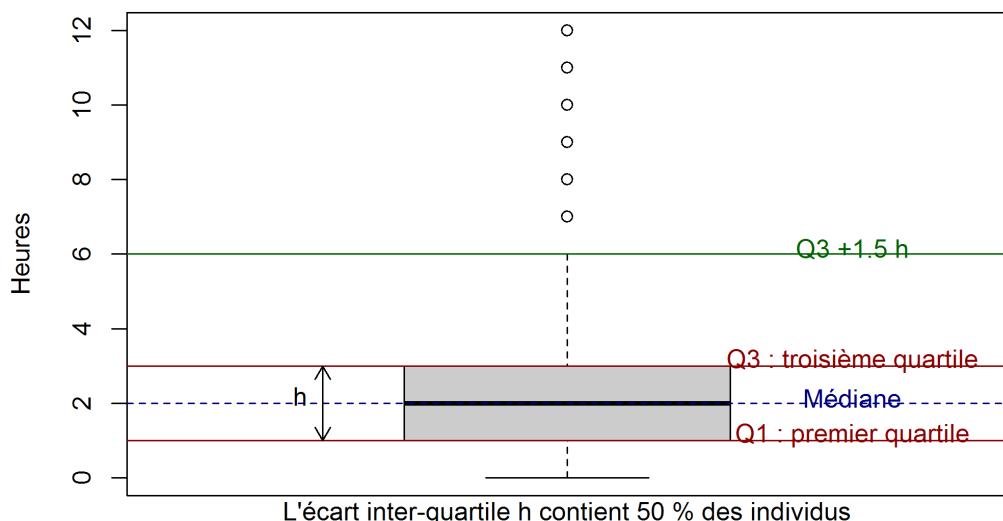


Figure 7. Interprétation d'une boîte à moustaches

Le carré au centre du graphique est délimité par les premiers et troisième quartiles, avec la médiane représentée par une ligne plus sombre au milieu. Les deux fourchettes sont tendant de part et d'autre vont soit jusqu'à la valeur minimale ou maximale, soit jusqu'à une valeur approximativement égale au quartile le plus proche plus 1,5 fois l'écart interquartile. Les points se situant en-dehors de cette fourchette sont représentés par des petits ronds et sont généralement considérés comme des valeurs extrêmes, potentiellement aberrantes.

On peut ajouter la représentation des valeurs sur le graphique pour en faciliter la lecture avec des petits traits dessinés sur l'axe vertical (fonction `rug`):

```
R> boxplot(d$heures.tv, main = "Nombre d'heures passées devant la télé par jour",
           ylab = "Heures")
R> rug(d$heures.tv, side = 2)
```

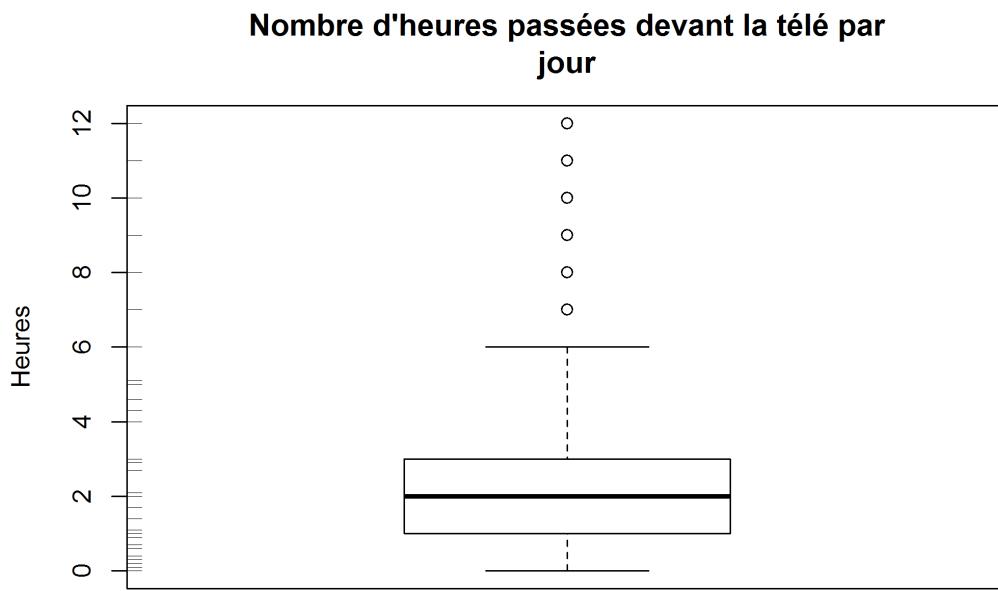


Figure 8. Boîte à moustaches avec représentation des valeurs

Variable qualitative

Tris à plat

La fonction la plus utilisée pour le traitement et l'analyse des variables qualitatives (variable prenant ses valeurs dans un ensemble de modalités) est sans aucun doute la fonction `table`, qui donne les effectifs de chaque modalité de la variable, ce qu'on appelle un tri à plat ou tableau de fréquences.

```
R> table(d$sexe)
```

Homme	Femme
899	1101

La tableau précédent nous indique que parmi nos enquêtés on trouve 899 hommes et 1101 femmes.

Quand le nombre de modalités est élevé, on peut ordonner le tri plat selon les effectifs à l'aide de la fonction `sort`.

```
R> table(d$occup)
```

Exerce une profession	Chomeur
1049	134
Etudiant, élève	Retraite
94	392
Retire des affaires	Au foyer
77	171
Autre inactif	
83	

```
R> sort(table(d$occup))
```

Retire des affaires	Autre inactif
77	83
Etudiant, élève	Chomeur
94	134
Au foyer	Retraite
171	392
Exerce une profession	
1049	

```
R> sort(table(d$occup), decreasing = TRUE)
```

Exerce une profession	Retraite
1049	392
Au foyer	Chomeur
171	134
Etudiant, élève	Autre inactif
94	83

Retire des affaires

77

♦ noter que la fonction `table` exclut par défaut les non-réponses du tableau résultat. L'argument `useNA` de cette fonction permet de modifier ce comportement♦:

- avec `useNA="no"` (valeur par défaut), les valeurs manquantes ne sont jamais incluses dans le tri ♦ plat♦;
- avec `useNA="ifany"`, une colonne `NA` est ajoutée si des valeurs manquantes sont présentes dans les données♦;
- avec `useNA="always"`, une colonne `NA` est toujours ajoutée, même si il n'y a pas de valeurs manquantes dans les données.

On peut donc utiliser♦:

```
R> table(d$trav.satisf, useNA = "ifany")
```

Satisfaction	Insatisfaction	Equilibre
480	117	451
<NA>		
952		

L'utilisation de `summary` permet également l'affichage du tri ♦ plat et du nombre de non-réponses♦:

```
R> summary(d$trav.satisf)
```

Satisfaction	Insatisfaction	Equilibre
480	117	451
NA's		
952		

Pour obtenir un tableau avec la répartition en pourcentages, on peut utiliser la fonction `freq` de l'extension `questionr`⁴.

```
R> freq(d$qualif)
```

	n	%	val%
Ouvrier spécialisé	203	10.2	12.3

4. En l'absence de l'extension `questionr`, on pourra se rabattre sur la fonction `prop.table` avec la commande suivante♦: `prop.table(table(d$qualif))`.

Ouvrier qualifié	292	14.6	17.7
Technicien	86	4.3	5.2
Profession intermédiaire	160	8.0	9.7
Cadre	260	13.0	15.7
Employé	594	29.7	35.9
Autre	58	2.9	3.5
NA	347	17.3	NA

La colonne `n` donne les effectifs bruts, la colonne `%` la répartition en pourcentages et `val%` la répartition en pourcentages, données manquantes exclues. La fonction accepte plusieurs paramètres permettant d'afficher les totaux, les pourcentages cumulés, de trier selon les effectifs ou de contrôler l'affichage. Par exemple :

```
R> freq(d$qualif, cum = TRUE, total = TRUE, sort = "inc",
       digits = 2, exclude = NA)
```

	n	%	%cum
Autre	58	3.51	3.51
Technicien	86	5.20	8.71
Profession intermédiaire	160	9.68	18.39
Ouvrier spécialisé	203	12.28	30.67
Cadre	260	15.73	46.40
Ouvrier qualifié	292	17.66	64.07
Employé	594	35.93	100.00
Total	1653	100.00	100.00

La colonne `%cum` indique ici le pourcentage cumulé, ce qui est ici une très mauvaise idée puisque pour ce type de variable cela n'a aucun sens. Les lignes du tableau résultat ont été triées par effectifs croissants, les totaux ont été ajoutés, les non-réponses exclues et les pourcentages arrondis à deux décimales.

La fonction `freq` est également en mesure de tenir compte des étiquettes de valeurs lorsqu'on utilise des données labellisées, page 107. Ainsi :

```
R> data(fecondite)
  describe(femmes$region)
```

```
[2000 obs.] Région de résidence
labelled numeric: 4 4 4 4 4 ...
min: 1 - max: 4 - NAs: 0 (0%) - 4 unique values
4 value labels: [1] Nord [2] Est [3] Sud [4] Ouest
```

```
R> freq(femmes$region)
```

	n	%	val%
[1]	Nord	707	35.4
[2]	Est	324	16.2
[3]	Sud	407	20.3
[4]	Ouest	562	28.1
NA		0	0.0
			NA

```
R> freq(femmes$region, levels = "labels")
```

	n	%	val%
Nord	707	35.4	35.4
Est	324	16.2	16.2
Sud	407	20.3	20.3
Ouest	562	28.1	28.1
NA	0	0.0	NA

```
R> freq(femmes$region, levels = "values")
```

	n	%	val%
1	707	35.4	35.4
2	324	16.2	16.2
3	407	20.3	20.3
4	562	28.1	28.1
NA	0	0.0	NA

Pour plus d'informations sur la fonction `freq`, consultez sa page d'aide en ligne avec `?freq` ou `help("freq")`.

Représentation graphique

Pour représenter la répartition des effectifs parmi les modalités d'une variable qualitative, on a souvent tendance à utiliser des diagrammes en secteurs (camemberts). Ceci est possible sous R avec la fonction `pie`, mais la page d'aide de la dite fonction nous le conseille assez vivement : les diagrammes en secteur sont en effet une mauvaise manière de présenter ce type d'information, car l'œil humain préfère comparer des longueurs plutôt que des surfaces⁵.

5. On trouvera des exemples illustrant cette idée dans le document de Jean Lobry cité précédemment.

On privilégiera donc d'autres formes de représentations, à savoir les diagrammes en bâtons et les diagrammes de Cleveland.

Les diagrammes en bâtons sont utilisés automatiquement par R lorsqu'on applique la fonction générique `plot` à un tri plat obtenu avec `table`. On privilégiera cependant ce type de représentations pour les variables de type numérique comportant un nombre fini de valeurs. Le nombre de frères, soeurs, demi-frères et demi-soeurs est un bon exemple :

```
R> plot(table(d$freres.soeurs), main = "Nombre de frères, soeurs, demi-frères et demi-soeurs",
      ylab = "Effectif")
```

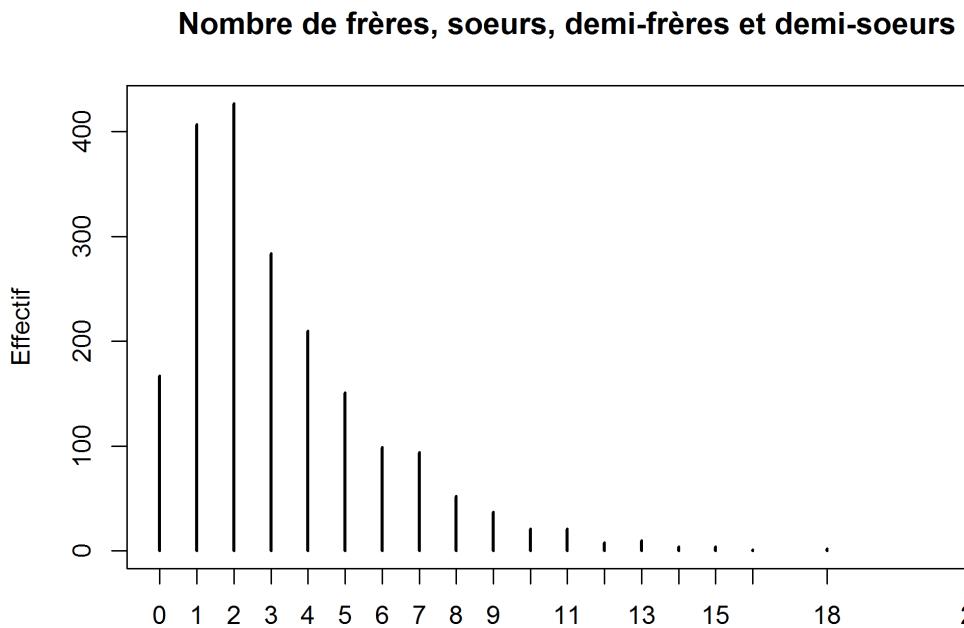


Figure 9. Exemple de diagramme en bâtons

Pour les autres types de variables qualitatives, on privilégiera les diagrammes de Cleveland, obtenus avec la fonction `dotchart`. On doit appliquer cette fonction au tri plat de la variable, obtenu avec `table`⁶:

6. Pour des raisons liées au fonctionnement interne de la fonction `dotchart`, on doit transformer le tri plat en matrice,做不到直接调用dotchart函数。所以需要将table转换为matrix。

```
R> dotchart(as.matrix(table(d$clos))[, 1], main = "Sentiment d'appartenance  
à une classe sociale",  
pch = 19)
```

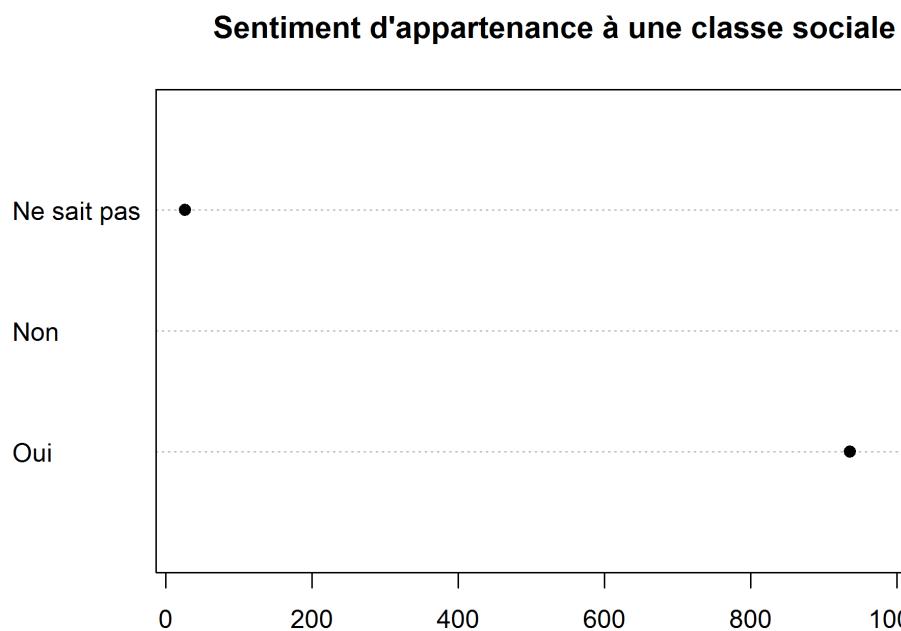


Figure 10. Exemple de diagramme de Cleveland

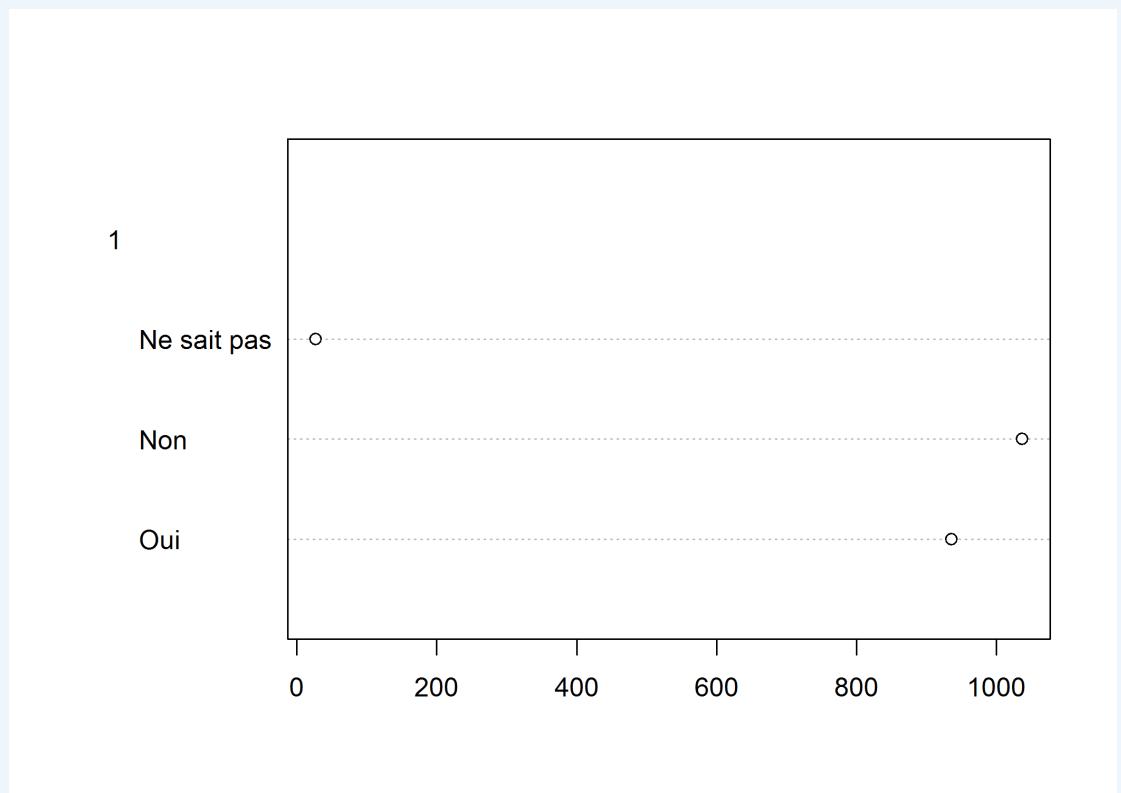
NOTE

Il est possible d'entrer directement la commande suivante dans la console :

```
R> dotchart(table(d$c1so))
```

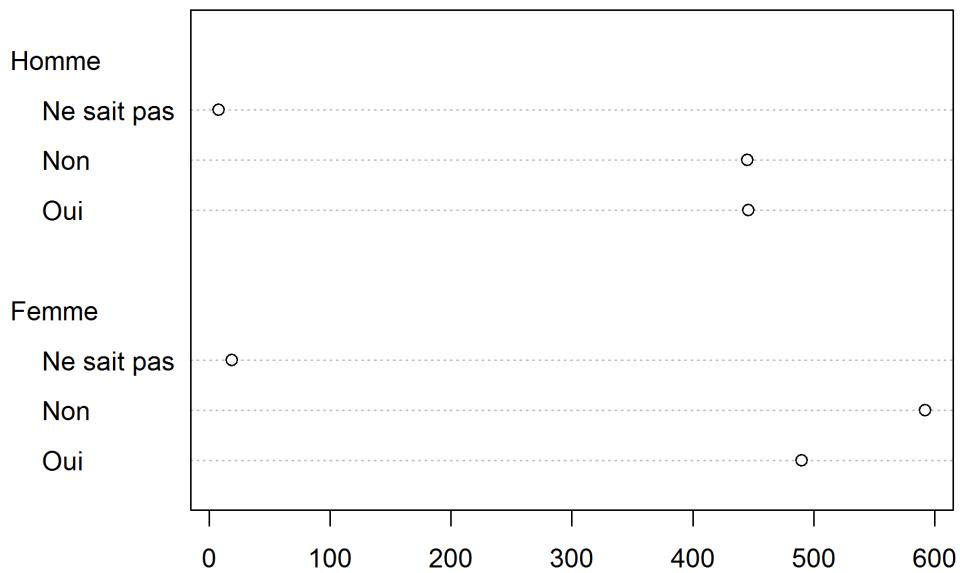
R produira bien le diagramme de Cleveland désiré mais affichera un message d'avertissement (*Warning*) car pour des raisons liées au fonctionnement interne de la fonction `dotchart`, il est attendu une matrice ou un vecteur, non un objet de type `table`. Pour éviter cet avertissement, il est nécessaire de faire appel à la fonction `as.matrix`.

```
R> dotchart(as.matrix(table(d$c1so)))
```



Dans le cas présent, on voit apparaître un chiffre 1 au-dessus des modalités. En fait, `dotchart` peut être appliquée au résultat d'un tableau croisé de deux entrées, auquel cas il présentera les résultats pour chaque colonne. Comme dans l'exemple ci-après.

```
R> dotchart(as.matrix(table(d$cloo, d$sex)))
```



Cela ne résoud pas le problème pour notre diagramme de Cleveland issu d’un tri à plat simple. Pour bien comprendre, la fonction `as.matrix` a produit un objet à deux dimensions ayant une colonne et plusieurs lignes. On indiquera à R que l’on ne souhaite extraire la première colonne avec `[, 1]` (juste après l’appel à `as.matrix`). C'est ce qu'on appelle l'*indexation*, abordée plus en détail dans le chapitre Listes et tableaux de données, page 81.

Quand la variable comprend un grand nombre de modalités, il est préférable d’ordonner le tri à plat obtenu à l’aide de la fonction `sort`:

```
R> dotchart(as.matrix(sort(table(d$qualif)))[, 1], main = "Niveau de qualification")
```

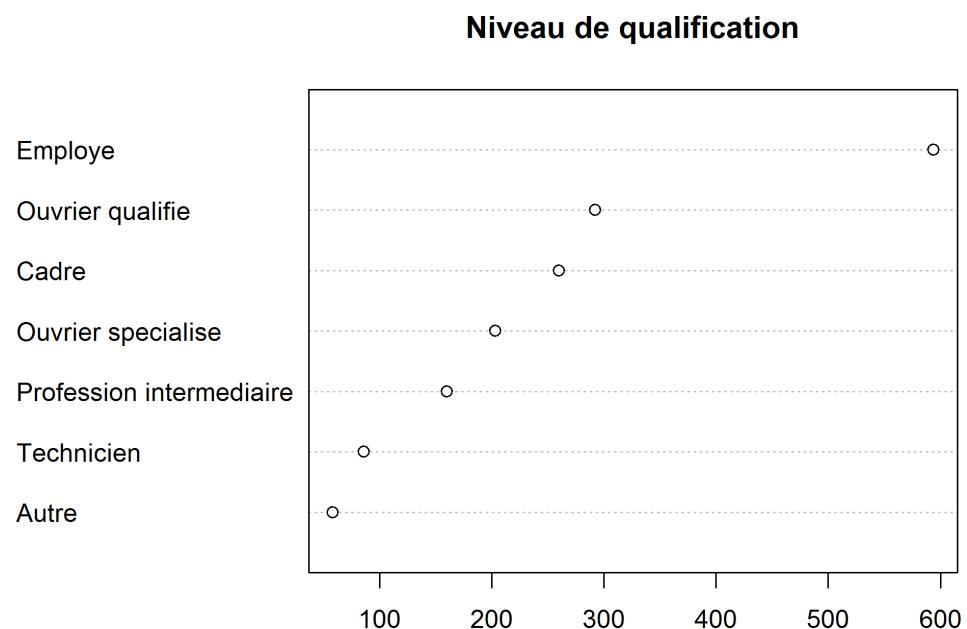


Figure 11. Exemple de diagramme de Cleveland ordonné

NOTE

L'argument `pch`, qui est utilisé par la plupart des graphiques de type points, permet de spécifier le symbole à utiliser. Il peut prendre soit un nombre entier compris entre 0 et 25, soit un caractère textuel (voir ci-dessous).

Différentes valeurs possibles pour l'argument pch



Exporter les graphiques obtenus

L'export de graphiques est très facile avec RStudio. Lorsque l'on crée un graphique, ce dernier est affiché sous l'onglet *Plots* dans le quadrant inférieur droit. Il suffit de cliquer sur *Export* pour avoir accès à trois options différentes :

- *Save as image* pour sauvegarder le graphique en tant que fichier image ;
- *Save as PDF* pour sauvegarder le graphique dans un fichier PDF ;
- *Copy to Clipboard* pour copier le graphique dans le presse-papier (et pouvoir ainsi le coller ensuite dans un document Word par exemple).

Pour une présentation détaillée de l'export de graphiques avec RStudio, ainsi que pour connaître les commandes R permettant d'exporter des graphiques via un script, on pourra se référer au chapitre dédié, page 239.

Statistique bivariée

Deux variables quantitatives	274
Trois variables ou plus	281
Une variable quantitative et une variable qualitative	283
Représentaions graphiques	283
Deux variables qualitatives	285
Tableau croisé	285
Pourcentages en ligne et en colonne	289
Représentation graphique	291

NOTE

La version originale de ce chapitre a été écrite par Julien Barnier dans le cadre du support de cours [Introduction à R](#).

On entend par **statistique bivariée** l'étude des relations entre deux variables, celles-ci pouvant être quantitatives ou qualitatives. La statistique bivariée fait partie de la **statistique descriptive**.

La statistique univariée a également été abordée dans un chapitre précédent, page 249.

Comme dans la partie précédente, on travaillera sur les jeux de données fournis avec l'extension [questionr](#) et tiré de l'enquête *Histoire de vie et du recensement 1999*:

```
R> library(questionr)
data(hdv2003)
d <- hdv2003
data(rp99)
```

Deux variables quantitatives

La comparaison de deux variables quantitatives se fait en premier lieu graphiquement, en représentant l'ensemble des couples de valeurs. On peut ainsi représenter les valeurs du nombre d'heures passées devant la télévision selon l'âge.

```
R> plot(d$age, d$heures.tv)
```

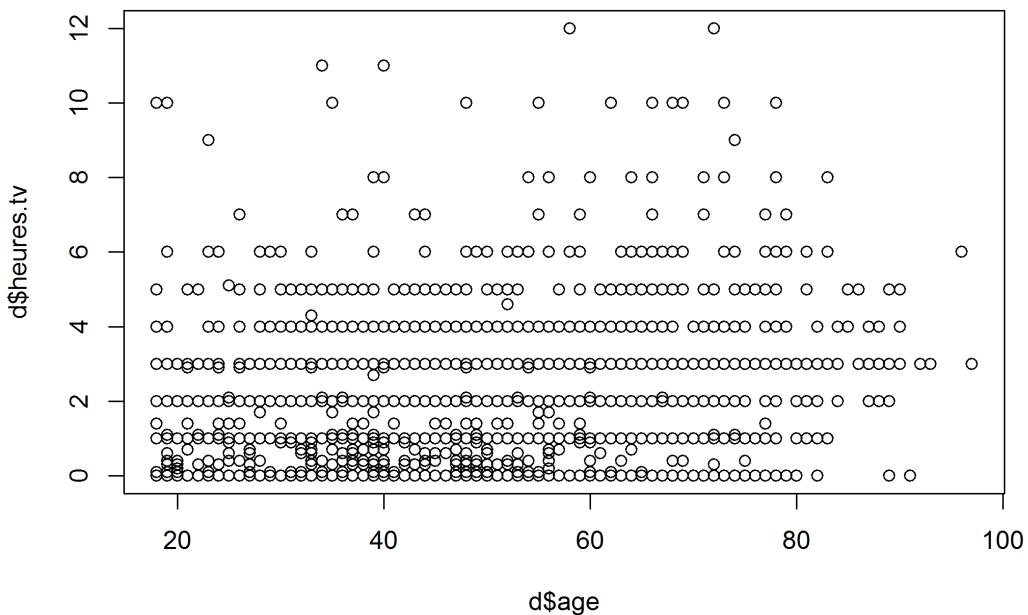


Figure 1. Nombre d'heures de télévision selon l'âge

Le fait que des points sont superposés ne facilite pas la lecture du graphique. On peut utiliser une représentation avec des points semi-transparents.

```
R> plot(d$age, d$heures.tv, pch = 19, col = rgb(1, 0, 0, 0.1))
```

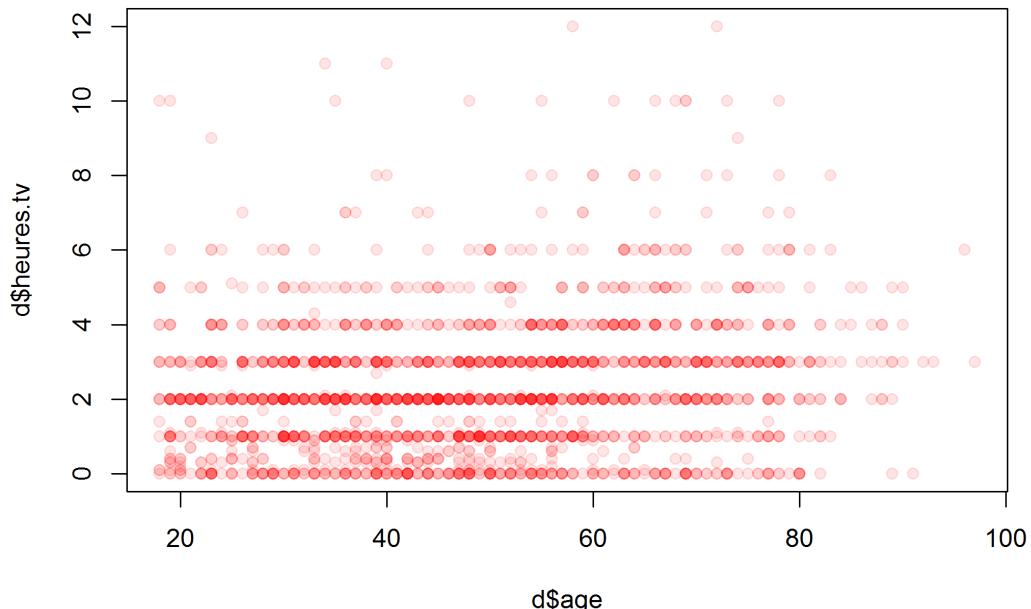


Figure 2. Nombre d'heures de télévision selon l'âge avec semi-transparence

Plus sophistiqué, on peut faire une estimation locale de densité et représenter le résultat sous forme de carte. Pour cela on commence par isoler les deux variables, supprimer les observations ayant au moins une valeur manquante. L'aide de la fonction `complete.cases`, estimer la densité locale à l'aide de la fonction `kde2d` de l'extension `MASS`¹ et représenter le tout à l'aide d'une des fonctions `image`, `contour` ou `filled.contour`.

1. `MASS` est installée par défaut avec la version de base de R.

```
R> library(MASS)
tmp <- d[, c("age", "heures.tv")]
tmp <- tmp[complete.cases(tmp), ]
filled.contour(kde2d(tmp$age, tmp$heures.tv), color = terrain.colors)
```

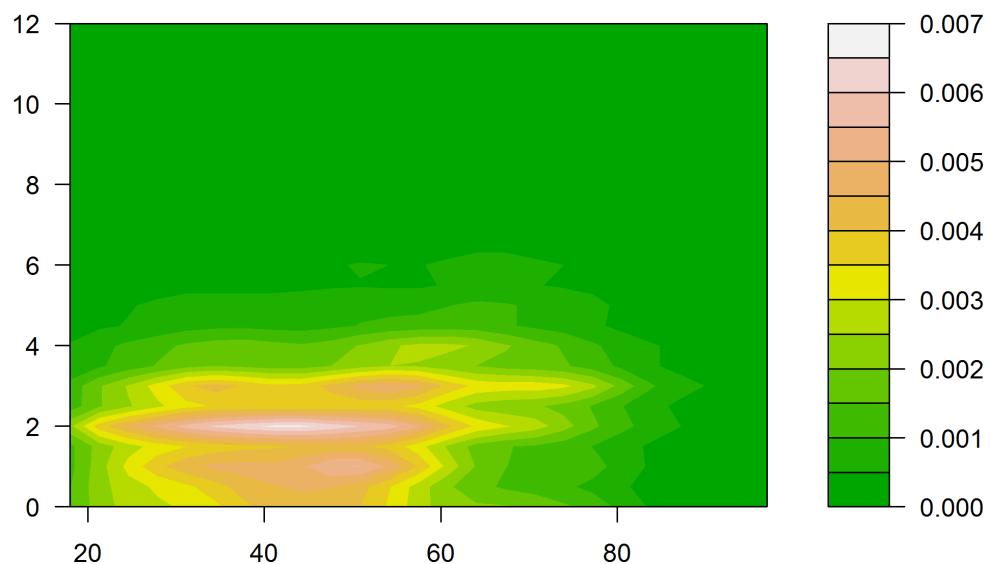


Figure 3. Représentation de l'estimation de densité locale

Une représentation alternative de la densité locale peut être obtenue avec la fonction `smoothScatter`.

```
R> smoothScatter(d[, c("age", "heures.tv")])
```

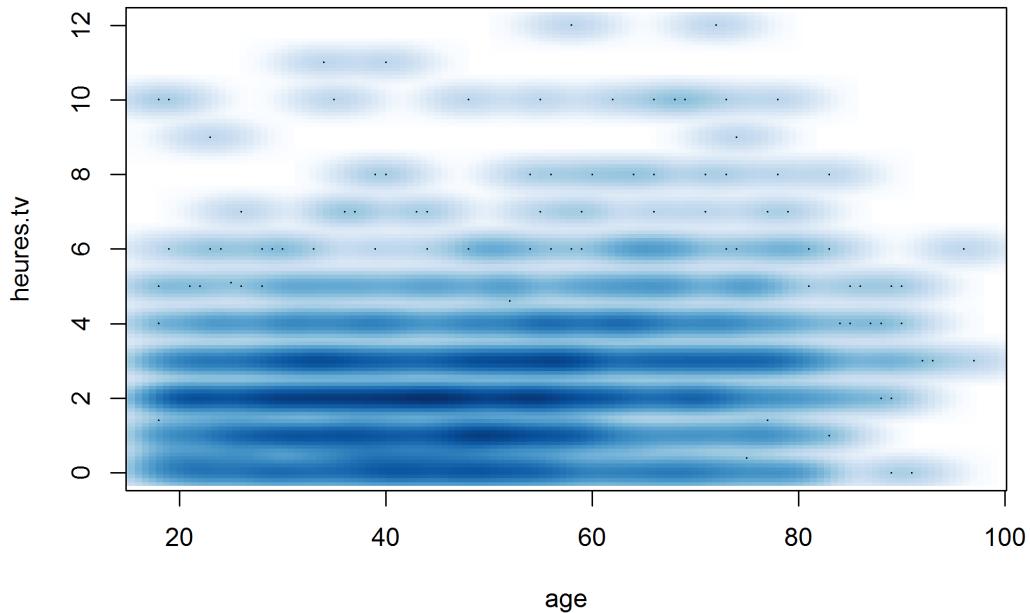


Figure 4. Représentation alternative de l'estimation de densité locale

Dans tous les cas, il n'y a pas de structure très nette qui semble se dégager. On peut tester ceci mathématiquement en calculant le coefficient de corrélation entre les deux variables à l'aide de la fonction `cor`:

```
R> cor(d$age, d$heures.tv, use = "complete.obs")
```

```
[1] 0.1776249
```

L'option `use` permet de liminer les observations pour lesquelles l'une des deux valeurs est manquante. Le coefficient de corrélation est très faible.

On va donc sélectionner plutôt les deux variables présentes dans le jeu de données `rp99`, la part de diplômés du supérieur et la proportion de cadres dans les communes du Rhône en 1999.

À nouveau, commençons par représenter les deux variables.

```
R> plot(rp99$dipl.sup, rp99$cadres, ylab = "Part des cadres",
       xlab = "Part des diplômés du supérieur")
```

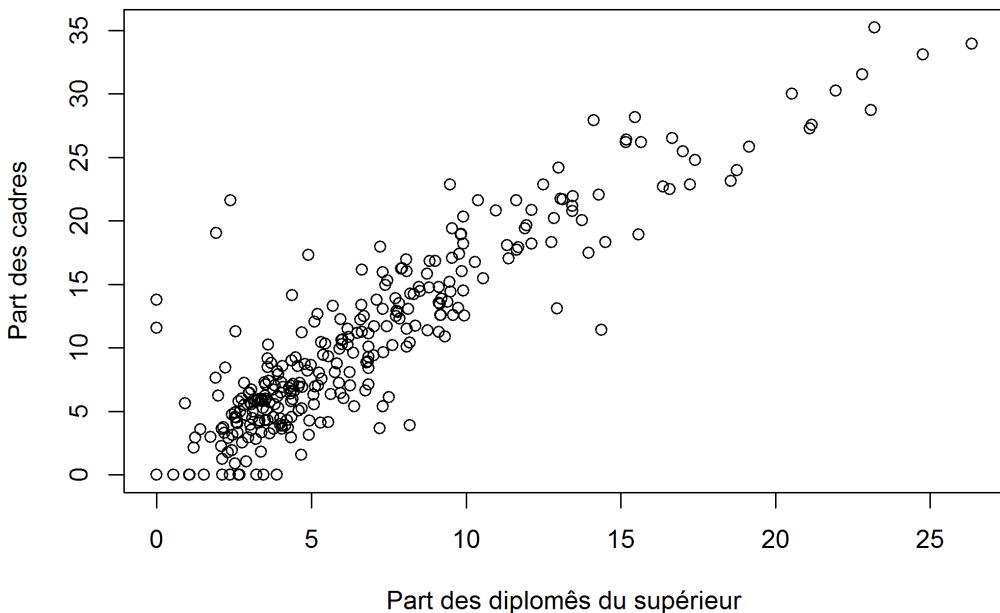


Figure 5. Proportion de cadres et proportion de diplômés du supérieur

Il ressemble déjà beaucoup plus à une relation de type linéaire.

Calculons le coefficient de corrélation :

```
R> cor(rp99$dipl.sup, rp99$cadres)
```

```
[1] 0.8975282
```

C'est beaucoup plus proche de 1. On peut alors effectuer une régression linéaire complète en utilisant la fonction `lm` :

```
R> reg <- lm(cadres ~ dipl.sup, data = rp99)
summary(reg)
```

```
Call:
lm(formula = cadres ~ dipl.sup, data = rp99)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max 
-9.6905 -1.9010 -0.1823  1.4913 17.0866 

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)    
(Intercept) 1.24088   0.32988   3.762 0.000203 ***
dipl.sup     1.38352   0.03931  35.196 < 2e-16 ***
                                 ***
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.281 on 299 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8056,    Adjusted R-squared:  0.8049 
F-statistic: 1239 on 1 and 299 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Le résultat montre que les coefficients sont significativement différents de 0. La part de cadres augmente donc avec celle de diplômés du supérieur (à surprise). On peut très facilement représenter la droite de régression à l'aide de la fonction `abline`.

```
R> plot(rp99$dipl.sup, rp99$cadres, ylab = "Part des cadres",
       xlab = "Part des diplômés du supérieur")
       abline(reg, col = "red")
```

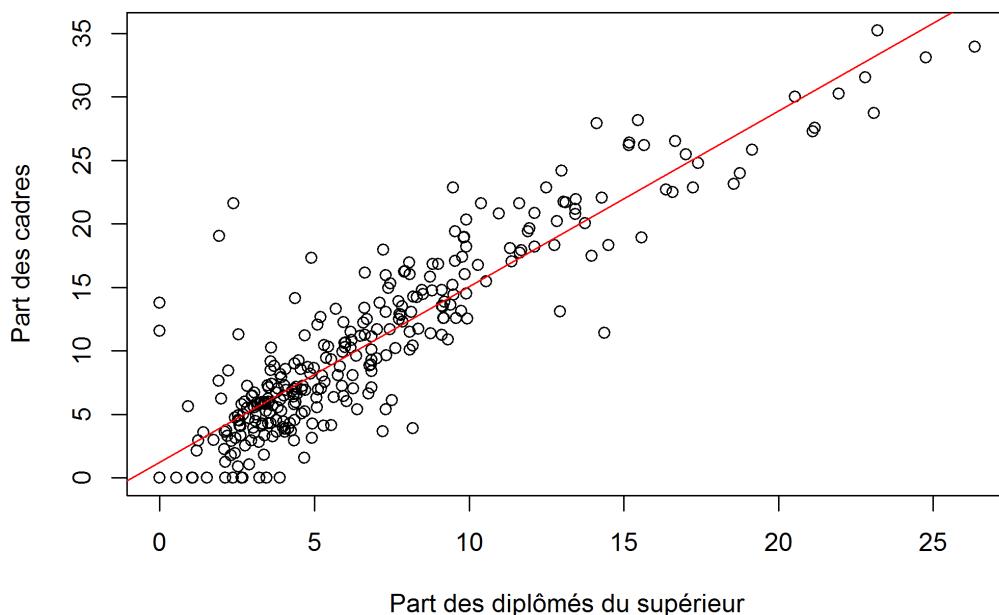


Figure 6. Régression de la proportion de cadres par celle de diplômés du supérieur

NOTE

On remarquera que le premier argument passé à la fonction `lm` a une syntaxe un peu particulière. Il s'agit d'une formule, utilisée de manière générale dans les modèles statistiques. On indique la variable d'intérêt à gauche et la variable explicative à droite, les deux étant séparées par un tilde `~` (obtenu sous Windows en appuyant simultanément sur les touches `Alt Gr` et `2`). On remarquera que les noms des colonnes de notre tableau de données ont été écrits sans guillemets.

Dans le cas présent, nous avons calculé une régression linéaire simple entre deux variables, d'où l'écriture `cadres ~ dipl.sup`. Si nous avions voulu expliquer une variable `z` par deux variables `x` et `y`, nous aurions écrit `z ~ x + y`. Il est possible de spécifier des modèles encore plus complexes.

Pour un aperçu de la syntaxe des formules sous R, voir <http://www2.coastal.edu/kingw/statistics/R-tutorials/formulae.html>.

Trois variables ou plus

Lorsque l'on souhaite représenter trois variables quantitatives simultanément, il est possible de réaliser un nuage de points représentant les deux premières variables sur l'axe horizontal et l'axe vertical et en faisant varier la taille des points selon la troisième variable, en utilisant l'argument `cex` de la fonction `plot`.

```
R> plot(rp99$dipl.aucun, rp99$tx.chom, cex = rp99$pop.tot/10^4)
```

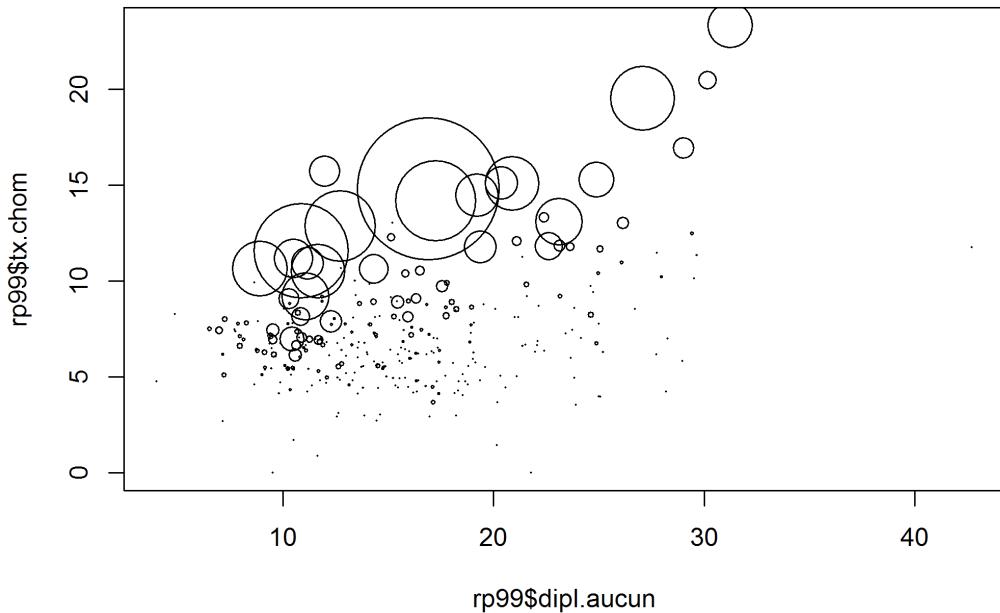


Figure 7. Nuage de points avec taille des points proportionnels à une troisième variable

Lorsque l'on étudie un plus grand nombres de variables quantitatives, il est peut-être utile de réaliser une matrice de nuages de points, qui compare chaque variable deux à deux et qui se obtient facilement avec la fonction `pairs`.

```
R> pairs(rp99[, c("proprio", "hlm", "locataire", "maison")])
```

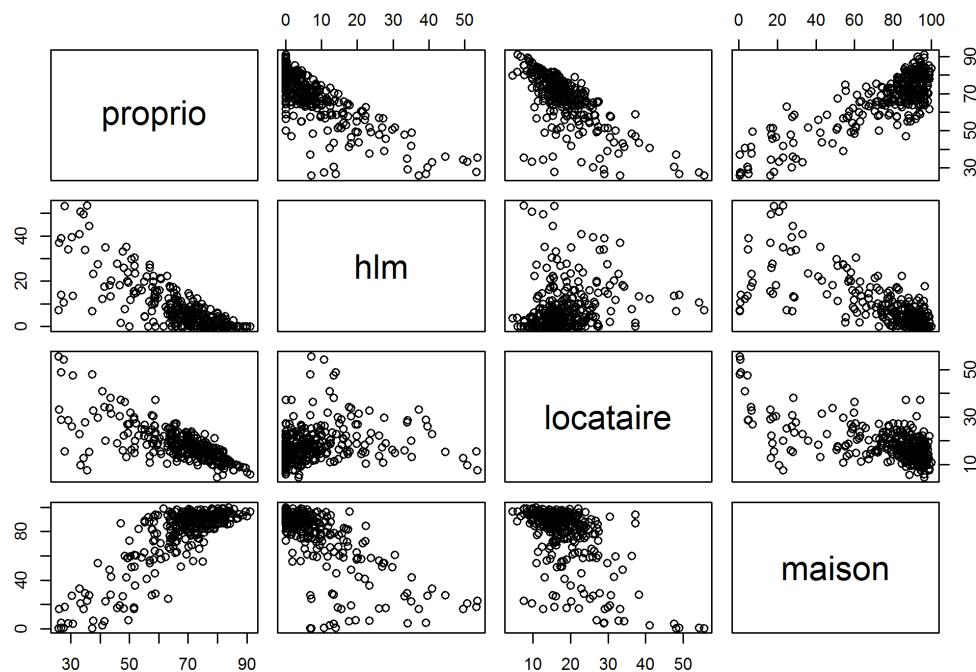


Figure 8. Matrice de nuages de points

Une variable quantitative et une variable qualitative

Représentations graphiques

Quand on parle de comparaison entre une variable quantitative et une variable qualitative, on veut en général savoir si la distribution des valeurs de la variable quantitative est la même selon les modalités de la variable qualitative. En clair : est ce que l'âge de ceux qui aiment du hard rock est différent de l'âge de ceux qui n'en aiment pas ?

Là encore, il faut d'abord commencer par une représentation graphique. Les boîtes à moustaches (boxplot en anglais) sont parfaitement adaptées pour cela.

Si on a construit des sous-populations d'individus écoutant ou non du hard rock, on peut utiliser la fonction `boxplot`.

```
R> d.hard <- subset(d, hard.rock == "Oui")
d.non.hard <- subset(d, hard.rock == "Non")
boxplot(d.hard$age, d.non.hard$age)
```

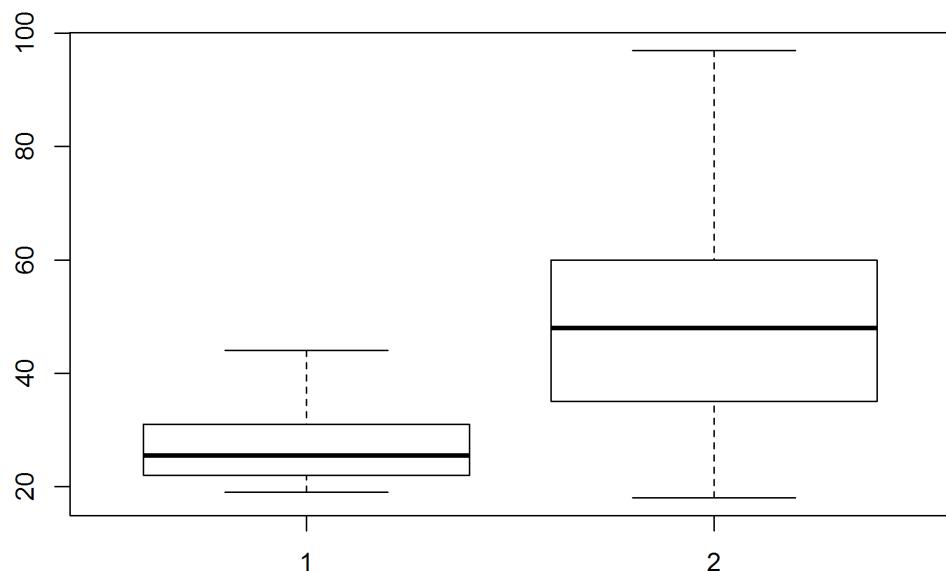


Figure 9. Boxplot de la répartition des âges (sous-populations)

Mais construire les sous-populations n'est pas nécessaire. On peut utiliser directement la version de `boxplot` prenant une formule en argument.

```
R> boxplot(age ~ hard.rock, data = d)
```

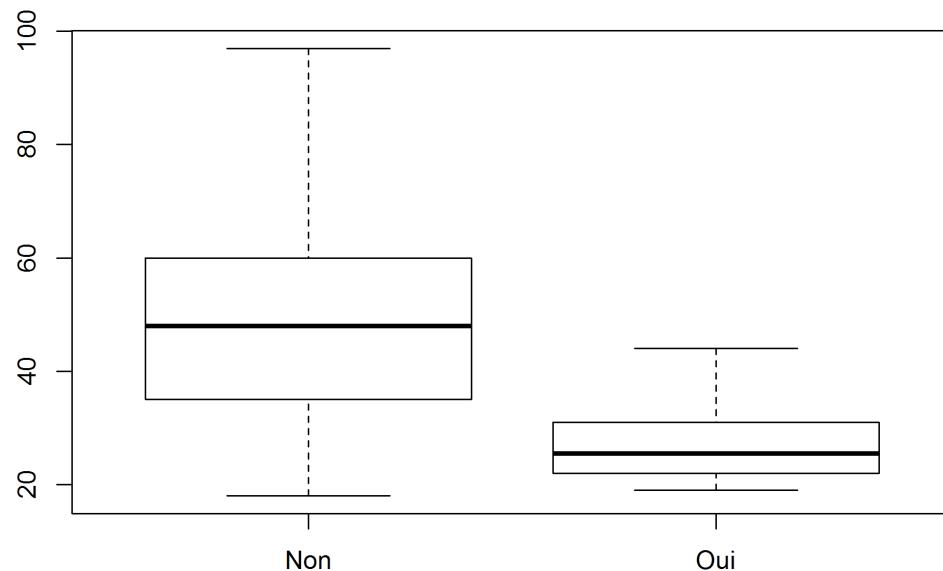


Figure 10. Boxplot de la répartition des âges (formule)

À première vue, à surprise, la population coutant du hard rock a l'air sensiblement plus jeune. Peut-on le tester mathématiquement ?

Deux variables qualitatives

La comparaison de deux variables qualitatives s'appelle en général un tableau croisé. C'est sans doute l'une des analyses les plus fréquentes lors du traitement d'enquêtes en sciences sociales.

Tableau croisé

La manière la plus simple d'obtenir un tableau croisé est d'utiliser la fonction `table` en lui donnant en paramètres les deux variables à croiser. En l'occurrence nous allons croiser un recodage du niveau de qualification regroupé avec le fait de pratiquer un sport.

On commence par calculer la variable recodée et par afficher le tri plat des deux variables :

```
R> d$qualreg <- as.character(d$qualif)
  d$qualreg[d$qualif %in% c("Ouvrier specialise", "Ouvrier qualifie")] <- "Ouvrier"
  d$qualreg[d$qualif %in% c("Profession intermediaire",
  "Technicien")] <- "Intermediaire"
  table(d$qualreg)
```

	Autre	Cadre	Employe
	58	260	594
Intermediaire		Ouvrier	
	246		495

Le tableau croisé des deux variables s'obtient de la manière suivante :

```
R> table(d$sport, d$qualreg)
```

	Autre	Cadre	Employe	Intermediaire	Ouvrier
Non	38	117	401	127	381
Oui	20	143	193	119	114

NOTE

Il est tout à fait possible de croiser trois variables ou plus. Par exemple :

```
R> table(d$sport, d$cuisine, d$sex)
```

, , = Homme

	Non	Oui
Non	401	129
Oui	228	141

, , = Femme

	Non	Oui
Non	358	389
Oui	132	222

Une alternative à la fonction `table` est la fonction `xtabs`. On indiquera à cette dernière le croisement à effectuer à l'aide d'une formule puis à l'objet contenant nos données. Comme il ne s'agit pas d'un modèle avec une variable à expliquer, toutes les variables seront indiquées à la droite du symbole ~ et separées par +.

```
R> xtabs(~sport, d)
```

sport
Non Oui
1277 723

```
R> xtabs(~sport + cuisine, d)
```

cuisine
sport Non Oui
Non 759 518
Oui 360 363

```
R> xtabs(~sport + cuisine + sexe, d)
```

```
, , sexe = Homme
```

cuisine	sport	Non	Oui
Non	401	129	
Oui	228	141	

```
, , sexe = Femme
```

cuisine	sport	Non	Oui
Non	358	389	
Oui	132	222	

On remarquera que le rendu par `xtabs` est en général plus lisible car le nom des variables est indiqué, permettant de savoir quelle variable est affichée en colonnes et laquelle en lignes.

Si l'on utilise des données labellisées, page 107, la fonction `xtabs` ne prendra pas en compte les étiquettes de valeur.

```
R> data(fecondite)
xtabs(~educ + region, femmes)
```

region	1	2	3	4
0	387	213	282	256
1	179	53	86	142
2	123	57	37	131
3	18	1	2	33

On pourra alors utiliser la fonction `ltabs` de l'extension `question`, qui fonctionne exactement comme `xtabs`, mais ceci précis qu'elle prendra en compte les étiquettes de variable et de valeur quand elles existent.

```
R> ltabs(~educ + region, femmes)
```

region: Région de résidence	Niveau d'éducation	[1] Nord	[2] Est	[3] Sud
aucun		387	213	282
primaire		179	53	86
secondaire		123	57	37

```
[3] supérieur      18      1      2
    region: Région de résidence
educ: Niveau d'éducation [4] Ouest
[0] aucun        256
[1] primaire     142
[2] secondaire   131
[3] supérieur    33
```

Pourcentages en ligne et en colonne

On n'a cependant que les effectifs, ce qui rend difficile les comparaisons. L'extension **questionr** fournit des fonctions permettant de calculer facilement les pourcentages lignes, colonnes et totaux d'un tableau croisé.

Les pourcentages lignes se obtiennent avec la fonction **lprop**². Celle-ci se applique au tableau croisé générée par **table** ou **xtabs**:

```
R> tab <- table(d$sport, d$qualreg)
lprop(tab)
```

	Autre	Cadre	Employé	Intermédiaire
Non	3.6	11.0	37.7	11.9
Oui	3.4	24.3	32.8	20.2
Ensemble	3.5	15.7	35.9	14.9
	Ouvrier Total			
Non	35.8	100.0		
Oui	19.4	100.0		
Ensemble	29.9	100.0		

```
R> tab <- xtabs(~sport + qualreg, d)
lprop(tab)
```

sport	qualreg	Autre	Cadre	Employé	Intermédiaire
Non		3.6	11.0	37.7	11.9
Oui		3.4	24.3	32.8	20.2
Ensemble		3.5	15.7	35.9	14.9

2. Il s'agit en fait d'un alias pour les francophones de la fonction **rprop**.

		qualreg	
		Ouvrier	Total
Non		35.8	100.0
Oui		19.4	100.0
Ensemble		29.9	100.0

Les pourcentages ligne ne nous intéressent guère ici. On ne cherche pas à voir quelle est la proportion de cadres parmi ceux qui pratiquent un sport, mais plutôt quelle est la proportion de sportifs chez les cadres. Il nous faut donc des pourcentages colonnes, que l'on obtient avec la fonction `cprop` :

R> `cprop(tab)`

		qualreg				
		Autre	Cadre	Employé	Intermédiaire	Ouvrier
sport	Non	65.5	45.0	67.5	51.6	77.0
	Oui	34.5	55.0	32.5	48.4	23.0
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		qualreg				
		sport Ensemble				
	Non	64.4				
	Oui	35.6				
	Total	100.0				

Dans l'ensemble, le pourcentage de personnes ayant pratiqué un sport est de 35,6 %. Mais cette proportion varie fortement d'une catégorie professionnelle à l'autre : 55,0 % chez les cadres contre 23,0 % chez les ouvriers.

Enfin, les pourcentages totaux sont obtenus avec la fonction `prop` :

R> `prop(tab)`

		qualreg				
		Autre	Cadre	Employé	Intermédiaire	Ouvrier
sport	Non	2.3	7.1	24.3	7.7	23.0
	Oui	1.2	8.7	11.7	7.2	6.9
	Total	3.5	15.7	35.9	14.9	29.9
		qualreg				
		sport Total				
	Non	64.4				
	Oui	35.6				
	Total	100.0				

Noter qu'on peut personnaliser l'affichage de ces tableaux de pourcentages à l'aide de différentes options, dont `digits` qui règle le nombre de décimales à afficher et `percent` qui

indique si on souhaite ou non rajouter un symbole % dans chaque case du tableau. Cette personnalisation peut se faire directement au moment de la génération du tableau et dans ce cas elle sera utilisée par défaut :

```
R> ctab <- cprop(tab, digits = 2, percent = TRUE)
      ctab
```

```
qualreg
sport Autre Cadre Employé Intermédiaire
  Non 65.52% 45.00% 67.51% 51.63%
  Oui 34.48% 55.00% 32.49% 48.37%
  Total 100.00% 100.00% 100.00% 100.00%
qualreg
sport Ouvrier Ensemble
  Non 76.97% 64.37%
  Oui 23.03% 35.63%
  Total 100.00% 100.00%
```

ou bien ponctuellement en passant les mêmes arguments à la fonction `print` :

```
R> ctab <- cprop(tab)
      print(ctab, percent = TRUE)
```

```
qualreg
sport Autre Cadre Employé Intermédiaire
  Non 65.5% 45.0% 67.5% 51.6%
  Oui 34.5% 55.0% 32.5% 48.4%
  Total 100.0% 100.0% 100.0% 100.0%
qualreg
sport Ouvrier Ensemble
  Non 77.0% 64.4%
  Oui 23.0% 35.6%
  Total 100.0% 100.0%
```

Représentation graphique

On peut obtenir une représentation graphique synthétisant l'ensemble des résultats obtenus sous la forme d'un graphique en mosaïque grâce à la fonction `mosaicplot`.

```
R> mosaicplot(qualreg ~ sport, data = d, shade = TRUE,
  main = "Graphe en mosaïque")
```

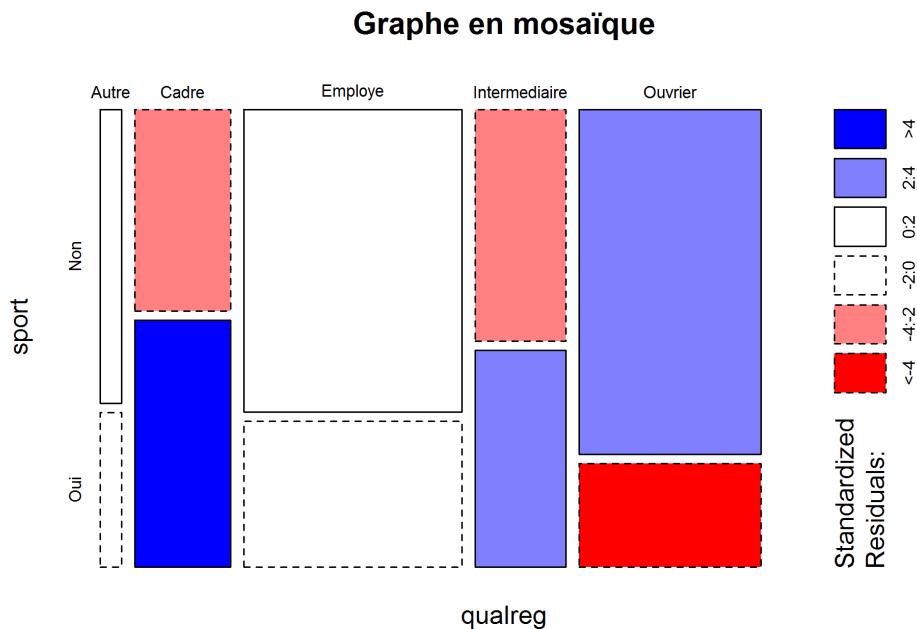


Figure 11. Exemple de graphe en mosaïque

Comment interpréter ce graphique haut en couleurs³? Chaque rectangle représente une case de tableau. Sa largeur correspond aux pourcentages en colonnes (il y a beaucoup d'employés et d'ouvriers et très peu d'Autre). Sa hauteur correspond aux pourcentages en lignes: la proportion de sportifs chez les cadres est plus élevée que chez les employés. Enfin, la couleur de la case correspond au résultat du test du correspondant: les cases en rouge sont sous-représentées, les cases en bleu sur-représentées, et les cases blanches sont statistiquement proches de l'hypothèse d'indépendance.

3. Sauf si il est imprimé en noir et blanc

NOTE

Les graphiques en mosaïque permettent notamment de représenter des tableaux croisés à 3 ou 4 dimensions, voire plus.

L'extension **vcd** fournit une fonction **mosaic** fournissant plus d'options pour la création d'un graphique en mosaïque, permettant par exemple d'indiquer quelles variables doivent être affichées horizontalement ou verticalement, ou encore de colorier le contenu des rectangles en fonction d'une variable donnée.

```
R> library(vcd)
```

```
Loading required package: grid
```

```
R> mosaic(~sport + cuisine + sexe, d, highlighting = "sexe",
  main = "Exemple de graphique en mosaïque à 3 dimensions")
```

Exemple de graphique en mosaïque à 3 dimensions



Lorsque l'on s'intéresse principalement aux variations d'une variable selon une autre, par exemple ici à la pratique du sport selon le niveau de qualification, il peut être intéressant de présenter les pourcentages en colonne sous la forme de barres cumulées.

```
R> barplot(cprop(tab, total = FALSE), main = "Pratique du sport selon le niveau de qualification")
```

Pratique du sport selon le niveau de qualification

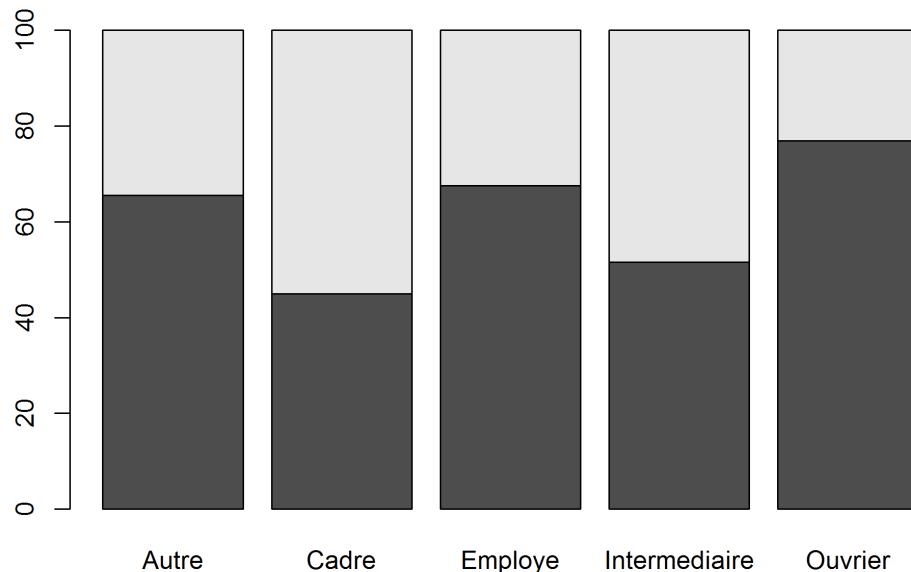


Figure 12. Exemple de barres cumulées

Introduction ♦ ggplot2

Les données de l'exemple	296
Nettoyage des données	297
Recodage d'une variable	298
Visualisation des données	299
Visualisation par «petits multiples»	301
Visualisation en séries temporelles	303
Combinaisons de documents graphiques	304
Composition graphique avec ggplot2	305
Couleurs et échelles	307
Utilisation des thèmes	311
Export des graphiques	313
Pour aller plus loin	313
Ressources essentielles	315
Extensions de ggplot2	315

NOTE

Ce chapitre est tiré d'une [séance de cours](#) de François Briatte et destinée des étudiants de L2 sans aucune connaissance de R. Cette séance de cours est elle-même inspirée d'un [exercice](#) tiré d'un cours de [Cosma Shalizi](#).

R possède un puissant moteur graphique interne, qui permet de «dessiner» dans un graphique en y rajoutant des segments, des points, du texte, ou toutes sortes d'autres symboles. Toutefois, pour produire un graphique complet avec les fonctions basiques de R, il faut un peu bricoler : d'abord, ouvrir une fenêtre ; puis rajouter des points ; puis rajouter des lignes ; tout en configurant les couleurs au fur-et-mesure ; puis finir par fermer la fenêtre graphique.

L’extension `ggplot2`¹, développée par Hadley Wickham et mettant en œuvre la «grammaire graphique» théorisée par Leland Wilkinson, devient vite indispensable lorsque l’on souhaite réaliser des graphiques plus complexes².

Ce chapitre, articulé autour d’une étude de cas, présente `ggplot2` à partir d’un exemple simple de visualisation de séries temporelles, puis rentre dans le détail de sa syntaxe. Pour une présentation plus formelle, on pourra se référer au chapitre dédié, page 517 de la section *Approfondir*.

Les données de l’exemple

Il y a quelques années, les chercheurs Carmen M. Reinhart et Kenneth S. Rogoff publiaient un article intitulé *Growth in a Time of Debt*, dans lequel ils faisaient la démonstration qu’un niveau élevé de dette publique nuisait à la croissance économique. Plus exactement, les deux chercheurs y défendaient l’idée que, lorsque la dette publique dépasse 90% du produit intérieur brut, ce produit cesse de croître.

Cette conclusion, proche du discours porté par des institutions comme le Fonds Monétaire International, alimente plusieurs argumentaires politiques. Des parlementaires américains s’en ainsi sont servi pour exiger une diminution du budget fédéral, et surtout, la Commission européenne s’est appuyée sur cet argumentaire pour exiger que des pays comme la Grèce, durement frappés par la crise financière globale de 2008, adoptent des plans d’austérité drastiques.

Or, en tentant de reproduire les résultats de Reinhart et Rogoff, les chercheurs Thomas Herndon, Michael Ash et Robert Pollin y ont trouvé de nombreuses erreurs, ainsi qu’une bête erreur de calcul due à une utilisation peu attentive du logiciel Microsoft Excel. La révélation de ces erreurs donna lieu à un débat très vif entre adversaires et partisans des politiques économiques d’austérité, débat toujours autant d’actualité aujourd’hui.

Dans ce chapitre, on va se servir des données (corrigées) de Reinhart et Rogoff pour évaluer, de manière indépendante, la cohérence de leur argument sur le rapport entre endettement et croissance économique. Commençons par récupérer ces données au format CSV sur le site du chercheur américain Cosma Shalizi, qui utilise ces données dans l’un de ses exercices de cours :

1. Voir l’excellente documentation de l’extension et les autres ressources citées en fin de chapitre.

2. Bien que l’on ait fait le choix de présenter l’extension `ggplot2` plutôt que l’extension `lattice`, celle-ci reste un excellent choix pour la visualisation, notamment, de `panels` et de `séries temporelles`. On trouve de très beaux exemples d’utilisation de `lattice` en ligne, mais un peu moins de documentation, et beaucoup moins d’extensions, que pour `ggplot2`.

```
R> # charger l'extension lisant le format CSV
library(readr)

# emplacement souhaité pour le jeu de données
file <- "data/debt.csv"

# tâche de charger le jeu de données s'il n'existe pas
if(!file.exists(file))
  download.file("http://www.stat.cmu.edu/~cshalizi/uADA/13/hw/11/debt.csv",
                file, mode = "wb")

# charger les données dans l'objet 'debt'
debt <- read_csv(file)
```

NOTE

Le code ci-dessus utilise la fonction `read_csv` de l'extension `readr`, dont on a recommandé l'utilisation dans un précédent chapitre, page 135. En l'absence de cette extension, on aurait pu utiliser la fonction de base `read.csv`.

Nettoyage des données

Les données de Reinhart et Rogoff contiennent, pour un échantillon de 20 pays occidentaux membres de la zone OCDE, la croissance de leur **produit intérieur brut** (PIB)³, et le ratio entre leur **dette publique** et ce produit, exprimé sous la forme d'un pourcentage «Dette / PIB». Les données vont du milieu des années 1940 à la fin des années 2000. La première colonne du jeu de données ne contenant que les numéros des lignes, on va la supprimer d'entrée de jeu :

```
R> # inspection du jeu de données
str(debt)
```

```
Classes 'tbl_df', 'tbl' and 'data.frame': 1171 obs. of 5 variables:
 $ : int 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 ...
 $ Country: chr "Australia" "Australia" "Australia" "Australia" ...
 $ Year : int 1946 1947 1948 1949 1950 1951 1952 1953 1954 1955 ...
 $ growth : num -3.56 2.46 6.44 6.61 6.92 ...
 $ ratio : num 190 177 149 126 110 ...
```

3. Ce produit est mesuré en **termes réels**, de manière à ce que le calcul de sa croissance ne soit pas affecté par l'inflation.

```
R> # suppression de la première colonne
debt <- debt[, -1]
```

Il faut aussi noter dès l'emblème que certaines mesures sont manquantes : pour certains pays, on ne dispose pas d'une mesure fiable du PIB et/ou de la dette publique. En conséquence, le nombre d'observations par pays est différent, et va de 40 observations «pays-année» pour la Grèce à 64 observations «pays-année» pour plusieurs pays comme l'Australie ou les États-Unis :

```
R> table(debt$Country)
```

Australia	Austria	Belgium	Canada
64	59	63	64
Denmark	Finland	France	Germany
56	64	54	59
Greece	Ireland	Italy	Japan
40	63	59	54
Netherlands	New Zealand	Norway	Portugal
53	64	64	58
Spain	Sweden	UK	US
42	64	63	64

Recodage d'une variable

Dernière manipulation préalable avant l'analyse : on va calculer la décennie de chaque observation, en divisant l'année de mesure par 10, et en multipliant la partie entière de ce résultat par 10. Cette manipulation très simple donne «1940» pour les mesures des années 1940 à 1949, «1950» pour les années 1950-1959, et ainsi de suite.

```
R> debt$Decade <- factor(10 * debt$Year/%10)
```

Voici, pour terminer, les premières lignes du jeu de données sur lequel on travaille :

```
R> head(debt)
```

	Country	Year	growth	ratio	Decade
1	Australia	1946	-3.557951	190.41908	1940
2	Australia	1947	2.459475	177.32137	1940
3	Australia	1948	6.437534	148.92981	1940
4	Australia	1949	6.611994	125.82870	1940

```
5 Australia 1950 6.920201 109.80940 1950
6 Australia 1951 4.272612 87.09448 1950
```

Visualisation des données

Chargeons le package extension graphique **ggplot2**:

```
R> library(ggplot2)
```

Procédons désormais à quelques visualisations très simples de ces données. On dispose de trois variables continues : l'année, le taux de croissance du PIB, et le ratio «Dette publique / PIB». Si l'on souhaite visualiser la croissance du PIB au cours du temps, la solution basique dans R serait de la manière suivante :

```
R> with(debt, plot(Year, growth))
```

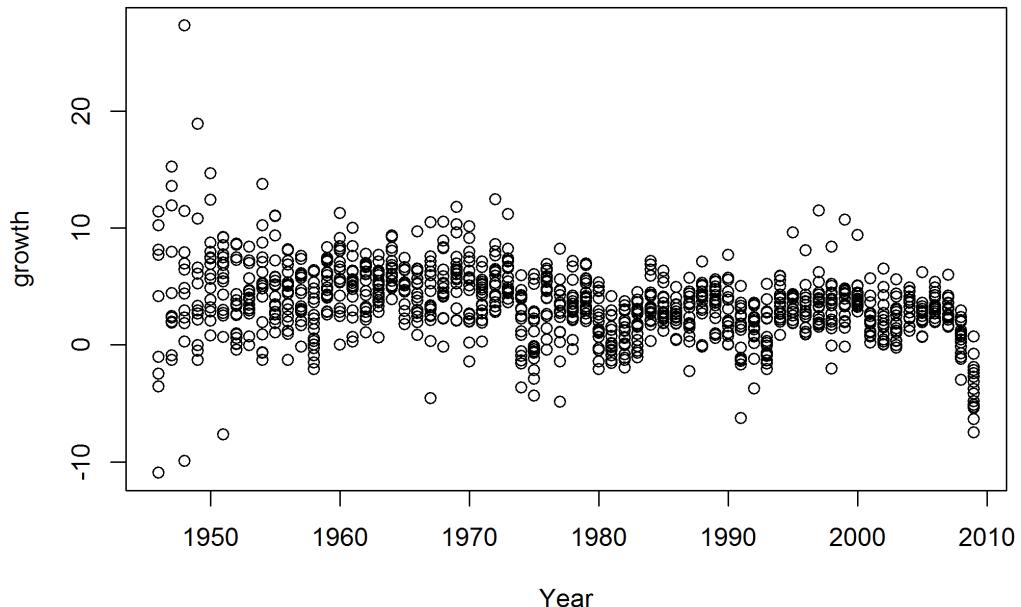
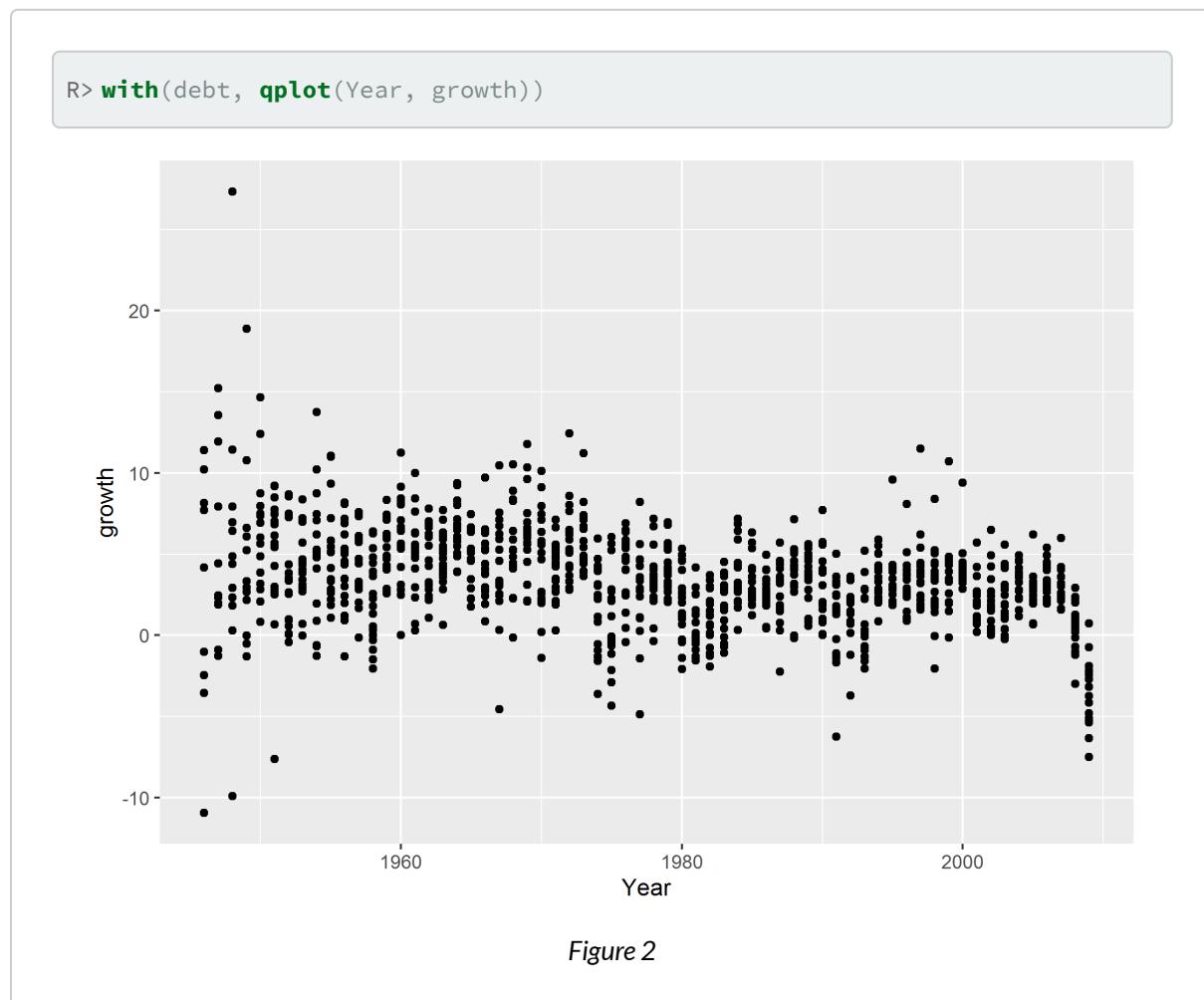


Figure 1

Le code de la visualisation est très simple et se lit : «avec l'objet `debt`, construire le graphique montrant l'année d'observation `Year` en abscisse et le taux de croissance du PIB `growth` en ordonnée». Le code est compris de cette manière par R car la fonction `plot` comprend le premier argument comme étant la variable à représenter sur l'axe horizontal `x`, et le second comme la variable à représenter sur l'axe vertical `y`.

Le même graphique se écrit de la manière suivante avec l'extension `ggplot2`:



Comme on peut le voir, le code est très proche du code utilisé dans «R base», la syntaxe signifiant toujours : «avec le jeu de données `debt`, visualiser les variables `Year` sur l'axe `x` et `growth` sur l'axe `y` ». Le résultat est similaire, bien que plusieurs paramètres graphiques aient changé : le fond gris clair, en particulier, est caractéristique du thème graphique par défaut de `ggplot2`, que l'on apprendra à modifier plus loin.

Par ailleurs, dans les deux exemples précédents, on a écrit `with(debt, ...)` pour indiquer que l'on travaillait avec l'objet `debt`. Lorsque l'on travaille avec l'extension `ggplot2`, il est toutefois plus commun d'utiliser l'argument `data` dans l'appel de `qplot` pour indiquer ce choix :

```
R> qplot(Year, growth, data = debt)
```

Visualisation par «petits multiples»

Cherchons désormais à mieux comprendre les variations du taux de croissance du PIB au fil des années.

Dans les graphiques précédents, on voit clairement que ce taux est très variable dans l'immédiat après-guerre, puis qu'il oscille entre environ -5% et +15%, puis qu'il semble chuter dramatiquement à la fin des années 2000, marquées par la crise financière globale. Mais comment visualiser ces variations pour chacun des vingt pays de l'échantillon?

On va ici utiliser le principe de la visualisation par «[petits multiples](#)», c'est-à-dire que l'on va reproduire le même graphique pour chacun des pays, et visualiser l'ensemble de ces graphiques dans une même fenêtre. Concrètement, il va donc s'agir de montrer la croissance annuelle du PIB en faisant apparaître chaque pays dans une facette différente du graphique.

[ggplot2](#) permet d'effectuer cette opération en rajoutant au graphique précédent, au moyen de l'opérateur `+`, l'ément `facet_wrap(~ Country)` au graphique et qui signifie «construire le graphique pour chaque valeur différente de la variable `Country`». On notera que la fonction `facet_wrap` utilise la syntaxe question, page 539 de R. Par défaut, ces «facettes» sont classées par ordre alphabétique:

```
R> qplot(Year, growth, data = debt) +
  facet_wrap(~ Country)
```

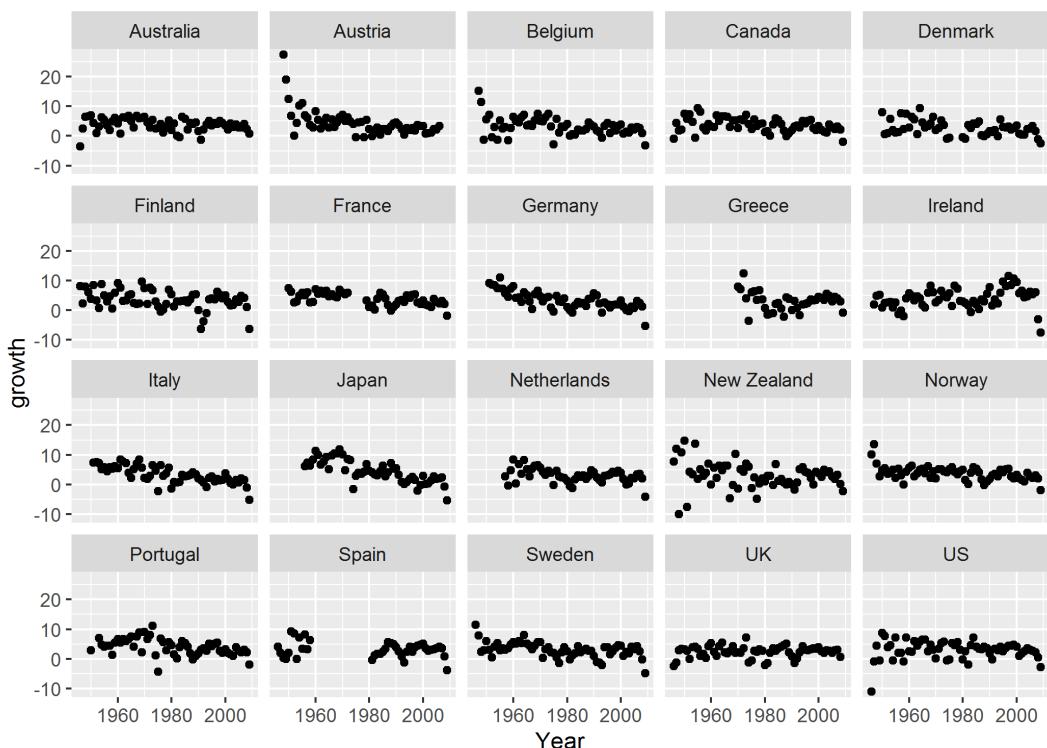


Figure 3

Voilà qui est beaucoup plus clair ! On aperçoit bien, dans ce graphique, les variations très importantes de croissance du PIB dans un pays comme l'Autriche, ruinée après la Seconde guerre mondiale, ou l'Irlande, très durement frappée par la crise financière globale en 2008 et 2009. On aperçoit aussi où se trouvent les données manquantes : voir le graphique de l'Espagne, par exemple.

Il faut noter ici un élément essentiel de la grammaire graphique de **ggplot2**, qui utilise une syntaxe additive, où différents éléments et paramètres graphiques peuvent être combinés en les additionnant, ce qui permet de construire et de modifier des graphiques de manière cumulative, pas à pas. Cette caractéristique permet de tout ensembler, et de construire progressivement des graphiques très complets.

Visualisation en séries temporelles

Enfin, pour produire le même graphique que ci-dessus en utilisant des lignes plutôt que des points, il suffit d'utiliser l'argument `geom = "line"`, ce qui peut être considéré comme une meilleure manière de visualiser des séries temporelles, mais qui tend aussi à rendre plus difficile la détection des périodes pour lesquelles il manque des données (voir, à nouveau, le graphique pour l'Espagne) :

```
R> qplot(data = debt, y = growth, x = Year, geom = "line") +
  facet_wrap(~ Country)
```

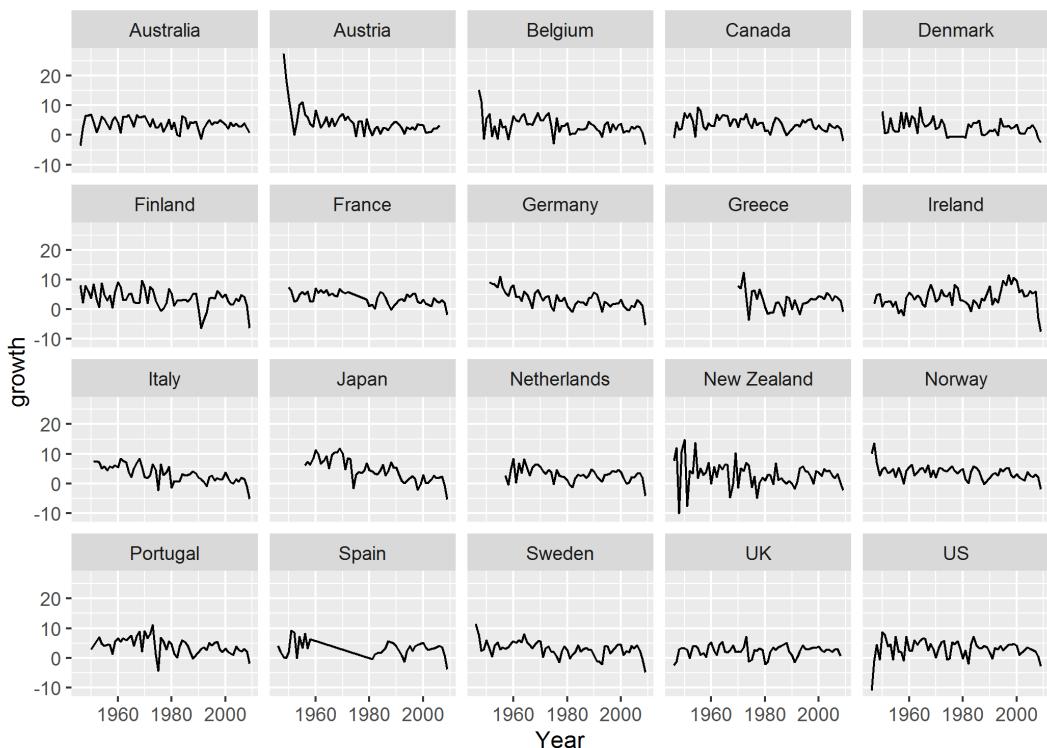


Figure 4

Dans ce dernier exemple, on a défini l'axe `y` avant de définir l'axe `x`, en écrivant ces arguments de manière explicite ; de même, on a commencé par spécifier l'argument `data`, et l'on a terminé par l'argument `geom`. Cet ordre d'écriture permet de conserver une forme de cohérence dans l'écriture des fonctions graphiques.

Combinaisons d'éléments graphiques

On n'a pas encore visualisé le ratio «Dette publique / PIB», l'autre variable du raisonnement de Reinhart et Rogoff. C'est l'occasion de voir comment rajouter des titres aux axes des graphiques, et d'utiliser les lignes en même temps que des points, toujours grâce à l'argument `geom`, qui peut prendre plusieurs valeurs (ici, "point" produit les points et "line" produit les lignes) :

```
R> qplot(data = debt, y = ratio, x = Year, geom = c("line", "point")) +
  facet_wrap(~ Country) +
  labs(x = NULL,
       y = "Ratio dette publique / produit intérieur brut (%)\\n")
```

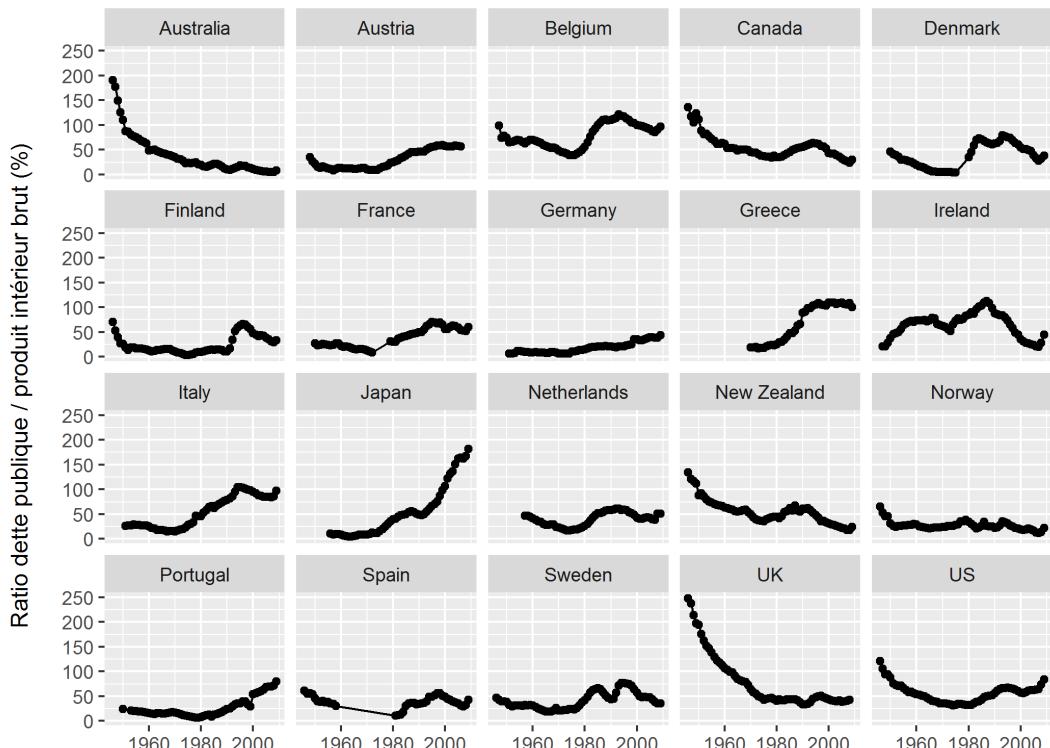


Figure 5

Dans ce graphique, on a combiné deux «objets géométriques» (`geom`) pour afficher à la fois des points et des lignes. On a ensuite défini les titres des axes, en supprimant celui de l'axe `x`, et en rajoutant un peu d'espace entre le titre de l'axe `y` et l'axe lui-même grâce à la chaîne de caractères finale `\n`, qui rajoute une ligne vide entre ces deux éléments⁴.

Les différents exemples vus dans cette section montrent qu'il va falloir apprendre un minimum de syntaxe graphique pour parvenir à produire des graphiques avec `ggplot2`. Ce petit investissement permet de savoir très vite produire de très nombreux types de graphiques, assez larges de surcroît, et très facilement modifiables à l'aide de toutes sortes de paramètres optionnels.

IMPORTANT

Aussi larges que soient vos graphiques, il ne vous dispense évidemment pas de régler chir ce que vous êtes en train de visualiser, un graphique très large pouvant naturellement être complètement erroné, en particulier si les données de base du graphique ont été mal mesurées ou endommagées.

Composition graphique avec ggplot2

La section précédente a montré comment utiliser la fonction `qplot` (*quick plot*). La syntaxe complète de l'extension `ggplot2` passe par une autre fonction, `ggplot`, qui permet de mieux comprendre les différents éléments de sa grammaire graphique. Dans cette section, on va détailler cette syntaxe pour en tirer un graphique plus complexe que les précédents.

Commençons par créer un «treillis de base» au graphique :

```
R> p <- ggplot(data = debt, aes(y = growth, x = ratio))
```

Aucun graphique ne s'affiche ici⁴: en effet, ce que l'on a stocké, dans l'objet `p`, n'est pas un graphique complet, mais une base de travail. Cette base définit les coordonnées `x` et `y` du graphique dans l'argument `aes` (*aesthetics*). Ici, on a choisi de mettre la variable dépendante de Reinhart et Rogoff, `growth` (le taux de croissance du PIB), sur l'axe `y`, et la variable indépendante `ratio` (le ratio «Dette publique / PIB») sur l'axe `x`.

Rajoutons désormais un objet géométrique, `geom_point`, qui va projeter, sur le graphique, des points aux coordonnées précédemment définies, et divisons le graphique par un «petit multiple», en projetant les points de chaque décennie dans une facette différente du graphique. Ce graphique propose une composition temporelle de la relation étudiée par Reinhart et Rogoff⁴:

4. Plus précisément, cela introduit un retour à la ligne dans le titre de l'axe.

```
R> p + geom_point() +
  facet_grid(. ~ Decade)
```

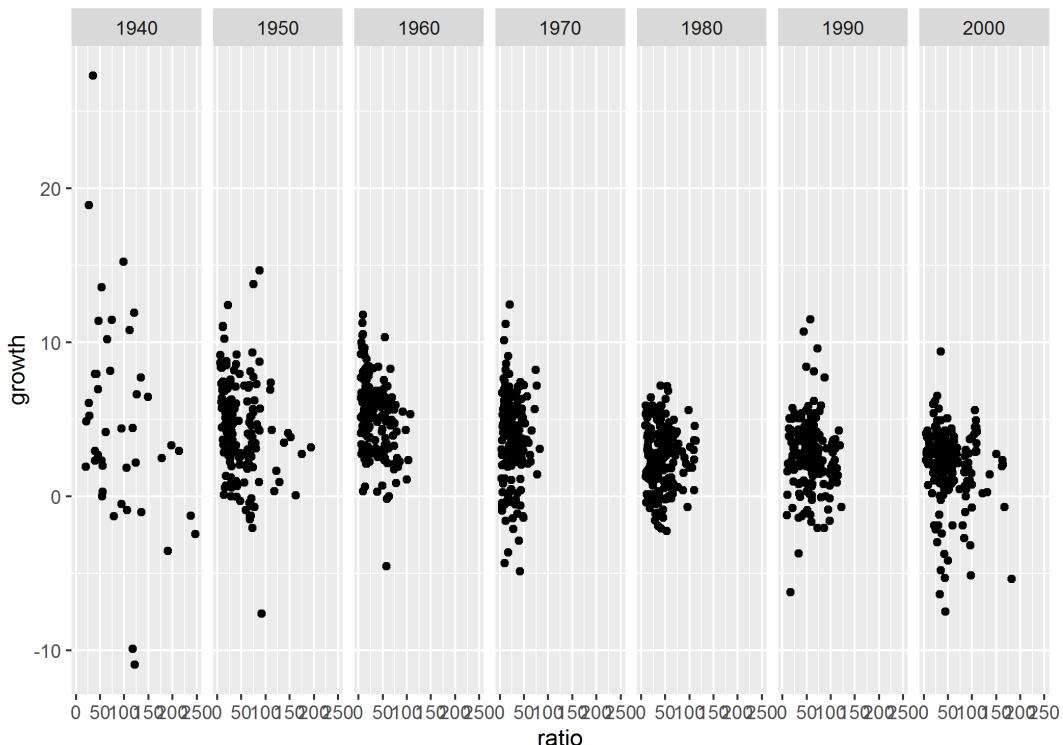


Figure 6

NOTE

Le paramètre `facet_grid`, qui utilise aussi la syntaxe «équation, page 539», permet de créer des facettes plus compliquées que celles créées par le paramètre `facet_wrap`, même si, dans nos exemples, on aurait pu utiliser aussi bien l’un que l’autre.

Le graphique ci-dessus présente un problème fréquent : l’axe horizontal du graphique, très important puisque Reinhart et Rogoff évoquent un seuil «fatidique», pour la croissance, de 90% du PIB, est illisible. Grâce à l’argument `scale_x_continuous`, on va pouvoir clarifier cet axe en ne y faisant figurer que certaines valeurs :

```
R> p + geom_point() +
  facet_grid(. ~ Decade) +
  scale_x_continuous(breaks = seq(0, 200, by = 100))
```

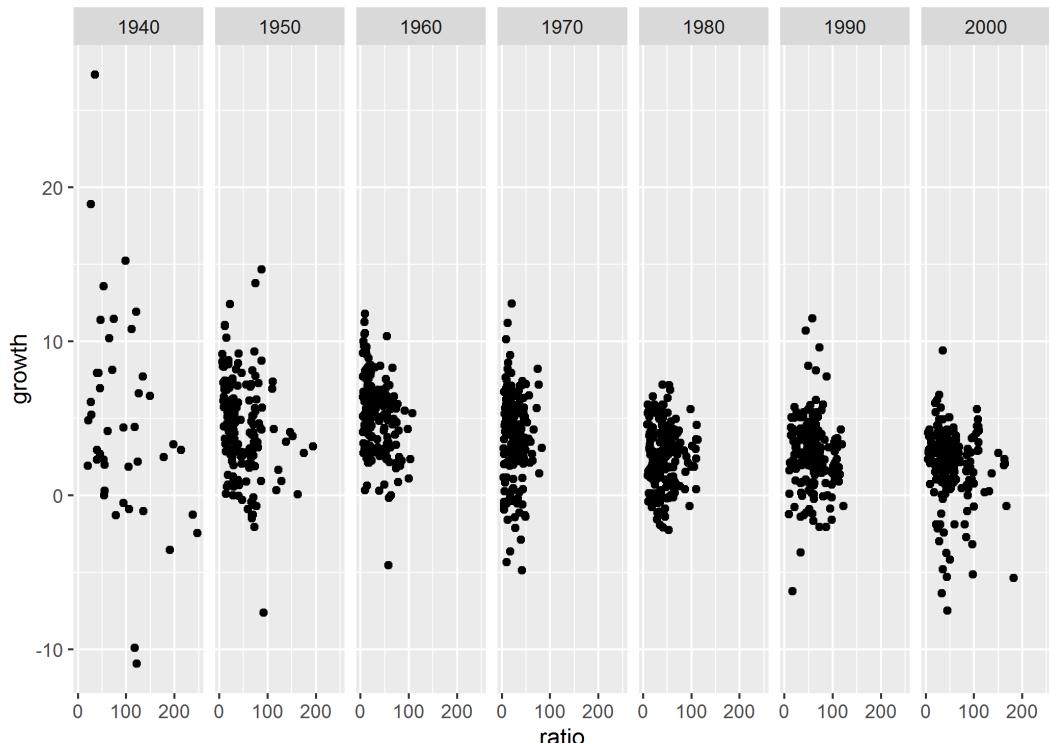


Figure 7

Ces réglages nous conviennent : on va donc les sauvegarder dans l'objet `p`, de manière à continuer de construire notre graphique en incluant ces différents éléments.

```
R> p <- p + geom_point() +
  facet_grid(. ~ Decade) +
  scale_x_continuous(breaks = seq(0, 200, by = 100))
```

Couleurs et échelles

Abordons désormais un élément-clé de `ggplot2` : la manipulation des paramètres esthétiques. Précédemment, on nous a montré que deux de ces paramètres : `x` et `y`, les coordonnées du graphique. Mais ces paramètres peuvent aussi influencer la couleur des points de notre graphique comme le montre l'exemple suivant :

```
R> p + aes(color = ratio < 90)
```

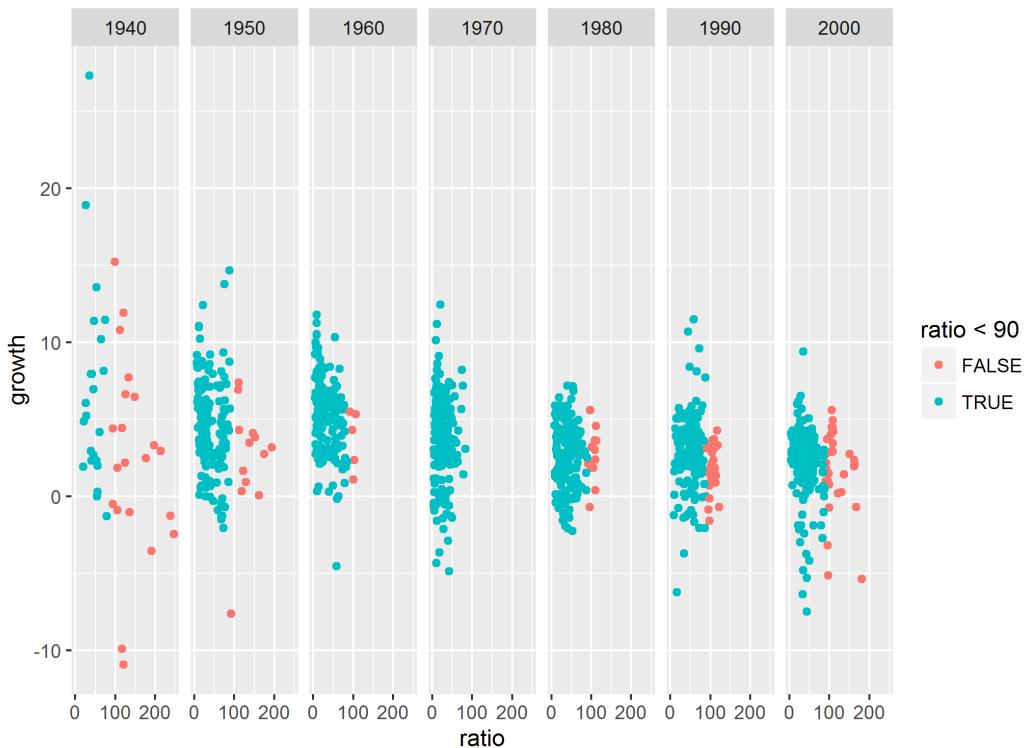


Figure 8

Qu'a-t-on fait ici? On a rajouté, au graphique stocké dans `p`, un paramètre esthétique qui détermine la couleur de ses points en fonction d'une inégalité, `ratio < 90`, qui est vraie quand le ratio «Dette publique / PIB» est inférieur au seuil «fatidique» de Reinhart et Rogoff, et fausse quand ce ratio dépasse ce seuil. Les couleurs des points correspondent aux couleurs par défaut de `ggplot2`, que l'on peut très facilement modifier avec `scale_colour_brewer`:

```
R> p + aes(color = ratio < 90) + scale_colour_brewer(palette = "Set1")
```

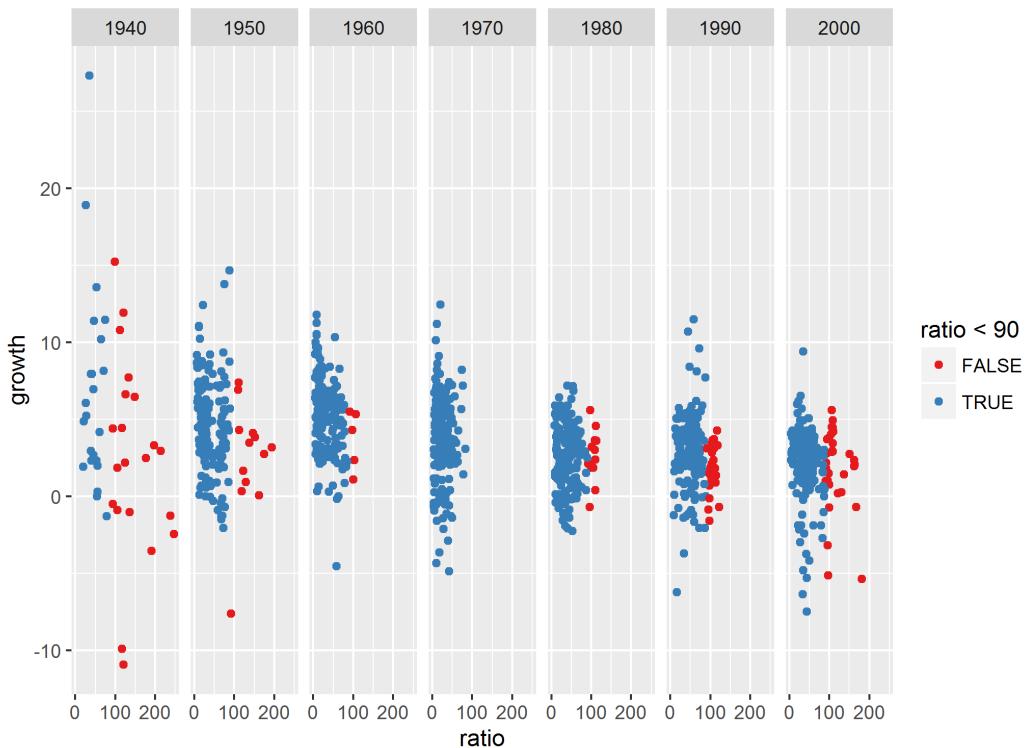


Figure 9

Ici, on a fait appel à la palette de couleur Set1 de l'ensemble de couleurs ColorBrewer, qui est automatiquement disponible dans ggplot2, et qui est contenu dans l'extension RColorBrewer. La palette de couleurs que l'on a choisie affiche les points situés au-dessus du seuil «fatidique» de Reinhart et Rogoff en rouge, les autres en bleu.

Que peut-on dire, à ce stade, du seuil «fatidique» de Reinhart et Rogoff? On peut observer qu'après la Seconde guerre mondiale, de nombreux pays sont déjà endettés au-delà de ce seuil, et donc gagnent moins de croissance que les autres. Sur la base de cette trajectoire, de nombreux critiques de Reinhart et Rogoff ont fait remarquer que le raisonnement de Reinhart et Rogoff pose en réalité un sérieux problème d'inversion du rapport causal entre endettement et croissance au cours du temps.

Envisageons une nouvelle modification des paramètres graphiques. La légende du graphique, qui affiche FALSE et TRUE en fonction de l'inégalité ratio < 90, peut être directe. Clarifions un peu cette légende en supprimant son titre et en remplaçant les libellés (labels) FALSE et TRUE par leur signification :

```
R> p <- p + aes(color = ratio < 90) +
  scale_color_brewer("", palette = "Set1",
  labels = c("ratio > 90", "ratio < 90"))
```

Dans le bloc de code ci-dessus, on a stocké l'ensemble de nos modifications dans l'objet `p`, sans l'afficher ; en effet, on souhaite encore procéder à une dernière modification, en rajoutant une regression locale à travers les points de chaque facette⁵. Après consultation de la documentation de `ggplot2` ici et là, on en arrive au code ci-dessous, où `p` produit le graphique précédent et `geom_smooth` produit la regression locale :

```
R> p + geom_smooth(method = "loess", se = FALSE,
  size = 1, color = "black")
```

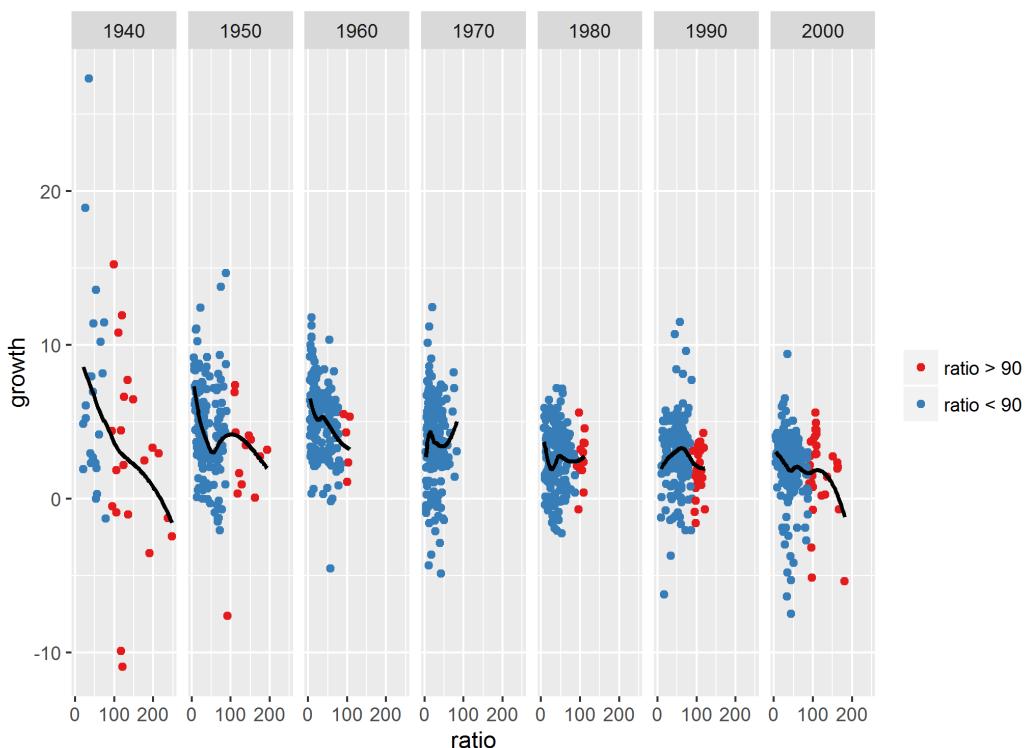


Figure 10

Le graphique permet davantage de manière encore un peu plus précise l'argument de Reinhart et Rogoff, et en particulier la nature pas si «fatidique» du seuil de 90% du ratio Dette publique / PIB, qui sans être une bonne nouvelle pour l'économie, ne détermine pas «fatidiquement» la direction du taux

5. La régression locale est une variante du calcul de la moyenne glissante (ou «moyenne mobile») d'une courbe.

de croissance : si c'était le cas, toutes les courbes du graphique ressembleraient celles des années 2000. Autrement dit, l'argumentaire de Reinhart et Rogoff laisse clairement douter.

Utilisation des thèmes

Reprendons notre graphique de départ. On va, pour terminer cette démonstration, en construire une version imprimable en noir et blanc, ce qui signifie qu'au lieu d'utiliser des couleurs pour distinguer les points en-deçà et au-delà du seuil «fatidique» de Reinhart et Rogoff, on va utiliser une ligne verticale, produite par `geom_vline` et affichée en pointillés par le paramètre `linetype` :

```
R> ggplot(data = debt, aes(y = growth, x = ratio)) +
  geom_point(color = "grey50") +
  geom_vline(xintercept = 90, lty = "dotted") +
  geom_smooth(method = "loess", size = 1, color = "black", se = FALSE) +
  scale_x_continuous(breaks = seq(0, 200, by = 100)) +
  facet_grid(. ~ Decade) +
  labs(y = "Taux de croissance du produit intérieur brut\n",
       x = "\nRatio dette publique / produit intérieur brut (%)",
       title = "Données Reinhart et Rogoff corrigées, 1946-2009\n") +
  theme_bw() +
  theme(strip.background = element_rect(fill = "grey90", color = "grey50"),
        strip.text = element_text(size = rel(1)),
        panel.grid = element_blank())
```

Données Reinhart et Rogoff corrigées, 1946-2009

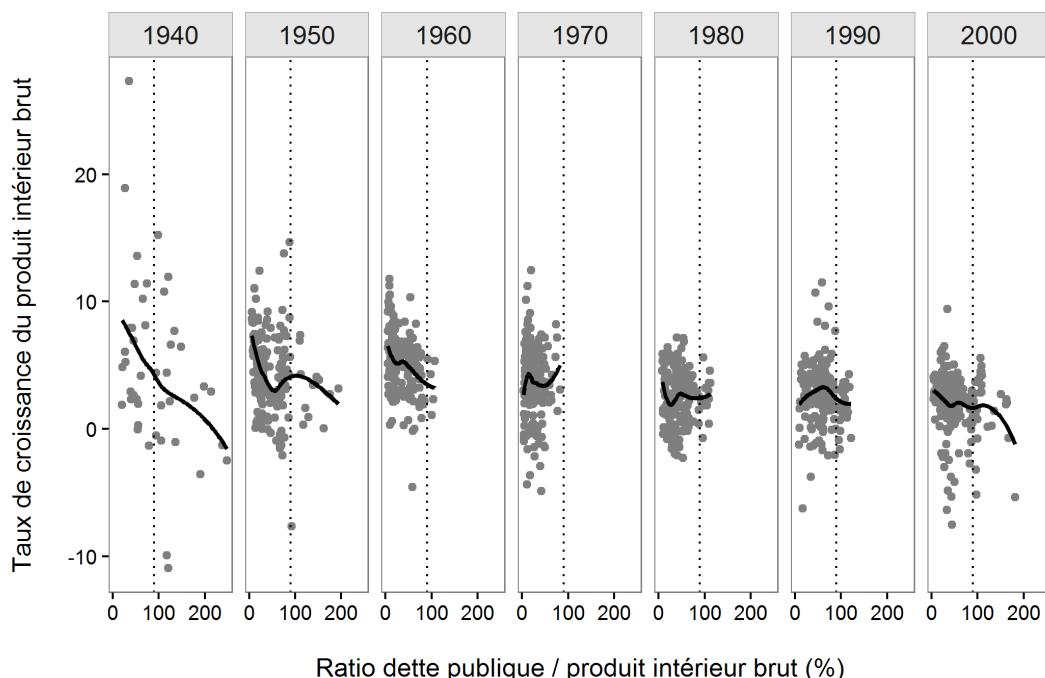


Figure 11

Ce graphique utilise tous les éléments présentés dans ce chapitre, ainsi qu'une dernière nouveauté: l'utilisation d'un thème graphique différent du thème par défaut de `ggplot2`. Le thème par défaut, qui s'appelle `theme_grey`, est ici remplacé par un thème moins chargé,

`theme_bw` (*black and white*), que l'on a modifiée en y rajoutant quelques paramètres supplémentaires :

- le paramètre `strip.background` détermine la couleur du rectangle contenant les titres des facettes, c'est-à-dire les données observées ;
- le paramètre `strip.text` détermine la taille des titres des facettes, qui sont ici affichés dans la même taille de texte que le reste du texte ;
- et le paramètre `panel.grid` supprime ici les guides du graphique grâce à l'lement vide `element_blank`, de manière à empêcher la lecture.

Ces différents réglages peuvent être sauvegardés de manière à créer des thèmes réutilisables, comme ceux de l'extension `ggthemes`, ce qui permet par exemple de créer un thème entièrement blanc dans lequel on peut ensuite projeter une carte, ou de produire une série de graphiques homogènes d'un point de vue esthétique.

Export des graphiques

Les graphiques produits par `ggplot2` peuvent être sauvegardés manuellement, comme expliqué dans le chapitre «Export des graphiques, page 239», ou programmatiquement. Pour sauvegarder le dernier graphique affiché par `ggplot2` au format PNG, il suffit d'utiliser la fonction `ggsave`, qui permet de régler la taille (en pouces) et la résolution (en pixels par pouce ; 72 par défaut) :

```
R> ggsave("reinhart-rogoff.png", width = 11, height = 8)
```

De la même manière, pour sauvegarder n'importe quel graphique construit avec `ggplot2` et stocké dans un objet, il suffit de préciser le nom de cet objet, comme ci-dessous, où l'on sauvegarde le graphique contenu dans l'objet `p` au format vectoriel PDF, qui préserve la netteté du texte et des autres éléments du graphique n'importe quelle résolution d'affichage :

```
R> ggsave("reinhart-rogoff.pdf", plot = p,
          width = 11, height = 8)
```

Pour aller plus loin

Ce chapitre n'a pu faire la démonstration que d'une infime partie des manières d'utiliser `ggplot2`. En voici une dernière illustration, qui donne une idée des différents types de graphiques que l'extension permet de produire dès que l'on connaît les principaux éléments de sa syntaxe :

```
R> ggplot(data = debt, aes(x = ratio > 90, y = growth)) +
  geom_boxplot() +
  scale_x_discrete(labels = c("< 90", "90+")) +
  facet_grid(. ~ Decade) +
  labs(y = "Taux de croissance du produit intérieur brut\n",
       x = "\nRatio dette publique / produit intérieur brut (%)",
       title = "Données Reinhart et Rogoff corrigées, 1946-2009") +
  theme_linedraw() +
  theme(strip.text = element_text(size = rel(1)),
        panel.grid = element_blank())
```

Données Reinhart et Rogoff corrigées, 1946-2009

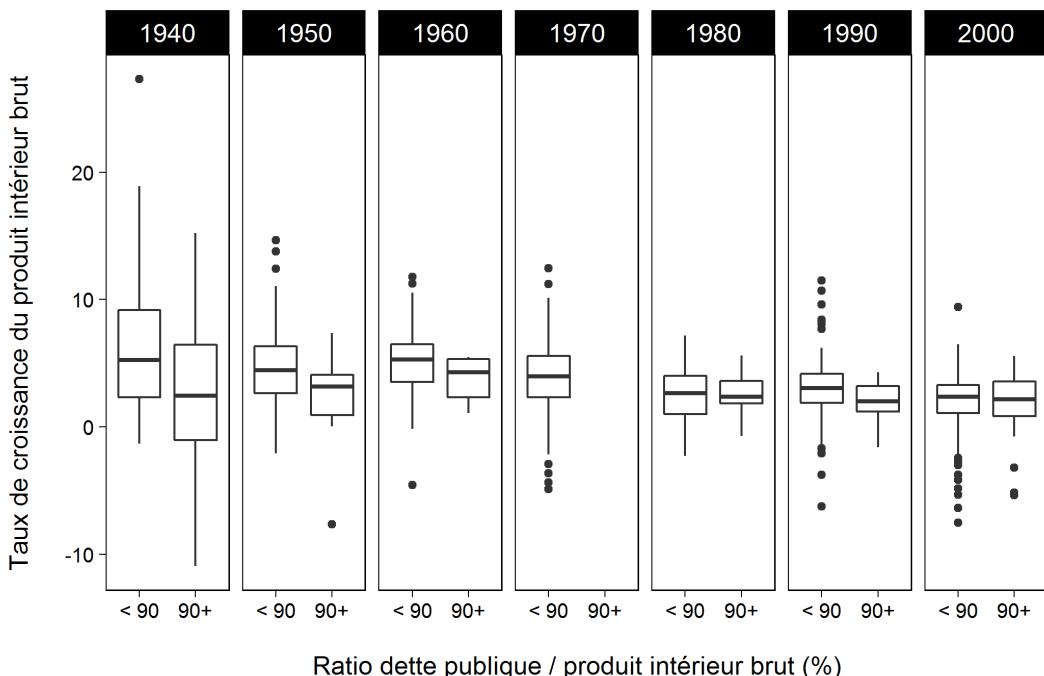


Figure 12

Le code ci-dessus est somme toute très proche du code présent dans le reste du texte, et en même temps, on a basculé de la visualisation sous forme de séries temporelles à une visualisation par boxplots. Ces basculements sont très faciles à envisager dès que l'on maîtrise les principaux éléments de `ggplot2`, `geom`, `scale` et `facet`, et les paramètres `labs` et `theme` pour effectuer les finitions.

Ressources essentielles

Pour tout ce qui concerne l'utilisation de `ggplot2`, l'ouvrage de Wickham, en cours d'actualisation, est la ressource essentielle à consulter. L'ouvrage de Winston Chang, qui contient des dizaines d'exemples, le complète utilement, de même que la documentation en ligne de l'extension. Enfin, le site [StackOverflow](#) contient de très nombreuses questions/réponses sur les subtilités de sa syntaxe.

On trouve aussi très facilement, ailleurs sur Internet, des dizaines de *tutorials* et autres *cheatsheets* pour `ggplot2`, [ici](#) ou [là](#) par exemple.

On pourra aussi se référer au chapitre `ggplot2`: la grammaire des graphiques, page 517.

Extensions de ggplot2

Il faut signaler, pour terminer, quelques-unes des différentes extensions inspirées de `ggplot2`, dont la plupart sont encore en cours de développement, mais qui permettent d'ores et déjà de produire des centaines de types de graphiques différents, à partir d'une syntaxe graphique proche de celle présente dans ce chapitre :

- L'extension `ggfortify` permet de visualiser les résultats de différentes fonctions de modélisation avec `ggplot2`;
- L'extension `ggmap` permet de visualiser des fonds de carte et déjà superposer des éléments graphiques réalisés avec `ggplot2`;
- L'extension `GGally` rajoute quelques types de graphiques à ceux que `ggplot2` peut produire par défaut ;
- et des extensions comme `ggvis` permettent de produire des graphiques interactifs en utilisant la syntaxe de base de `ggplot2`.

On reviendra sur ces extensions dans un chapitre plus avancé, page 519. Pour l'instant, on se contentera des éléments de syntaxe présentés dans ce chapitre, qui seront très souvent mobilisés dans les chapitres suivants, de manière à pleinement illustrer la richesse et la flexibilité de `ggplot2`.

Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2

Retour sur les bases de ggplot2	317
Histogramme	319
Densités et répartition cumulée	322
Boîtes à moustaches (et représentations associées)	325
Diagramme en boutons	328
Nuage de points	330
Matrice de nuages de points et matrice de corrélation	335
Estimation locale de densité (et représentations associées)	338
Diagramme de Cleveland	344
Diagrammes en barres	348
Graphe en mosaïque	350
Données labellisées et ggplot2	351
Exporter les graphiques obtenus	351

Après avoir introduit l'extension `ggplot2` au travers d'une étude de cas, page 295, nous reprenons ici les graphiques produits dans les chapitres statistique univariée, page 249 et statistique bivariée, page 273 et montrons comment les réaliser avec `ggplot2`.

Retour sur les bases de ggplot2

L'extension `ggplot2` nécessite que les données du graphique soient sous la forme d'un tableau de données (`data.frame`) avec une ligne par observation et les différentes valeurs à représenter sous forme de variables du tableau.

Tous les graphiques avec `ggplot2` suivent une même logique. En premier lieu, on appellera la fonction `ggplot` en lui passant en paramètre le fichier de données.

`ggplot2` nomme *esthétiques* les différentes propriétés visuelles d'un graphique, à savoir l'axe des `x` (`x`), celui des `y` (`y`), la couleur des lignes (`colour`), celle de remplissage des polygones (`fill`), le type de lignes (`linetype`), etc. Une représentation graphique consiste donc à représenter chacune de nos variables d'intérêt selon une esthétique donnée. En second lieu, on appellera donc la fonction `aes` pour indiquer la correspondance entre les variables de notre fichier de données et les esthétiques du graphique.

A minima, il est nécessaire d'indiquer en troisième lieu une *geométrie*, autrement dit la manière dont les éléments seront représentés visuellement. À chaque *geométrie* corresponds une fonction commençant par `geom_`, par exemple `geom_point` pour dessiner des points, `geom_line` pour des lignes, `geom_bar` pour des barres ou encore `geom_area` pour des aires. Il existe de nombreuses *geométries* différentes, chacune prenant en compte certaines esthétiques, certaines étant requises pour cette *geométrie* et d'autres optionnelles. La liste des esthétiques prises en compte par chaque *geométrie* est indiquée dans l'aide en ligne de cette dernière.

Pour un document récapitulant les principales *geométries* et options de `ggplot2`, on pourra se référer à la *Cheat Sheet* officielle disponible à <https://www.rstudio.com/wp-content/uploads/2015/03/ggplot2-cheatsheet.pdf>. Une version en français est disponible à l'adresse <http://thinkr.fr/pdf/ggplot2-french-cheatsheet.pdf>.

`ggplot2` reposant sur une syntaxe additive, la syntaxe de base d'un graphique sera donc de la forme :

```
R> ggplot(data) + aes(x = Var1, fill = Var2) + geom_bar()
```

De manière alternative, on peut également indiquer la correspondance entre variables et esthétiques comme deuxième argument de la fonction `ggplot`. Les deux syntaxes sont équivalentes.

```
R> ggplot(data, aes(x = Var1, fill = Var2)) + geom_bar()
```

Il est ensuite possible de personnaliser de nombreux éléments d'un graphique et notamment :

- les étiquettes ou *labs* (titre, axes, légendes) avec `ggtitle`, `xlab`, `ylab` ou encore la fonction plus générale `labs` ;
- les échelles (*scales*) des différentes esthétiques avec les fonctions commençant par `scale_` ;
- les facettes (*facets*) avec les fonctions commençant par `facet_` ;
- le système de coordonnées avec les fonctions commençant par `coord_` ;
- la légende (*guides*) avec les fonctions commençant par `guide_` ;
- le thème du graphiques (mise en forme des différents éléments) avec `theme` .

Ces différents éléments seront abordés plus en détails dans le chapitre avancé sur `ggplot2`, page 517. Dans la suite de ce chapitre, nous nous focaliserons sur les graphiques et options de base.

Preparons les données des exemples et chargeons `ggplot2` :

```
R> library(questionr)
library(ggplot2)
data("hdv2003")
d <- hdv2003
```

Histogramme

Pour un histogramme, on aura recours à la géométrie `geom_histogram`. Si l'on a une observation par ligne dans le fichier de données, l'histogramme se obtient simplement en associant la variable `dbl` à l'esthétique `x`. Notez la syntaxe de `aes` : le nom des variables est indiqué directement, sans guillemets.

```
R> ggplot(d) + aes(x = heures.tv) + geom_histogram() +
  ggtitle("Nombres d'heures passées devant la télévision") +
  xlab("Heures") + ylab("Effectifs")
```

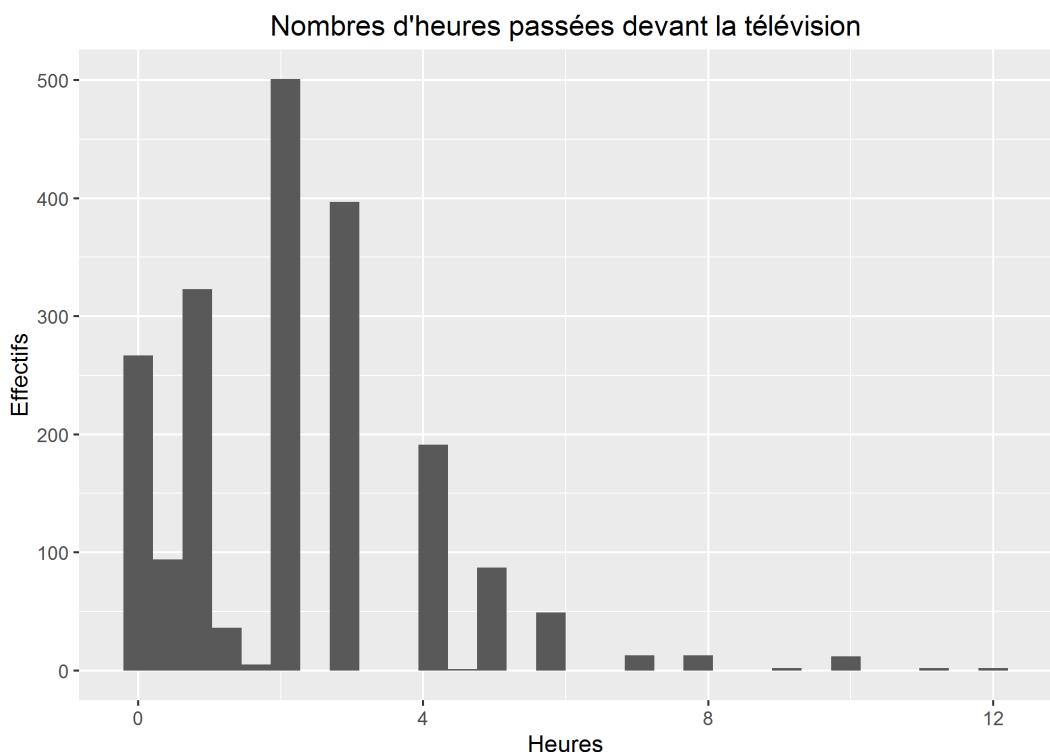


Figure 1. Un histogramme

On peut personnaliser la couleur de remplissage des rectangles en indiquant une valeur fixe pour l'esthétique `fill` dans l'appel de `geom_histogram` (et non via la fonction `aes` puisqu'il ne s'agit pas d'une variable du tableau de données). L'esthétique `colour` permet de spécifier la couleur du trait des rectangles. Enfin, le paramètre `binwidth` permet de spécifier la largeur des barres.

```
R> ggplot(d) + aes(x = heures.tv) + geom_histogram(fill = "orange",
  colour = "black", binwidth = 2) + ggtitle("Nombres d'heures passées devant la télévision") +
  xlab("Heures") + ylab("Effectifs")
```

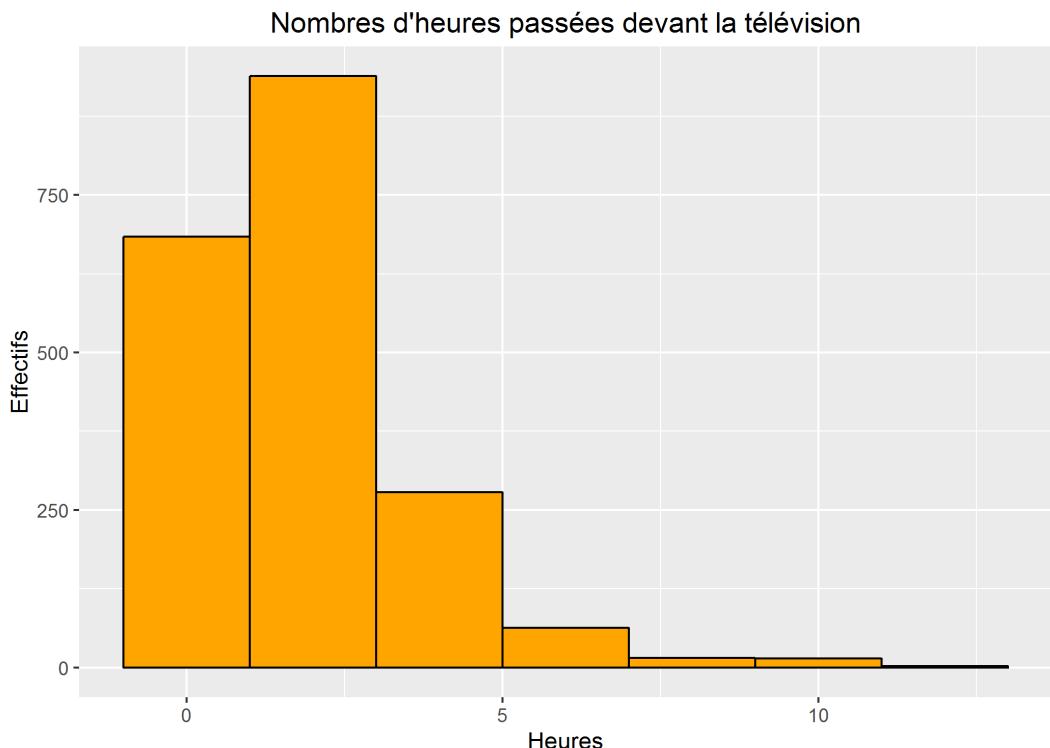


Figure 2. Un histogramme en couleur

Comme avec la fonction `hist`, on peut personnaliser les classes avec l'argument `breaks`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = heures.tv) + geom_histogram(fill = "orange",
  colour = "black", breaks = c(0, 1, 4, 9, 12)) +
  ggtitle("Nombres d'heures passées devant la télévision") +
  xlab("Heures") + ylab("Effectifs")
```

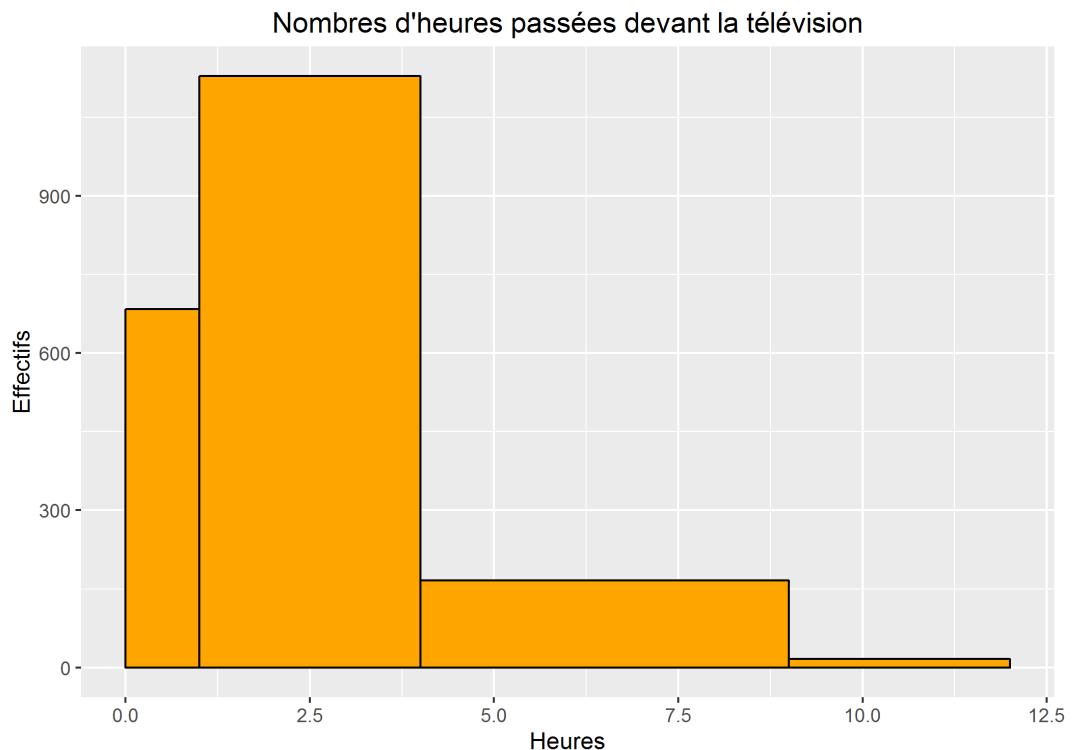


Figure 3. Un histogramme avec classes personnalisées

On peut ajouter l'axe des x des tirets représentant la position des observations l'aide de `geom_rug`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = heures.tv) + geom_histogram(fill = "orange",
  colour = "black", binwidth = 2) + geom_rug() +
  ggtitle("Nombres d'heures passées devant la télévision") +
  xlab("Heures") + ylab("Effectifs")
```

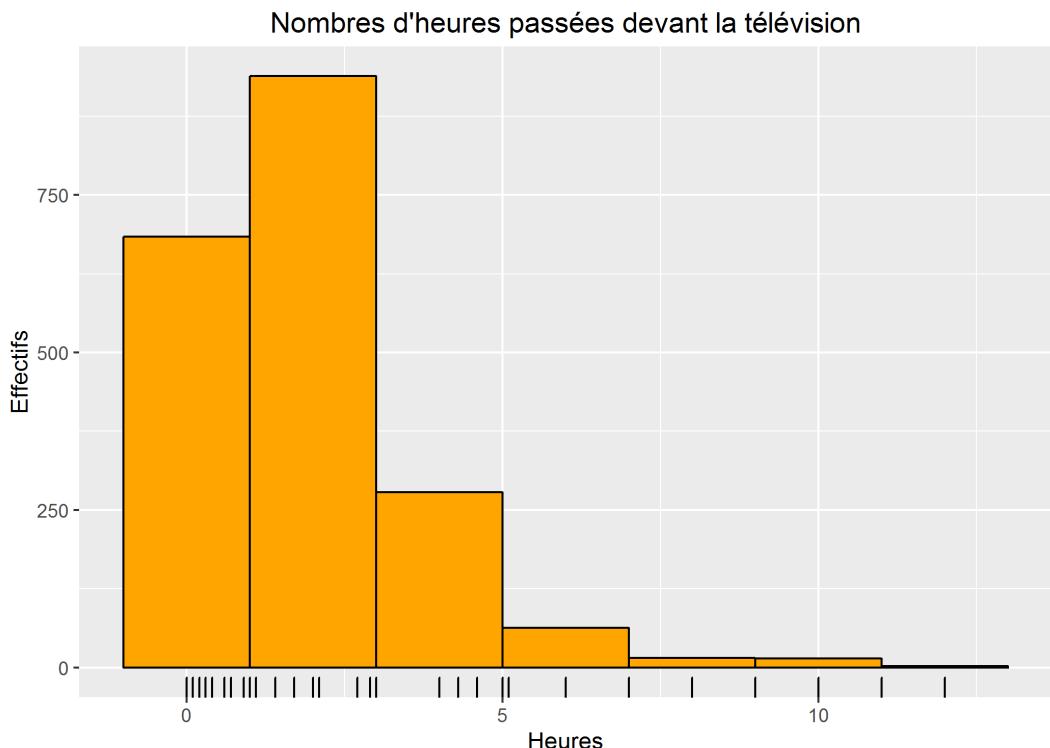


Figure 4. Un histogramme avec `geom_rug()`

Densité et répartition cumulée

Une courbe de densité s'obtient aisément avec la géométrie `geom_density`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = heures.tv) + geom_density() + ggtitle("Nombres d'heures passées devant la télévision") +
  xlab("Heures") + ylab("Densité")
```

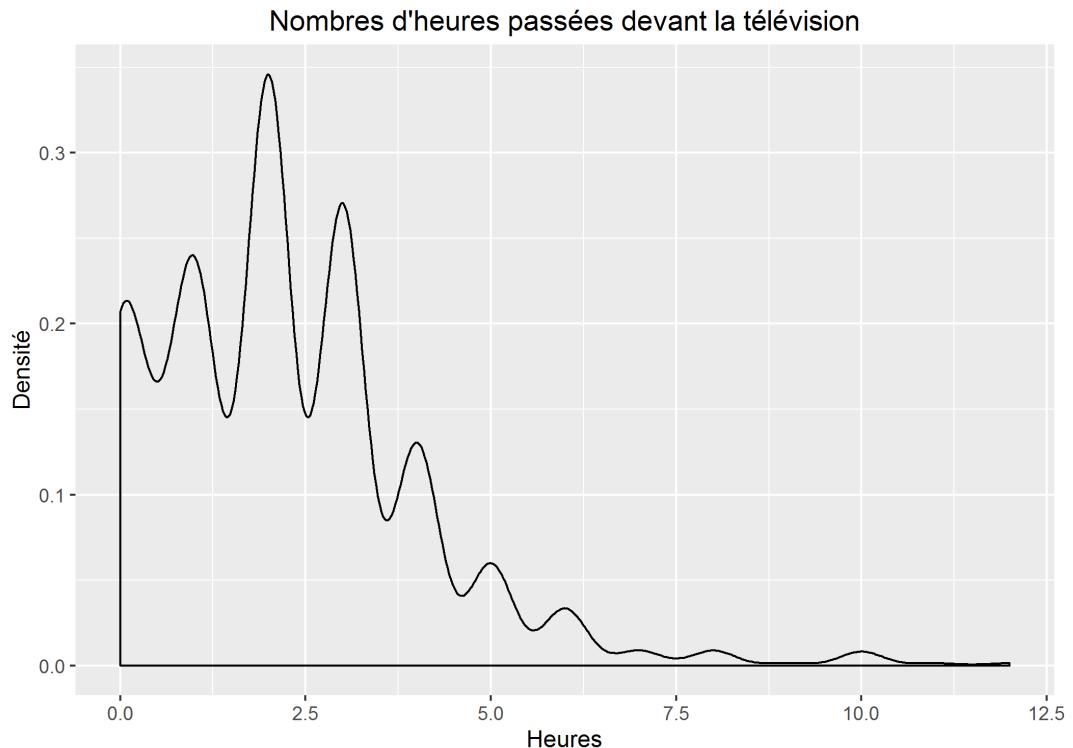


Figure 5. Courbe de densité

On peut personnaliser la fenêtre d'ajustement avec l'argument `adjust`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = heures.tv) + geom_density(adjust = 1.5) +
  gtitle("Nombres d'heures passées devant la télévision") +
  xlab("Heures") + ylab("Densité")
```

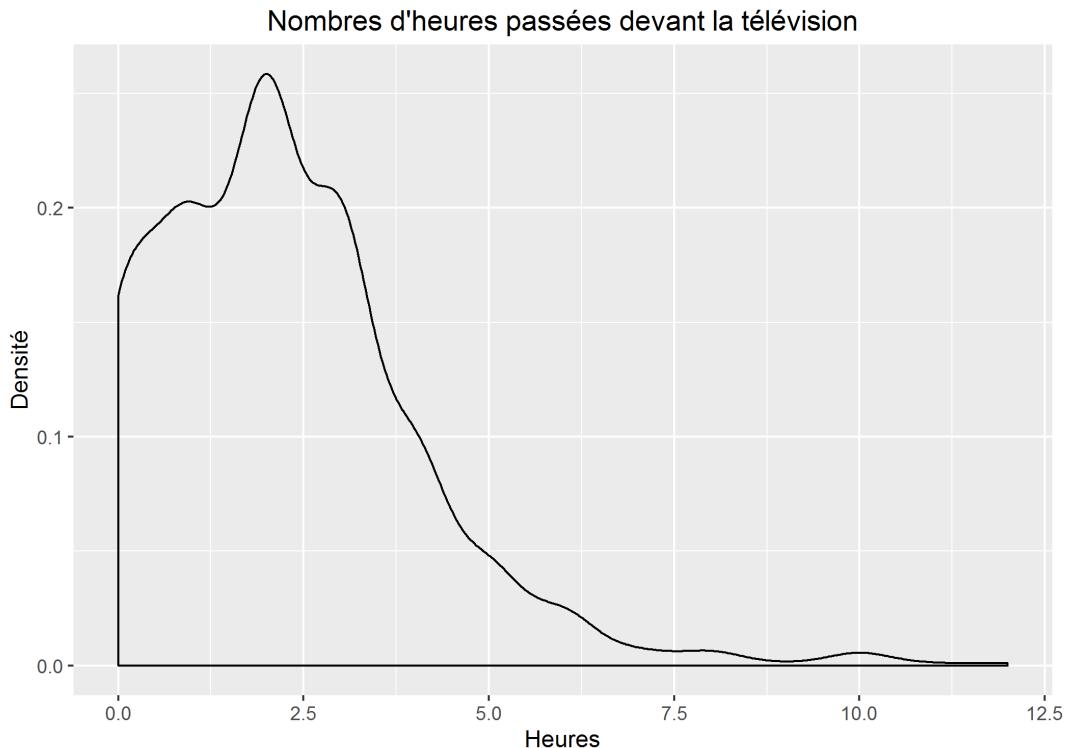


Figure 6. Courbe de densité avec fenêtre d'ajustement personnalisée

Pour la fonction de répartition empirique ou *empirical cumulative distribution function* en anglais, on utilisera la statistique `stat_ecdf`. Au passage, on notera qu'il est possible d'ajouter une couche à un graphique en appelant soit une `geom_` soit une `statistique`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = heures.tv) + stat_ecdf() + xlab("Heures") +
  ylab("Fonction de répartition cumulée")
```

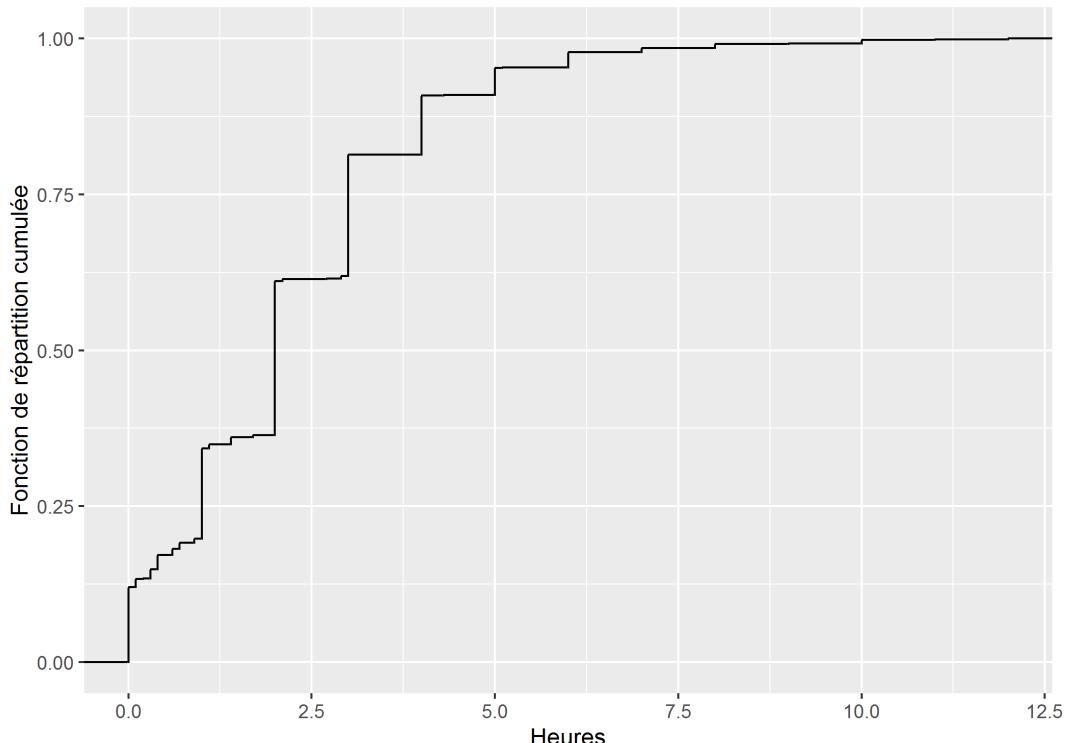


Figure 7. Fonction de répartition empirique cumulée

Boîtes à moustaches (et représentations associées)

La géométrie `geom_boxplot` nécessite au minimum deux esthétiques : `x` et `y`. Pour représenter une variable quantitative selon une variable catégorielle, on fera donc :

```
R> ggplot(d) + aes(x = hard.rock, y = age) + geom_boxplot() +
  xlab("Ecoute du hard rock") + ylab("Âge") + ggtitle("Répartition par
  âge selon que l'on écoute du hard rock ou non")
```

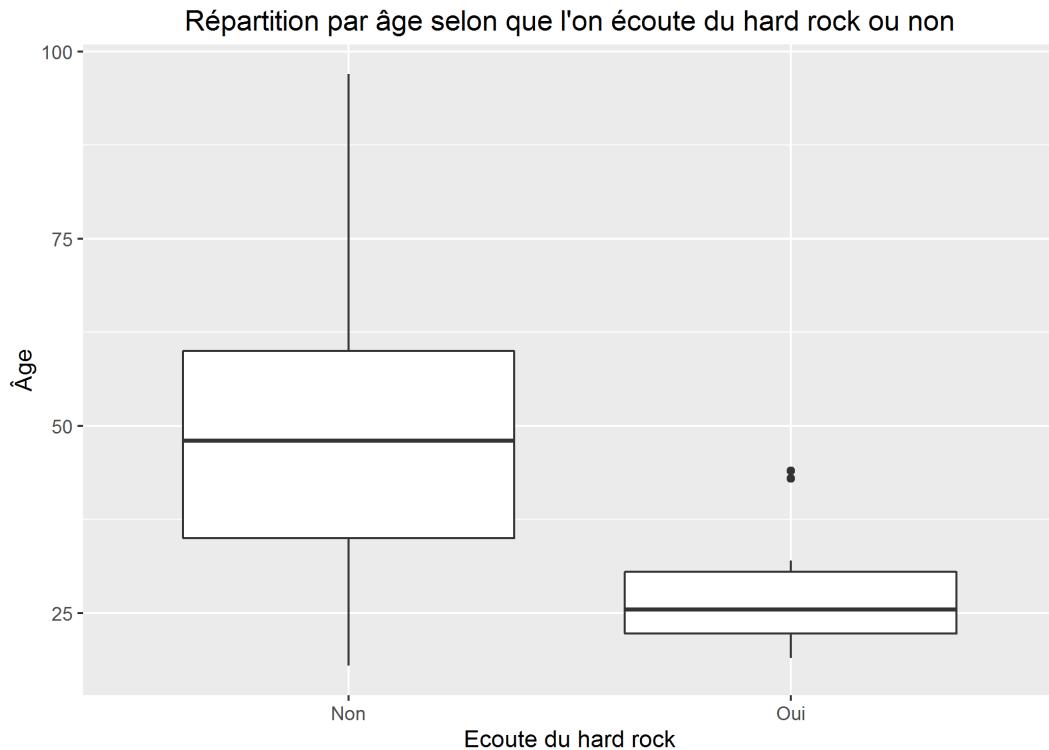


Figure 8. Boîtes à moustache

Lorsque l'on souhaite représenter une seule variable quantitative (statistique univariée), on passera alors une constante à l'esthétique `x`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = "Nombre d'heures passées devant la télévision",
  y = heures.tv) + geom_boxplot() + xlab("") + ylab("Heures quotidiennes")
```

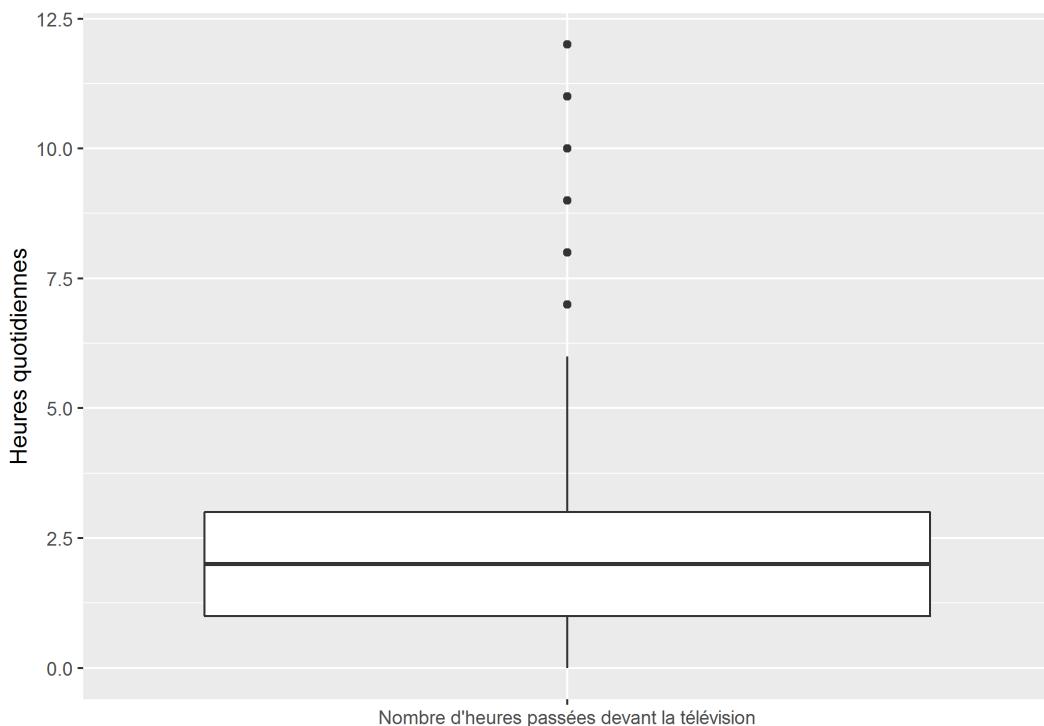


Figure 9. Boîte à moustache (une seule variable)

Une représentation alternative aux boîtes à moustaches ou *boxplots* sont les graphiques en violon ou *violin plots*, qui représentent la densité de distribution. Ils se obtiennent avec la géométrie `geom_violin`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = hard.rock, y = age) + geom_violin() +
  xlab("Ecoute du hard rock") + ylab("Âge") + ggtitle("Répartition par
  âge selon que l'on écoute du hard rock ou non")
```

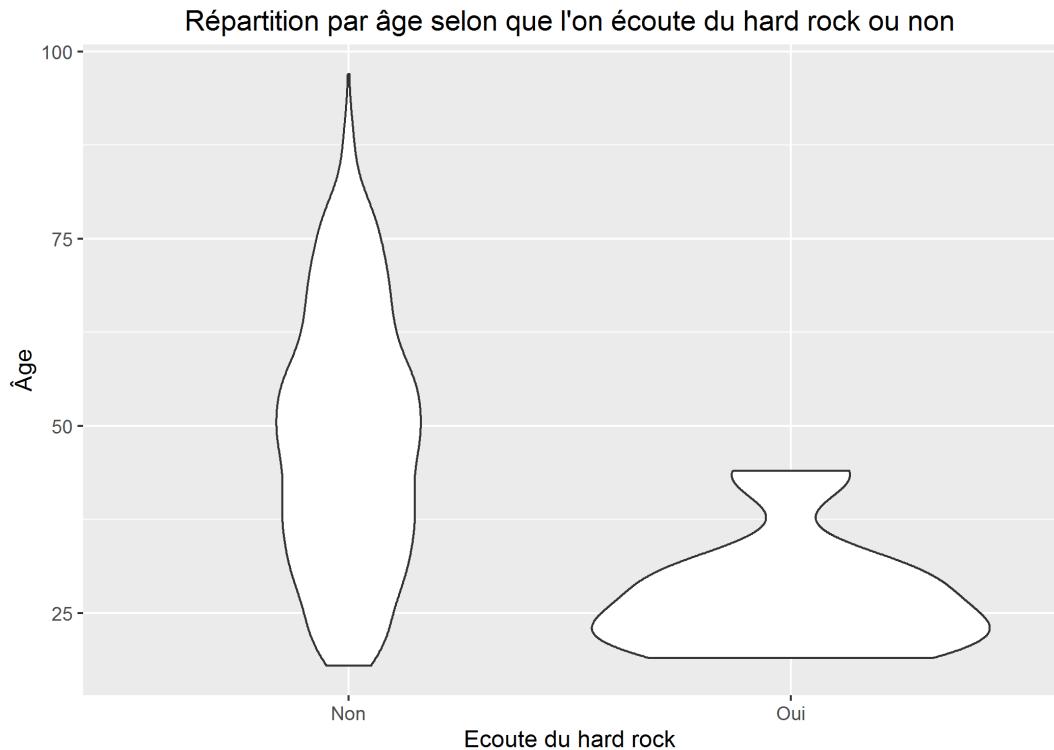


Figure 10. Graphiques en violon ou violin plot

Diagramme en bâtons

Un diagramme en bâtons se obtient avec la géométrie `geom_bar`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = freres.soeurs) + geom_bar() + xlab("Nombre de frères et soeurs") +
  ylab("Effectifs")
```

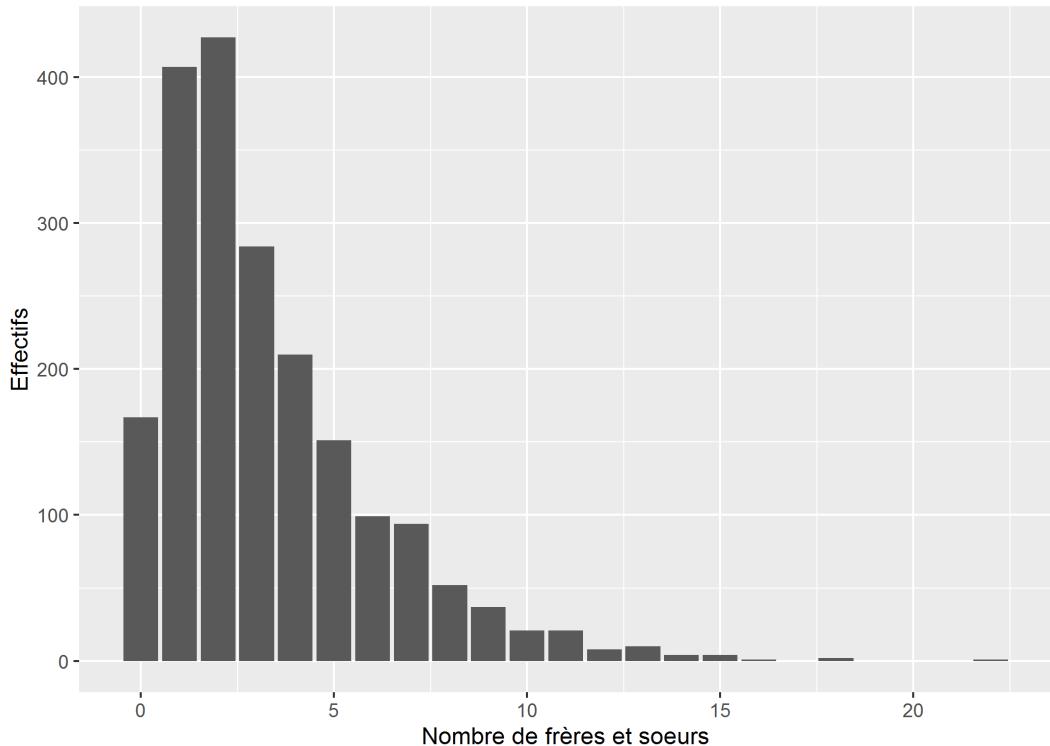


Figure 11. Diagramme en bâtons

La largeur des barres par défaut est de 0,9. Dans lors, le graphique ressemble plus à un histogramme qu'à un diagramme en bâtons. On peut personnaliser ce paramètre avec l'argument `width`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = freres.soeurs) + geom_bar(width = 0.2) +
  xlab("Nombre de frères et soeurs") + ylab("Effectifs")
```

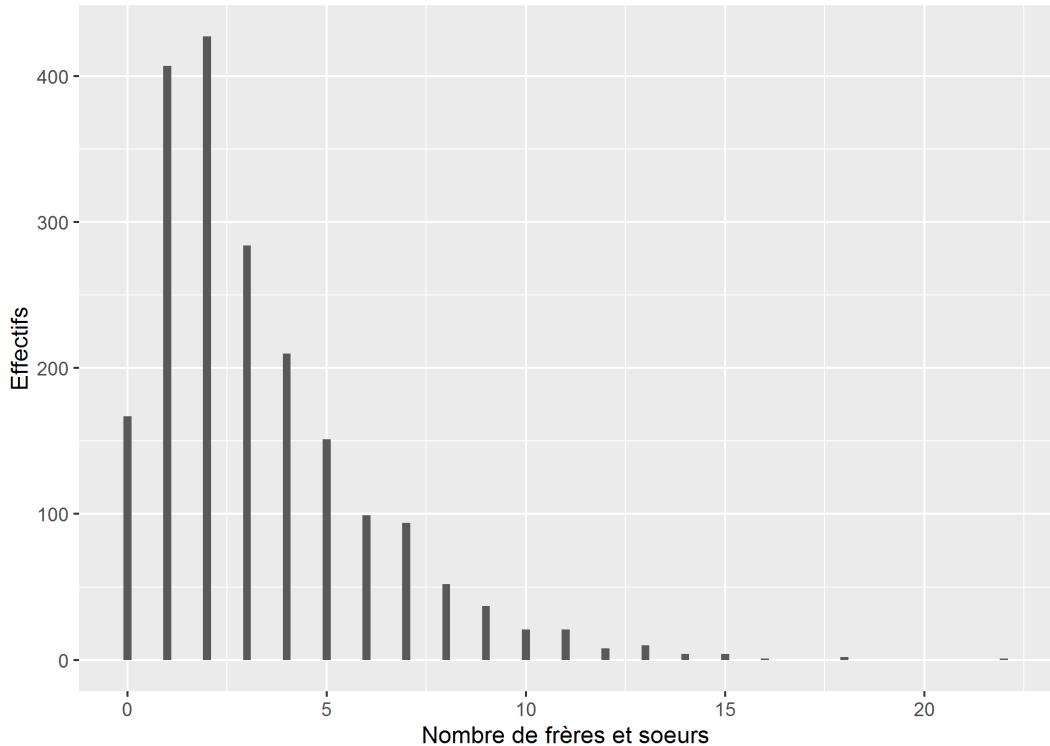


Figure 12. Diagramme en bâtons avec ajustement de la largeur des barres

Nuage de points

Un nuage de points se représente facilement avec la géométrie `geom_point`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = age, y = heures.tv) + geom_point() +
  xlab("Âge") + ylab("Heures quotidiennes de télévision")
```

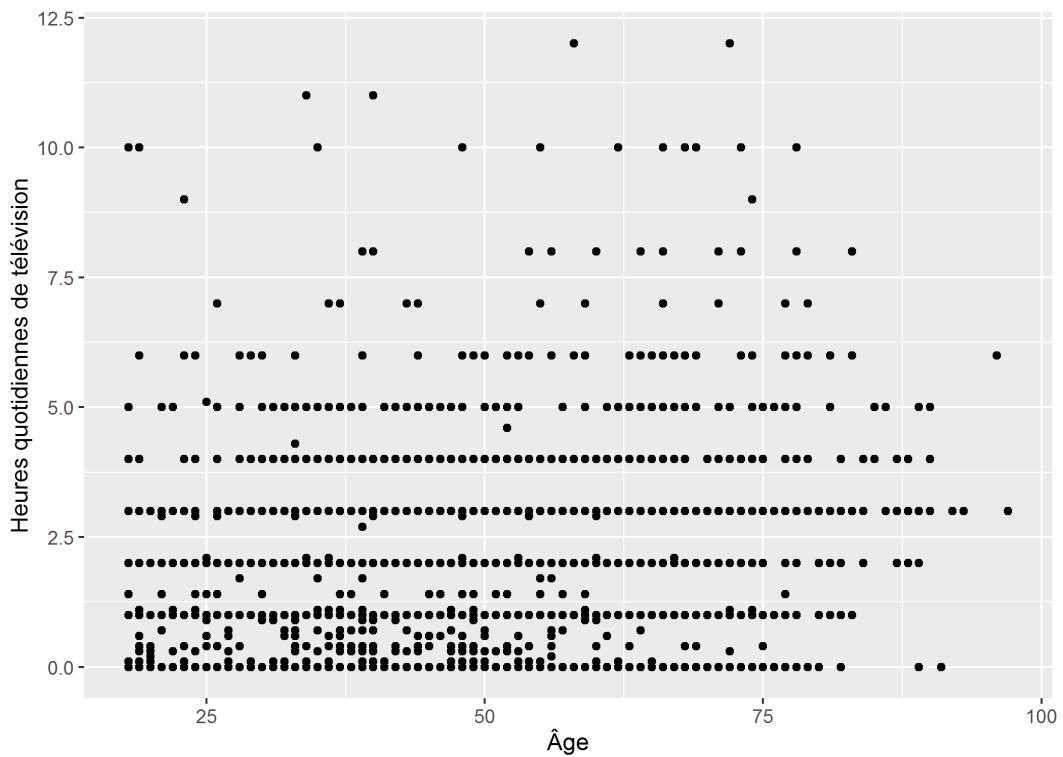


Figure 13. Nuage de points

On pourra personnaliser la couleur des points avec `colour` et le niveau de transparence avec `alpha`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = age, y = heures.tv) + geom_point(colour = "red",
  alpha = 0.2) + xlab("Âge") + ylab("Heures quotidiennes de télévision")
```

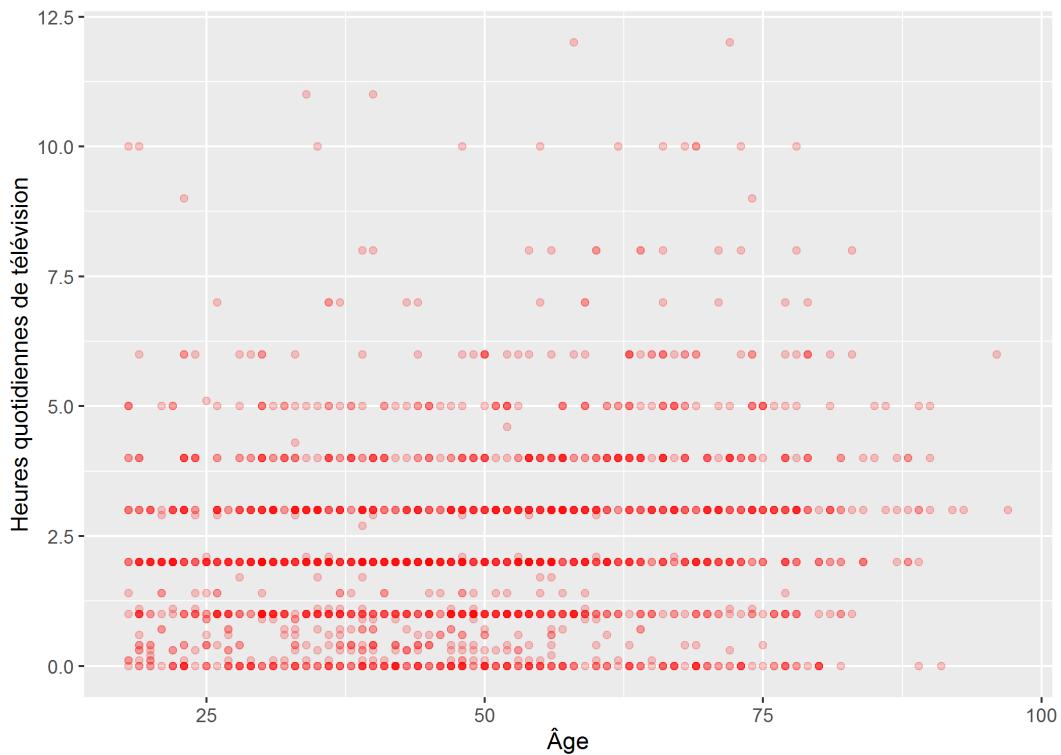


Figure 14. Nuage de points semi-transparents

Pour représenter une troisième variable quantitative, on pourra faire varier la taille des points avec l'esthétique `size`. Pour une variable qualitative, on pourra faire varier la couleur avec `colour`. Pour faciliter la lecture, on positionnera la légende en bas du graphique, en modifiant l'argument `legend.position` via la fonction `theme`.

```
R> data("rp99")
rp99$prop.proprio <- 0
rp99[rp99$propriétaire >= mean(rp99$propriétaire), ]$propriétaire <- 1
rp99$propriétaire <- factor(rp99$propriétaire, 0:1,
  c("non", "oui"))
ggplot(rp99) + aes(x = dipl.aucun, y = tx.chom, size = pop.tot,
  colour = propriété) + geom_point(alpha = 0.5) +
  xlab("% sans diplôme") + ylab("Taux de chômage") +
  labs(size = "Population totale", colour = "Propriétaire
  supérieur à la moyenne") +
  theme(legend.position = "bottom")
```

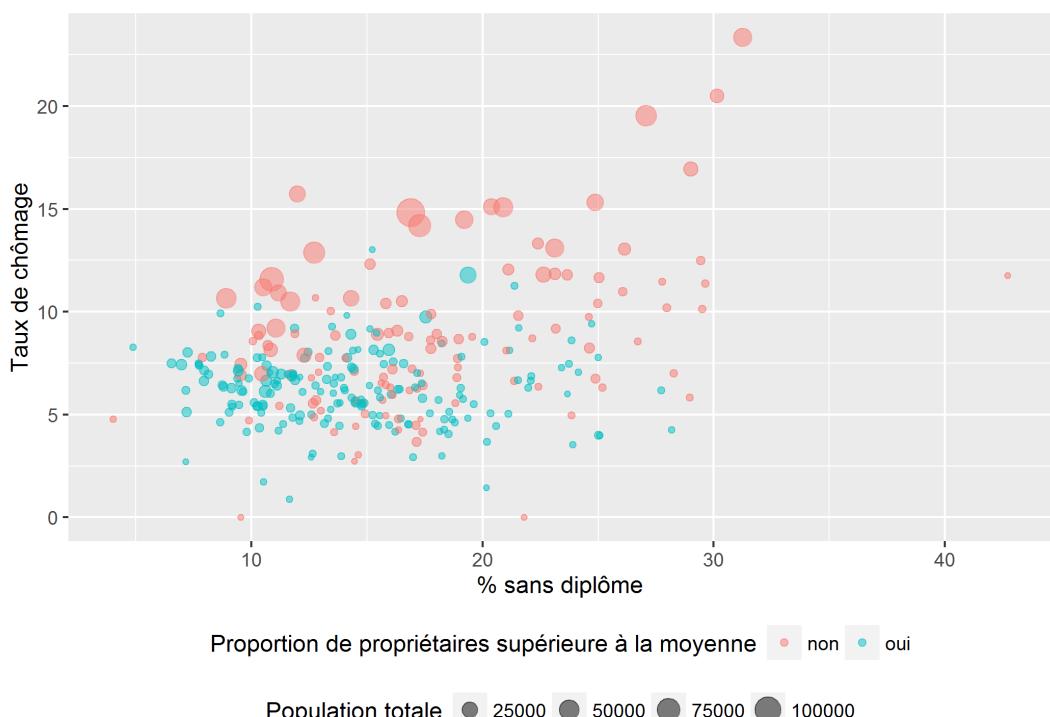


Figure 15. Nuage de points proportionnels

`geom_smooth` permet d'ajouter au graphique une moyenne mobile du nuage de points avec son intervalle de confiance. Notez que l'on ajoute `geom_smooth` au graphique avant `geom_point` puisque l'ordre dans lequel sont affichées les différentes couches du graphique dépend de l'ordre dans lequel elles ont été ajoutées. Dans cet exemple, nous souhaitons afficher les points «au-dessus» de la moyenne mobile.

```
R> ggplot(rp99) + aes(x = dipl.sup, y = cadres) + geom_smooth() +
  geom_point() + xlab("% de diplômés du supérieur") +
  ylab("% de cadres")
```

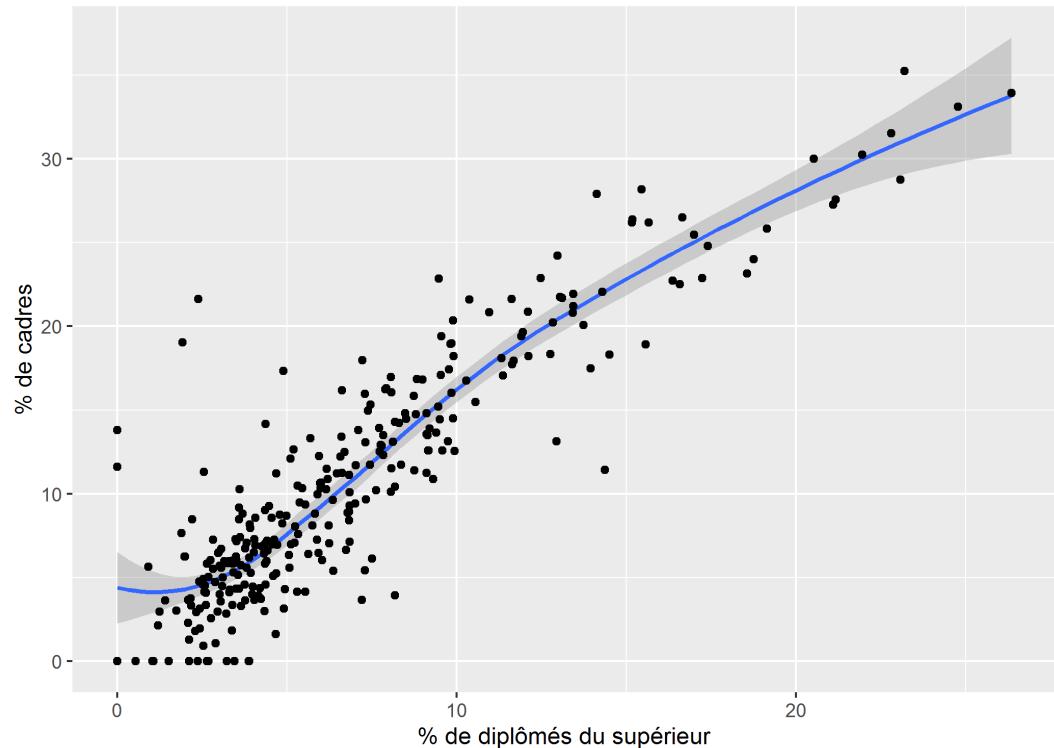


Figure 16. Nuage de points avec moyenne mobile

Si l'on préfère afficher plutôt la droite de régression, on indiquera `geom_smooth` l'argument `method = "lm"`.

```
R> ggplot(rp99) + aes(x = dipl.sup, y = cadres) + geom_smooth(method = "lm") +
  geom_point() + xlab("% de diplômés du supérieur") +
  ylab("% de cadres")
```

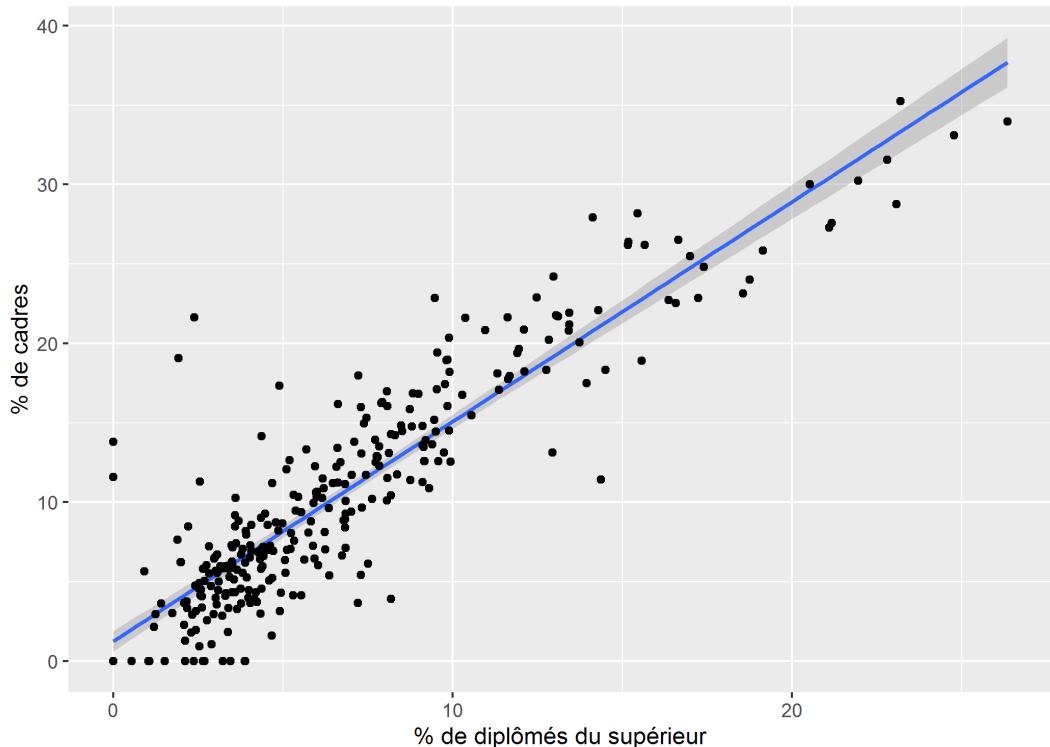


Figure 17. Nuage de points avec droite de régression linéaire

Matrice de nuages de points et matrice de corrélation

`ggplot2` ne fournit pas de fonction native pour la réalisation d'une matrice de nuages de points. Cependant, il existe plusieurs extensions permettant d'atteindre `ggplot2`. Parmi celles-ci, l'extension `GGally` propose une fonction `ggpairs` correspondant exactement à notre besoin.

```
R> library(GGally)
ggpairs(rp99[, c("proprio", "hlm", "locataire", "maison")])
```

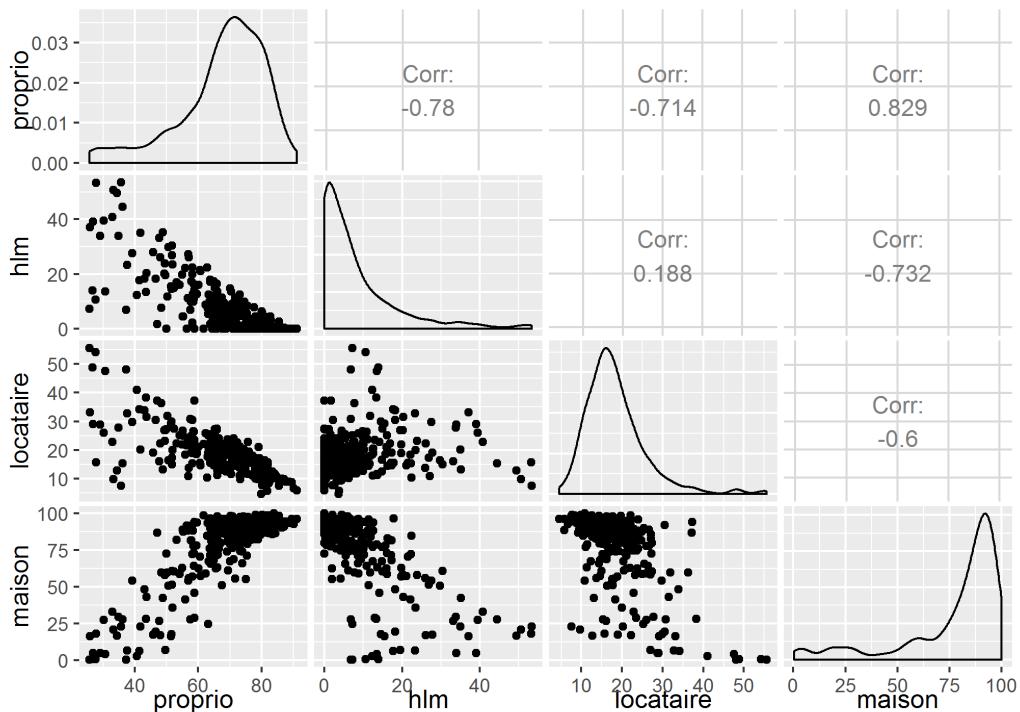


Figure 18. Matrice de nuages de points

`ggpairs` accepte même des variables catégorielles ainsi que des esthétiques supplémentaires, offrant ainsi plus de possibilités que la fonction `pairs`¹.

1. Pour plus de détails, on pourra lire <https://tgmstat.wordpress.com/2013/11/13/plot-matrix-with-the-r-package-ggally/>.

```
R> ggpairs(rp99[, c("hlm", "locataire", "maison", "prop.proprio")],
  aes(colour = prop.proprio))
```

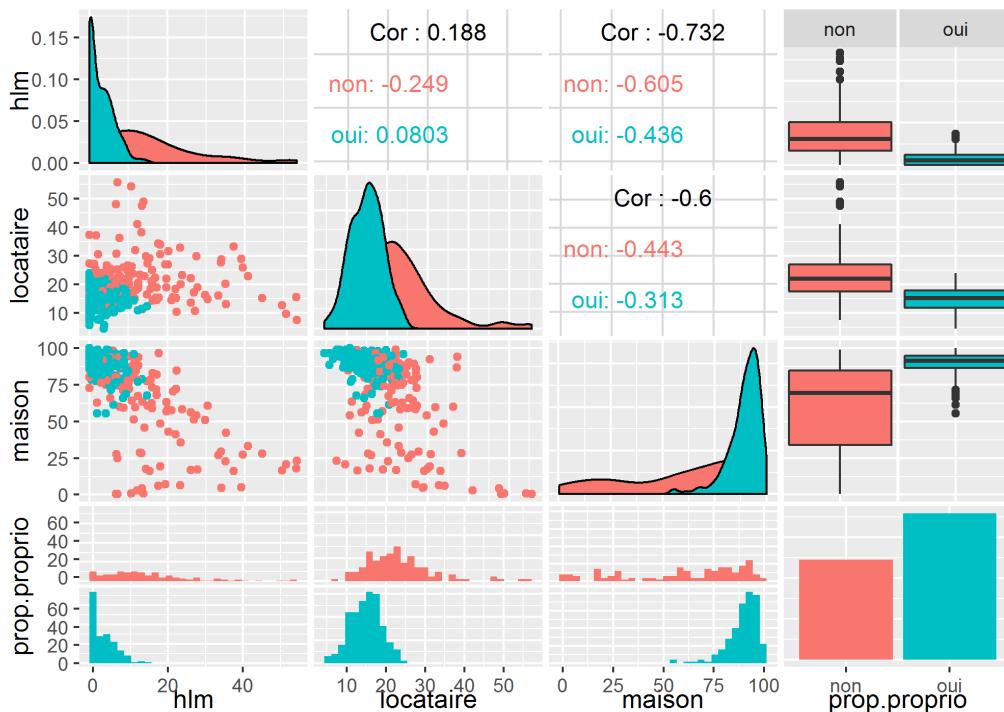
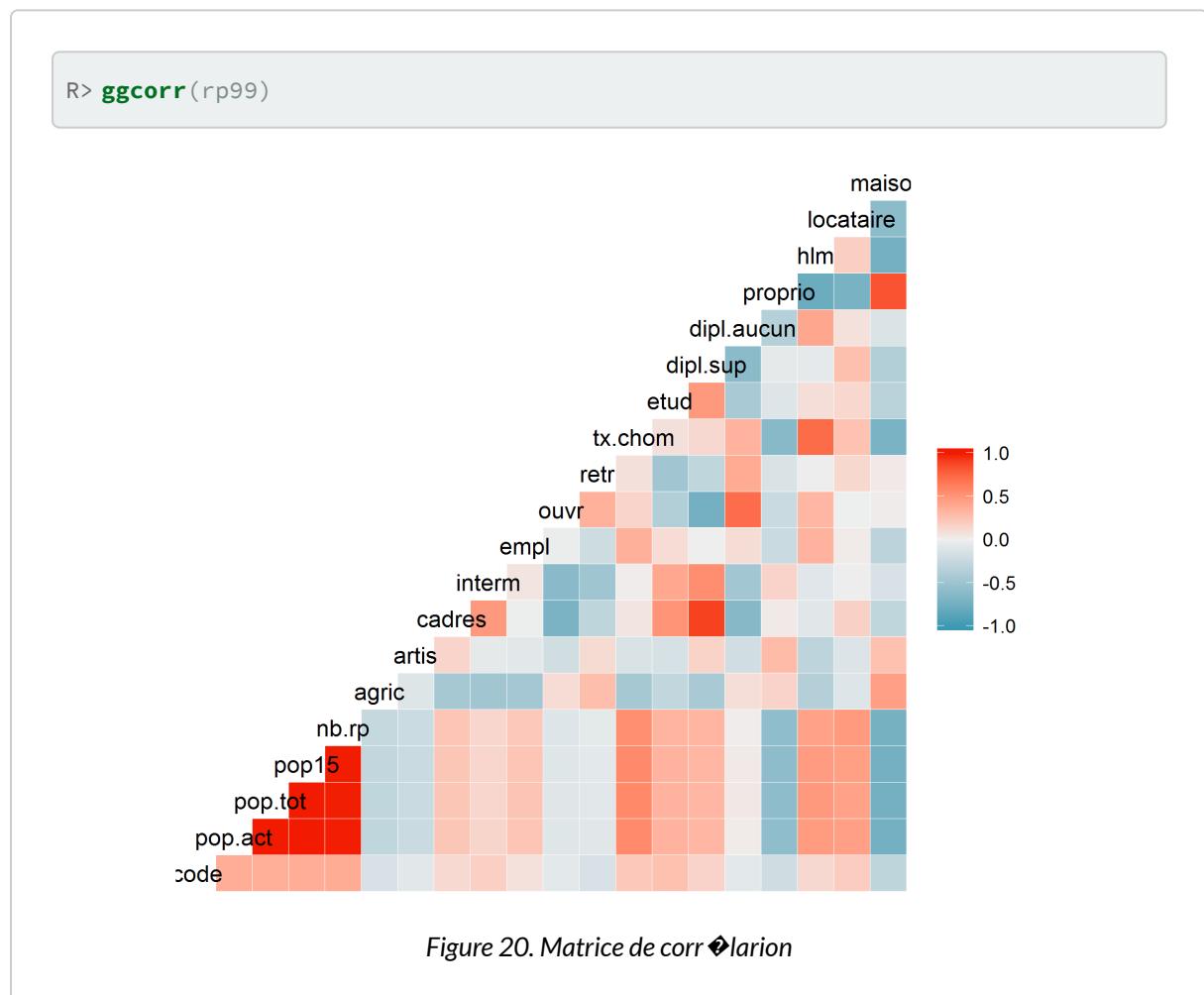


Figure 19. Matrice de nuages de points avec variables catégorielles

GGally propose également une fonction `ggcorr` permettant d'afficher une matrice de corrélation entre variables quantitatives².

2. Pour une présentation détaillée de cette fonction et de ses options, voir <https://briatte.github.io/ggcorr/>.



Estimation locale de densité (et représentations associées)

On peut aisément représenter une estimation locale de densité avec la géométrie `geom_density_2d`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = age, y = heures.tv) + geom_density_2d() +
  xlab("Âge") + ylab("Heures quotidiennes de télévision")
```

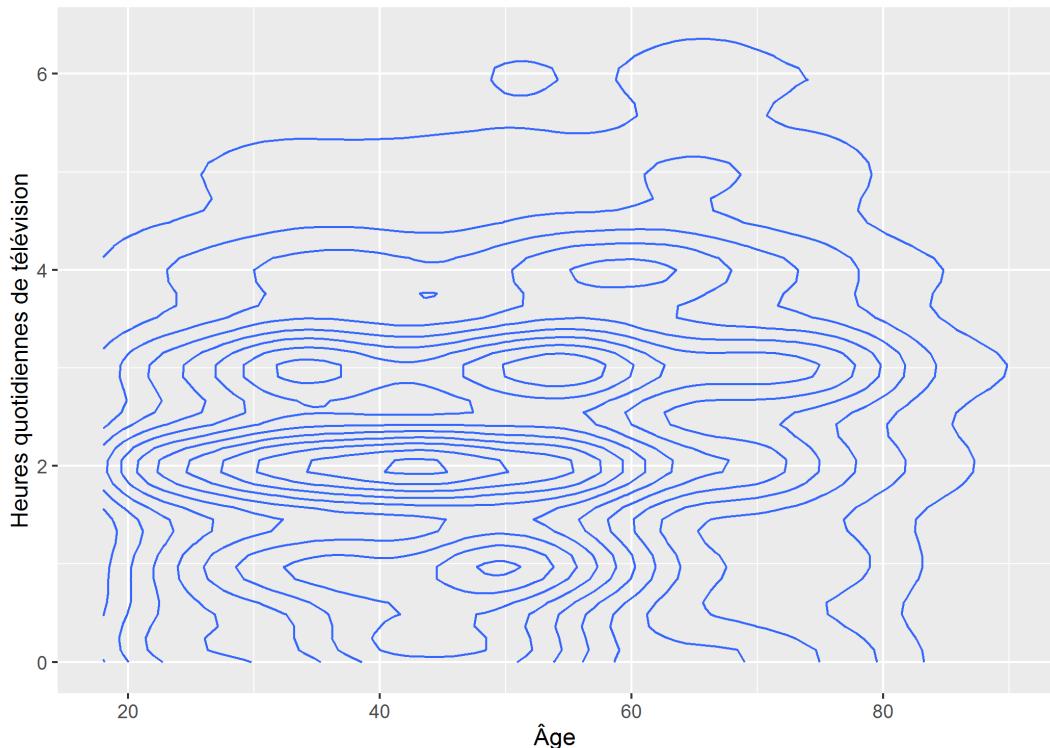


Figure 21. Estimation locale de densité (contours)

Par défaut, le résultat est représenté sous forme de contours. Pour obtenir une représentation avec des polygones, on appellera la statistique `stat_density_2d` en forçant la géométrie.

```
R> ggplot(d) + aes(x = age, y = heures.tv, fill = ..level..) +
  stat_density_2d(geom = "polygon") + xlab("Age") +
  ylab("Heures quotidiennes de télévision") + labs(fill = "Densité")
```

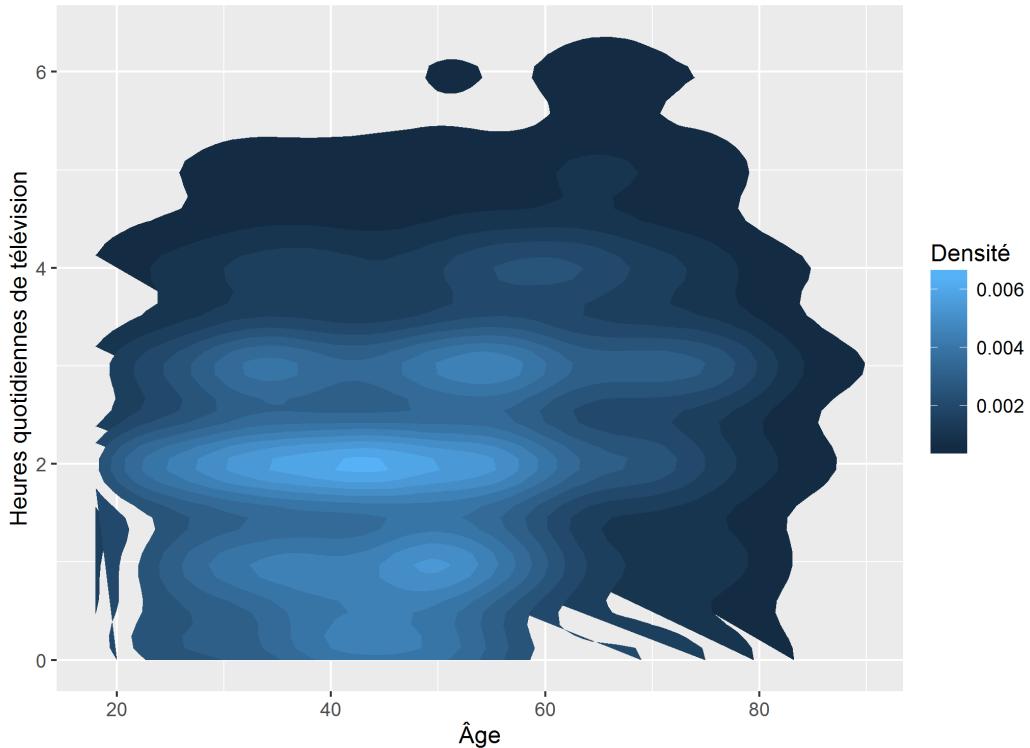


Figure 22. Estimation locale de densité (contours)

`ggplot2` propose également deux géométries, `geom_bin2d` et `geom_hex`, permettant d’effectuer un comptage des effectifs en deux dimensions.

```
R> ggplot(d) + aes(x = age, y = heures.tv) + geom_bin2d() +
  xlab("Âge") + ylab("Heures quotidiennes de télévision") +
  labs(fill = "Effectifs")
```

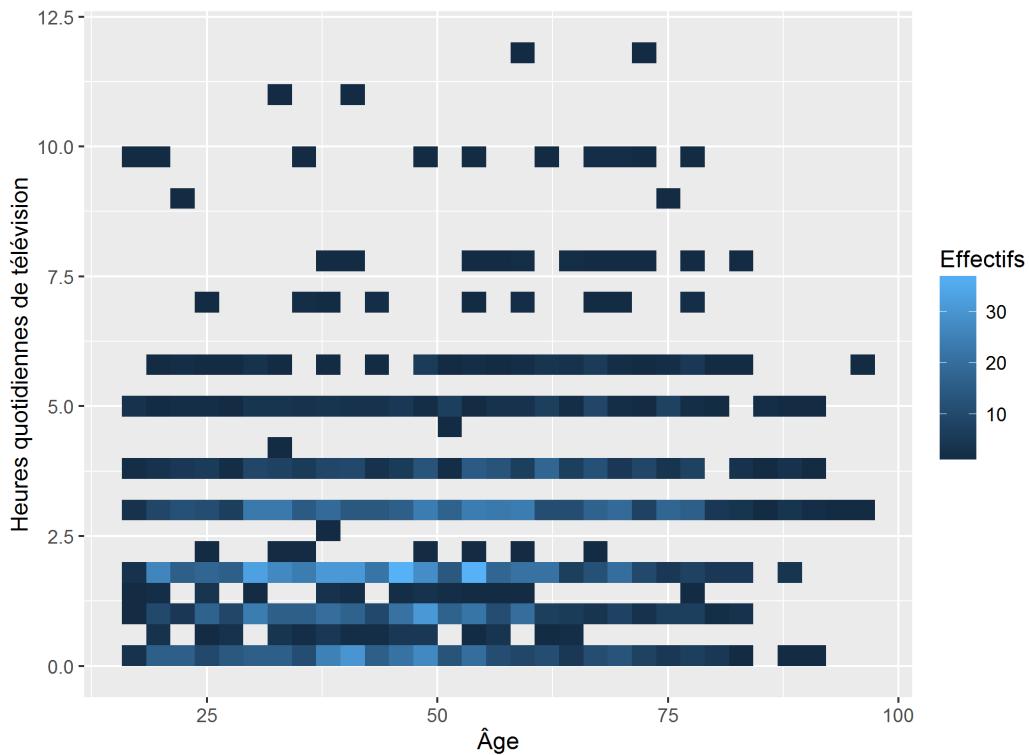


Figure 23. Effectifs en deux dimensions

```
R> ggplot(d) + aes(x = age, y = heures.tv) + geom_hex() +
  xlab("Âge") + ylab("Heures quotidiennes de télévision") +
  labs(fill = "Effectifs")
```

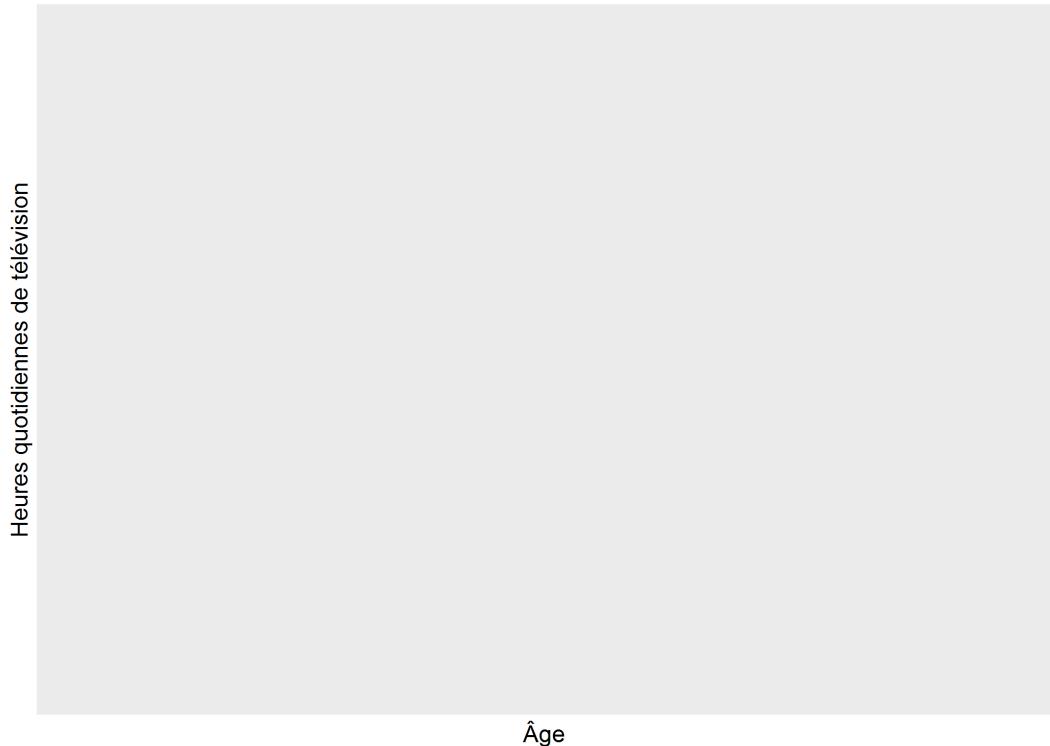


Figure 24. Effectifs en deux dimensions (hexagones)

NOTE

Pour reproduire l'identique l'exemple donné dans le chapitre statistique bivariate, page 274, on aura besoin de la méthode `tidy` de l'extension `broom` afin de transformer le résultat de `kde2d` en un tableau de données exploitables par `ggplot2`. `tidy` est une méthode générique permettant de transformer un grand nombre d'objets (et en particulier les résultats d'un modèle) en un tableau de données exploitable par `ggplot2`.

```
R> library(MASS)
tmp <- d[, c("age", "heures.tv")]
tmp <- tmp[complete.cases(tmp), ]
library(broom)
tmp <- tidy(kde2d(tmp$age, tmp$heures.tv))
str(tmp)
```

```
'data.frame': 625 obs. of 3 variables:
 $ x: num 18 21.3 24.6 27.9 31.2 ...
 $ y: num 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...
 $ z: num 0.00147 0.00227 0.0027 0.00291 0.00308 ...
```

```
R> ggplot(tmp) + aes(x = x, y = y, fill = z) + geom_raster(interpolate = TRUE) +
  scale_fill_gradientn(colors = terrain.colors(14)) +
  labs(x = "Âge", y = "Heures de TV", fill = "Densité")
```

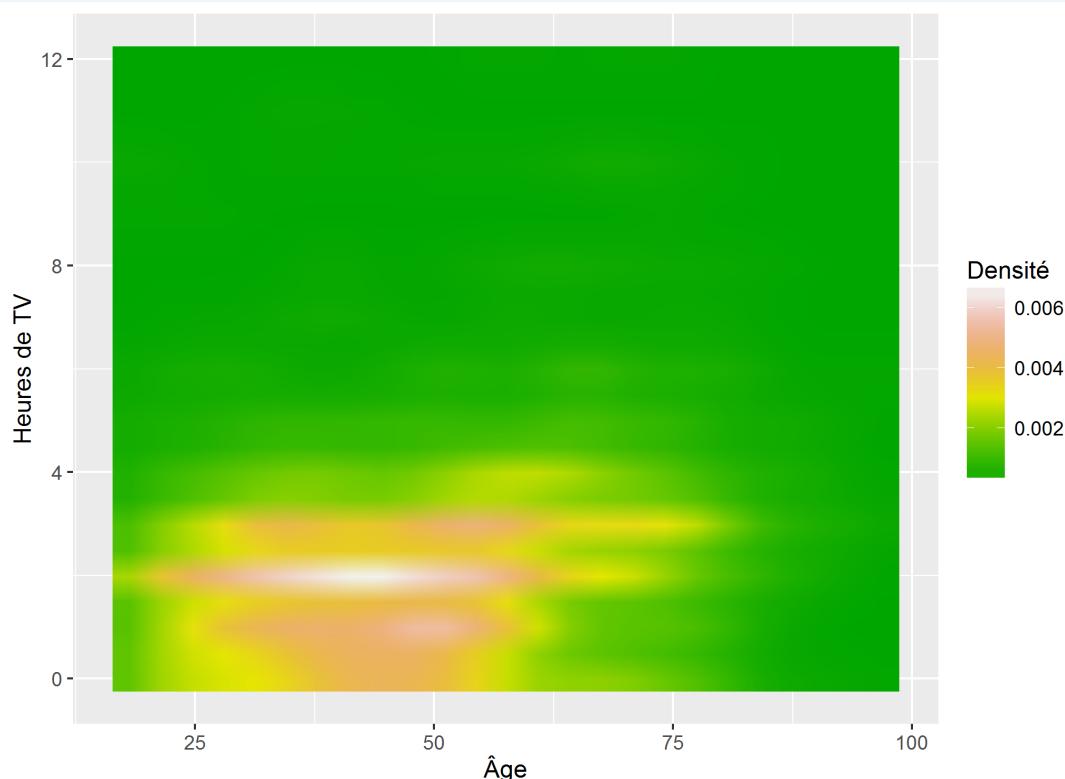


Diagramme de Cleveland

Pour un diagramme de Cleveland, on aura recours à la géométrie `geom_point`. Cependant, il faudra lui préciser que l'on souhaite utiliser la statistique `stat_count` afin que les effectifs soient calculés pour chaque valeur de `x`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = calso) + geom_point(stat = "count") +
  xlab("Sentiment d'appartenance à une classe sociale") +
  ylab("Effectifs")
```

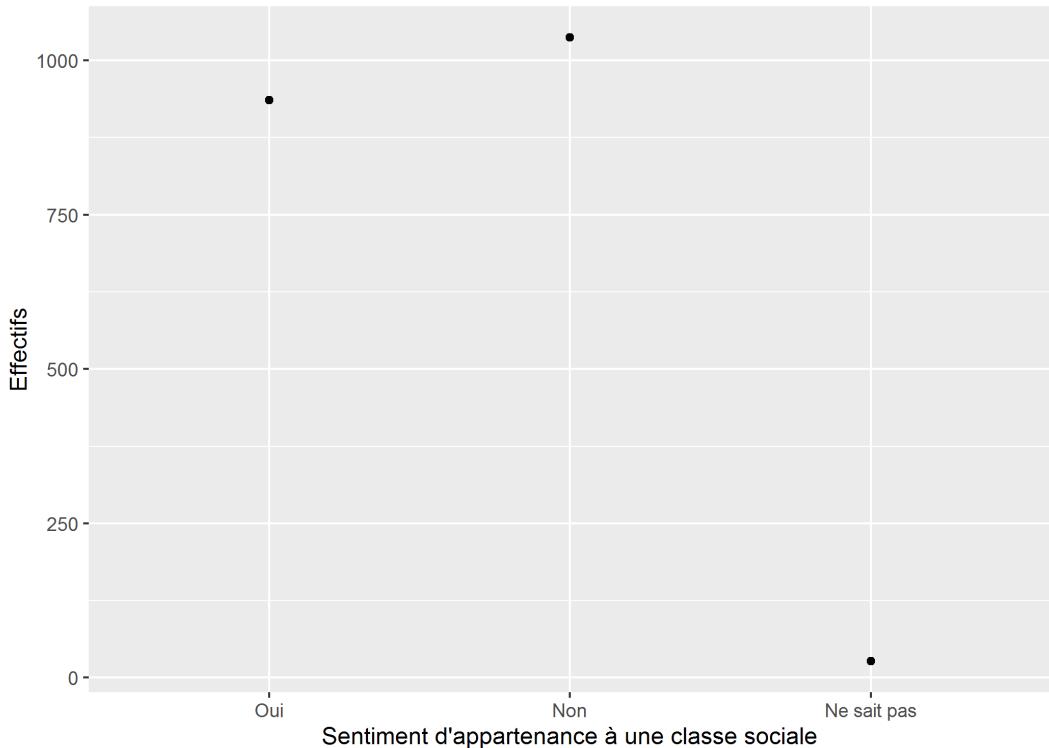


Figure 25. Diagramme de Cleveland

Une alternative, notamment si l'on souhaite un diagramme de Cleveland ordonné, consiste à calculer les effectifs de chaque modalité en amont. `ggplot2` ayant besoin d'un tableau de données en entrée, nous calculerons notre tableau de fréquences avec `xtabs` et le transformerons en tableau de données avec `as.data.frame`. Pour que les niveaux de qualification soient représentés selon leur effectif, il est nécessaire d'ordonner les étiquettes du facteur de manière adéquate. Enfin, nous utiliserons `coord_flip` pour intervertir l'axe des `x` et celui des `y`.

```
R> tab <- as.data.frame(xtabs(~qualif, d))
  tab$qualif <- factor(tab$qualif, levels = tab$qualif[order(tab$Freq)])
  str(tab)
```

```
'data.frame': 7 obs. of 2 variables:
 $ qualif: Factor w/ 7 levels "Autre","Technicien",...: 4 6 2 3 5 7 1
 $ Freq   : int 203 292 86 160 260 594 58
```

```
R> ggplot(tab) + aes(x = qualif, y = Freq) + geom_point() +
  xlab("Niveau de qualification") + ylab("Effectifs") +
  coord_flip()
```

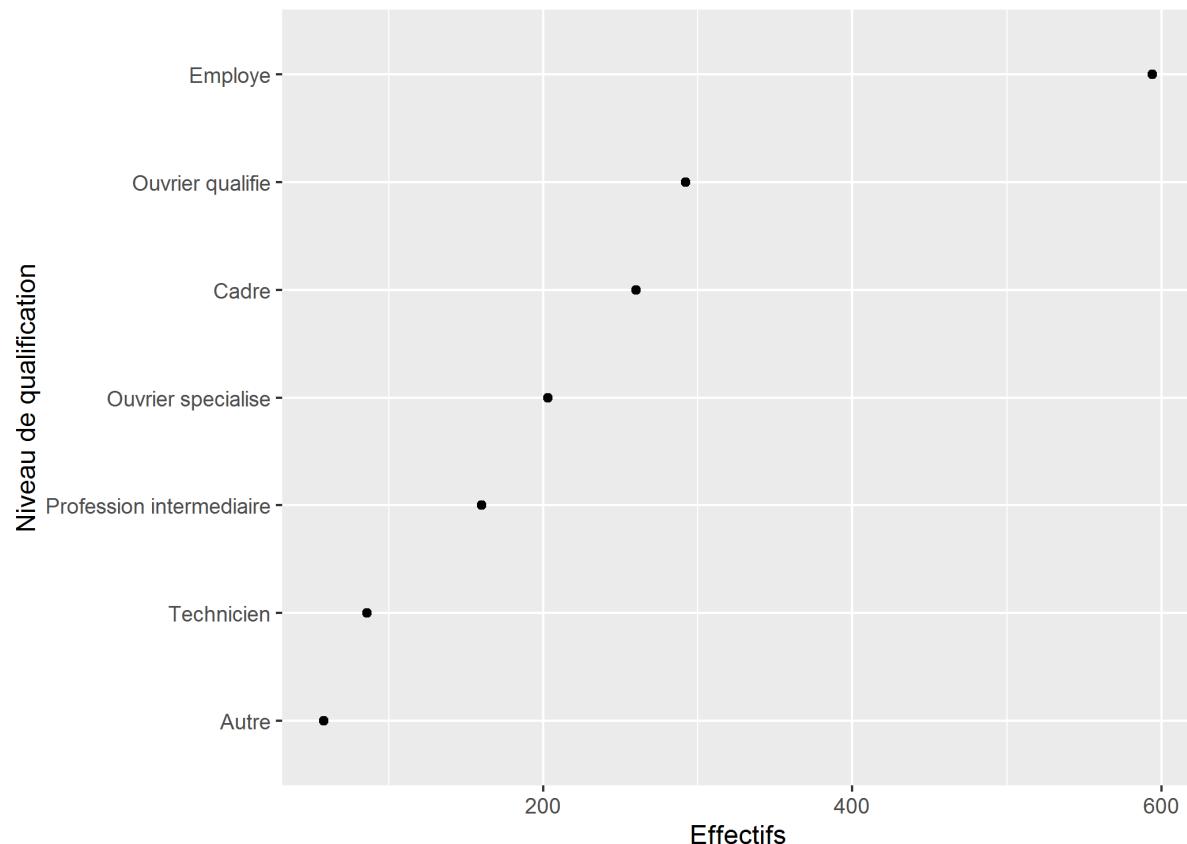


Diagramme de Cleveland ordonné

NOTE

L'extension **ggalt** propose quelques geomtries supplémentaires pour **ggplot2**. L'une d'elles dite «en sucettes» (*lollipop*) propose une représentation graphique au croisement entre un diagramme en bâtons et un diagramme de Cleveland.

Pour cela, il est d'abord nécessaire d'installer la version de développement de **ggalt** à l'aide de la commande suivante :

```
R> devtools::install_github("hrbrmstr/ggalt")
```

```
R> library(ggalt)
ggplot(tab) + aes(x = qualif, y = Freq) + geom_lollipop() +
  xlab("Niveau de qualification") + ylab("Effectifs") +
  coord_flip()
```

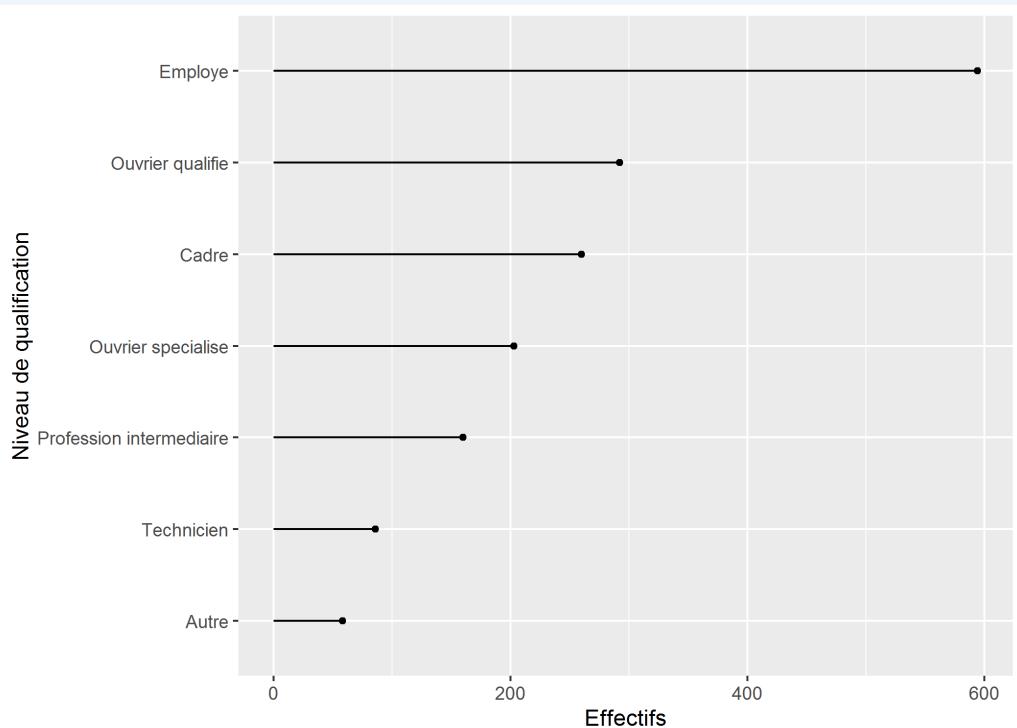


Figure 26. Diagramme en sucettes (lollipop)

Diagrammes en barres

Un diagramme en barres se construit avec la géométrie `geom_bar`.

```
R> d$qualreg <- as.character(d$qualif)
d$qualreg[d$qualif %in% c("Ouvrier specialise", "Ouvrier qualifie")] <-
  "Ouvrier"
d$qualreg[d$qualif %in% c("Profession intermediaire",
  "Technicien")] <- "Intermediaire"
ggplot(d) + aes(x = qualreg, fill = sport) + geom_bar() +
  xlab("CSP") + ylab("Effectifs") + labs(fill = "Pratique du sport")
```

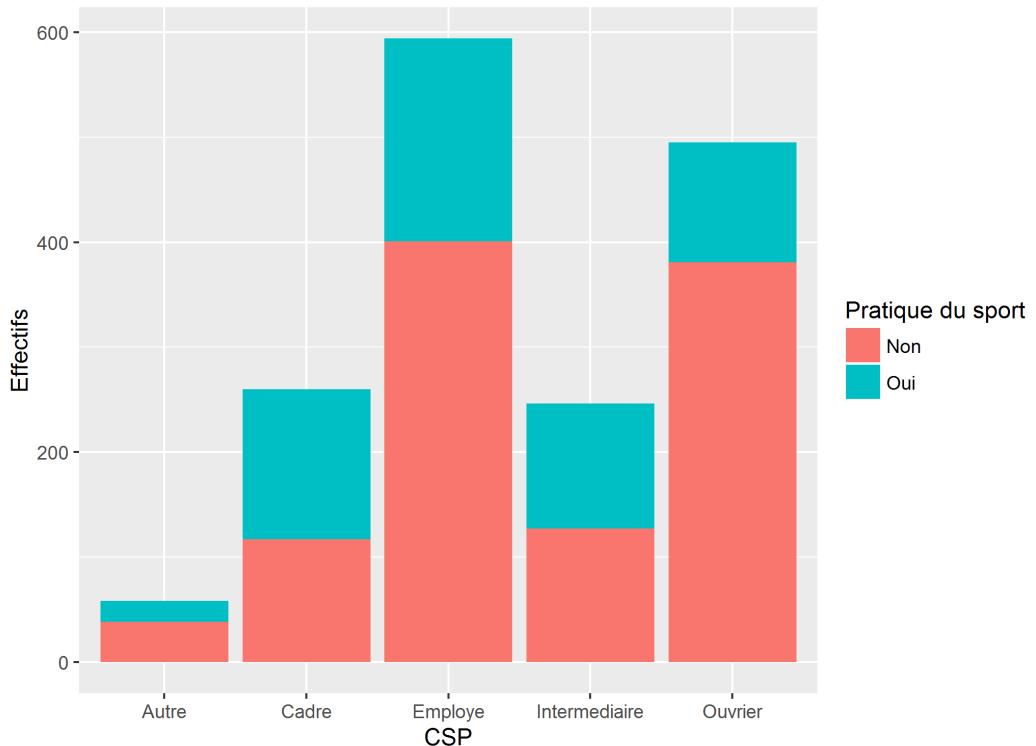


Figure 27. Diagramme en barres

On peut modifier la position des barres avec le paramètre `position`.

```
R> ggplot(d) + aes(x = qualreg, fill = sport) + geom_bar(position = "dodge")
  + xlab("CSP") + ylab("Effectifs") + labs(fill = "Pratique du sport")
```

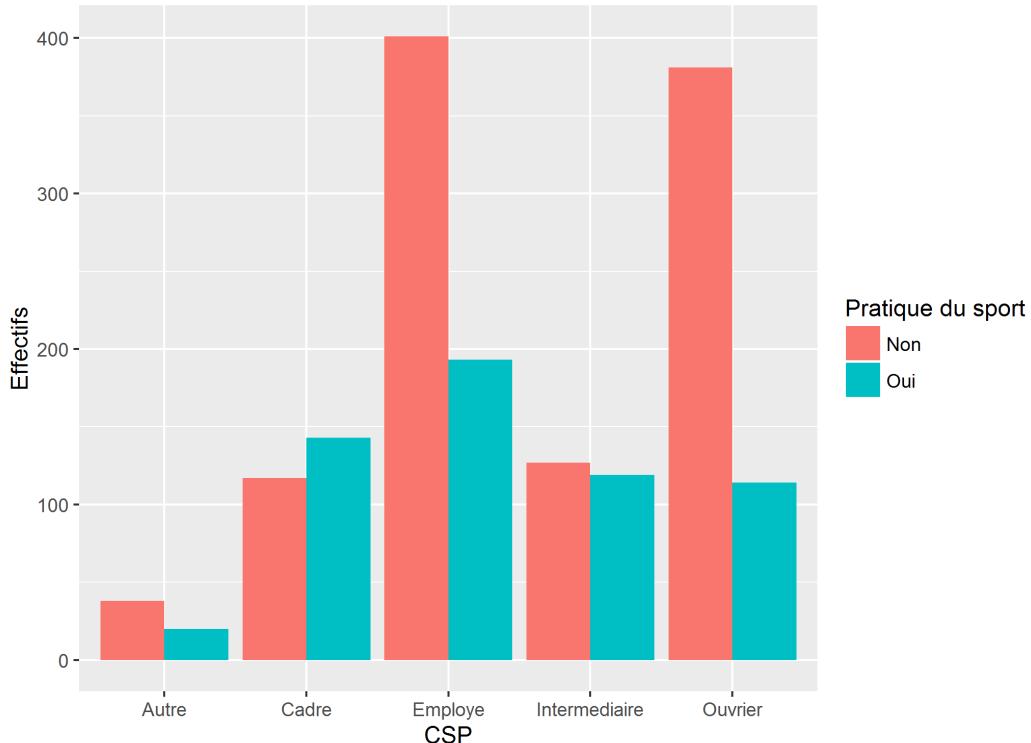


Figure 28. Diagramme en barres côte à côte

Pour des barres cumulées, on aura recours à `position = "fill"`. Pour que les étiquettes de l'axe des y soient représentées sous forme de pourcentages (i.e. 25% au lieu de 0.25), on aura recours à la fonction `percent` de l'extension `scales`, qui sera transmise à `ggplot2` via `scale_y_continuous`.

```
R> library(scales)
ggplot(d) + aes(x = qualreg, fill = sport) + geom_bar(position = "fill")
+
  xlab("CSP") + ylab("Proportion") + labs(fill = "Pratique du sport") +
  scale_y_continuous(labels = percent)
```

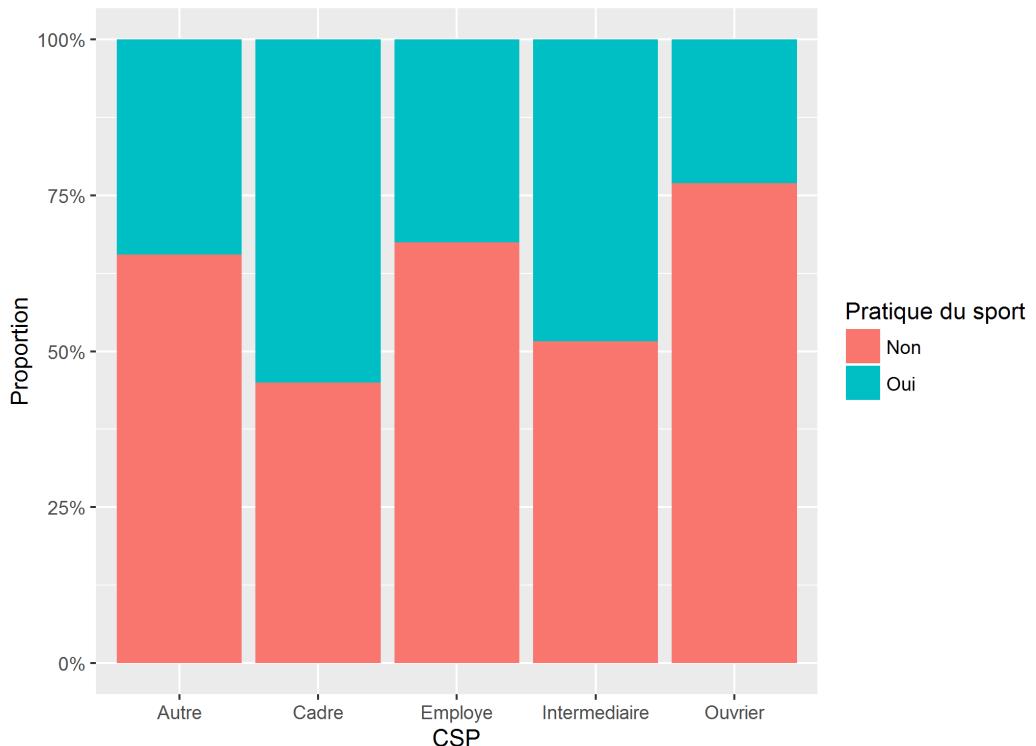


Figure 29. Diagramme en barres cumulées

Graphe en mosaïque

Il n'y a pas, à ce jour, d'implémentation officielle des graphiques en mosaïque sous `ggplot2`. On pourra néanmoins se référer à l'extension expérimentale `productplots`³ développée par Hadley Wickham.

3. Voir <https://github.com/hadley/productplots> et <http://vita.had.co.nz/papers/prodplots.html>.

Données labellisées et ggplot2

`ggplot2` tient compte du type des variables, attendant que les variables catégorielles soient présentes sous forme de facteurs. Si l'on utilise des données labellisées (voir le chapitre d'après, page 113), nos variables catégorielles seront stockées sous la forme d'un vecteur numérique avec des étiquettes. Il sera donc nécessaire de convertir ces variables en facteurs, tout simplement avec la fonction `to_factor` de l'extension `labelled` qui pourra utiliser les étiquettes de valeurs comme modalités du facteur.

Exporter les graphiques obtenus

Les graphiques produits par `ggplot2` peuvent être sauvegardés manuellement, comme expliqué dans le chapitre «Export des graphiques, page 239», ou programmatiquement. Pour sauvegarder le dernier graphique affiché par `ggplot2` au format PNG, il suffit d'utiliser la fonction `ggsave`, qui permet de régler la taille (en pouces) et la résolution (en pixels par pouce ; 72 par défaut) :

```
R> ggsave("mon_graphique.png", width = 11, height = 8)
```

De la même manière, pour sauvegarder n'importe quel graphique construit avec `ggplot2` et stocké dans un objet, il suffit de préciser le nom de cet objet, comme ci-dessous, où l'on sauvegarde le graphique contenu dans l'objet `p` au format vectoriel PDF, qui préserve la netteté du texte et des autres éléments du graphique n'importe quelle résolution d'affichage :

```
R> ggsave("mon_graphique.pdf", plot = p,
          width = 11, height = 8)
```


Données pondérées

Options de certaines fonctions	354
Fonctions de l'extension questionr	354
Données pondérées avec l'extension survey	356
Extraire un sous-séchantillon	360
Conclusion	361

NOTE

La version originale de ce chapitre a été écrite par Julien Barnier dans le cadre du support de cours [Introduction à R](#), complétée par Joseph Larmarange dans [Introduction à l'analyse d'enquêtes avec R](#).

S'il est tout à fait possible de travailler avec des données pondérées sous R, cette fonctionnalité n'est pas aussi bien intégrée que dans la plupart des autres logiciels de traitement statistique. En particulier, il y a plusieurs manières possibles de gérer la pondération. Cependant, lorsque l'on doit également prendre en compte un plan d'échantillonnage complexe (voir section [d'ailleurs](#) ci-après), R fournit tous les outils nécessaires, alors que dans la plupart des logiciels propriétaires, il faut disposer d'une extension adaptée, pas toujours vendue de base avec le logiciel.

Dans ce qui suit, on utilisera le jeu de données tiré de l'enquête *Histoire de vie* et notamment sa variable de pondération *poids*¹.

1. On notera que cette variable est utilisée à titre purement illustratif. Le jeu de données étant un extrait d'enquête et la variable de pondération n'ayant pas été recalculée, elle n'a ici à proprement parler aucun sens.

```
R> library(questionr)
  data(hdv2003)
  d <- hdv2003
  range(d$poids)
```

```
[1] 78.07834 31092.14132
```

Options de certaines fonctions

Tout d’abord, certaines fonctions de R acceptent en argument un vecteur permettant de pondérer les observations (l’option est en général nommée `weights` ou `row.w`). C’est le cas par exemple des méthodes d’estimation de modèles linéaires² (`lm`) ou de modèles linéaires généralisés³ (`glm`) ou dans les analyses de correspondances⁴ des extensions `ade4` ou `FactoMineR`.

Par contre cette option n’est pas présente dans les fonctions de base comme `mean`, `var`, `table` ou `chisq.test`.

Fonctions de l’extension questionr

L’extension `questionr` propose quelques fonctions permettant de calculer des statistiques simples pondérées⁵:

- `wtd.mean` : moyenne pondérée
- `wtd.var` : variance pondérée
- `wtd.table` : tris plat et tris croissants pondérés

On les utilise de la manière suivante :

-
2. Voir le chapitre régression linéaire, page 389.
 3. Voir le chapitre sur la régression logistique, page 391.
 4. Voir le chapitre dédié à l’analyse des correspondances, page 423.
 5. Les fonctions `wtd.mean` et `wtd.var` sont des copies conformes des fonctions du même nom de l’extension `Hmisc` de Frank Harrel. `Hmisc` étant une extension assez grande, on a préféré recopier les fonctions pour limiter le poids des dépendances.

```
R> library(questionr)
  mean(d$age)
```

[1] 48.157

```
R> wtd.mean(d$age, weights = d$poids)
```

[1] 46.34726

```
R> wtd.var(d$age, weights = d$poids)
```

[1] 325.2658

Pour les tris à plat, on utilise la fonction `wtd.table` à laquelle on passe la variable en paramètre :

```
R> wtd.table(d$sex, weights = d$poids)
```

Homme	Femme
5149382	5921844

Pour un tri croisé, il suffit de passer deux variables en paramètres :

```
R> wtd.table(d$sex, d$hard.rock, weights = d$poids)
```

	Non	Oui
Homme	5109366.41	40016.02
Femme	5872596.42	49247.49

Ces fonctions admettent notamment les deux options suivantes :

- `na.rm` : si `TRUE`, on ne conserve que les observations sans valeur manquante.
- `normwt` : si `TRUE`, on normalise les poids pour que les effectifs totaux pondérés soient les mêmes que les effectifs initiaux. Il faut utiliser cette option, notamment si on souhaite appliquer un test sensible aux effectifs comme le `chisq.test`.

Ces fonctions rendent possibles l'utilisation des statistiques descriptives les plus simples et le traitement des tableaux croisés (les fonctions `lprop`, `cprop` ou `chisq.test` peuvent être appliquées au résultat d'un `wtd.table`) mais restent limitées en termes de tests statistiques ou de graphiques.

Données pondérées avec l’extension survey

L’extension `survey` est spécialement dédiée au traitement d’enquêtes ayant des techniques d’échantillonnage et de pondération potentiellement très complexes.

L’extension s’installe comme la plupart des autres :

```
R> install.packages("survey")
```

Le site officiel (en anglais) comporte beaucoup d’informations, mais pas forcément très accessibles : <http://faculty.washington.edu/tlumley/survey/>.

Pour utiliser les fonctionnalités de l’extension, on doit d’abord définir le plan d’échantillonnage ou *design* de notre enquête, c’est-à-dire indiquer quel type de pondération nous souhaitons lui appliquer.

Dans un premier temps, nous utiliserons le plan d’échantillonnage le plus simple, avec une variable de pondération déjà calculée⁶. Ceci se fait à l’aide de la fonction `svydesign` :

```
R> library(survey)
dw <- svydesign(ids = ~1, data = d, weights = ~d$poids)
```

Cette fonction crée un nouvel objet, que nous avons nommé `dw`. Cet objet n’est pas proprement parler un tableau de données, mais plutôt un tableau de données plus une méthode de pondération. `dw` et `d` sont des objets distincts, les opérations effectuées sur l’un n’ont pas d’influence sur l’autre. On peut cependant retrouver le contenu de `d` depuis `dw` en utilisant `dw$variables` :

```
R> str(d$age)
```

```
int [1:2000] 28 23 59 34 71 35 60 47 20 28 ...
```

```
R> str(dw$variables$age)
```

```
int [1:2000] 28 23 59 34 71 35 60 47 20 28 ...
```

6. Pour d’autres types de plan d’échantillonnage, voir la chapitre sur les plans d’échantillonnage complexes, page 385.

Lorsque notre plan d'échantillonnage est déclaré, on peut lui appliquer une série de fonctions permettant d'effectuer diverses opérations statistiques en tenant compte de la pondération. On citera notamment :

- `svymean`, `svyvar`, `svytot`, `svyquantile` : statistiques univariées (moyenne, variance, total, quantiles)
- `svytable` : tri plat et tableau croisé
- `svychisq` : test du χ²
- `svyby` : statistiques selon un facteur
- `svyttest` : test t de Student de comparaison de moyennes
- `svyciprop` : intervalle de confiance d'une proportion
- `svyglm` : modèles linéaires généralisés (dont régression logistique)
- `svyplot`, `svyhist`, `svyboxplot` : fonctions graphiques

D'autres fonctions sont disponibles, comme `svyratio`, mais elles ne seront pas abordées ici.

Pour ne rien arranger, ces fonctions prennent leurs arguments sous forme de formules⁷, c'est-à-dire pas de la manière habituelle. En général l'appel de fonction se fait en spécifiant d'abord les variables d'intérêt sous forme de formule, puis l'objet *survey.design*.

Voyons tout de suite quelques exemples⁸:

```
R> svymean(~age, dw)
```

```
mean      SE
age 46.347 0.5284
```

```
R> svyquantile(~age, dw, quantile = c(0.25, 0.5, 0.75),
  ci = TRUE)
```

```
$quantiles
  0.25 0.5 0.75
age    31   45   60

$CIs
, , age

  0.25 0.5 0.75
(lower   30   43   58
upper) 32   47   62
```

7. Pour plus de détails sur les formules, voir le chapitre dédié, page 539.

8. Pour d'autres exemples, voir http://www.ats.ucla.edu/stat/r/faq/svy_r_oscluster.htm (en anglais).

```
R> svyvar(~heures.tv, dw, na.rm = TRUE)
```

```
      variance      SE  
heures.tv    2.9886  0.1836
```

Les tris à plat se déclarent en passant comme argument le nom de la variable `précédé d'un tilde (~)`, tandis que les tableaux croisés utilisent les noms des deux variables séparés par un signe plus (+) et précédés par un tilde (~).

```
R> svytable(~sexe, dw)
```

```
sexe  
Homme   Femme  
5149382 5921844
```

```
R> svytable(~sexe + ciso, dw)
```

```
ciso  
sexe          Oui        Non Ne sait pas  
Homme 2658744.04 2418187.64    72450.75  
Femme 2602031.76 3242389.36    77422.79
```

La fonction `freq` peut être utilisée si on lui passe en argument non pas la variable elle-même, mais son tri à plat obtenu avec `svytable` :

```
R> tab <- svytable(~peche.chasse, dw)  
freq(tab, total = TRUE)
```

	n	%	val%
Non	9716683	87.8	87.8
Oui	1354544	12.2	12.2
Total	11071226	100.0	100.0

On peut également récupérer le tableau issu de `svytable` dans un objet et le réutiliser ensuite comme n'importe quel tableau croisé :

```
R> tab <- svytable(~sexe + ciso, dw)
tab
```

		ciso		
sexe	Oui	Non	Ne sait pas	
Homme	2658744.04	2418187.64	72450.75	
Femme	2602031.76	3242389.36	77422.79	

Les fonctions `lprop` et `cprop` de `questionr` sont donc tout à fait compatibles avec l'utilisation de `survey`.

```
R> lprop(tab)
```

		ciso			
sexe	Oui	Non	Ne sait pas	Total	
Homme	51.6	47.0	1.4	100.0	
Femme	43.9	54.8	1.3	100.0	
Ensemble	47.5	51.1	1.4	100.0	

Le principe de la fonction `svyby` est similaire à celui de `tapply`⁹. Elle permet de calculer des statistiques selon plusieurs sous-groupes définis par un facteur. Par exemple :

```
R> svyby(~age, ~sexe, dw, svymean)
```

sexe	age	se
Homme	Homme	45.20200 0.7419450
Femme	Femme	47.34313 0.7420836

`survey` est également capable de produire des graphiques à partir des données pondérées. Quelques exemples :

9. La fonction `tapply` est présente plus en détails dans le chapitre [Manipulation de données](#).

```
R> par(mfrow = c(2, 2))
svyplot(~age + heures.tv, dw, col = "red", main = "Bubble plot")
svyhist(~heures.tv, dw, col = "peachpuff", main = "Histogramme")
svyboxplot(age ~ 1, dw, main = "Boxplot simple", ylab = "Âge")
svyboxplot(age ~ sexe, dw, main = "Boxplot double",
           ylab = "Âge", xlab = "Sexe")
```

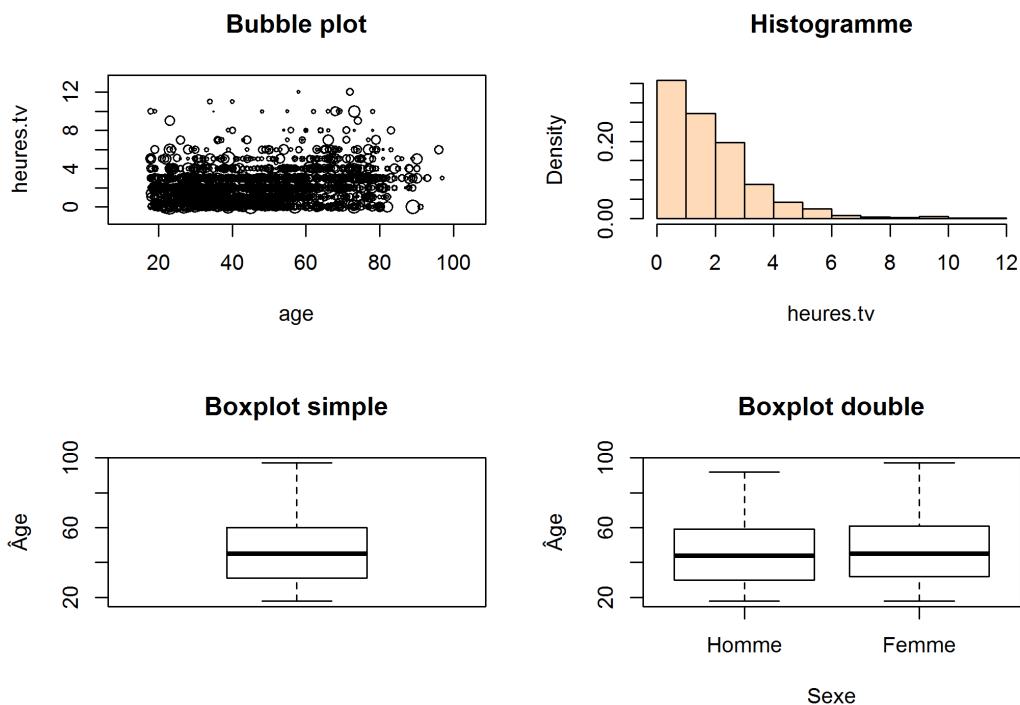


Figure 1. Fonctions graphiques de l'extension survey

Extraire un sous-échantillon

Si l'on souhaite travailler sur un sous-échantillon tout en gardant les informations d'échantillonnage, on utilisera la fonction `subset` présente en détail dans le chapitre Sous-ensembles, page 213.

```
R> sous <- subset(dw, sexe == "Femme" & age >= 40)
```

Conclusion

Si, la gestion de la pondération sous R n'est sans doute pas ce qui se fait de plus pratique et de plus simple, on pourra quand même donner les conseils suivants :

- utiliser les options de pondération des fonctions usuelles ou les fonctions d'extensions comme `questionr` pour les cas les plus simples ;
- si on utilise `survey`, effectuer autant que possible tous les recodages et manipulations sur les données non pondérées ;
- une fois les recodages effectués, on déclare le design et on fait les analyses en tenant compte de la pondération ;
- surtout ne jamais modifier les variables du design. Toujours effectuer recodages et manipulations sur les données non pondérées, puis redéclarer le design pour que les mises à jour effectuées soient disponibles pour l'analyse.

Graphiques de données pondérées

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Intervalles de confiance

Intervalle de confiance d'une moyenne	365
Intervalle de confiance d'une proportion	366
Données pondérées et l'extension survey	371

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Nous utiliserons dans ce chapitre les données de l'enquête *Histoire de vie 2003* fournies avec l'extension `questionr`.

```
R> library(questionr)
  data("hdv2003")
  d <- hdv2003
```

Intervalle de confiance d'une moyenne

L'intervalle de confiance d'une moyenne peut être calculé avec la fonction `t.test` (fonction qui permet également de réaliser un test t de Student comme nous le verrons dans le chapitre dédié aux comparaisons de moyennes, page 373) :

```
R> t.test(d$heures.tv)
```

```
One Sample t-test

data: d$heures.tv
t = 56.505, df = 1994, p-value < 2.2e-16
```

```
alternative hypothesis: true mean is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 2.168593 2.324540
sample estimates:
mean of x
 2.246566
```

Le niveau de confiance peut être précis via l'argument `conf.level`:

```
R> t.test(d$heures.tv, conf.level = 0.9)
```

```
One Sample t-test

data: d$heures.tv
t = 56.505, df = 1994, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true mean is not equal to 0
90 percent confidence interval:
 2.181138 2.311995
sample estimates:
mean of x
 2.246566
```

Le nombre d'heures moyennes à regarder la télévision parmi les enquêtés s'avère être de 2,2 heures, avec un intervalle de confiance à 95% de [2,17 - 2,33] et un intervalle de confiance à 90% de [2,18 - 2,31].

Intervalle de confiance d'une proportion

La fonction `prop.test` permet de calculer l'intervalle de confiance d'une proportion. Une première possibilité consiste à lui transmettre une table à une dimension et deux entrées. Par exemple, si l'on s'intéresse à la proportion de personnes ayant pratiqué une activité physique au cours des douze derniers mois :

```
R> freq(d$sport)
```

	n	%	val%
Non	1277	63.8	63.8
Oui	723	36.1	36.1
NA	0	0.0	NA

```
R> prop.test(table(d$sport))
```

```
1-sample proportions test with continuity
correction

data: table(d$sport), null probability 0.5
X-squared = 152.9, df = 1, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true p is not equal to 0.5
95 percent confidence interval:
0.6169447 0.6595179
sample estimates:
p
0.6385
```

On remarquera que la fonction a calculé l'intervalle de confiance correspondant à la première entrée du tableau, autrement dit celui de la proportion d'enquêtés n'ayant pas pratiqué une activité sportive. Or, nous sommes intéressés par la proportion complémentaire, à savoir celle d'enquêtés ayant pratiqué une activité sportive. On peut dès lors modifier l'ordre de la table en indiquant notre modalité d'intérêt avec la fonction `relevel` ou bien indiquer à `prop.test` d'abord le nombre de succès puis l'effectif total :

```
R> prop.test(table(relevel(d$sport, "Oui")))
```

```
1-sample proportions test with continuity
correction

data: table(relevel(d$sport, "Oui")), null probability 0.5
X-squared = 152.9, df = 1, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true p is not equal to 0.5
95 percent confidence interval:
0.3404821 0.3830553
sample estimates:
p
0.3615
```

```
R> prop.test(sum(d$sport == "Oui"), length(d$sport))
```

```
1-sample proportions test with continuity
correction

data: sum(d$sport == "Oui") out of length(d$sport), null probability 0.5
X-squared = 152.9, df = 1, p-value < 2.2e-16
```

```
alternative hypothesis: true p is not equal to 0.5
95 percent confidence interval:
 0.3404821 0.3830553
sample estimates:
 p
0.3615
```

Enfin, le niveau de confiance peut être modifié via l'argument `conf.level`:

```
R> prop.test(table(relevel(d$sport, "Oui")), conf.level = 0.9)
```

```
1-sample proportions test with continuity
correction

data: table(relevel(d$sport, "Oui")), null probability 0.5
X-squared = 152.9, df = 1, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true p is not equal to 0.5
90 percent confidence interval:
 0.3437806 0.3795989
sample estimates:
 p
0.3615
```

NOTE

Il existe de nombreuses manières de calculer un intervalle de confiance pour une proportion. En l'occurrence, l'intervalle calculé par `prop.test` correspond dans le cas présent à un intervalle bilatéral selon la méthode des scores de Wilson avec correction de continuité. Pour plus d'information, on pourra lire <http://joseph.larmarange.net/?Intervalle-de-confiance-bilateral>.

NOTE

Pour se simplifier un peu la vie, le package `JLutils` propose une fonction `prop.ci` (et ses deux variantes `prop.ci.lower` et `prop.ci.upper`) permettant d'appeler plus facilement `prop.test` et renvoyant directement l'intervalle de confiance.

`JLutils` n'étant disponible que sur [GitHub](#), on aura recours au package `devtools` et à sa fonction `install_github` pour l'installer :

```
R> library(devtools)
  install_github("lamarange/JLutils")
```

`prop.ci` fonction accepte directement un tri plat obtenu avec `table`, un vecteur de données, un vecteur logique (issu d'une condition), ou bien le nombre de succès et le nombre total d'essais. Voir les exemples ci-après :

```
R> library(JLutils)
```

```
Loading required package: ggplot2
```

```
R> freq(d$sport)
```

	n	%	val%
Non	1277	63.8	63.8
Oui	723	36.1	36.1
NA	0	0.0	NA

```
R> prop.ci(d$sport)
```

```
[1] 0.6169447 0.6595179
```

```
R> prop.ci.lower(d$sport)
```

```
[1] 0.6169447
```

```
R> prop.ci.upper(d$sport)
```

```
[1] 0.6595179
```

```
R> prop.ci(d$sport, conf.level = 0.9)
```

```
[1] 0.6204011 0.6562194
```

```
R> prop.ci(table(d$sport))
```

```
[1] 0.6169447 0.6595179
```

```
R> prop.ci(d$sport == "Non")
```

```
[1] 0.6169447 0.6595179
```

```
R> prop.ci(d$sport == "Oui")
```

```
[1] 0.3404821 0.3830553
```

```
R> prop.ci.lower(c(1277, 723), n = 2000)
```

```
[1] 0.6169447 0.3404821
```

```
R> prop.ci.upper(c(1277, 723), n = 2000)
```

```
[1] 0.6595179 0.3830553
```

Données pondérées et l'extension survey

Lorsque l'on utilise des données pondérées définies → l'aide de l'extension `survey`¹, l'intervalle de confiance d'une moyenne s'obtient avec `confint` et celui d'une proportion avec `svyciprop`.

Quelques exemples :

```
R> library(survey)
dw <- svydesign(ids = ~1, data = d, weights = ~poids)
svymean(~age, dw)
```

```
mean      SE
age 46.347 0.5284
```

```
R> confint(svymean(~age, dw)) # Intervalle de confiance d'une moyenne
```

```
2.5 %   97.5 %
age 45.3117 47.38282
```

```
R> confint(svyby(~age, ~sexe, dw, svymean)) # Intervalles de confiance pour chaque sexe
```

```
2.5 %   97.5 %
Homme 43.74781 46.65618
Femme 45.88867 48.79758
```

```
R> freq(svytable(~sexe, dw))
```

n	%	val%	
Homme	5149382	46.5	46.5
Femme	5921844	53.5	53.5

1. Voir le chapitre dédié aux données pondérées, page 356.

```
R> svyciprop(~sexe, dw) # Intervalle de confiance d'une proportion
```

```
2.5% 97.5%
sexe 0.535 0.507 0.56
```

Comparaisons (moyennes et proportions)

Comparaison de moyennes	373
Comparaison de proportions	377
◆ et d◆riv◆s	379
Donn◆es pond◆r◆es et l◆extension survey	381

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d◆écriture.

Nous utiliserons dans ce chapitre les donn◆es de l◆enqu◆te *Histoire de vie 2003* fournies avec l◆extension [questionr](#).

```
R> library(questionr)
  data("hdv2003")
  d <- hdv2003
```

Comparaison de moyennes

On peut calculer la moyenne d◆age des deux groupes en utilisant la fonction [tapply](#)^{1◆}:

1. La fonction [tapply](#) est pr◆sent◆e plus en d◆tails dans le chapitre [Manipulation de donn◆es](#).

```
R> tapply(d$age, d$hard.rock, mean)
```

Non	Oui
48.30211	27.57143

L'écart est important. Est-il statistiquement significatif? Pour cela on peut faire un test t de Student comparaison de moyennes à l'aide de la fonction `t.test`:

```
R> t.test(d$age ~ d$hard.rock)
```

```
Welch Two Sample t-test

data: d$age by d$hard.rock
t = 9.6404, df = 13.848, p-value = 1.611e-07
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
16.11379 25.34758
sample estimates:
mean in group Non mean in group Oui
48.30211           27.57143
```

Le test est extrêmement significatif. L'intervalle de confiance à 95% de la différence entre les deux moyennes va de 14,5 ans à 21,8 ans.

NOTE

La valeur affichée pour p est de `1.611e-07`. Cette valeur peut paraître étrange pour les non avertis. Cela signifie tout simplement 1,611 multiplié par 10 à la puissance -7, autrement dit 0,0000001611. Cette manière de représenter un nombre est couramment appelée notation scientifique.

Pour plus de détails, voir http://fr.wikipedia.org/wiki/Notation_scientifique.

Nous sommes cependant allés un peu vite en besogne, car nous avons negligé une hypothèse fondamentale du test t : les ensembles de valeur comparées doivent suivre approximativement une loi normale et être de même variance². Comment le vérifier?

D'abord avec un petit graphique composé de deux histogrammes:

2. Concernant cette seconde condition, `t.test` propose une option nommée `var.equal` qui permet d'utiliser une approximation dans le cas où les variances ne sont pas égales.

```
R> par(mfrow = c(1, 2))
hist(d$age[d$hard.rock == "Oui"], main = "Hard rock",
     col = "red")
hist(d$age[d$hard.rock == "Non"], main = "Sans hard rock",
     col = "red")
```

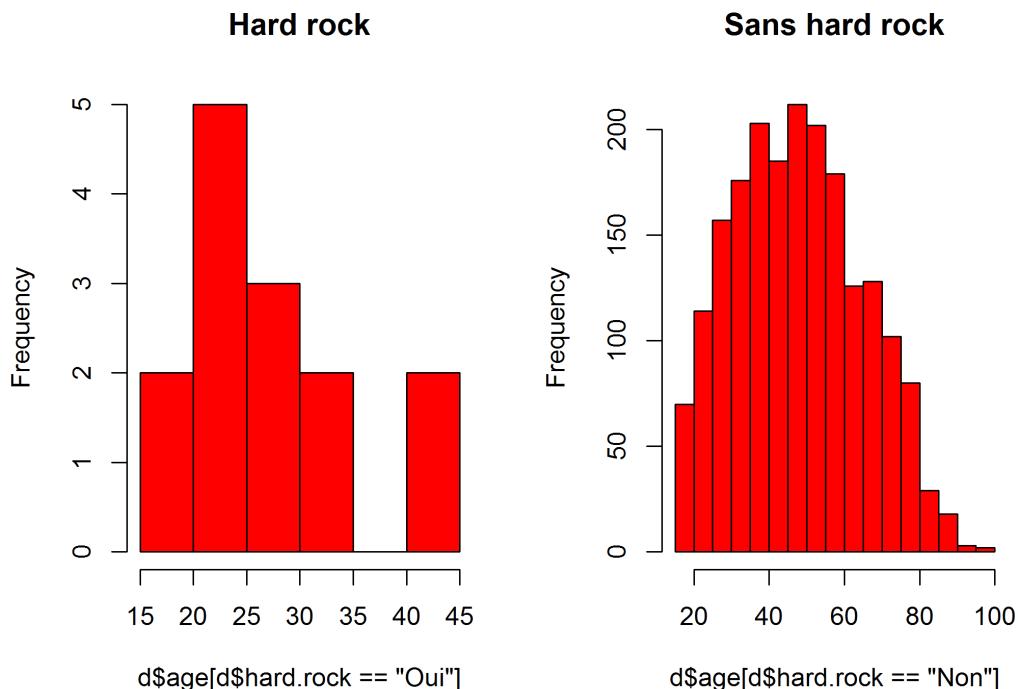


Figure 1. Distribution des âges pour apprécier de la normalité

NOTE

La fonction `par` permet de modifier de nombreux paramètres graphiques. `par(mfrow = c(1, 2))` sert à indiquer que l'on souhaite afficher deux graphiques sur une même fenêtre, plus précisément que la fenêtre doit comporter une ligne et deux colonnes.

Il a l'air pas très bon pour les « Sans hard rock », mais un peu plus limite pour les fans de Metallica, dont les effectifs sont d'ailleurs assez faibles. Si on veut en avoir le cœur net on peut utiliser le test de normalité de Shapiro-Wilk avec la fonction `shapiro.test`:

```
R> shapiro.test(d$age[d$hard.rock == "Oui"])
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: d$age[d$hard.rock == "Oui"]
W = 0.86931, p-value = 0.04104
```

```
R> shapiro.test(d$age[d$hard.rock == "Non"])
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: d$age[d$hard.rock == "Non"]
W = 0.98141, p-value = 2.079e-15
```

Visiblement, le test estime que les distributions ne sont pas suffisamment proches de la normalité dans les deux cas.

Et concernant l'égalité des variances?

```
R> tapply(d$age, d$hard.rock, var)
```

	Non	Oui
285.62858	62.72527	

L'écart n'a pas l'air négligeable. On peut le vérifier avec le test d'égalité des variances fourni par la fonction `var.test`:

```
R> var.test(d$age ~ d$hard.rock)
```

F test to compare two variances

```
data: d$age by d$hard.rock
F = 4.5536, num df = 1985, denom df = 13,
p-value = 0.003217
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
1.751826 8.694405
sample estimates:
ratio of variances
4.553644
```

La différence est très significative. En toute rigueur le test t n'aurait donc pas pu être utilisé.

Damned ! Ces maudits tests statistiques vont-ils nous empêcher de faire connaître au monde entier notre fabuleuse découverte sur l'âge des fans de Sepultura ? Non ! Car voici qu'approche l'horizon un nouveau test, connu sous le nom de Wilcoxon/Mann-Whitney. Celui-ci a l'avantage d'être non-paramétrique, c'est à dire de ne faire aucune hypothèse sur la distribution des échantillons comparés. Par contre il ne compare pas des différences de moyennes mais des différences de médianes :

```
R> wilcox.test(d$age ~ d$hard.rock)
```

```
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: d$age by d$hard.rock
W = 23980, p-value = 2.856e-06
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

Ouf ! La différence est hautement significative³. Nous allons donc pouvoir entamer la rédaction de notre article pour la Revue française de sociologie.

Comparaison de proportions

La fonction `prop.test`, que nous avons déjà rencontrée pour calculer l'intervalle de confiance d'une proportion (voir le chapitre dédié aux intervalles de confiance, page 365) permet également d'effectuer un test de comparaison de deux proportions.

Supposons que l'on souhaite comparer la proportion de personnes faisant du sport entre ceux qui lisent des bandes dessinées et les autres :

```
R> tab <- xtabs(~lecture.bd + sport, d)
lprop(tab)
```

		sport		
		Non	Oui	Total
lecture.bd	Non	64.2	35.8	100.0
	Oui	48.9	51.1	100.0
	Ensemble	63.8	36.1	100.0

Il suffit de transmettre notre tableau croisé (à 2x2 dimensions) à `prop.test` :

3. Ce test peut également fournir un intervalle de confiance avec l'option `conf.int=TRUE`.

```
R> prop.test(tab)
```

```
2-sample test for equality of proportions
with continuity correction

data: tab
X-squared = 4, df = 1, p-value = 0.0455
alternative hypothesis: two.sided
95 percent confidence interval:
-0.002652453 0.308107236
sample estimates:
prop 1    prop 2
0.6420891 0.4893617
```

On pourra également avoir recours à la fonction `fisher.test` qui renverra notamment l'odds ratio et son intervalle de confiance correspondant :

```
R> fisher.test(table(d$lecture.bd, d$sport))
```

```
Fisher's Exact Test for Count Data

data: table(d$lecture.bd, d$sport)
p-value = 0.0445
alternative hypothesis: true odds ratio is not equal to 1
95 percent confidence interval:
1.003372 3.497759
sample estimates:
odds ratio
1.871433
```

On pourra aussi avoir recours à la fonction `odds.ratio` de l'extension `questionr` qui réalise le même calcul mais présente le résultat largement différemment :

```
R> odds.ratio(tab)
```

```
OR 2.5 % 97.5 %      p
Fisher's test 1.871 1.003 3.498 0.0445 *
---
Signif. codes:
0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Note : pour le calcul du risque relatif, on pourra regarder du côté de la fonction `relrisk` de l'extension `mosaic`.

◆ et d◆riv◆s

Dans le cadre d◆un tableau crois◆e, on peut tester l◆existence d◆un lien entre les modalit◆s de deux variables, avec le tr◆s classique test du ◆⁴. Celui-ci s◆obtient gr◆ce ◆ la fonction `chisq.test`, appliqu◆e au tableau crois◆ obtenu avec `table` ou `xtabs`⁵:

```
R> d$qualreg <- as.character(d$qualif)
  d$qualreg[d$qualif %in% c("Ouvrier specialise", "Ouvrier qualifie")] <- "Ouvrier"
  d$qualreg[d$qualif %in% c("Profession intermediaire",
    "Technicien")] <- "Intermediaire"

  tab <- table(d$sport, d$qualreg)
  tab
```

	Autre	Cadre	Employe	Intermediaire	Ouvrier
Non	38	117	401	127	381
Oui	20	143	193	119	114

```
R> chisq.test(tab)
```

```
Pearson's Chi-squared test

data: tab
X-squared = 96.798, df = 4, p-value <
2.2e-16
```

Le test est hautement significatif, on ne peut pas consid◆rer qu◆il y a ind◆pendance entre les lignes et les colonnes du tableau.

On peut affiner l◆interpr◆tation du test en d◆terminant dans quelle case l◆◆cart ◆ l◆ind◆pendance est le plus significatif en utilisant les residus du test. Ceux-ci sont notamment affichables avec la fonction `chisq.residuals` de `question`:

-
4. On ne donnera pas plus d◆indications sur le test du ◆ ici. Les personnes d◆sirant une pr◆sentation plus d◆taill◆e pourront se reporter (attention, s◆ance d◆autopromotion!) ◆ la page suivante◆: <http://alea.fr.eu.org/pages/khi2>.
 5. On peut aussi appliquer directement le test en sp◆cifiant les deux variables ◆ croiser via `chisq.test(d$qualreg, d$sport)`.

```
R> chisq.residuals(tab)
```

	Autre	Cadre	Employe	Intermediaire	Ouvrier	
Non	0.11	-3.89	0.95		-2.49	3.49
Oui	-0.15	5.23	-1.28		3.35	-4.70

Les cases pour lesquelles l’effectif attendu est significatif ont un residu dont la valeur est supérieure à 2 ou inférieure à -2. Ici on constate que la pratique d’un sport est sur-représentée parmi les cadres et, à un niveau un peu moindre, parmi les professions intermédiaires, tandis qu’elle est sousreprésentée chez les ouvriers.

Enfin, on peut calculer le coefficient de contingence de Cramer du tableau, qui peut nous permettre de le comparer par la suite à d’autres tableaux croisés. On peut pour cela utiliser la fonction `cramer.v` de `questionr`:

```
R> cramer.v(tab)
```

```
[1] 0.24199
```

NOTE

Pour un tableau 2x2 entrées, il est possible de calculer le test exact de Fisher avec la fonction `fisher.test`. On peut soit lui passer le résultat de `table` ou `xtabs`, soit directement les deux variables à croiser.

```
R> lprop(table(d$sex, d$cuisine))
```

	Non	Oui	Total
Homme	70.0	30.0	100.0
Femme	44.5	55.5	100.0
Ensemble	56.0	44.0	100.0

```
R> fisher.test(table(d$sex, d$cuisine))
```

```
Fisher's Exact Test for Count Data

data: table(d$sex, d$cuisine)
p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true odds ratio is not equal to 1
95 percent confidence interval:
2.402598 3.513723
sample estimates:
odds ratio
2.903253
```

Données pondérées et l'extension survey

Lorsque l'on utilise des données pondérées, on aura recours à l'extension `survey`⁶.

Préparons des données d'exemple :

6. Voir le chapitre dédié aux données pondérées, page 356.

```
R> library(survey)
dw <- svydesign(ids = ~1, data = d, weights = ~poids)
```

Pour comparer deux moyennes à l'aide d'un test t on aura recours à `svyttest`:

```
R> svyttest(age ~ sexe, dw)
```

Design-based t-test

```
data: age ~ sexe
t = 2.0404, df = 1998, p-value = 0.04144
alternative hypothesis: true difference in mean is not equal to 0
sample estimates:
difference in mean
2.141129
```

On ne peut pas utiliser `chisq.test` directement sur un tableau garni par `svytable`. Les effectifs sont extrapolés à partir de la pondération, les résultats du test seraient complètement faussés. Si on veut faire un test du sur un tableau croisé pondéré, il faut utiliser `svychisq`:

```
R> rprop(svytable(~sexe + clso, dw))
```

		clso			
		Oui	Non	Ne sait pas	Total
sexe	Homme	51.6	47.0	1.4	100.0
	Femme	43.9	54.8	1.3	100.0
	Ensemble	47.5	51.1	1.4	100.0

```
R> svychisq(~sexe + clso, dw)
```

Pearson's χ^2 : Rao & Scott adjustment

```
data: svychisq(~sexe + clso, dw)
F = 3.3331, ndf = 1.9734, ddf = 3944.9000,
p-value = 0.03641
```

L'extension `survey` ne propose pas de version adaptée du test exact de Fisher. Pour comparer deux proportions, on aura donc recours au test du :

```
R> rprop(svystable(~lecture.bd + sport, dw))
```

		sport		
		lecture.bd	Non	Oui
		Non	61.0	39.0
		Oui	46.8	53.2
		Ensemble	60.7	39.3
		Total	100.0	100.0

```
R> svychisq(~lecture.bd + sport, dw)
```

Pearson's χ^2 : Rao & Scott adjustment

```
data: svychisq(~lecture.bd + sport, dw)
F = 2.6213, ndf = 1, ddf = 1999, p-value =
0.1056
```


Définir un plan d'échantillonnage complexe

Différents types d'échantillonnage	385
Les options de svydesign	386
Quelques exemples	387
Extraire un sous-échantillon	388

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

L'extension `survey` ne permet pas seulement d'indiquer une variable de pondération mais également de prendre les spécificités du plan d'échantillonnage (strates, grappes, etc.). Le plan d'échantillonnage ne joue pas seulement sur la pondération des données, mais influence le calcul des variances et par ricochet tous les tests statistiques. Deux échantillons identiques avec la même variable de pondération mais des designs différents produiront les mêmes moyennes et proportions mais des intervalles de confiance différents.

Différents types d'échantillonnage

L'échantillonnage aléatoire simple ou échantillonnage équiprobable est une méthode pour laquelle tous les échantillons possibles (de même taille) ont la même probabilité d'être choisis et tous les éléments de la population ont une chance égale de faire partie de l'échantillon. C'est l'échantillonnage le plus simple : chaque individu a la même probabilité d'être sélectionné.

Le chantillonnage stratifié est une méthode qui consiste d'abord à subdiviser la population en groupes homogènes (strates) pour ensuite extraire un échantillon aléatoire de chaque strate. Cette méthode suppose la connaissance de la structure de la population. Pour estimer les paramètres, les résultats doivent être pondérés par l'importance relative de chaque strate dans la population.

Le chantillonnage par grappes est une méthode qui consiste à choisir un échantillon aléatoire d'unités qui sont elles-mêmes des sous-ensembles de la population (grappes ou *clusters* en anglais). Cette méthode suppose que les unités de chaque grappe sont représentatives. Elle possède l'avantage d'être souvent plus économique.

Il est possible de combiner plusieurs de ces approches. Par exemple, les *Enquêtes Demographiques et de Santé*¹ (EDS) sont des enquêtes stratifiées en grappes à deux degrés. Dans un premier temps, la population est divisée en strates par région et milieu de résidence. Dans chaque strate, des zones d'enquêtes, correspondant à des unités de recensement, sont tirées au sort avec une probabilité proportionnelle au nombre de ménages de chaque zone au dernier recensement de population. Enfin, au sein de chaque zone d'enquête sélectionnée, un recensement de l'ensemble des ménages est effectué puis un nombre identique de ménages par zone d'enquête est tiré au sort de manière aléatoire simple.

Les options de svydesign

La fonction `svydesign` accepte plusieurs arguments décrits sur sa page d'aide (obtenue avec la commande `?svydesign`).

L'argument `data` permet de spécifier le tableau de données contenant les observations.

L'argument `ids` est obligatoire et spécifie sous la forme d'une formule les identifiants des différents niveaux d'un tirage en grappe. Si il s'agit d'un échantillon aléatoire simple, on entrera `ids=~1`. Autre situation : supposons une étude portant sur la population française. Dans un premier temps, on a tiré au sort un certain nombre de départements français. Dans un second temps, on tire au sort dans chaque département des communes. Dans chaque commune sélectionnée, on tire au sort des quartiers. Enfin, on interroge de manière exhaustive toutes les personnes habitant les quartiers enquêtés. Notre fichier de données devra donc comporter pour chaque observation les variables `id_departement`, `id_commune` et `id_quartier`. On écrira alors pour l'argument `ids` la valeur suivante : `ids=~id_departement+id_commune+id_quartier`.

Si l'échantillon est stratifié, on spécifiera les strates à l'aide de l'argument `strata` en spécifiant la variable contenant l'identifiant des strates. Par exemple : `strata=~id_strate`.

Il faut encore spécifier les probabilités de tirage de chaque cluster ou bien la pondération des individus. Si l'on dispose de la probabilité de chaque observation d'être sélectionnée, on utilisera

1. Vaste programme d'enquêtes réalisées à intervalles réguliers dans les pays du Sud, disponibles sur <http://www.dhsprogram.com/>.

l'argument `probs`. Si, par contre, on connaît la pondération de chaque observation (qui doit être proportionnelle à l'inverse de cette probabilité), on utilisera l'argument `weights`.

Si l'échantillon est stratifié, qu'au sein de chaque strate les individus ont été tirés au sort de manière aléatoire et que l'on connaît la taille de chaque strate, il est possible de ne pas avoir à spécifier la probabilité de tirage ou la pondération de chaque observation. Il est préférable de fournir une variable contenant la taille de chaque strate à l'argument `fpc`. De plus, dans ce cas-là, une petite correction sera appliquée au modèle pour prendre en compte la taille finie de chaque strate.

Quelques exemples

```
R> # Échantillonnage aléatoire simple
plan <- svydesign(ids = ~1, data = donnees)

# Échantillonnage stratifié à un seul niveau (la
# taille de chaque strate est connue)
plan <- svydesign(ids = ~1, data = donnees, fpc = ~taille)

# Échantillonnage en grappes avec tirages à quatre
# degrés (département, commune, quartier,
# individus). La probabilité de tirage de chaque
# niveau de cluster est connue.
plan <- svydesign(ids = ~id_departement + id_commune +
  id_quartier, data = donnees, probs = ~proba_departement +
  proba_commune + proba_quartier)

# Échantillonnage stratifié avec tirage à deux
# degrés (clusters et individus). Le poids
# statistiques de chaque observation est connu.
plan <- svydesign(ids = ~id_cluster, data = donnees,
  strata = ~id_strate, weights = ~poids)
```

Prenons l'exemple d'une Enquête Demographique et de Santé. Le nom des différentes variables est standardisé et commun quelle que soit l'enquête. Nous supposerons que vous avez importé le fichier *individus* dans un tableau de données nommé `eds`. Le poids statistique de chaque individu est fourni par la variable *V005* qui doit au préalable être divisée par un million. Les grappes d'échantillonnage au premier degré sont fournies par la variable *V021* (*primary sample unit*). Si elle n'est pas renseignée, on pourra utiliser le numéro de grappe *V001*. Enfin, le milieu de résidence (urbain / rural) est fourni par *V025* et la région par *V024*. Pour rappel, l'échantillon a été stratifié à la fois par région et par milieu de résidence. Certaines enquêtes fournissent directement un numéro de strate via *V022*. Si tel est le cas, on pourra préciser le plan d'échantillonnage ainsi :

```
R> eds$poids <- eds$V005/1e+06
design.eds <- svydesign(ids = ~V021, data = eds, strata = ~V022,
weights = ~poids)
```

Si V022 n'est pas fourni mais que l'enquête a bien été stratifiée par région et milieu de résidence (vérifiez toujours le premier chapitre du rapport d'enquête), on pourra créer une variable strate ainsi²:

```
R> eds$strate <- as.factor(as.integer(eds$V024) * 10 +
  as.integer(eds$V025))
levels(eds$strate) <- c(paste(levels(eds$V024), "Urbain"),
  paste(levels(eds$V024), "Rural"))
design.eds <- svydesign(ids = ~V021, data = eds, strata = ~strate,
weights = ~poids)
```

Extraire un sous-séchantillon

Si l'on souhaite travailler sur un sous-séchantillon tout en gardant les informations d'échantillonnage, on utilisera la fonction `subset` présente en détail dans le chapitre [Manipulation de données](#).

```
R> sous <- subset(plan, sexe == "Femme" & age >= 40)
```

2. L'astuce consiste à utiliser `as.integer` pour obtenir le code des facteurs et non leur valeur textuelle. L'addition des deux valeurs après multiplication du code de la région par 10 permet d'obtenir une valeur unique pour chaque combinaison des deux variables. On retransforme le résultat en facteurs puis on modifie les étiquettes des modalités.

Régression linéaire

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours de réécriture.

Régression logistique

Préparation des données	391
Régression logistique binaire	396
Sélection de modèles	410
Régression logistique multinomiale	411
Données pondérées et l'extension survey	418

NOTE

La version originale de ce chapitre a été écrite par Joseph Larmarange dans le cadre du support de cours [Introduction à l'analyse d'enquêtes avec R](#).

La régression logistique est fréquemment utilisée en sciences sociales car elle permet d'effectuer un raisonnement dit *toutes choses égales par ailleurs*. Plus précisément, la régression logistique a pour but d'isoler les effets de chaque variable, c'est-à-dire d'identifier les effets résiduels d'une variable explicative sur une variable d'intérêt, une fois pris en compte les autres variables explicatives introduites dans le modèle. La régression logistique est ainsi prisée en épidémiologie pour identifier les facteurs associés à telle ou telle pathologie.

La régression logistique ordinaire ou régression logistique binaire vise à expliquer une variable d'intérêt binaire (c'est-à-dire de type « oui / non » ou « vrai / faux »). Les variables explicatives qui seront introduites dans le modèle peuvent être quantitatives ou qualitatives.

La régression logistique multinomiale est une extension de la régression logistique aux variables qualitatives à trois modalités ou plus.

Préparation des données

Dans ce chapitre, nous allons encore une fois utiliser les données de l'enquête *Histoire de vie*, fournies avec l'extension [questionr](#).

```
R> library(questionr)
  data(hdv2003)
  d <- hdv2003
```

Par exemple, nous allons étudier l'effet de l'âge, du sexe, du niveau d'étude, de la pratique religieuse et du nombre moyen d'heures passées à regarder la télévision par jour.

En premier lieu, il importe de vérifier que notre variable d'intérêt (ici `sport`) est correctement codée. Une possibilité consiste à créer une variable booléenne (vrai / faux) selon que l'individu a pratiqué du sport ou non :

```
R> d$sport2 <- FALSE
  d$sport2[d$sport == "Oui"] <- TRUE
```

Dans le cas présent, cette variable n'a pas de valeur manquante. Mais, le cas échéant, il importe de bien coder les valeurs manquantes en `NA`, les individus en question étant alors exclus de l'analyse.

Il n'est pas forcément nécessaire de transformer notre variable d'intérêt en variable booléenne. En effet, R accepte sans problème une variable de type facteur. Cependant, l'ordre des valeurs d'un facteur a de l'importance. En effet, R considère toujours la première modalité comme étant la modalité de référence. Dans le cas de la variable d'intérêt, la modalité de référence correspond au fait de ne pas remplir le critère étudié, dans notre exemple au fait de ne pas avoir eu d'activité sportive au cours des douze derniers mois.

Pour connaître l'ordre des modalités d'une variable de type facteur, on peut utiliser la fonction `levels` ou bien encore tout simplement la fonction `freq` de l'extension `questionr` :

```
R> levels(d$sport)
```

```
[1] "Non" "Oui"
```

```
R> freq(d$sport)
```

	n	%	val%
Non	1277	63.8	63.8
Oui	723	36.1	36.1
NA	0	0.0	NA

Dans notre exemple, la modalité Non est la première modalité. Il n'y a donc pas besoin de modifier notre variable. Si ce n'est pas le cas, il faudra modifier la modalité de référence avec la fonction `relevel` comme nous allons le voir un peu plus loin.

IMPORTANT

Il est possible d'indiquer un facteur avec plus de deux modalités. Dans une telle situation, R considérera que tous les modalités, sauf la modalité de référence, est une réalisation de la variable d'intérêt. Cela serait correct, par exemple, si notre variable *sport* était codée ainsi : Non, Oui, toutes les semaines, Oui, au moins une fois par mois, Oui, moins d'une fois par mois. Cependant, afin d'éviter tout risque d'erreur ou de mauvaise interprétation, il est vivement conseillé de recoder au préalable sa variable d'intérêt en un facteur à deux modalités.

La notion de modalité de référence s'applique également aux variables explicatives qualitatives. En effet, dans un modèle, tous les coefficients sont calculés par rapport à la modalité de référence. Il importe de choisir une modalité de référence qui fasse sens afin de faciliter l'interprétation. Par ailleurs, ce choix peut également dépendre de la manière dont on souhaite présenter les résultats. De manière générale on évitera de choisir comme référence une modalité peu représentée dans l'échantillon ou bien une modalité correspondant à une situation atypique.

Prenons l'exemple de la variable sexe. Souhaite-t-on connaître l'effet d'être une femme par rapport au fait d'être un homme ou bien l'effet d'être un homme par rapport au fait d'être une femme? Si l'on opte pour le second, alors notre modalité de référence sera le sexe féminin. Comme est codée cette variable?

```
R> freq(d$sex)
```

	n	%	val%
Homme	899	45	45
Femme	1101	55	55
NA	0	0	NA

La modalité Femme n'est pas encore la première modalité. Nous devons appliquer la fonction `relevel`:

```
R> d$sex <- relevel(d$sex, "Femme")
freq(d$sex)
```

	n	%	val%
Femme	1101	55	55
Homme	899	45	45
NA	0	0	NA

IMPORTANT**Données labellisées**

Si l'on utilise des données labellisées (voir le chapitre [diddi](#), page 113), nos variables catégorielles seront stockées sous la forme d'un vecteur numérique avec des étiquettes. Il sera donc nécessaire de convertir ces variables en facteurs, tout simplement avec la fonction `to_factor` de l'extension `labelled` qui pourra utiliser les étiquettes de valeurs comme modalités du facteur.

Les variables `age` et `heures.tv` sont des variables quantitatives. Il importe de vérifier qu'elles sont bien enregistrées en tant que variables numériques. En effet, il arrive parfois que dans le fichier source les variables quantitatives soient renseignées sous forme de valeur textuelle et non sous forme numérique.

```
R> str(d$age)
```

```
int [1:2000] 28 23 59 34 71 35 60 47 20 28 ...
```

```
R> str(d$heures.tv)
```

```
num [1:2000] 0 1 0 2 3 2 2.9 1 2 2 ...
```

Nos deux variables sont bien renseignées sous forme numérique.

Cependant, l'effet de l'âge est rarement linéaire. Un exemple trivial est par exemple le fait d'occuper un emploi qui sera moins fréquent aux jeunes âges et aux âges élevés. Dès lors, on pourra transformer la variable `age` en groupe d'âges avec la fonction `cut` (voir le chapitre [Manipulation de données](#)):

```
R> d$grpage <- cut(d$age, c(16, 25, 45, 65, 93), right = FALSE,
+ include.lowest = TRUE)
freq(d$grpage)
```

	n	%	val%
[16,25)	169	8.5	8.5
[25,45)	706	35.3	35.3
[45,65)	745	37.2	37.3
[65,93]	378	18.9	18.9
NA	2	0.1	NA

Jetons maintenant un oeil à la variable `nivetud`:

```
R> freq(d$nivetud)
```

	n
N'a jamais fait d'etudes	39
A arrete ses etudes, avant la derniere annee d'etudes primaires	86
Derniere annee d'etudes primaires	341
1er cycle	204
2eme cycle	183
Enseignement technique ou professionnel court	463
Enseignement technique ou professionnel long	131
Enseignement superieur y compris technique superieur	441
NA	112
	%
N'a jamais fait d'etudes	2.0
A arrete ses etudes, avant la derniere annee d'etudes primaires	4.3
Derniere annee d'etudes primaires	17.1
1er cycle	10.2
2eme cycle	9.2
Enseignement technique ou professionnel court	23.2
Enseignement technique ou professionnel long	6.6
Enseignement superieur y compris technique superieur	22.1
NA	5.6
	val%
N'a jamais fait d'etudes	2.1
A arrete ses etudes, avant la derniere annee d'etudes primaires	4.6
Derniere annee d'etudes primaires	18.1
1er cycle	10.8
2eme cycle	9.7
Enseignement technique ou professionnel court	24.5
Enseignement technique ou professionnel long	6.9
Enseignement superieur y compris technique superieur	23.4
NA	NA

En premier lieu, cette variable est dtaillée en pas moins de huit modalités dont certaines sont peu représentées (seulement 39 individus soit 2% n'ont jamais fait d'études par exemple). Afin d'améliorer notre modèle logistique, il peut être pertinent de regrouper certaines modalités (voir le chapitre [Manipulation de données](#)):

```
R> d$etud <- d$nivetud
  levels(d$etud) <- c("Primaire", "Primaire", "Primaire",
    "Secondaire", "Secondaire", "Technique/Professionnel",
    "Technique/Professionnel", "Supérieur")
  freq(d$etud)
```

	n	%	val%
Primaire	466	23.3	24.7
Secondaire	387	19.4	20.5
Technique/Professionnel	594	29.7	31.5
Supérieur	441	22.1	23.4
NA	112	5.6	NA

Notre variable comporte également 112 individus avec une valeur manquante. Si nous conservons cette valeur manquante, ces 112 individus seront, par défaut, exclus de l'analyse. Ces valeurs manquantes n'étant pas négligeable (5,6%), nous pouvons également faire le choix de considérer ces valeurs manquantes comme une modalité supplémentaire. Auquel cas, nous utiliserons la fonction `add.NA` :

```
R> levels(d$etud)
```

```
[1] "Primaire"
[2] "Secondaire"
[3] "Technique/Professionnel"
[4] "Supérieur"
```

```
R> d$etud <- addNA(d$etud)
  levels(d$etud)
```

```
[1] "Primaire"
[2] "Secondaire"
[3] "Technique/Professionnel"
[4] "Supérieur"
[5] NA
```

Régression logistique binaire

La fonction `glm` (pour *generalized linear models* soit modèle linéaire généralisé en français) permet de calculer une grande variété de modèles statistiques. La régression logistique ordinaire correspond au modèle *logit* de la famille des modèles binomiaux, ce que l'on indique à `glm` avec l'argument `family=binomial(logit)`.

Le modèle proprement dit sera renseigné sous la forme d'une formule (que nous avons déjà rencontrée dans le chapitre sur la statistique bivariée, page 273 et présentée plus en détails dans un chapitre dédié, page 539). On indiquera d'abord la variable d'intérêt, suivie du signe ~ (que l'on obtient en appuyant sur les touches Alt Gr et 3 sur un clavier de type PC) puis de la liste des variables explicatives séparées par un signe +. Enfin, l'argument data permettra d'indiquer notre tableau de données.

```
R> reg <- glm(sport ~ sexe + grpage + etud + relig + heures.tv,
  data = d, family = binomial(logit))
reg
```

```
Call: glm(formula = sport ~ sexe + grpage + etud + relig + heures.tv,
family = binomial(logit), data = d)
```

Coefficients:

	(Intercept)
	-0.797364
	sexeHomme
	0.439002
	grpae[25,45)
	-0.420306
	grpae[45,65)
	-1.085463
	grpae[65,93]
	-1.379274
	etudSecondaire
	0.948312
	etudTechnique/Professionnel
	1.047156
	etudSupérieure
	1.889621
	etudNA
	2.148545
	religPratiquant occasionnel
	-0.020597
	religAppartenance sans pratique
	-0.006176
	religNi croyance ni appartenance
	-0.214067
	religRejet
	-0.382744
	religNSP ou NVPR
	-0.083361
	heures.tv
	-0.120724

```
Degrees of Freedom: 1992 Total (i.e. Null); 1978 Residual
(7 observations deleted due to missingness)
Null Deviance: 2607
Residual Deviance: 2206 AIC: 2236
```

NOTE

Il est possible de spécifier des modèles plus complexes. Par exemple, `x:y` permet d'indiquer l'interaction entre les variables `x` et `y`. `x * y` sera équivalent à `x + y + x:y`. Pour aller plus loin, voir <http://www2.coastal.edu/kingw/statistics/R-tutorials/formulae.html>.

Une présentation plus complète des résultats est obtenue avec la méthode `summary`:

```
R> summary(reg)
```

```
Call:
glm(formula = sport ~ sexe + grpage + etud + relig + heures.tv,
     family = binomial(logit), data = d)

Deviance Residuals:
    Min      1Q   Median      3Q      Max 
-1.8783 -0.8864 -0.4814  1.0033  2.4202 

Coefficients:
                                         Estimate
(Intercept)                         -0.797364
sexeHomme                            0.439002
grpage[25,45]                        -0.420306
grpage[45,65]                         -1.085463
grpage[65,93]                         -1.379274
etudSecondaire                       0.948312
etudTechnique/Professionnel          1.047156
etudSupérieur                         1.889621
etudNA                                2.148545
religPratiquant occasionnel          -0.020597
religAppartenance sans pratique     -0.006176
religNi croyance ni appartenance    -0.214067
religRejet                             -0.382744
religNSP ou NVPR                      -0.083361
heures.tv                             -0.120724
                                         Std. Error
(Intercept)                         0.323833
```

sexeHomme	0.106063
grpage[25,45)	0.228042
grpage[45,65)	0.237704
grpage[65,93]	0.273794
etudSecondaire	0.197427
etudTechnique/Professionnel	0.189777
etudSupérieure	0.195190
etudNA	0.330198
religPratiquant occasionnel	0.189203
religAppartenance sans pratique	0.174709
religNi croyance ni appartenance	0.193096
religRejet	0.285878
religNSP ou NVPR	0.410968
heures.tv	0.033589
	z value Pr(> z)
(Intercept)	-2.462 0.013806
sexeHomme	4.139 3.49e-05
grpage[25,45)	-1.843 0.065313
grpage[45,65)	-4.566 4.96e-06
grpage[65,93]	-5.038 4.71e-07
etudSecondaire	4.803 1.56e-06
etudTechnique/Professionnel	5.518 3.43e-08
etudSupérieure	9.681 < 2e-16
etudNA	6.507 7.67e-11
religPratiquant occasionnel	-0.109 0.913311
religAppartenance sans pratique	-0.035 0.971801
religNi croyance ni appartenance	-1.109 0.267600
religRejet	-1.339 0.180624
religNSP ou NVPR	-0.203 0.839260
heures.tv	-3.594 0.000325
(Intercept)	*
sexeHomme	***
grpage[25,45)	.
grpage[45,65)	***
grpage[65,93]	***
etudSecondaire	***
etudTechnique/Professionnel	***
etudSupérieure	***
etudNA	***
religPratiquant occasionnel	
religAppartenance sans pratique	
religNi croyance ni appartenance	
religRejet	
religNSP ou NVPR	
heures.tv	***

```

Signif. codes:
0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 2607.4 on 1992 degrees of freedom
Residual deviance: 2205.9 on 1978 degrees of freedom
(7 observations deleted due to missingness)
AIC: 2235.9

Number of Fisher Scoring iterations: 4

```

Dans le cadre d'un modèle logistique, généralement on ne présente pas les coefficients du modèle mais leur valeur exponentielle, cette dernière correspondant en effet à des *odds ratio*, également appelés rapports des cotes. L'odds ratio diffère du risque relatif. Cependant son interprétation est similaire. Un *odds ratio* de 1 signifie l'absence d'effet. Un *odds ratio* largement supérieur à 1 correspond à une augmentation du phénomène étudié et un *odds ratio* largement inférieur à 1 correspond à une diminution du phénomène étudié¹.

La fonction `coef` permet d'obtenir les coefficients d'un modèle, `confint` leurs intervalles de confiance et `exp` de calculer l'exponentiel. Les *odds ratio* et leurs intervalles de confiance s'obtiennent ainsi :

```
R> exp(coef(reg))
```

```

(Intercept)
0.4505151
sexeHomme
1.5511577
grpage[25,45]
0.6568456
grpage[45,65]
0.3377455
grpage[65,93]
0.2517614
etudSecondaire
2.5813476
etudTechnique/Professionnel
2.8495358
etudSupérieure
6.6168632
etudNA

```

1. Pour plus de détails, voir <http://www.spc.univ-lyon1.fr/polycop/odds%20ratio.htm>.

```

8.5723745
religPratiquant occasionnel
0.9796133
religAppartenance sans pratique
0.9938431
religNi croyance ni appartenance
0.8072940
religRejet
0.6819874
religNSP ou NVPR
0.9200190
heures.tv
0.8862785

```

R> **exp(confint**(reg))

Waiting for profiling to be done...

	2.5 %
(Intercept)	0.2379725
sexeHomme	1.2605519
grpage[25,45]	0.4195082
grpage[45,65]	0.2115297
grpage[65,93]	0.1466915
etudSecondaire	1.7613423
etudTechnique/Professionnel	1.9764492
etudSupérieure	4.5427464
etudNA	4.5265421
religPratiquant occasionnel	0.6767575
religAppartenance sans pratique	0.7067055
religNi croyance ni appartenance	0.5531366
religRejet	0.3872078
religNSP ou NVPR	0.3998878
heures.tv	0.8291800
	97.5 %
(Intercept)	0.8480538
sexeHomme	1.9106855
grpage[25,45)	1.0275786
grpage[45,65)	0.5380619
grpage[65,93]	0.4296919
etudSecondaire	3.8240276
etudTechnique/Professionnel	4.1639745
etudSupérieure	9.7745023
etudNA	16.5563346
religPratiquant occasionnel	1.4217179

religAppartenance sans pratique	1.4026763
religNi croyance ni appartenance	1.1798422
religRejet	1.1898605
religNSP ou NVPR	2.0221544
heures.tv	0.9459484

On pourra faciliter la lecture en combinant les deux :

```
R> exp(cbind(coef(reg), confint(reg)))
```

Waiting for profiling to be done...

(Intercept)	0.4505151
sexeHomme	1.5511577
grpage[25,45]	0.6568456
grpage[45,65]	0.3377455
grpage[65,93]	0.2517614
etudSecondaire	2.5813476
etudTechnique/Professionnel	2.8495358
etudSupérieure	6.6168632
etudNA	8.5723745
religPratiquant occasionnel	0.9796133
religAppartenance sans pratique	0.9938431
religNi croyance ni appartenance	0.8072940
religRejet	0.6819874
religNSP ou NVPR	0.9200190
heures.tv	0.8862785
	2.5 %
(Intercept)	0.2379725
sexeHomme	1.2605519
grpage[25,45)	0.4195082
grpage[45,65)	0.2115297
grpage[65,93]	0.1466915
etudSecondaire	1.7613423
etudTechnique/Professionnel	1.9764492
etudSupérieure	4.5427464
etudNA	4.5265421
religPratiquant occasionnel	0.6767575
religAppartenance sans pratique	0.7067055
religNi croyance ni appartenance	0.5531366
religRejet	0.3872078
religNSP ou NVPR	0.3998878
heures.tv	0.8291800
	97.5 %

(Intercept)	0.8480538
sexeHomme	1.9106855
grpage[25,45]	1.0275786
grpage[45,65]	0.5380619
grpage[65,93]	0.4296919
etudSecondaire	3.8240276
etudTechnique/Professionnel	4.1639745
etudSup ^{érie} ur	9.7745023
etudNA	16.5563346
religPratiquant occasionnel	1.4217179
religAppartenance sans pratique	1.4026763
religNi croyance ni appartenance	1.1798422
religRejet	1.1898605
religNSP ou NVPR	2.0221544
heures.tv	0.9459484

Pour savoir si un *odds ratio* diffère significativement de 1 (ce qui est identique au fait que le coefficient soit différent de 0), on pourra se référer à la colonne $Pr(>|z|)$ obtenue avec `summary`.

Si vous disposez de l'extension `questionr`, la fonction `odds.ratio` permet de calculer directement les *odds ratio*, leur intervalles de confiance et les *p-value*:

```
R> library(questionr)
odds.ratio(reg)
```

Waiting for profiling to be done...

	OR	2.5 %	
(Intercept)	0.451	0.238	
sexeHomme	1.551	1.261	
grpage[25,45]	0.657	0.420	
grpage[45,65]	0.338	0.212	
grpage[65,93]	0.252	0.147	
etudSecondaire	2.581	1.761	
etudTechnique/Professionnel	2.850	1.976	
etudSup ^{érie} ur	6.617	4.543	
etudNA	8.572	4.527	
religPratiquant occasionnel	0.980	0.677	
religAppartenance sans pratique	0.994	0.707	
religNi croyance ni appartenance	0.807	0.553	
religRejet	0.682	0.387	
religNSP ou NVPR	0.920	0.400	
heures.tv	0.886	0.829	
	97.5 %		p
(Intercept)	0.848	0.0138062	

```

sexHomme           1.911 3.488e-05
grpage[25,45)      1.028 0.0653132
grpage[45,65)      0.538 4.961e-06
grpage[65,93]       0.430 4.713e-07
etudSecondaire     3.824 1.560e-06
etudTechnique/Professionnel 4.164 3.432e-08
etudSupérieur      9.775 < 2.2e-16
etudNA              16.556 7.674e-11
religPratiquant occasionnel 1.422 0.9133105
religAppartenance sans pratique 1.403 0.9718010
religNi croyance ni appartenance 1.180 0.2675998
religRejet            1.190 0.1806239
religNSP ou NVPR      2.022 0.8392596
heures.tv             0.946 0.0003255

(Intercept) *
sexHomme ***
grpage[25,45) .
grpage[45,65) ***
grpage[65,93] ***
etudSecondaire ***
etudTechnique/Professionnel ***
etudSupérieur ***
etudNA ***
religPratiquant occasionnel
religAppartenance sans pratique
religNi croyance ni appartenance
religRejet
religNSP ou NVPR
heures.tv ***

---
Signif. codes:
0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Il est possible de représenter graphiquement les différents odds ratios. Pour cela, on va utiliser la fonction `tidy` de l'extension `broom` pour récupérer les coefficients du modèle sous la forme d'un tableau de données exploitable avec `ggplot2`. On précisera `conf.int = TRUE` pour obtenir les intervalles de confiance et `exponentiate = TRUE` pour avoir les odds ratio plutôt que les coefficients bruts. `geom_errorbarh` permet de représenter les intervalles de confiance sous forme de barres d'erreurs, `geom_vline` une ligne verticale au niveau `x = 1`, `scale_x_log10` pour afficher l'axe des `x` de manière logarithmique, les odds ratios étant de nature multiplicative et non additive.

```
R> library(broom)
tmp <- tidy(reg, conf.int = TRUE, exponentiate = TRUE)
str(tmp)
```

```
'data.frame': 15 obs. of 7 variables:
 $ term      : chr "(Intercept)" "sexeHomme" "grpage[25,45]" "grpage[45,65]"
 ...
 $ estimate   : num 0.451 1.551 0.657 0.338 0.252 ...
 $ std.error  : num 0.324 0.106 0.228 0.238 0.274 ...
 $ statistic  : num -2.46 4.14 -1.84 -4.57 -5.04 ...
 $ p.value    : num 1.38e-02 3.49e-05 6.53e-02 4.96e-06 4.71e-07 ...
 $ conf.low   : num 0.238 1.261 0.42 0.212 0.147 ...
 $ conf.high  : num 0.848 1.911 1.028 0.538 0.43 ...
```

```
R> library(ggplot2)
ggplot(tmp) + aes(x = estimate, y = term, xmin = conf.low,
xmax = conf.high) + geom_vline(xintercept = 1) +
geom_errorbarh() + geom_point() + scale_x_log10()
```

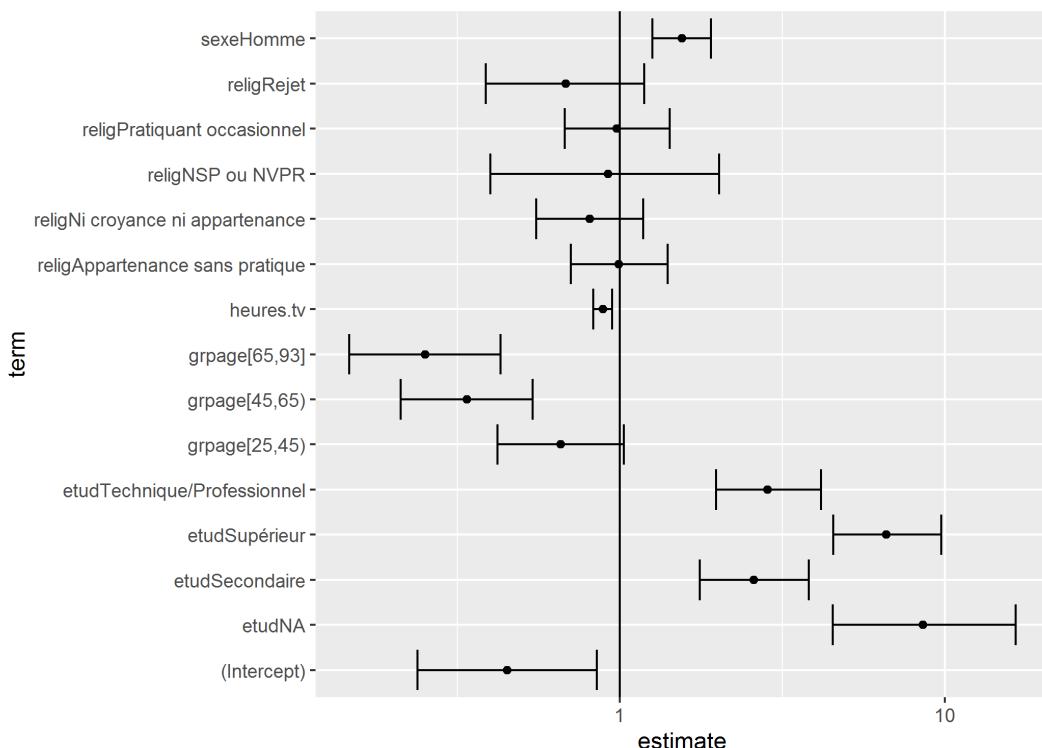


Figure 1. Représentation graphique des odds ratios

La fonction `ggcoef` de l'extension **GGally** permet d'effectuer le graphique précédent directement à partir de notre modèle. Voir l'aide de cette fonction pour la liste complète des paramètres personnalisables.

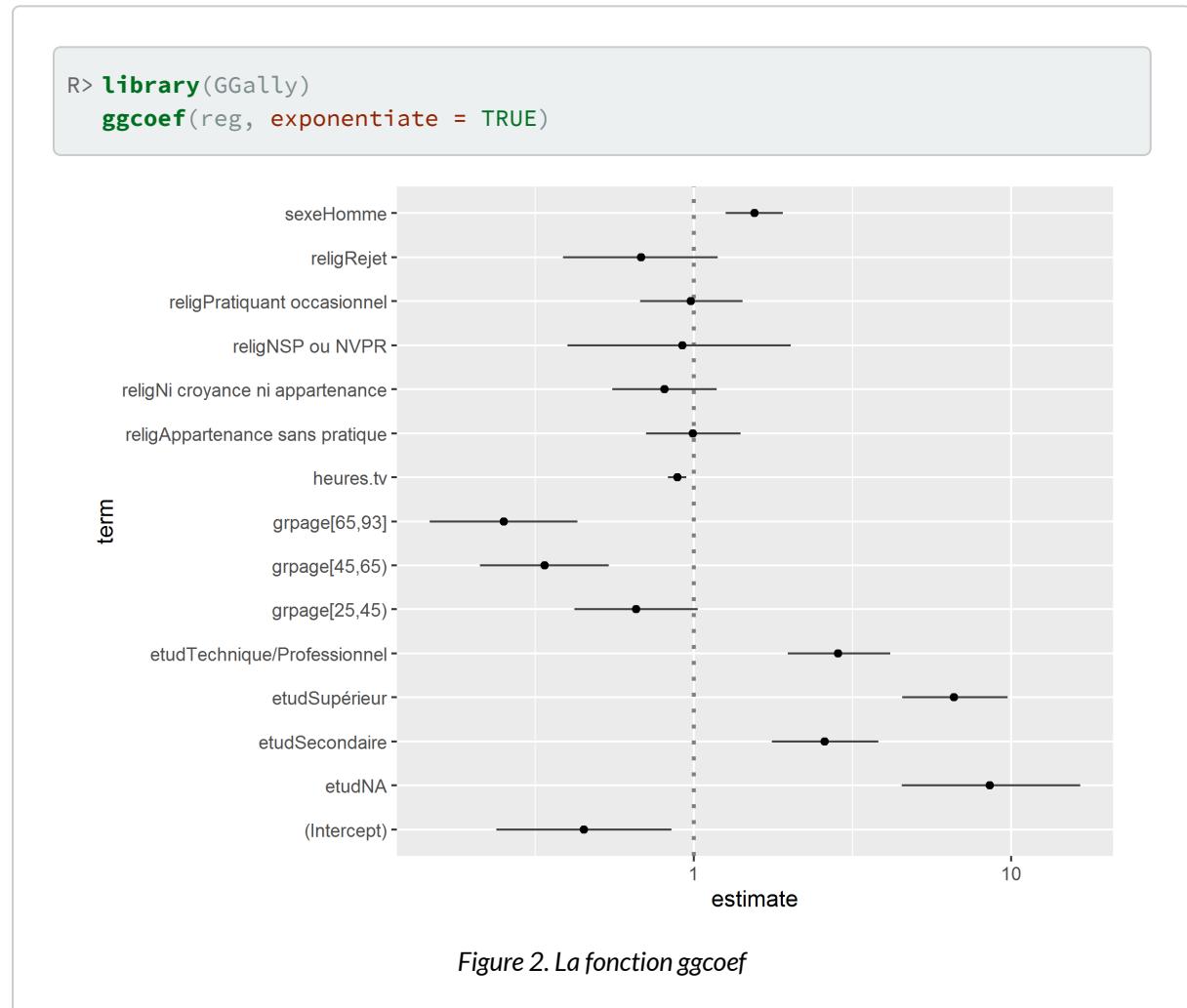


Figure 2. La fonction `ggcoef`

NOTE

L'extension **JLutils**, disponible uniquement sur GitHub, propose une fonction intéressante dans ce contexte. Pour l'installer ou la mettre à jour, si ce n'est déjà fait, on aura recours à la commande ci-après.

```
R> devtools::install_github("larmarange/JLutils")
```

La fonction **tidy_detailed** est une version «élargie» de **tidy** qui rajoute des colonnes supplémentaires avec le nom des variables et des modalités.

```
R> str(tidy(reg))
```

```
'data.frame': 15 obs. of 5 variables:
 $ term      : chr "(Intercept)" "sexeHomme" "grp[25,45]" "grp[45,65]"
 ...
 $ estimate   : num -0.797 0.439 -0.42 -1.085 -1.379 ...
 $ std.error  : num 0.324 0.106 0.228 0.238 0.274 ...
 $ statistic  : num -2.46 4.14 -1.84 -4.57 -5.04 ...
 $ p.value    : num 1.38e-02 3.49e-05 6.53e-02 4.96e-06 4.71e-07 ...
```

```
R> library(JLutils)
str(tidy_detailed(reg))
```

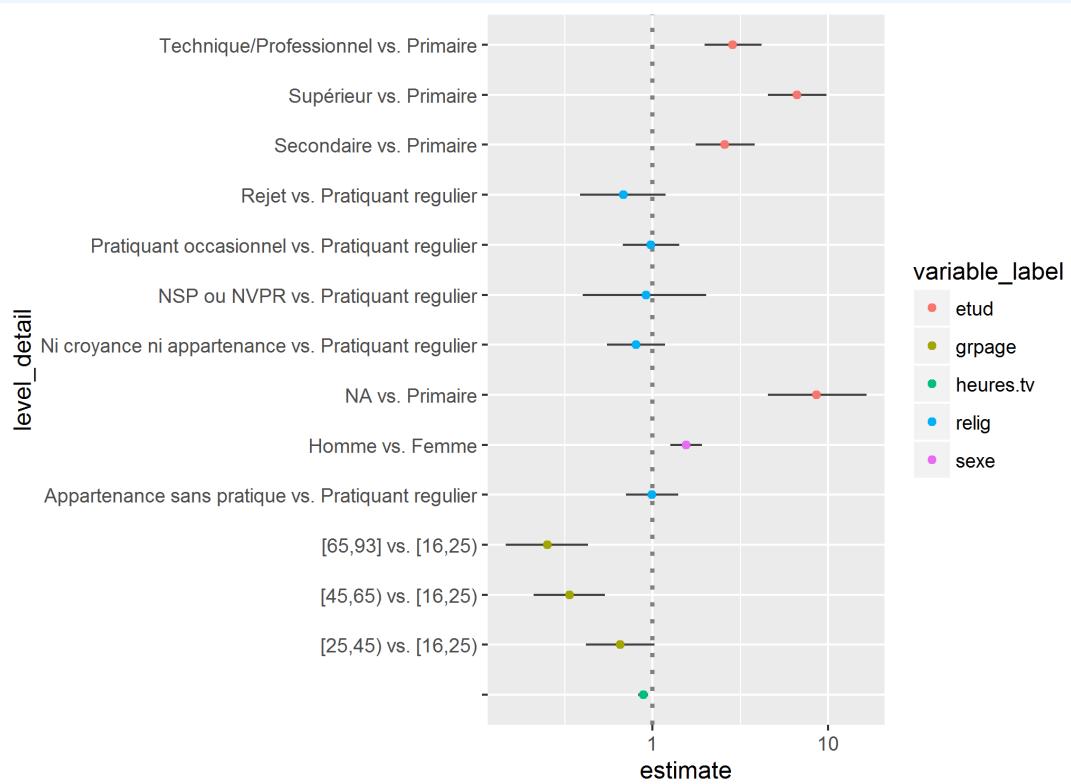
Loading required namespace: labelled

```
'data.frame': 14 obs. of 10 variables:
 $ term          : chr "etudNA" "etudSecondaire" "etudSupérieur" "etudTechnique/Professionnel" ...
 $ estimate       : num 2.149 0.948 1.89 1.047 -0.42 ...
 $ std.error     : num 0.33 0.197 0.195 0.19 0.228 ...
 $ statistic     : num 6.51 4.8 9.68 5.52 -1.84 ...
 $ p.value       : num 7.67e-11 1.56e-06 3.63e-22 3.43e-08 6.53e-02 ...
 $ variable      : chr "etud" "etud" "etud" "etud" ...
 $ variable_label: chr "etud" "etud" "etud" "etud" ...
 $ level         : chr NA "Secondaire" "Supérieur" "Technique/Professionnel" ...
 $ level_detail  : chr "NA vs. Primaire" "Secondaire vs. Primaire" "Supérieur vs. Primaire" "Technique/Professionnel vs. Primaire" ...
```

```
$ label : chr "NA vs. Primaire" "Secondaire vs. Primaire" "Supérieur vs. Primaire" "Technique/Professionnel vs. Primaire" ...
```

Il est possible de combiner `tidy_detailed` avec `ggcoef` pour personnaliser un peu plus le résultat.

```
R> td <- tidy_detailed(reg, exponentiate = TRUE, conf.int = TRUE)
  td$label <- factor(td$label, rev(td$label)) # Pour fixer l'ordre pour ggplot2
  ggcoef(td, mapping = aes(y = level_detail, x = estimate,
    colour = variable_label), exponentiate = TRUE)
```



L'extension `effects` propose une représentation graphique résumant les effets de chaque variable du modèle. Pour cela, il suffit d'appliquer la méthode `plot` au résultat de la fonction `allEffects`. Nous obtenons alors la figure ci-dessous, page 409.

```
R> library(effects)
plot(allEffects(reg))
```

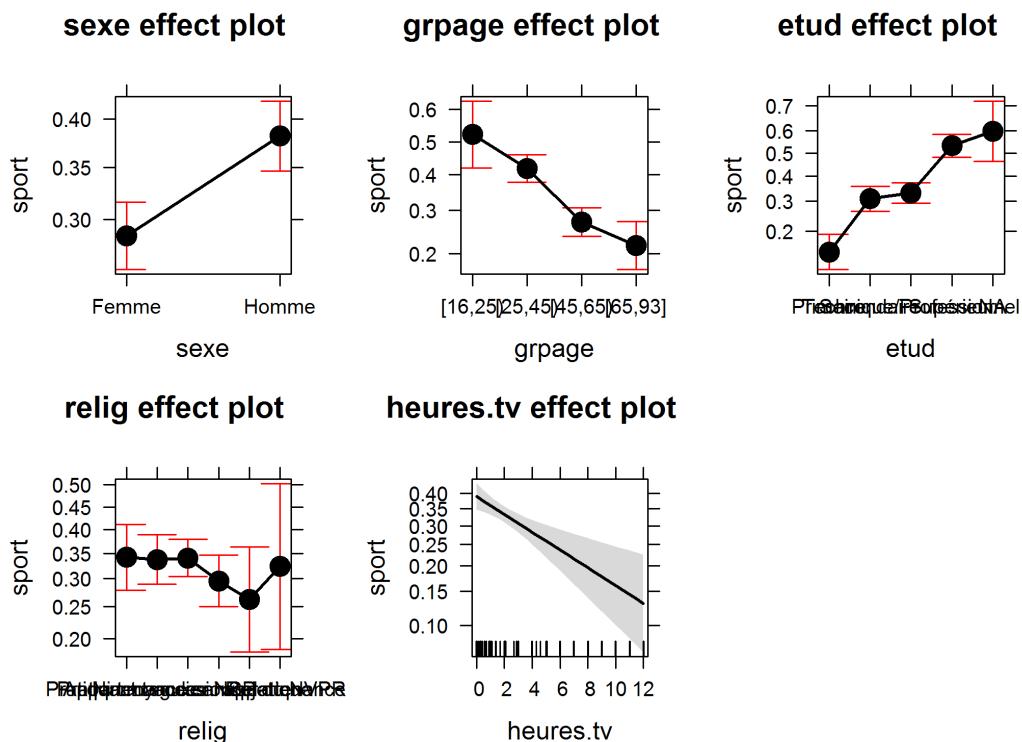


Figure 3. Représentation graphique de l'effet de chaque variable du modèle logistique

Une manière de tester la qualité d'un modèle est le calcul d'une matrice de confusion, c'est-à-dire le tableau croisé des valeurs observées et celles des valeurs prédites en appliquant le modèle aux données d'origine.

La méthode `predict` avec l'argument `type="response"` permet d'appliquer notre modèle logistique à un tableau de données et renvoie pour chaque individu la probabilité qu'il ait vu le phénomène étudié.

```
R> sport.pred <- predict(reg, type = "response", newdata = d)
head(sport.pred)
```

1	2	3	4
0.61251214	0.73426878	0.16004519	0.70335574
5	6		
0.07318189	0.34841147		

Or notre variable `stude` est de type binaire. Nous devons donc transformer nos probabilités prédites en une variable du type oui / non. Usuellement, les probabilités prédites seront réunies en deux groupes selon qu'elles soient supérieures ou inférieures à la moitié. La matrice de confusion est alors égale à :

```
R> table(sport.pred > 0.5, d$sport)
```

	Non	Oui
FALSE	1074	384
TRUE	199	336

Nous avons donc 583 (384+199) prédictions incorrectes sur un total de 1993, soit un taux de mauvais classement de 29,3%.

Sélection de modèles

Il est toujours tentant lorsque l'on recherche les facteurs associés à un phénomène d'inclure un nombre important de variables explicatives potentielles dans un modèle logistique. Cependant, un tel modèle n'est pas forcément le plus efficace et certaines variables n'auront probablement pas d'effet significatif sur la variable dépendante.

La technique de sélection descendante pas à pas est une approche visant à améliorer son modèle explicatif². On réalise un premier modèle avec toutes les variables significatives, puis on regarde si il est possible d'améliorer le modèle en supprimant une des variables du modèle. Si plusieurs variables permettent d'améliorer le modèle, on supprimera la variable dont la suppression améliorera le plus le modèle. Puis on recommence le même procédé pour voir si la suppression d'une seconde variable peut encore améliorer le modèle et ainsi de suite. Lorsque le modèle ne peut plus être amélioré par la suppression d'une variable, on s'arrête.

Il faut également définir un critère pour déterminer la qualité d'un modèle. L'un des plus utilisés est le Akaike Information Criterion ou AIC. Plus l'AIC sera faible, meilleure sera le modèle.

La fonction `step` permet justement de sélectionner le meilleur modèle par une procédure pas à pas descendante basée sur la minimisation de l'AIC. La fonction affiche à l'écran les différentes étapes de la sélection et renvoie le modèle final.

2. Il existe également des méthodes de sélection ascendante pas à pas, mais nous les aborderons pas ici.

```
R> reg2 <- step(reg)
```

```
Start: AIC=2235.94
sport ~ sexe + grpage + etud + relig + heures.tv
```

	Df	Deviance	AIC
- relig	5	2210.2	2230.2
<none>		2205.9	2235.9
- heures.tv	1	2219.3	2247.3
- sexe	1	2223.2	2251.2
- grpae	3	2258.7	2282.7
- etud	4	2329.6	2351.6

```
Step: AIC=2230.15
sport ~ sexe + grpae + etud + heures.tv
```

	Df	Deviance	AIC
<none>		2210.2	2230.2
- heures.tv	1	2223.7	2241.7
- sexe	1	2226.1	2244.1
- grpae	3	2260.3	2274.3
- etud	4	2333.8	2345.8

Le modèle initial a un AIC de 2235,9. À la première étape, il apparaît que la suppression de la variable religion permet diminuer l'AIC à 2230,2. Lors de la seconde étape, toute suppression d'une autre variable ferait augmenter l'AIC. La procédure s'arrête donc.

R[♦]gression logistique multinomiale

La r[♦]gression logistique multinomiale est une extension de la r[♦]gression logistique aux variables qualitatives à trois modalités ou plus. Dans ce cas de figure, chaque modalité de la variable d'intérêt sera comparée à la modalité de référence. Les odds ratio seront donc exprimés par rapport à cette dernière.

Nous allons prendre pour exemple la variable *trav.satisf*, à savoir la satisfaction ou l'insatisfaction au travail.

```
R> freq(d$trav.satisf)
```

	n	%	val%
Satisfaction	480	24.0	45.8
Insatisfaction	117	5.9	11.2

```
Equilibre      451 22.6 43.0
NA            952 47.6   NA
```

Nous allons choisir comme modalité de référence la position intermédiaire, à savoir l'équilibre.

```
R> d$trav.satisf <- relevel(d$trav.satisf, "Equilibre")
```

Enfin, nous allons aussi en profiter pour raccourcir les étiquettes de la variable *trav.imp*:

```
R> levels(d$trav.imp) <- c("Le plus", "Aussi", "Moins",
  "Peu")
```

Pour calculer un modèle logistique multinomial, nous allons utiliser la fonction `multinom` de l'extension `nnet`³. La syntaxe de `multinom` est similaire à celle de `glm`, le paramètre `family` en moins.

```
R> library(nnet)
regm <- multinom(trav.satisf ~ sexe + etud + grpage +
  trav.imp, data = d)
```

```
# weights:  39 (24 variable)
initial value 1151.345679
iter  10 value 977.348901
iter  20 value 969.849189
iter  30 value 969.522965
final  value 969.521855
converged
```

Comme pour la régression logistique, il est possible de réaliser une sélection pas à pas descendante:

```
R> regm2 <- step(regm)
```

```
Start:  AIC=1987.04
trav.satisf ~ sexe + etud + grpage + trav.imp

trying - sexe
# weights:  36 (22 variable)
```

3.Une alternative est d'avoir recours à l'extension `mlogit` que nous n'aborderons pas ici. Voir <http://www.ats.ucla.edu/stat/r/dae/mlogit.htm> (en anglais) pour plus de détails.

```

initial value 1151.345679
iter 10 value 978.538886
iter 20 value 970.453555
iter 30 value 970.294459
final value 970.293988
converged
trying - etud
# weights: 27 (16 variable)
initial value 1151.345679
iter 10 value 987.907714
iter 20 value 981.785467
iter 30 value 981.762800
final value 981.762781
converged
trying - grp.page
# weights: 30 (18 variable)
initial value 1151.345679
iter 10 value 979.485430
iter 20 value 973.175923
final value 973.172389
converged
trying - trav.imp
# weights: 30 (18 variable)
initial value 1151.345679
iter 10 value 998.803976
iter 20 value 994.417973
iter 30 value 994.378914
final value 994.378869
converged
      Df      AIC
- grp.page 18 1982.345
- sexe     22 1984.588
<none>    24 1987.044
- etud     16 1995.526
- trav.imp 18 2024.758
# weights: 30 (18 variable)
initial value 1151.345679
iter 10 value 979.485430
iter 20 value 973.175923
final value 973.172389
converged

Step: AIC=1982.34
trav.satisf ~ sexe + etud + trav.imp

trying - sexe
# weights: 27 (16 variable)

```

```

initial value 1151.345679
iter 10 value 976.669670
iter 20 value 973.928385
iter 20 value 973.928377
iter 20 value 973.928377
final value 973.928377
converged
trying - etud
# weights: 18 (10 variable)
initial value 1151.345679
iter 10 value 988.413720
final value 985.085797
converged
trying - trav.imp
# weights: 21 (12 variable)
initial value 1151.345679
iter 10 value 1001.517287
final value 998.204280
converged
      Df      AIC
- sexe     16 1979.857
<none>    18 1982.345
- etud     10 1990.172
- trav.imp 12 2020.409
# weights: 27 (16 variable)
initial value 1151.345679
iter 10 value 976.669670
iter 20 value 973.928385
iter 20 value 973.928377
iter 20 value 973.928377
final value 973.928377
converged

Step: AIC=1979.86
trav.satisf ~ etud + trav.imp

trying - etud
# weights: 15 (8 variable)
initial value 1151.345679
iter 10 value 986.124104
final value 986.034023
converged
trying - trav.imp
# weights: 18 (10 variable)
initial value 1151.345679
iter 10 value 1000.225356
final value 998.395273

```

```
converged
      Df     AIC
<none>   16 1979.857
- etud     8 1988.068
- trav.imp 10 2016.791
```

La plupart des fonctions vues précédemment fonctionnent :

```
R> summary(regm2)
```

```
Call:
multinom(formula = trav.satisf ~ etud + trav.imp, data = d)

Coefficients:
              (Intercept) etudSecondaire
Satisfaction    -0.1110996    0.04916210
Insatisfaction -1.1213760   -0.09737523
                  etudTechnique/Professionnel
Satisfaction          0.07793241
Insatisfaction        0.08392603
                  etudSupérieur etudNA
Satisfaction      0.69950061 -0.53841577
Insatisfaction    0.07755307 -0.04364055
                  trav.impAussi trav.impMoins
Satisfaction       0.2578973  -0.1756206
Insatisfaction    -0.2279774  -0.5330349
                  trav.impPeu
Satisfaction      -0.5995051
Insatisfaction     1.3401509

Std. Errors:
              (Intercept) etudSecondaire
Satisfaction    0.4520902    0.2635573
Insatisfaction  0.6516992    0.3999875
                  etudTechnique/Professionnel
Satisfaction          0.2408483
Insatisfaction        0.3579684
                  etudSupérieur etudNA
Satisfaction      0.2472571  0.5910993
Insatisfaction    0.3831110  0.8407592
                  trav.impAussi trav.impMoins
Satisfaction       0.4260623  0.4115818
Insatisfaction    0.6213781  0.5941721
                  trav.impPeu
Satisfaction      0.5580115
```

```
Insatisfaction 0.6587383
```

```
Residual Deviance: 1947.857
```

```
AIC: 1979.857
```

```
R> odds.ratio(regm2)
```

	OR
Satisfaction/(Intercept)	0.895
Satisfaction/etudSecondaire	1.050
Satisfaction/etudTechnique/Professionnel	1.081
Satisfaction/etudSupérieur	2.013
Satisfaction/etudNA	0.584
Satisfaction/trav.impAussi	1.294
Satisfaction/trav.impMoins	0.839
Satisfaction/trav.impPeu	0.549
Insatisfaction/(Intercept)	0.326
Insatisfaction/etudSecondaire	0.907
Insatisfaction/etudTechnique/Professionnel	1.088
Insatisfaction/etudSupérieur	1.081
Insatisfaction/etudNA	0.957
Insatisfaction/trav.impAussi	0.796
Insatisfaction/trav.impMoins	0.587
Insatisfaction/trav.impPeu	3.820
	2.5 %
Satisfaction/(Intercept)	0.369
Satisfaction/etudSecondaire	0.627
Satisfaction/etudTechnique/Professionnel	0.674
Satisfaction/etudSupérieur	1.240
Satisfaction/etudNA	0.183
Satisfaction/trav.impAussi	0.561
Satisfaction/trav.impMoins	0.374
Satisfaction/trav.impPeu	0.184
Insatisfaction/(Intercept)	0.091
Insatisfaction/etudSecondaire	0.414
Insatisfaction/etudTechnique/Professionnel	0.539
Insatisfaction/etudSupérieur	0.510
Insatisfaction/etudNA	0.184
Insatisfaction/trav.impAussi	0.236
Insatisfaction/trav.impMoins	0.183
Insatisfaction/trav.impPeu	1.050
	97.5 %
Satisfaction/(Intercept)	2.171
Satisfaction/etudSecondaire	1.761
Satisfaction/etudTechnique/Professionnel	1.733

Satisfaction/etudSup [♦] rieur	3.268
Satisfaction/etudNA	1.859
Satisfaction/trav.impAussi	2.983
Satisfaction/trav.impMoins	1.880
Satisfaction/trav.impPeu	1.639
Insatisfaction/(Intercept)	1.169
Insatisfaction/etudSecondaire	1.987
Insatisfaction/etudTechnique/Professionnel	2.194
Insatisfaction/etudSup [♦] rieur	2.290
Insatisfaction/etudNA	4.974
Insatisfaction/trav.impAussi	2.691
Insatisfaction/trav.impMoins	1.880
Insatisfaction/trav.impPeu	13.891
	p
Satisfaction/(Intercept)	0.805878
Satisfaction/etudSecondaire	0.852027
Satisfaction/etudTechnique/Professionnel	0.746260
Satisfaction/etudSup [♦] rieur	0.004669
Satisfaction/etudNA	0.362363
Satisfaction/trav.impAussi	0.544977
Satisfaction/trav.impMoins	0.669600
Satisfaction/trav.impPeu	0.282661
Insatisfaction/(Intercept)	0.085306
Insatisfaction/etudSecondaire	0.807660
Insatisfaction/etudTechnique/Professionnel	0.814635
Insatisfaction/etudSup [♦] rieur	0.839581
Insatisfaction/etudNA	0.958603
Insatisfaction/trav.impAussi	0.713701
Insatisfaction/trav.impMoins	0.369663
Insatisfaction/trav.impPeu	0.041909
Satisfaction/(Intercept)	
Satisfaction/etudSecondaire	
Satisfaction/etudTechnique/Professionnel	
Satisfaction/etudSup [♦] rieur	**
Satisfaction/etudNA	
Satisfaction/trav.impAussi	
Satisfaction/trav.impMoins	
Satisfaction/trav.impPeu	
Insatisfaction/(Intercept)	.
Insatisfaction/etudSecondaire	
Insatisfaction/etudTechnique/Professionnel	
Insatisfaction/etudSup [♦] rieur	
Insatisfaction/etudNA	
Insatisfaction/trav.impAussi	
Insatisfaction/trav.impMoins	
Insatisfaction/trav.impPeu	*

```
---  
Signif. codes:  
0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

De même, il est possible de calculer la matrice de confusion :

```
R> table(predict(regm2, newdata = d), d$trav.satisf)
```

	Equilibre	Satisfaction
Equilibre	262	211
Satisfaction	171	258
Insatisfaction	18	11
Insatisfaction		
Equilibre	49	
Satisfaction	45	
Insatisfaction	23	

Données pondérées et l'extension survey

Lorsque l'on utilise des données pondérées, on aura recours à l'extension `survey`⁴.

Préparons des données d'exemple :

```
R> library(survey)  
dw <- svydesign(ids = ~1, data = d, weights = ~poids)
```

L'extension `survey` fournit une fonction `svyglm` permettant de calculer un modèle statistique tout en prenant en compte le plan d'échantillonnage spécifié. La syntaxe de `svyglm` est proche de celle de `glm`. Cependant, le cadre d'une régression logistique, il est nécessaire d'utiliser `family = quasibinomial()` afin d'éviter un message d'erreur indiquant un nombre non entier de succès :

```
R> reg <- svyglm(sport ~ sexe + age + relig + heures.tv,  
dw, family = binomial())
```

```
Warning: non-integer #successes in a binomial glm!
```

4. Voir le chapitre dédié aux données pondérées, page 356.

```
R> reg <- svyglm(sport ~ sexe + age + relig + heures.tv,
  dw, family = quasibinomial())
reg
```

Independent Sampling design (with replacement)
 svydesign(ids = ~1, data = d, weights = ~poids)

Call: svyglm(formula = sport ~ sexe + age + relig + heures.tv, dw,
 family = quasibinomial())

Coefficients:

(Intercept)	1.53590
sexeHomme	0.36526
age	-0.04127
religPratiquant occasionnel	0.05577
religAppartenance sans pratique	0.16367
religNi croyance ni appartenance	0.03988
religRejet	-0.14862
religNSP ou NVPR	-0.22682
heures.tv	-0.18204

Degrees of Freedom: 1994 Total (i.e. Null); 1986 Residual
 (5 observations deleted due to missingness)

Null Deviance: 2672
 Residual Deviance: 2378 AIC: NA

Le résultat obtenu est similaire à celui de `glm` et l'on peut utiliser sans problème les fonctions `coef`, `confint`, `odds.ratio`, `predict` ou encore `tidy`.

```
R> odds.ratio(reg)
```

	OR 2.5 %
(Intercept)	4.646 2.578
sexeHomme	1.441 1.121
age	0.960 0.952

```

religPratiquant occasionnel      1.057 0.659
religAppartenance sans pratique 1.178 0.759
religNi croyance ni appartenance 1.041 0.646
religRejet                      0.862 0.428
religNSP ou NVPR                 0.797 0.325
heures.tv                        0.834 0.770
                                         97.5 %          p
(Intercept)                     8.373 3.522e-07
sexeHomme                         1.851  0.004325
age                                0.967 < 2.2e-16
religPratiquant occasionnel      1.696 0.817180
religAppartenance sans pratique  1.827 0.465321
religNi croyance ni appartenance 1.676 0.869658
religRejet                         1.738 0.677858
religNSP ou NVPR                  1.956 0.620504
heures.tv                          0.902 6.786e-06

(Intercept)                     ***
sexeHomme                         **
age                                ***
religPratiquant occasionnel      ***
religAppartenance sans pratique ***
religNi croyance ni appartenance ***
religRejet                         ***
religNSP ou NVPR                  ***
heures.tv                          ***
---
Signif. codes:
0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Dans ses dernières versions, `survey` fournit une méthode `AIC.svyglm` permettant d'estimer un AIC sur un modèle calculé avec `svyglm`. Il est dès lors possible d'utiliser la fonction `step` pour réaliser une sélection descendante pas à pas.

L'extension `effects` n'est quant à elle pas compatible avec `svyglm`⁵.

5. Compatibilité qui pourra éventuellement être introduite dans une future version de l'extension.

Analyse en composantes principales (ACP)

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Analyse des correspondances multiples (ACM)

Principe général	424
ACM avec ade4	425
ACM avec FactoMineR	446

NOTE

La version originale de ce chapitre a été écrite par Joseph Larmarange dans le cadre du support de cours [Introduction à l'analyse d'enquêtes avec R](#).

Il existe plusieurs techniques d'analyse factorielle dont les plus courantes sont l'analyse en composante principale (ACP) portant sur des variables quantitatives, l'analyse factorielle des correspondances (AFC) portant sur deux variables qualitatives et l'analyse des correspondances multiples (ACM) portant sur plusieurs variables qualitatives (il s'agit d'une extension de l'AFC). Pour combiner des variables à la fois quantitatives et qualitatives, on pourra avoir recours à l'analyse mixte de Hill et Smith.

Bien que ces techniques soient disponibles dans les extensions standards de R, il est souvent préférable d'avoir recours à deux autres extensions plus complètes, [ade4](#) et [FactoMineR](#), chacune ayant ses avantages et des possibilités différentes. Voici les fonctions les plus fréquentes :

Analyse	Variables	Fonction standard	Fonction ade4	Fonctions FactoMineR
ACP	plusieurs variables quantitatives	<code>princomp</code>	<code>dudi.pca</code>	<code>PCA</code>
AFC	deux variables qualitatives	<code>corresp</code>	<code>dudi.coa</code>	<code>CA</code>
ACM	plusieurs variables qualitatives	<code>mca</code>	<code>dudi.acm</code>	<code>MCA</code>
Analyse mixte de Hill et Smith	plusieurs variables quantitatives et/ou qualitatives		<code>dudi.mix</code>	

Dans la suite de ce chapitre, nous n'aborderons que l'analyse des correspondances multiples (ACM).

NOTE

On trouvera également de nombreux supports de cours en français sur l'analyse factorielle sur le site de François Gilles Carpentier : <http://geai.univ-brest.fr/~carpentier/>.

Principe général

L'analyse des correspondances multiples est une technique descriptive visant à résumer l'information contenu dans un grand nombre de variables afin de faciliter l'interprétation des corrélations existantes entre ces différentes variables. On cherche à savoir quelles sont les modalités corrélées entre elles.

L'idée générale est la suivante¹. L'ensemble des individus peut être représenté dans un espace à plusieurs dimensions où chaque axe représente les différentes variables utilisées pour décrire chaque individu. Plus précisément, pour chaque variable qualitative, il y a autant d'axes que de modalités moins un. Ainsi il faut trois axes pour décrire une variable à quatre modalités. Un tel nuage de points est aussi difficile à interpréter que de lire directement le fichier de données. On ne voit pas les corrélations qu'il peut y avoir entre modalités, par exemple qu'aller au cinéma est plus fréquent chez les personnes habitant en milieu urbain. Afin de mieux représenter ce nuage de points, on va procéder à un changement de systèmes de coordonnées. Les individus seront donc lors projetés et représentés sur un nouveau système d'axe. Ce nouveau système d'axes est choisi de telle manière que la majorité des variations soit concentrées sur les premiers axes. Les deux-trois premiers axes permettront d'expliquer la majorité des différences observées dans l'échantillon, les autres axes n'apportant qu'une faible part additionnelle d'information. Dans lors, l'analyse

1. Pour une présentation plus détaillée, voir

<http://www.math.univ-toulouse.fr/~baccini/zpedago/asdm.pdf>.

pourra se concentrer sur ses premiers axes qui constitueront un bon résumé des variations observables dans l'échantillon.

Avant toute ACM, il est indispensable de réaliser une analyse préliminaire de chaque variable, afin de voir si toutes les classes sont aussi bien représentées ou si il existe un déséquilibre. L'ACM est sensible aux effectifs faibles, aussi il est préférable de regrouper les classes peu représentées le cas échéant.

ACM avec ade4

Si l'extension **ade4** n'est pas présente sur votre PC, il vous faut l'installer :

```
R> install.packages("ade4", dep = TRUE)
```

Dans tous les cas, il faut penser à la charger en mémoire :

```
R> library(ade4)
```

Comme précédemment, nous utiliserons le fichier de données `hdv2003` fourni avec l'extension **questionr**.

```
R> library(questionr)
data(hdv2003)
d <- hdv2003
```

En premier lieu, comme dans le chapitre sur la régression logistique, page 391, nous allons créer une variable groupe d'âges et regrouper les modalités de la variable niveau d'étude.

```
R> d$grpage <- cut(d$age, c(16, 25, 45, 65, 93), right = FALSE,
+ include.lowest = TRUE)
d$etud <- d$nivetud
levels(d$etud) <- c("Primaire", "Primaire", "Primaire",
"Secondaire", "Secondaire", "Technique/Professionnel",
"Technique/Professionnel", "Supérieur")
```

Ensuite, nous allons créer un tableau de données ne contenant que les variables que nous souhaitons prendre en compte pour notre analyse factorielle.

```
R> d2 <- d[, c("grpae", "sexe", "etud", "peche.chasse",
+ "cinema", "cuisine", "bricol", "sport", "lecture.bd")]
```

Le calcul de l'ACM se fait tout simplement avec la fonction `dudi.acm` {data-pkg=ade4}.

```
R> acm <- dudi.acm(d2)
```

Par défaut, la fonction affichera le graphique des valeurs propres de chaque axe (nous y reviendrons) et vous demandera le nombre d'axes que vous souhaitez conserver dans les résultats. Le plus souvent, cinq axes seront largement plus que suffisants. Vous pouvez également éviter cette étape en indiquant directement à `dudi.acm` de vous renvoyer les cinq premiers axes ainsi :

```
R> acm <- dudi.acm(d2, scannf = FALSE, nf = 5)
```

Le graphique des valeurs propres peut être reproduit avec `screeplot` :

```
R> screeplot(acm)
```

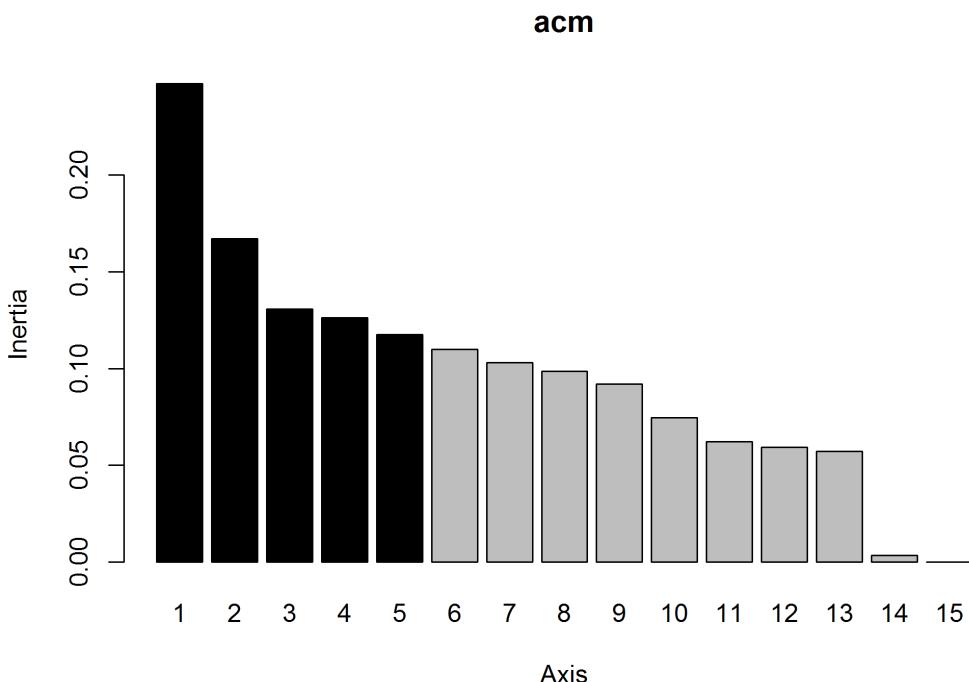


Figure 1. Valeurs propres ou inerties de chaque axe

Les mêmes valeurs pour les premiers axes sont obtenues également avec `summary`² :

2. On pourra également avoir recours à la fonction `inertia.dudi` pour l'ensemble des axes.

```
R> summary(acm)
```

Class: acm dudi
Call: dudi.acm(df = d2, scannf = FALSE, nf = 5)

Total inertia: 1.451

Eigenvalues:

Ax1	Ax2	Ax3	Ax4	Ax5
0.2474	0.1672	0.1309	0.1263	0.1176

Projected inertia (%):

Ax1	Ax2	Ax3	Ax4	Ax5
17.055	11.525	9.022	8.705	8.109

Cumulative projected inertia (%):

Ax1	Ax1:2	Ax1:3	Ax1:4	Ax1:5
17.06	28.58	37.60	46.31	54.42

(Only 5 dimensions (out of 15) are shown)

L'inertie totale est de 1,451 et l'axe 1 en explique 0,1474 soit 17%. L'inertie projetée cumulée nous indique que les deux premiers axes expliquent eux seuls 29% des variations observées dans notre échantillon.

Pour comprendre la signification des différents axes, il importe d'identifier quelles sont les variables/modalités qui contribuent le plus à chaque axe. Une première représentation graphique est le cercle de corrélation des modalités. Pour cela, on aura recours à `s.corcircle`. On indiquera d'abord `acm$co` si l'on souhaite représenter les modalités ou `acm$li` si l'on souhaite représenter les individus. Les deux chiffres suivant indiquent les deux axes que l'on souhaite afficher (dans le cas présent les deux premiers axes). Enfin, le paramètre `clabel` permet de modifier la taille des étiquettes.

```
R> s.corcircle(acm$co, 1, 2, clabel = 0.7)
```

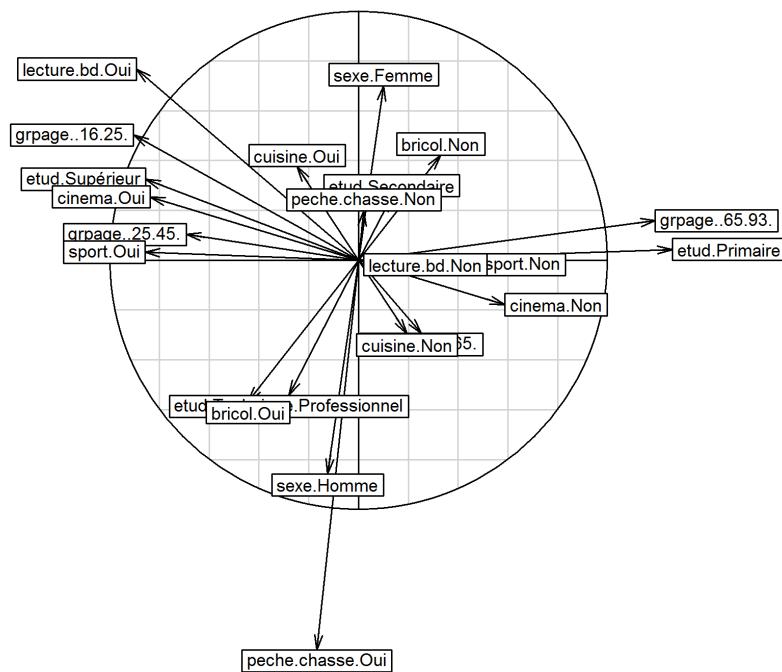


Figure 2. Cercle de correlations des modalités sur les deux premiers axes

On pourra avoir également recours à `boxplot` pour visualiser comment se répartissent les modalités de chaque variable sur un axe donné³.

3. La fonction `score` constituera également une aide à l'interprétation des axes.

```
R> boxplot(acm)
```

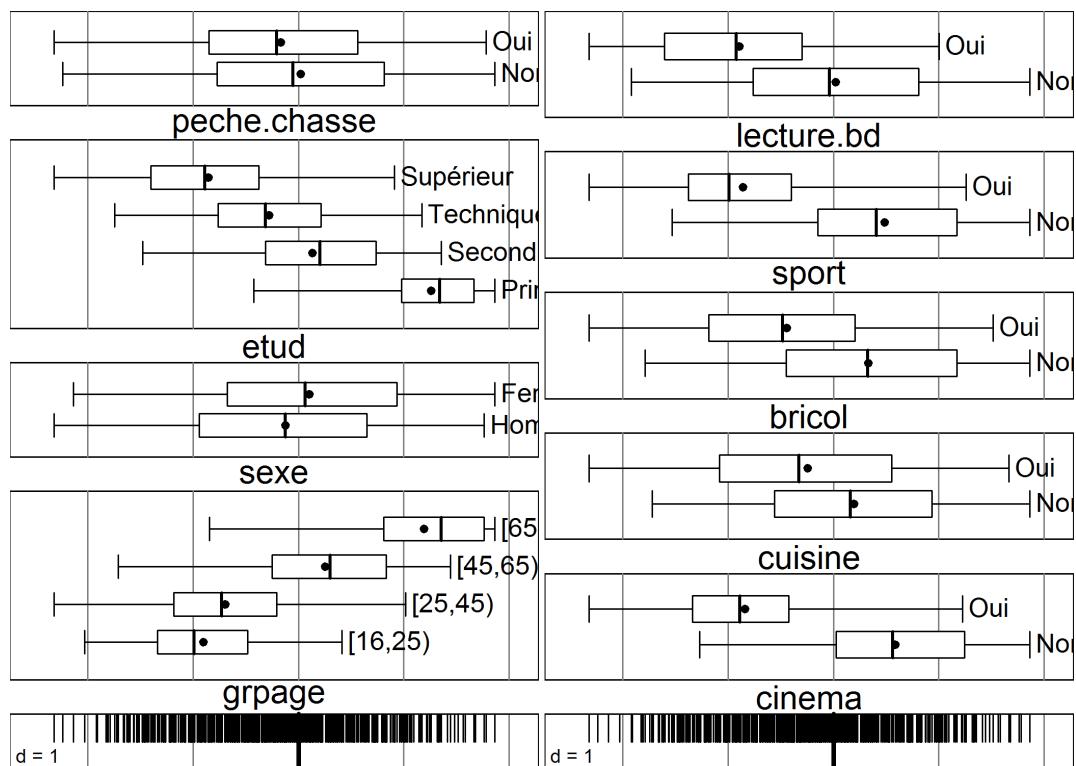


Figure 3. Rpartition des modalités selon le premier axe

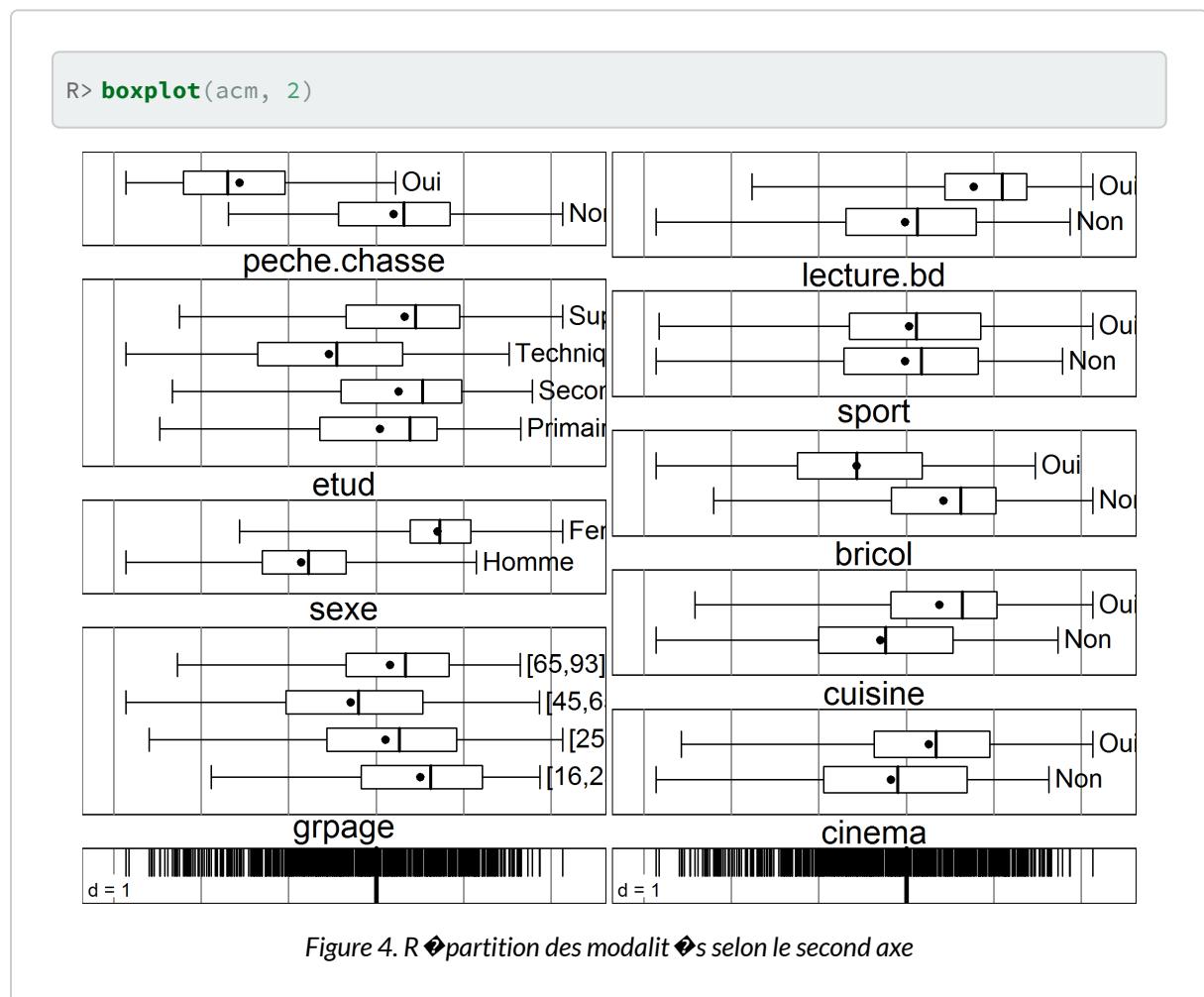
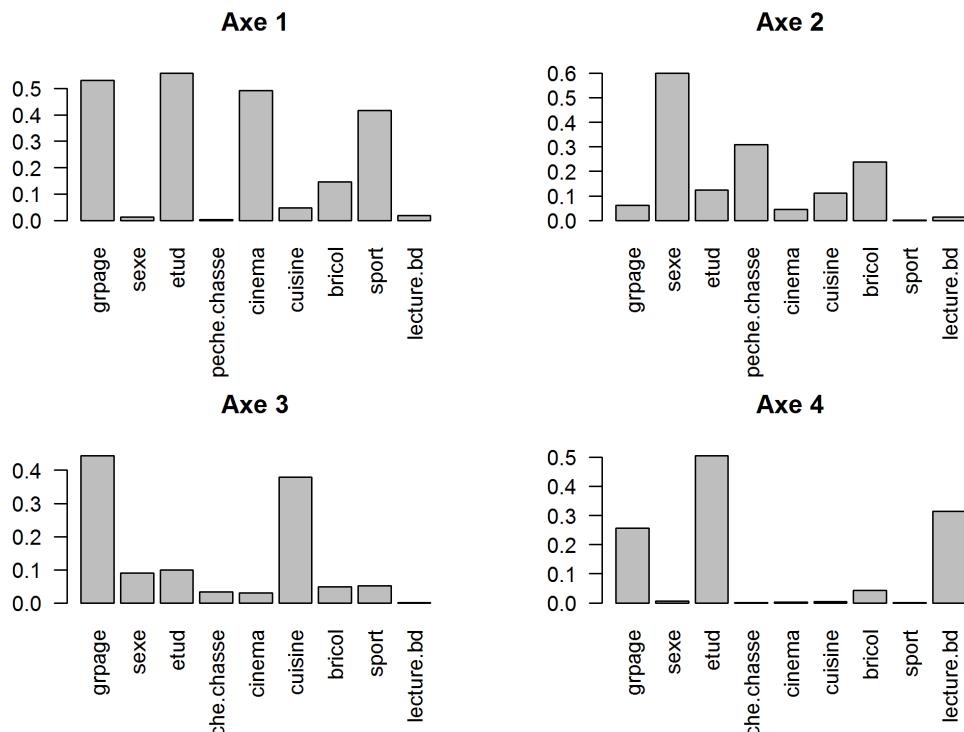


Figure 4. Rpartition des modalités selon le second axe

Le tableau `acm$cr` contient les rapports de corrélation (variant de 0 à 1) entre les variables et les axes choisis au départ de l'ACM. Pour représenter graphiquement ces rapports, utiliser la fonction `barplot` ainsi qu'`barplot(acm$cr[,num], names.arg=row.names(acm$cr), las=2)` où `num` est le numéro de l'axe à représenter. Pour l'interprétation des axes, se concentrer sur les variables les plus structurantes, c'est-à-dire dont le rapport de corrélation est le plus proche de 1.

```
R> par(mfrow = c(2, 2))
for (i in 1:4) barplot(acm$cr[, i], names.arg = row.names(acm$cr),
las = 2, main = paste("Axe", i))
```



```
R> par(mfrow = c(1, 1))
```

Figure 5. Rapports de corrélation des variables sur les 4 premiers axes

NOTE

Le paramètre `mfrow` de la fonction `par` permet d'indiquer à R que l'on souhaite afficher plusieurs graphiques sur une seule et même fenêtre, plus précisément que l'on souhaite diviser la fenêtre en deux lignes et deux colonnes.

Dans l'exemple précédent, après avoir produit notre graphique, nous avons initialisé cette valeur à `c(1, 1)` (un seul graphique par fenêtre) pour ne pas affecter les prochains graphiques que nous allons produire.

Pour représenter les modalités dans le plan factoriel, on utilisera la fonction `s.label`. Par défaut, les deux premiers axes sont représentés.

```
R> s.label(acm$co, clabel = 0.7)
```

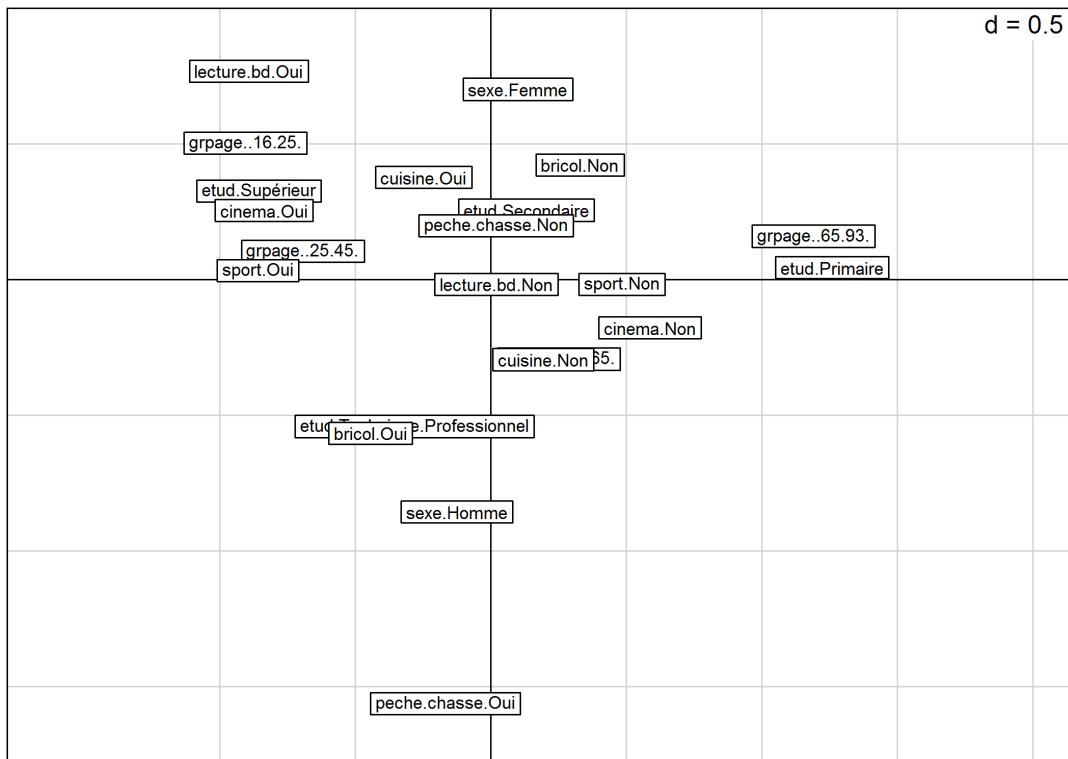


Figure 6. Représentation des modalités selon les deux premiers axes

Il est bien sûr possible de préciser les axes à représenter. L'argument `boxes` permet quant à lui d'indiquer si l'on souhaite tracer une boîte pour chaque modalité.

```
R> s.label(acm$co, 3, 4, clabel = 0.7, boxes = FALSE)
```



Figure 7. Rpartition des modalités selon les axes 3 et 4

Bien entendu, on peut également représenter les individus. En indiquant `clabel=0` (une taille nulle pour les étiquettes), `s.label` remplace chaque observation par un symbole qui peut être spécifié avec `pch`.

```
R> s.label(acm$li, clabel = 0, pch = 17)
```

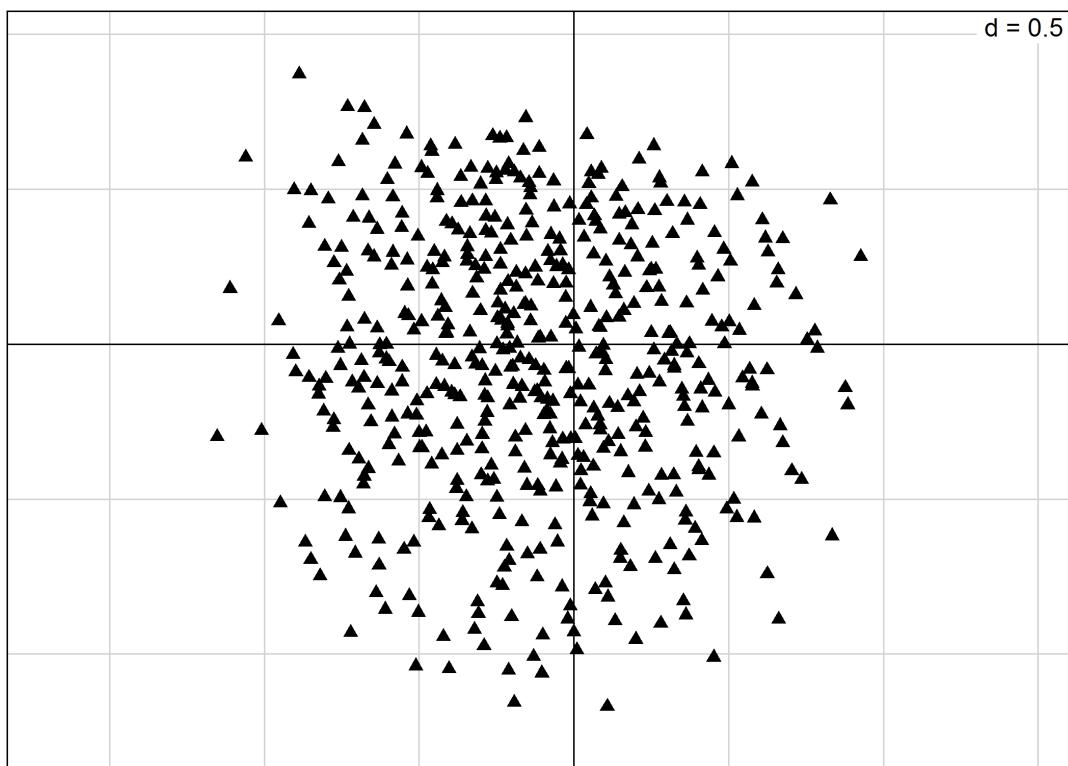
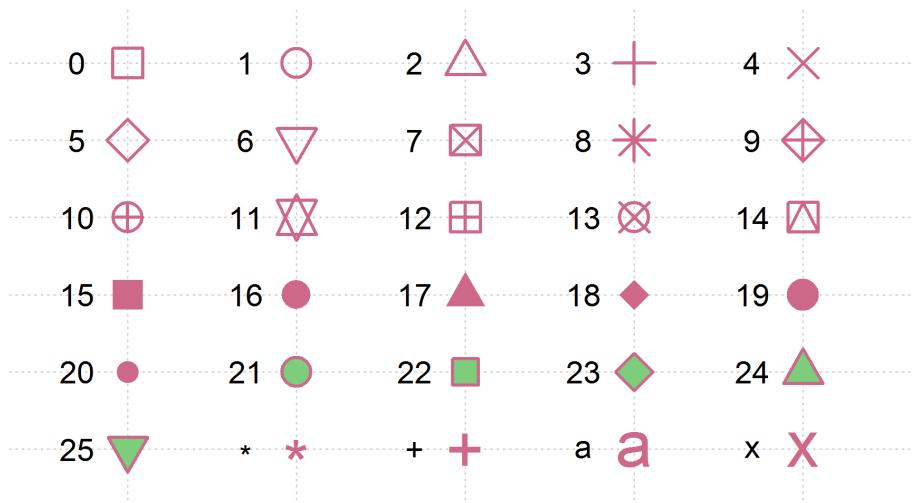


Figure 8. Rpartition des individus selon les deux premiers axes

NOTE

L'argument `pch` permet de spécifier le symbole à utiliser. Il peut prendre soit un nombre entier compris entre 0 et 25, soit un caractère textuel.

Différentes valeurs possibles pour l'argument pch



NOTE

Lorsque l’on réalise une ACM, il n’est pas rare que plusieurs observations soient identiques, c'est-à-dire correspondent à la même combinaison de modalités. Dans lors, ces observations seront projetées sur le même point dans le plan factoriel. Une représentation classique des observations avec `s.label` ne permettra pas de rendre compte les effectifs de chaque point.

Le package **JLutils**, disponible seulement sur [GitHub](#), propose une fonction `s.freq` représentant chaque point par un carré proportionnel au nombre d’individus.

Pour installer **JLutils**, on aura recours au package **devtools** et à sa fonction `install_github`:

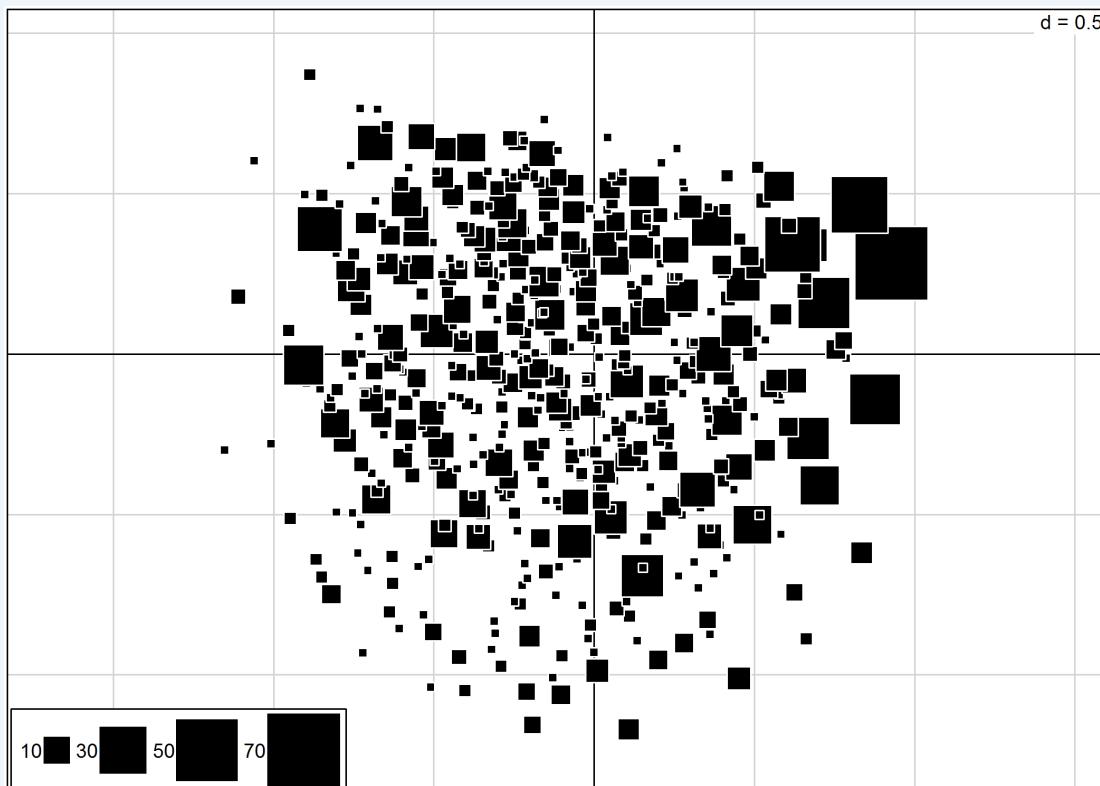
```
R> library(devtools)
R> install_github("lamarange/JLutils")
```

La fonction `s.freq` s’emploie de manière similaire aux autres fonctions graphiques de **ade4**. Le paramètre `cscale` permet d’ajuster la taille des carrés.

```
R> library(JLutils)
```

```
Loading required package: ggplot2
```

```
R> s.freq(acm$li)
```



L'interprétation est tout autre, non?

NOTE

Gaston Sanchez propose un graphique amélioré des modalités dans le plan factoriel à cette adresse : <http://rpubs.com/gaston/MCA>.

La fonction `s.value` permet notamment de représenter un troisième axe factoriel. Dans l'exemple ci-dessous, nous projettons les individus selon les deux premiers axes factoriels. La taille et la couleur des carrés dépendent pour leur part de la coordonnée des individus sur le troisième axe factoriel. Le paramètre `csi` permet d'ajuster la taille des carrés.

```
R> s.value(acm$li, acm$li[, 3], 1, 2, csi = 0.5)
```

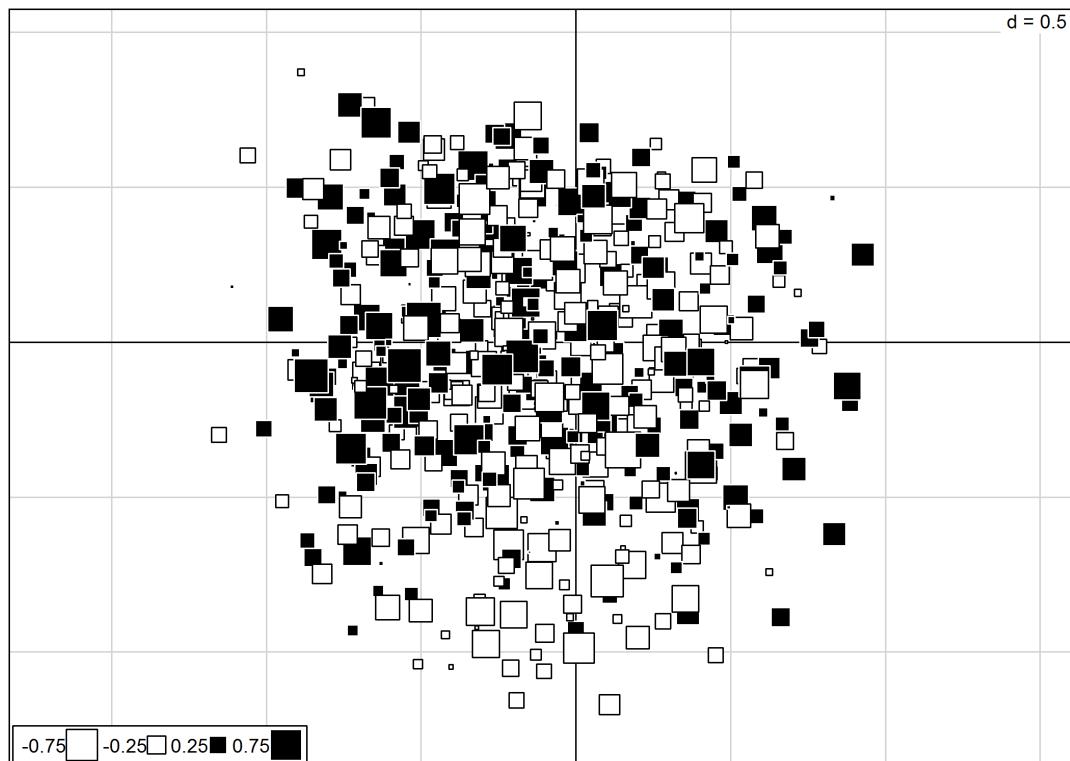


Figure 9. R partition des individus selon les trois premiers axes

`s.arrow` permet de représenter les vecteurs variables ou les vecteurs individus sous la forme d’une flèche allant de l’origine du plan factoriel aux coordonnées des variables/individus :

```
R> s.arrow(acm$co, clabel = 0.7)
```

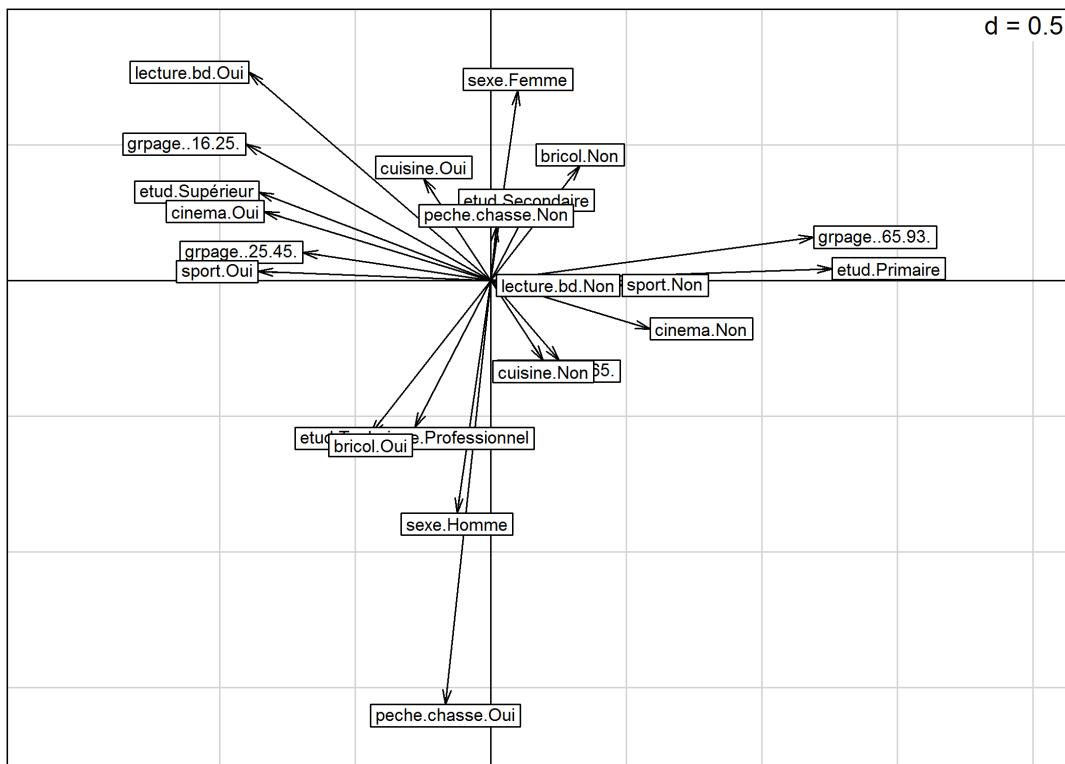


Figure 10. Vecteurs des modalités selon les deux premiers axes

`s.hist` permet de représenter des individus (ou des modalités) sur le plan factoriel et d'afficher leur distribution sur chaque axe :

```
R> s.hist(acm$li, clabel = 0, pch = 15)
```

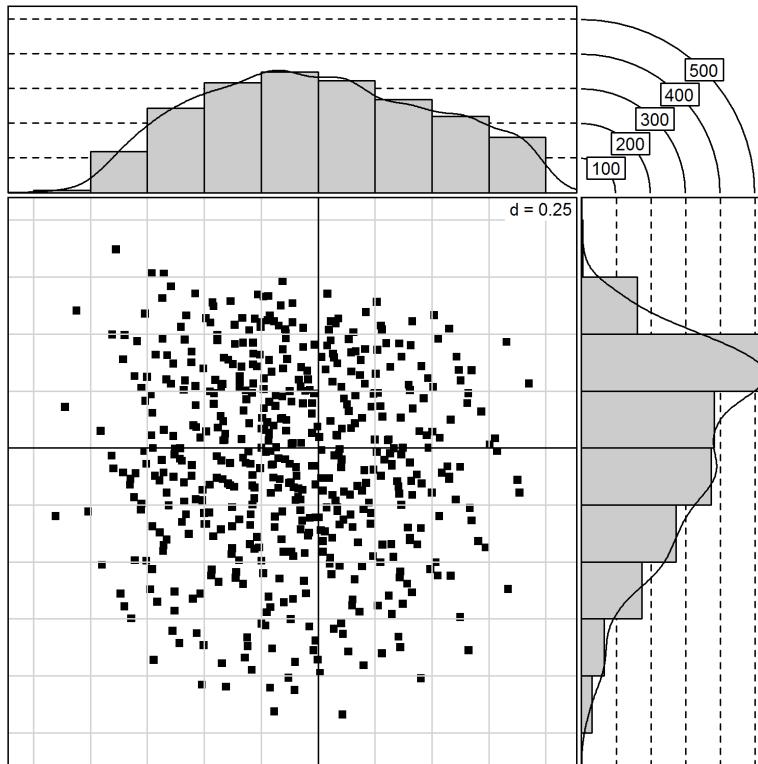


Figure 11. Distribution des individus dans le plan factoriel

`s.class` et `s.chull` permettent de représenter les différentes observations classées en plusieurs catégories. Cela permet notamment de projeter certaines variables.

`s.class` représente les observations par des points, lie chaque observation au barycentre de la modalité à laquelle elle appartient et dessine une ellipse représentant la forme générale du nuage de points :

```
R> library(RColorBrewer)
s.class(acm$li, d2$sex, col = brewer.pal(4, "Set1"))
```

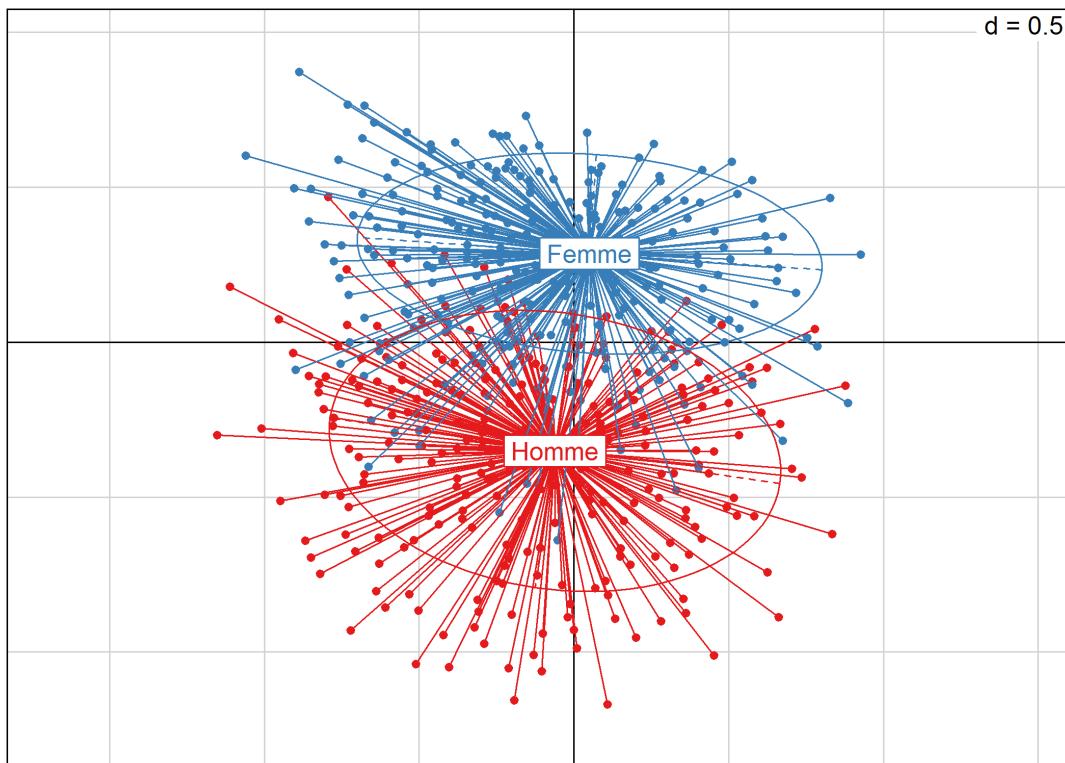


Figure 12. Individus dans le plan factoriel selon le sexe (s.class)

`s.chull` représente les barycentres de chaque catégorie et dessine des lignes de niveaux représentant la distribution des individus de cette catégorie. Les individus ne sont pas directement représentés :

```
R> s.chull(acm$li, d2$sex, col = brewer.pal(4, "Set1"))
```

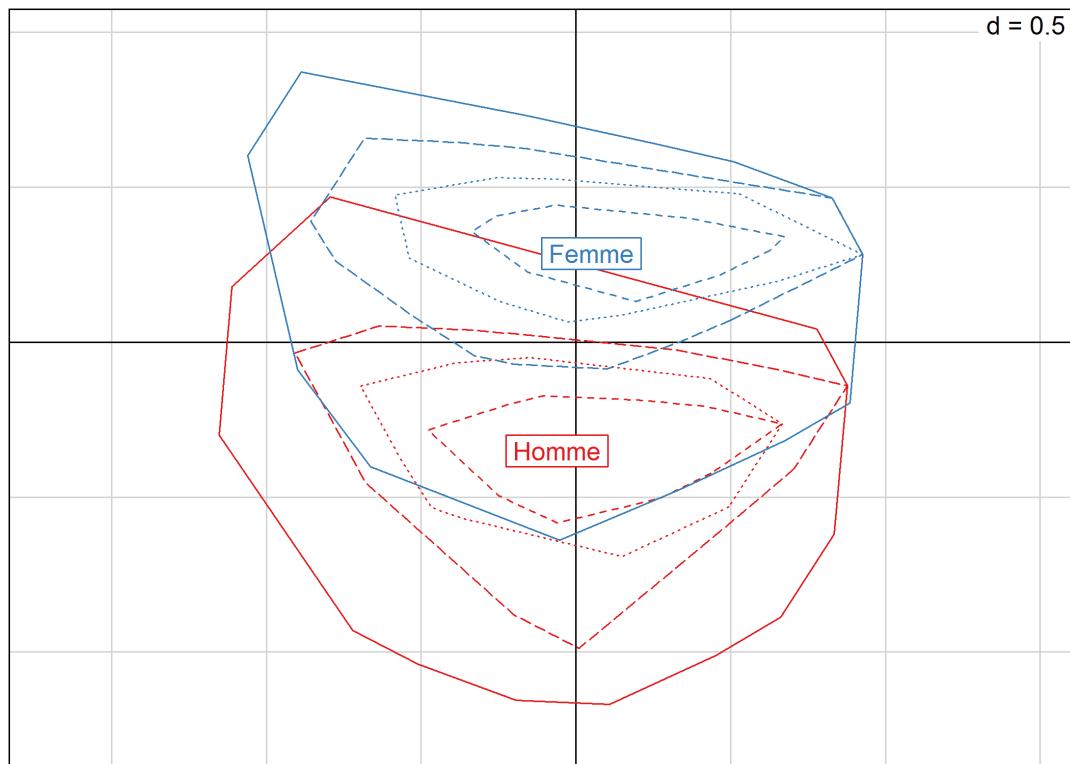
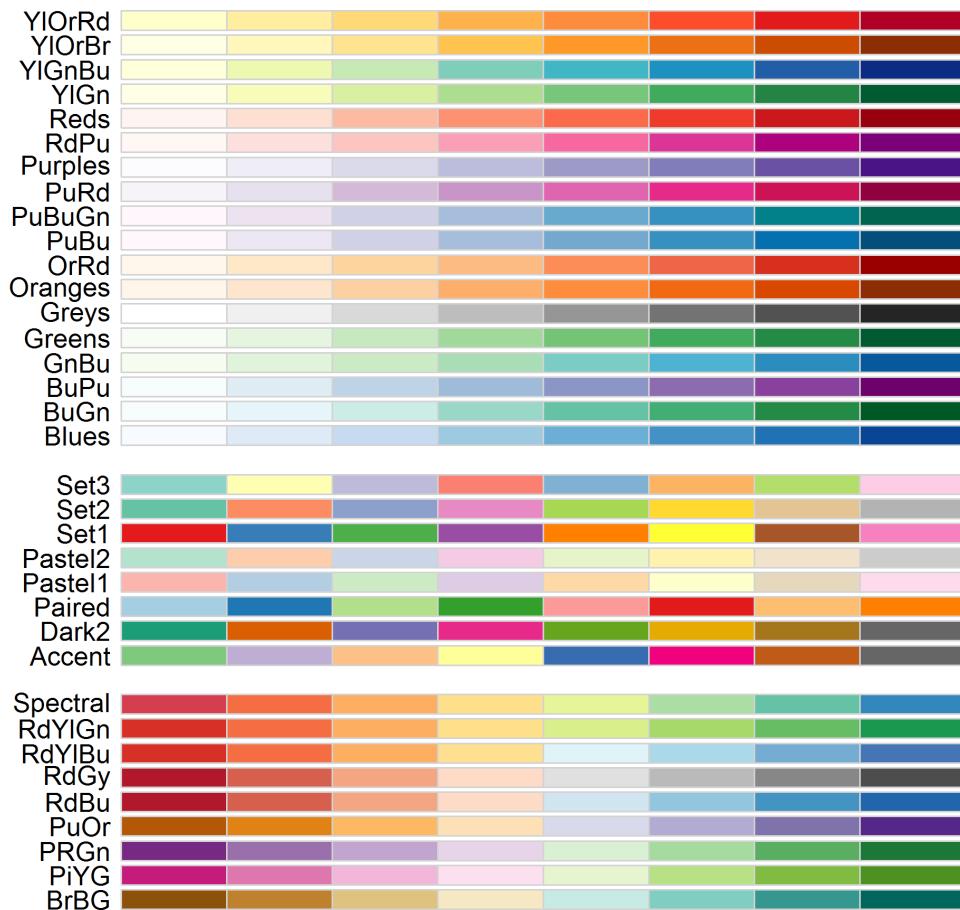


Figure 13. Individus dans le plan factoriel selon le sexe (s.chull)

NOTE

Il est préférable de fournir une liste de couleurs (via le paramètre `col`) pour rendre le graphique plus lisible. Si vous avez installé l'extension **RColorBrewer**, vous pouvez utiliser les différentes palettes de couleurs proposées. Pour afficher les palettes disponibles, utilisez `display.brewer.all`.

```
R> library(RColorBrewer)
R> display.brewer.all(8)
```



Pour obtenir une palette de couleurs, utilisez la fonction `brewer.pal` avec les arguments `n` (nombre de couleurs demandées) et `pal` (nom de la palette de couleurs désirée).

Pour plus d'informations sur les palettes Color Brewer, voir <http://colorbrewer2.org/>.

La variable catégorielle transmise avec `s.class` ou `s.chull` n'est pas obligatoirement une des variables retenues pour l'ACM. Il est tout à fait possible d'utiliser une autre variable. Par exemple :

```
R> s.class(acm$li, d$trav.imp, col = brewer.pal(4, "Set1"))
```

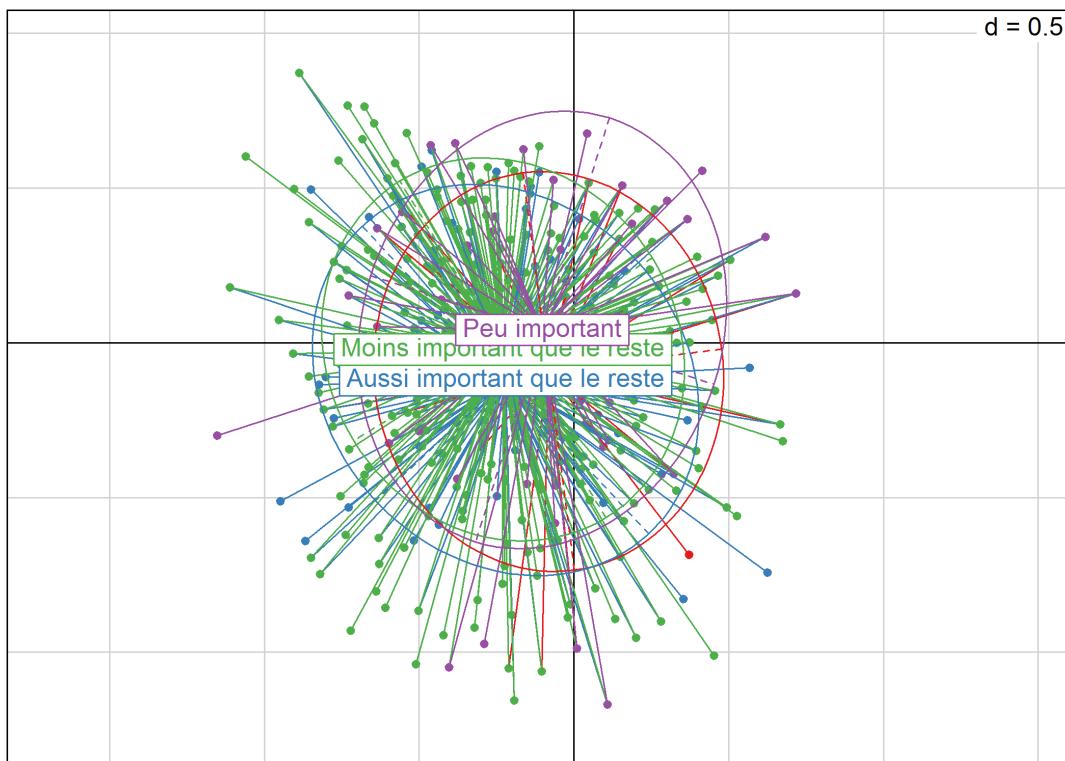
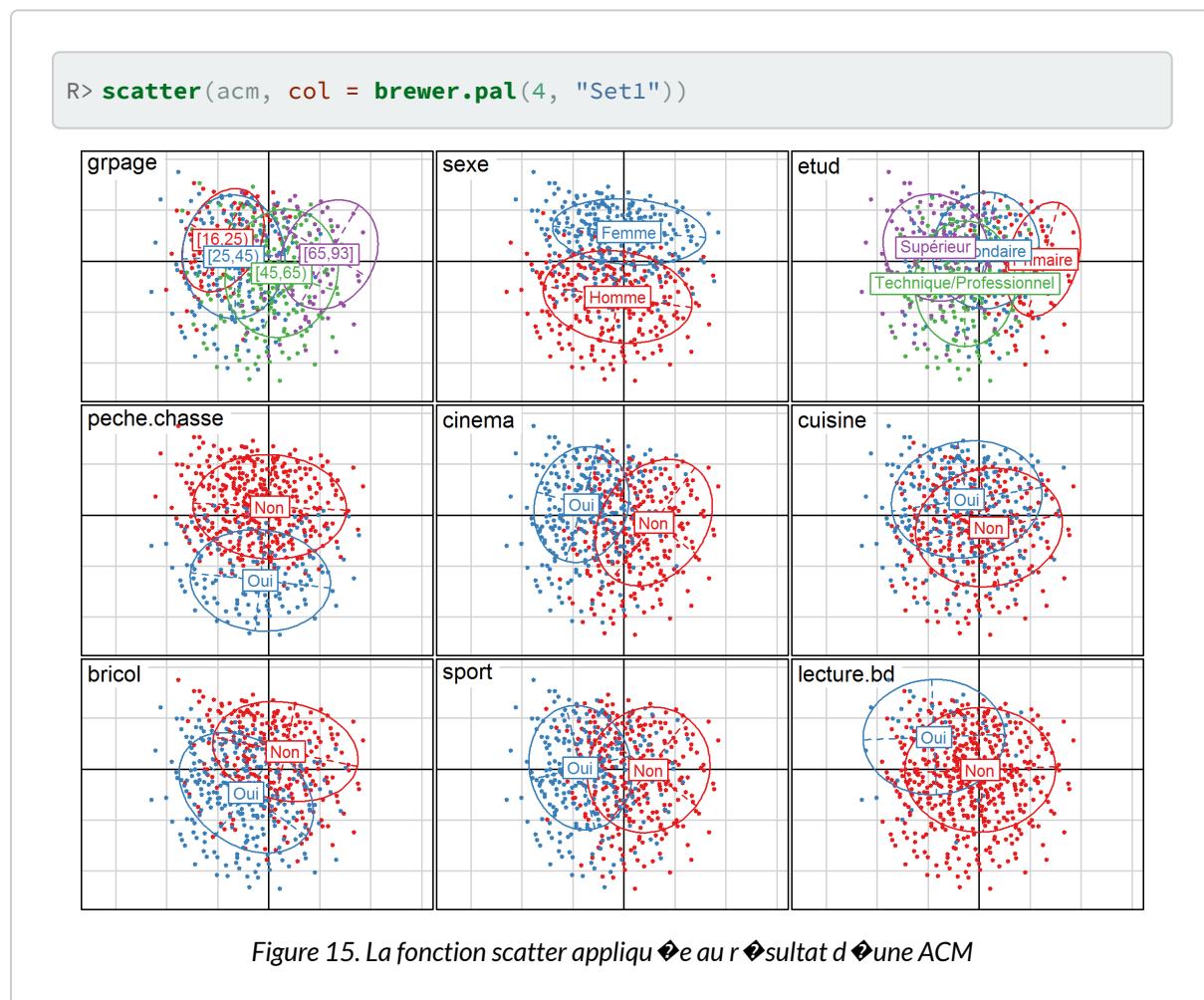


Figure 14. Individus dans le plan factoriel selon l'importance donnée au travail

Les fonctions `scatter` et `biplot` sont équivalentes : elles appliquent `s.class` à chaque variable utilisée pour l'ACM.



ACM avec FactoMineR

Comme avec ade4, il est nécessaire de préparer les données au préalable (voir section préparatoire).

L'ACM se calcule avec la fonction `MCA`, l'argument `ncp` permettant de choisir le nombre d'axes à retenir :

```
R> library(FactoMineR)
```

```
R> acm2 <- MCA(d2, ncp = 5, graph = FALSE)
acm2
```

Results of the Multiple Correspondence Analysis (MCA)
The analysis was performed on 2000 individuals, described by 9 variables
*The results are available in the following objects:

```
name
1  "$eig"
2  "$var"
3  "$var$coord"
4  "$var$cos2"
5  "$var$contrib"
6  "$var$v.test"
7  "$ind"
8  "$ind$coord"
9  "$ind$cos2"
10 "$ind$contrib"
11 "$call"
12 "$call$marge.col"
13 "$call$marge.li"
description
1 "eigenvalues"
2 "results for the variables"
3 "coord. of the categories"
4 "cos2 for the categories"
5 "contributions of the categories"
6 "v-test for the categories"
7 "results for the individuals"
8 "coord. for the individuals"
9 "cos2 for the individuals"
10 "contributions of the individuals"
11 "intermediate results"
12 "weights of columns"
13 "weights of rows"
```

```
R> acm2$eig
```

	eigenvalue	percentage of variance
dim 1	0.25757489	15.454493
dim 2	0.18363502	11.018101

```

dim 3 0.16164626          9.698776
dim 4 0.12871623          7.722974
dim 5 0.12135737          7.281442
dim 6 0.11213331          6.727999
dim 7 0.10959377          6.575626
dim 8 0.10340564          6.204338
dim 9 0.09867478          5.920487
dim 10 0.09192693         5.515616
dim 11 0.07501208         4.500725
dim 12 0.06679676         4.007805
dim 13 0.06002063         3.601238
dim 14 0.05832024         3.499215
dim 15 0.03785276         2.271166
      cumulative percentage of variance
dim 1                  15.45449
dim 2                  26.47259
dim 3                  36.17137
dim 4                  43.89434
dim 5                  51.17579
dim 6                  57.90378
dim 7                  64.47941
dim 8                  70.68375
dim 9                  76.60424
dim 10                 82.11985
dim 11                 86.62058
dim 12                 90.62838
dim 13                 94.22962
dim 14                 97.72883
dim 15                 100.00000

```

```
R> sum(acm2$eig$eigenvalue)
```

```
[1] 1.666667
```

En premier lieu, il apparaît que l'inertie totale obtenue avec `MCA` est différente de celle observée avec `dudi.acm`. Cela est dû à un traitement différents des valeurs manquantes. Alors que `dudi.acm` exclut les valeurs manquantes, `MCA` les considère, par défaut, comme une modalité additionnelle. Pour calculer l'ACM uniquement sur les individus n'ayant pas de valeur manquante, on aura recours à `complete.cases`:

```
R> acm2 <- MCA(d2[complete.cases(d2), ], ncp = 5, graph = FALSE)
acm2$eig
```

	eigenvalue	percentage of variance
dim 1	0.24790700	17.162792
dim 2	0.16758465	11.602014
dim 3	0.13042357	9.029324
dim 4	0.12595105	8.719688
dim 5	0.11338629	7.849820
dim 6	0.10976674	7.599236
dim 7	0.10060204	6.964757
dim 8	0.09802387	6.786268
dim 9	0.09283131	6.426783
dim 10	0.07673502	5.312425
dim 11	0.06609694	4.575942
dim 12	0.05950655	4.119684
dim 13	0.05562942	3.851267
	cumulative percentage of variance	
dim 1		17.16279
dim 2		28.76481
dim 3		37.79413
dim 4		46.51382
dim 5		54.36364
dim 6		61.96287
dim 7		68.92763
dim 8		75.71390
dim 9		82.14068
dim 10		87.45311
dim 11		92.02905
dim 12		96.14873
dim 13		100.00000

```
R> sum(acm2$eig$eigenvalue)
```

```
[1] 1.444444
```

Les possibilités graphiques de **FactoMineR** sont différentes de celles de **ade4**. Un recours à la fonction **plot** affichera par défaut les individus, les modalités et les variables. La commande **?plot.MCA** permet d'accéder au fichier d'aide de cette fonction (i.e. de la méthode générique **plot** appliquée aux objets de type **MCA**) et de voir toutes les options graphiques. L'argument **choix** permet de spécifier ce que l'on souhaite afficher (individus pour les individus et les catégories, variables pour les variables). L'argument **invisible** quant à lui permet de spécifier ce que l'on souhaite masquer. Les axes à afficher se précisent avec **axes**. Voir les exemples ci-dessous.

```
R> plot(acm2)
```

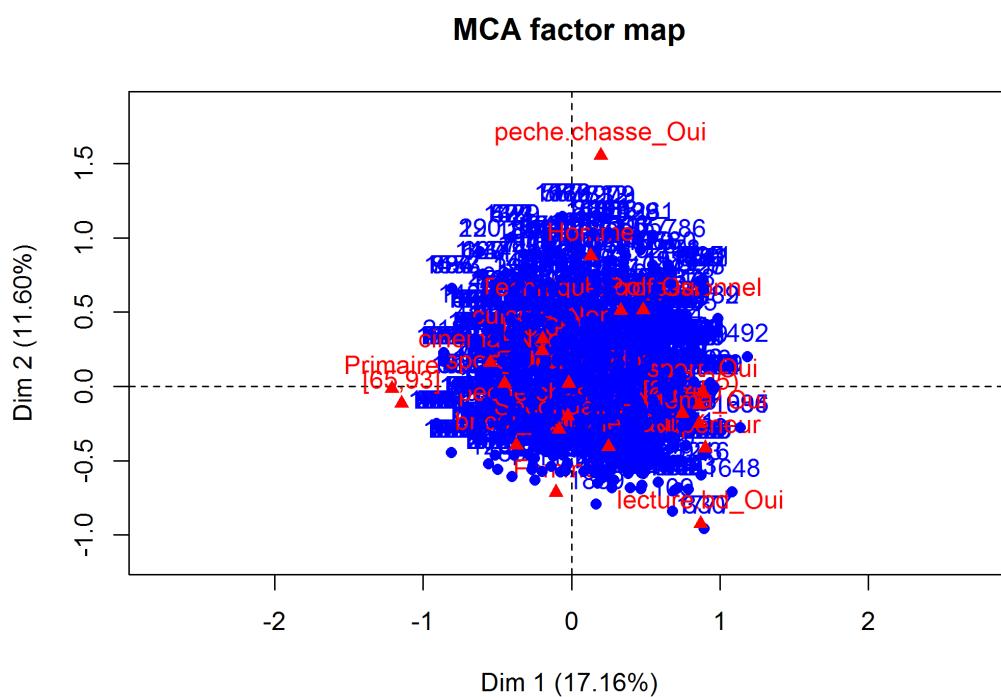


Figure 16. Plan factoriel (deux premiers axes)

```
R> plot(acm2, axes = c(3, 4))
```

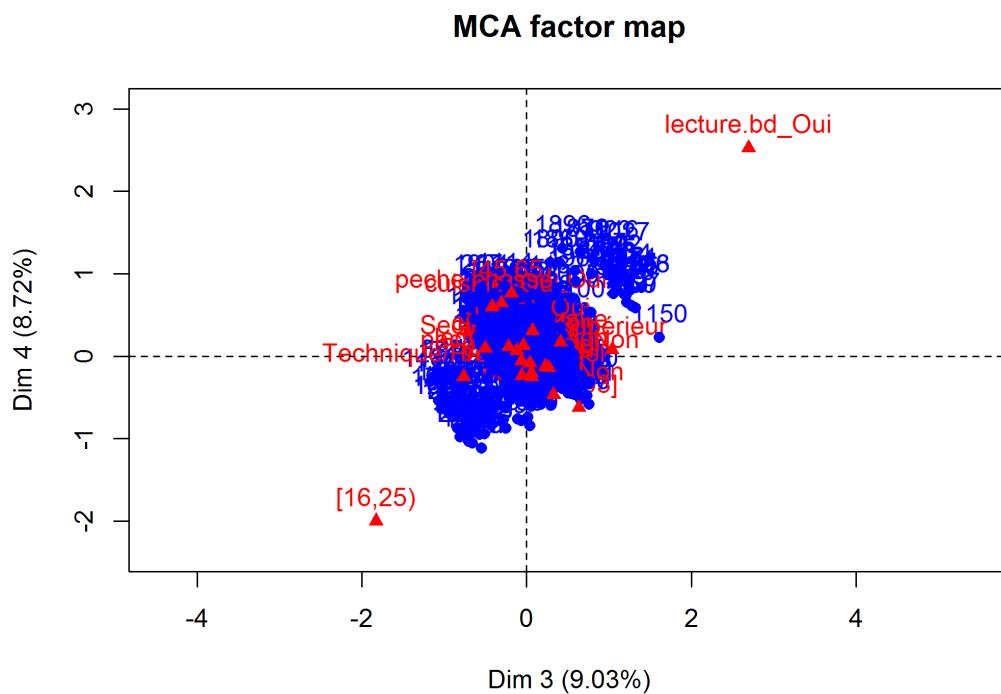


Figure 17. Plan factoriel (axes 3 et 4)

```
R> plot(acm2, choix = "ind")
```

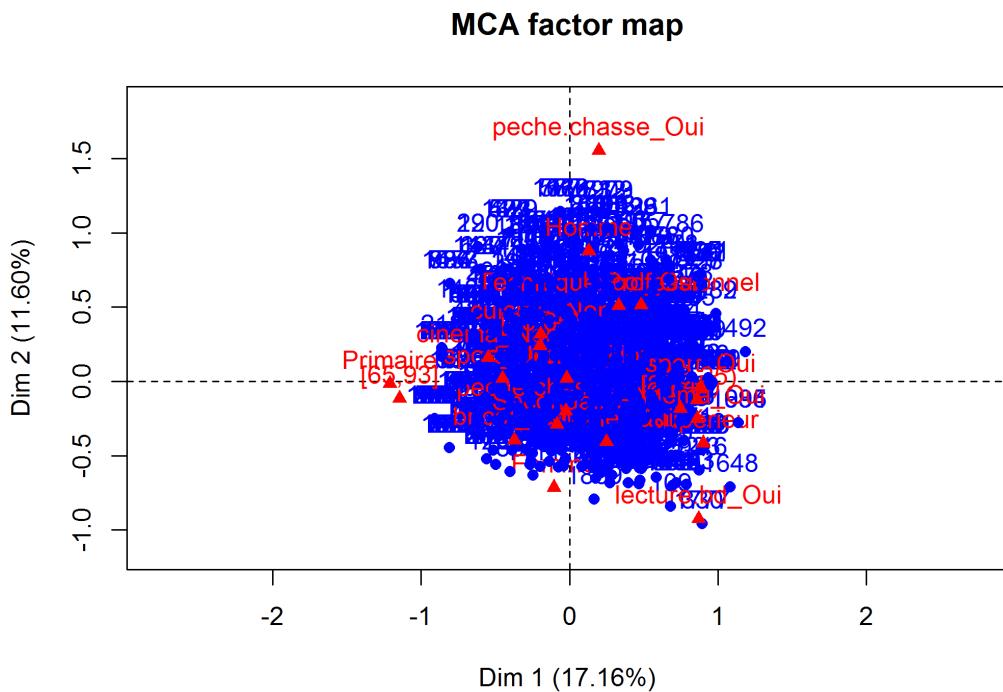


Figure 18. Plan factoriel (seulement les individus et les catégories)

```
R> plot(acm2, choix = "ind", invisible = "ind")
```

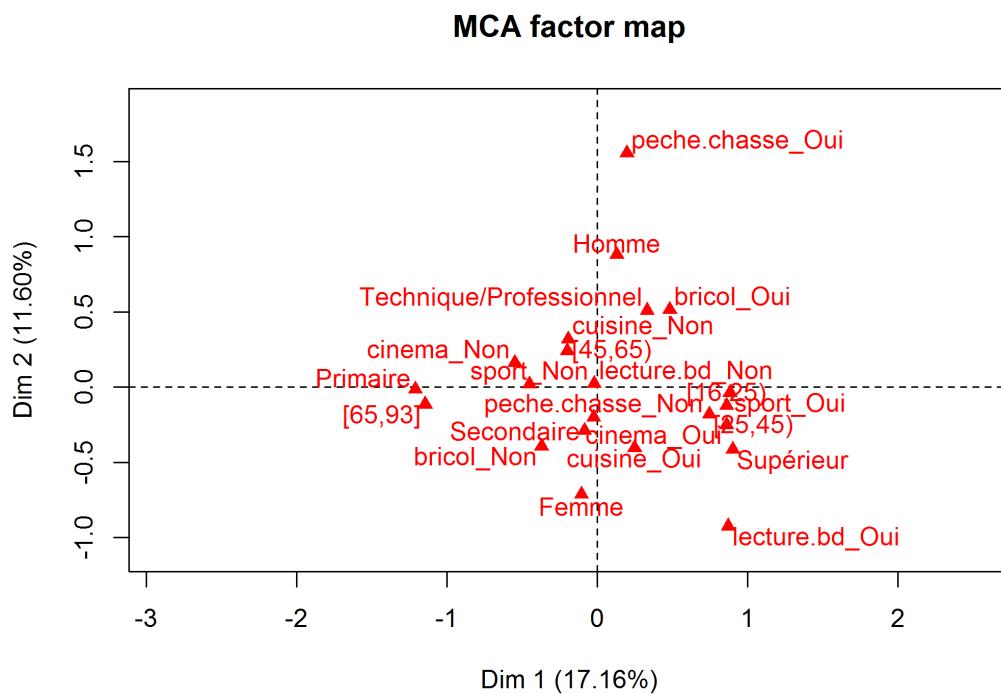


Figure 19. Plan factoriel (seulement les catégories)

```
R> plot(acm2, choix = "var")
```

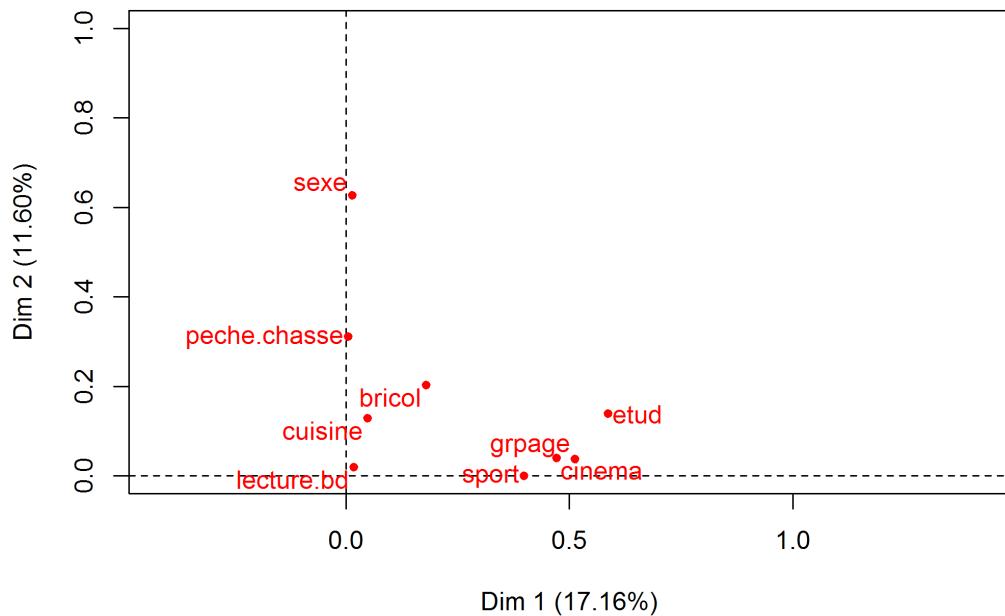


Figure 20. Plan factoriel (seulement les variables)

La fonction `plotellipses` trace des ellipses de confiance autour des modalités de variables qualitatives. L'objectif est de voir si les modalités d'une variable qualitative sont significativement différentes les unes des autres.

Par défaut (`means=TRUE`), les ellipses de confiance sont calculées pour les coordonnées moyennes de chaque catégorie.

```
R> plotellipses(acm2)
```

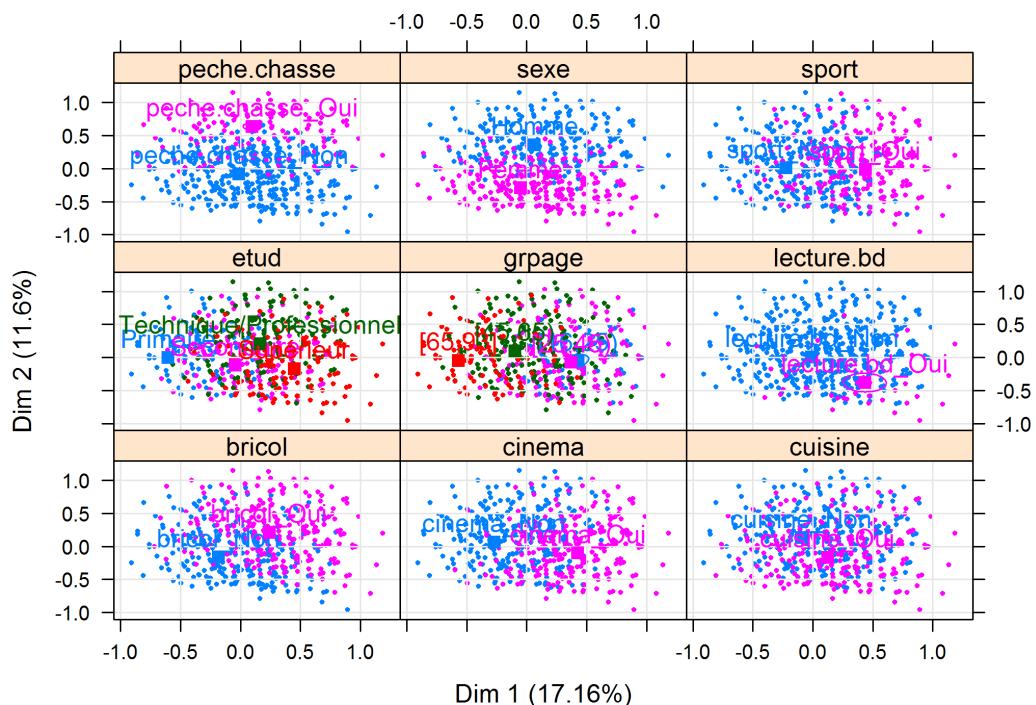


Figure 21. Ellipses de confiance (means=TRUE) dans le plan factoriel

L'option `means=FALSE` calculera les ellipses de confiance pour l'ensemble des coordonnées des observations relevant de chaque catégorie.

```
R> plotellipses(acm2, means = FALSE)
```

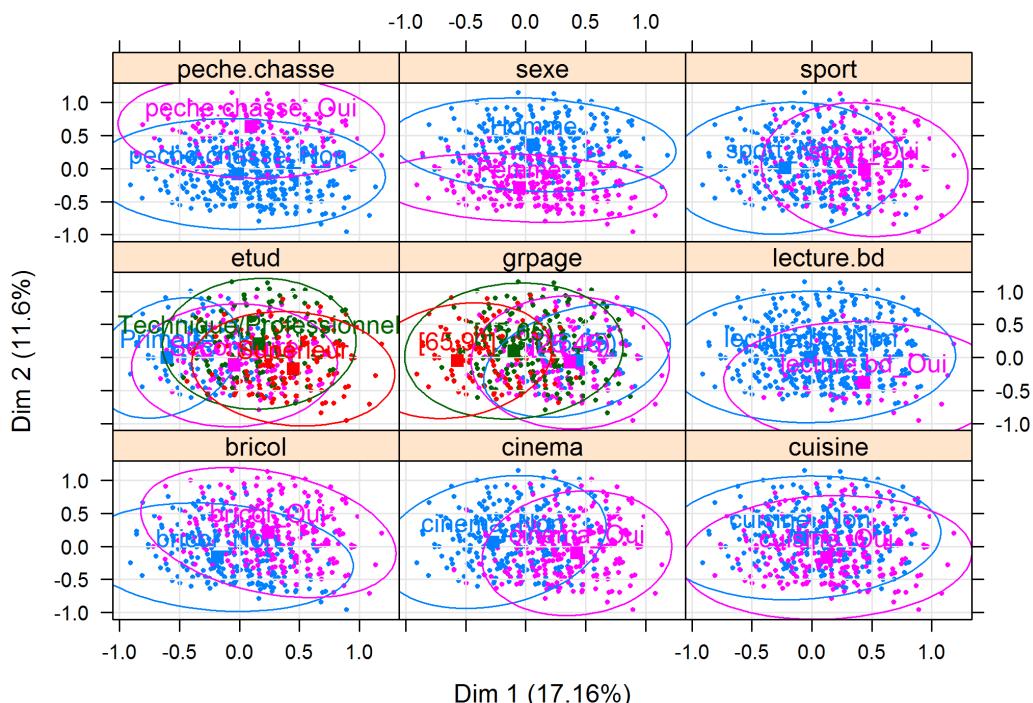


Figure 22. Ellipses de confiance (means=FALSE) dans le plan factoriel

La fonction `dimdesc` aide à décrire et interpréter les dimensions de l'ACM. Cette fonction est très utile quand le nombre de variables est élevé. Elle permet de voir à quelles variables les axes sont le plus liés : quelles variables et quelles modalités décrivent le mieux chaque axe ?

Pour les variables qualitatives, un modèle d'analyse de variance à un facteur est réalisé pour chaque dimension ; les variables à expliquer sont les coordonnées des individus et la variable explicative est une des variables qualitatives. Un test F permet de voir si la variable a un effet significatif sur la dimension et des tests T sont réalisés modalité par modalité (avec le contraste somme des $\alpha_i=0$). Cela montre si les coordonnées des individus de la sous-population définie par une modalité sont significativement différentes de celles de l'ensemble de la population (i.e. différentes de 0). Les variables

et modalités sont triées par probabilité critique et seules celles qui sont significatives sont gardées dans le résultat.

— Source : <http://factominer.free.fr/factosbest/description-des-dimensions.html>

```
R> dimdesc(acm2, axes = 1:2)
```

```
$`Dim 1`
$`Dim 1`$quali
      R2      p.value
etud    0.586058164 0.000000e+00
grpage   0.512231318 1.008479e-292
cinema   0.471002163 8.339548e-263
sport     0.398103140 5.940105e-210
bricol    0.179188677 7.142716e-83
cuisine   0.048233515 4.941749e-22
lecture.bd 0.017667936 6.856650e-09
sexe      0.013670717 3.546801e-07
peche.chasse 0.005007337 2.105728e-03

$`Dim 1`$category
      Estimate      p.value
cinema_Oui 0.35033716 8.339548e-263
sport_Oui   0.33199860 5.940105e-210
[25,45)     0.33895697 1.959716e-159
Supérieur   0.45630756 1.376719e-118
bricol_Oui  0.21255190 7.142716e-83
Technique/Professionnel 0.17291856 4.703868e-23
cuisine_Oui 0.11015793 4.941749e-22
[16,25)     0.39553122 3.635181e-15
lecture.bd_Oui 0.22169306 6.856650e-09
Homme       0.05853263 3.546801e-07
peche.chasse_Oui 0.05543091 2.105728e-03
peche.chasse_Non -0.05543091 2.105728e-03
Femme       -0.05853263 3.546801e-07
lecture.bd_Non -0.22169306 6.856650e-09
[45,65)     -0.13173232 2.477610e-12
cuisine_Non -0.11015793 4.941749e-22
bricol_Non   -0.21255190 7.142716e-83
[65,93]     -0.60275587 2.906563e-165
sport_Non    -0.33199860 5.940105e-210
cinema_Non   -0.35033716 8.339548e-263
Primaire    -0.59465967 5.269497e-268
```

```
$`Dim 2`
$`Dim 2`$quali
      R2      p.value
sexe     0.62723828 0.000000e+00
peche.chasse 0.31109226 1.161746e-154
bricol    0.20276579 8.014713e-95
etud      0.13925513 6.754592e-61
cuisine   0.12908453 1.461380e-58
cinema    0.04039994 1.215838e-18
grpage    0.03776900 1.257795e-15
lecture.bd 0.01995653 7.190474e-10

$`Dim 2`$category
      Estimate      p.value
Homme      0.32598031 0.000000e+00
peche.chasse_Oui 0.35922450 1.161746e-154
bricol_Oui 0.18590016 8.014713e-95
cuisine_Non 0.14816688 1.461380e-58
Technique/Professionnel 0.23013181 5.919911e-54
cinema_Non 0.08436024 1.215838e-18
[45,65)    0.11638978 3.028836e-17
lecture.bd_Non 0.19371997 7.190474e-10
[65,93]    -0.02872480 1.229757e-02
[25,45)    -0.05570792 2.294799e-09
lecture.bd_Oui 0.19371997 7.190474e-10
Secondaire -0.09715846 1.240732e-10
cinema_Oui -0.08436024 1.215838e-18
Supérieur -0.14813997 6.942611e-24
cuisine_Oui -0.14816688 1.461380e-58
bricol_Non 0.18590016 8.014713e-95
peche.chasse_Non -0.35922450 1.161746e-154
Femme      -0.32598031 0.000000e+00
```

Classification ascendante hierarchique (CAH)

Calculer une matrice des distances	460
Distance de Gower	460
Distance du F^2	462
Exemple	463
Calcul du dendrogramme	463
D <small>e</small> couper le dendrogramme	466
CAH avec l <small>e</small> extension FactoMineR	473

NOTE

La version originale de ce chapitre a été rédigée par Joseph Larmarange dans le cadre du support de cours [Introduction à l'analyse d'enquêtes avec R](#).

Il existe de nombreuses techniques statistiques visant à partitionner une population en différentes classes ou sous-groupes. La classification ascendante hierarchique (CAH) est l'une d'entre elles. On cherche à ce que les individus regroupés au sein d'une même classe (homogénéité intra-classe) soient le plus semblables possibles tandis que les classes soient le plus dissemblables (hétérogénéité inter-classe).

Le principe de la CAH est de rassembler des individus selon un critère de ressemblance défini au préalable qui s'exprimera sous la forme d'une matrice de distances, exprimant la distance existant entre chaque individu pris deux à deux. Deux observations identiques auront une distance nulle. Plus les deux observations seront dissemblables, plus la distance sera importante. La CAH va ensuite rassembler les individus de manière itérative afin de produire un dendrogramme ou arbre de classification. La classification est *ascendante* car elle part des observations individuelles ; elle est *hierarchique* car elle produit des classes ou groupes de plus en plus vastes, incluant des sous-groupes en leur sein. En découpant cet arbre à une certaine hauteur choisie, on produira la partition désirée.

NOTE

On trouvera également de nombreux supports de cours en français sur la CAH sur le site de François Gilles Carpentier : <http://pagesperso.univ-brest.fr/~carpenti/>.

Calculer une matrice des distances

La notion de ressemblance entre observations est évaluée par une distance entre individus. Plusieurs types de distances existent selon les données utilisées.

Il existe de nombreuses distances mathématiques pour les variables quantitatives (euclidiennes, Manhattan) que nous n'aborderons pas ici¹. La plupart peuvent être calculées avec la fonction `dist`.

Usuellement, pour un ensemble de variables qualitatives, on aura recours à la distance du F qui est celle utilisée pour l'analyse des correspondances multiples (voir le chapitre `dudi`). Avec l'extension `ade4`, la distance du F se obtient avec la fonction `dist.dudi`². Le cas particulier de la CAH avec l'extension `FactoMineR` sera abordé dans une section spécifique ci-après. Nous évoquerons également la distance de Gower qui peut s'appliquer à un ensemble de variables à la fois qualitatives et quantitatives et qui se calcule avec la fonction `daisy` de l'extension `cluster`. Enfin, dans le chapitre sur l'analyse de séquences, page 491, nous verrons également la fonction `seqdist` (extension `TraMineR`) permettant de calculer une distance entre séquences.

Distance de Gower

En 1971, Gower a proposé un indice de similarité qui porte son nom. L'objectif de cet indice consiste à mesurer dans quelle mesure deux individus sont semblables. L'indice de Gower varie entre 0 et 1. Si l'indice vaut 1, les deux individus sont identiques. À l'opposé, si il vaut 0, les deux individus considérés n'ont pas de point commun. Si l'on note S_g l'indice de similarité de Gower, la distance de Gower D_g se obtient simplement de la manière suivante : $D_g = 1 - S_g$. Ainsi, la distance sera nulle entre deux individus identiques et elle sera égale à 1 entre deux individus totalement différents. Cette distance se obtient sous R avec la fonction `daisy` du package `cluster`.

1. Pour une présentation de ces différentes distances, on pourra se référer à http://old.biodiversite.wallonie.be/outils/methodo/similarity_distance.htm ou encore à ce support de cours par D. Chessel, J. Thioulouse et A.B. Dufour disponible à <http://pbil.univ-lyon1.fr/R/pdf/stage7.pdf>.

2. Cette même fonction peut aussi être utilisée pour calculer une distance après une analyse en composantes principales ou une analyse mixte de Hill et Smith.

L'indice de similarité de Gower entre deux individus x_1 et x_2 se calcule de la manière suivante :

$$S_g(x_1, x_2) = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p \frac{|y_{1j} - y_{2j}|}{\max|y_{1j}|}$$

p représente le nombre total de caractères (ou de variables) descriptifs utilisés pour comparer les deux individus. s_{12j} représente la similarité partielle entre les individus 1 et 2 concernant le descripteur j . Cette similarité partielle se calcule différemment suivant si il s'agit d'une variable qualitative ou quantitative :

- **variable qualitative**: s_{12j} vaut 1 si la variable j prend la même valeur pour les individus 1 et 2, et vaut 0 sinon. Par exemple, si 1 et 2 sont tous les deux « grand », alors s_{12j} vaudra 1. Si 1 est « grand » et 2 « petit », s_{12j} vaudra 0.
- **variable quantitative**: la différence absolue entre les valeurs des deux variables est tout d'abord calculée, soit $|y_{1j} - y_{2j}|$. Puis l'écart maximum observé sur l'ensemble du fichier est déterminé et non R_j . Dans ce cas, la similarité partielle vaut $S_{12j} = |y_{1j} - y_{2j}| / R_j$.

Dans le cas où l'on n'a que des variables qualitatives, la valeur de l'indice de Gower correspond à la proportion de caractères en commun. Supposons des individus 1 et 2 distincts ainsi :

1. homme / grand / blond / étudiant / urbain
2. femme / grande / brune / étudiante / rurale

Sur les 5 variables utilisées pour les distinguer, 1 et 2 ont deux caractéristiques communes : ils sont grand(e)s et étudiant(e)s. Dans ce cas, l'indice de similarité de Gower entre 1 et 2 vaut $2/5 = 0,4$ (soit une distance de $1 - 0,4 = 0,6$).

Plusieurs approches peuvent être retenues pour traiter les valeurs manquantes :

- supprimer tout individu n'ayant pas renseigné pour toutes les variables de l'analyse ;
- considérer les valeurs manquantes comme une modalité en tant que telle ;
- garder les valeurs manquantes en tant que valeurs manquantes.

Le choix retenu modifiera les distances de Gower calculées. Supposons que l'on ait :

1. homme / grand / blond / étudiant / urbain
2. femme / grande / brune / étudiante / manquant

Si l'on supprime les individus ayant des valeurs manquantes, 2 est retirée du fichier d'observations et aucune distance n'est calculée.

Si l'on traite les valeurs manquantes comme une modalité particulière, 1 et 2 partagent alors 2 caractères sur les 5 analysés, la distance de Gower entre eux est alors de $1 - 2/5 = 1 - 0,4 = 0,6$.

Si on garde les valeurs manquantes, l'indice de Gower est dans ce cas calculé sur les seuls descripteurs renseignés à la fois pour 1 et 2. La distance de Gower sera calculée dans ce cas présent uniquement sur les 4 caractères renseignés et vaudra $1 - 2/4 = 0,5$.

Distance du F?

Il s'agit de la distance utilisée dans les analyses de correspondance multiples (ACM). C'est une variante de la distance du Q. Nous considérons ici que nous avons Q questions (soit Q variables initiales de type facteur). Chaque individu est associé à un patron c'est-à-dire une certaine combinaison de réponses aux Q questions. La distance entre deux individus correspond à la distance entre leurs deux patrons. Si les deux individus partagent le même patron, leur distance sera nulle. La distance du F peut se exprimer ainsi :

$$d_F^2(L_i, L_j) = \frac{1}{Q} \sum_k \frac{(d_{ik} - d_{jk})^2}{f_k}$$

où L_i et L_j sont deux patrons, Q le nombre total de questions. d_{ik} vaut 1 si la modalité k est présente dans le patron L_i , 0 sinon. f_k est la fréquence de la modalité k dans l'ensemble de la population.

Exprimé plus simplement, on fait la somme de l'inverse des modalités non communes aux deux patrons, puis on divise par le nombre total de question. Si nous reprenons notre exemple précédent :

1. homme / grand / blond / étudiant / urbain
2. femme / grande / brune / étudiante / rurale

Pour calculer la distance entre 1 et 2, il nous faut connaître la proportion des différentes modalités dans l'ensemble de la population étudiée. En l'occurrence :

- hommes : 52% / femmes : 48%
- grand : 30% / moyen : 45% / petit : 25%
- blond : 15% / châtain : 45% / brun : 30% / blanc : 10%
- étudiant : 20% / salarié : 65% / retraité : 15%
- urbain : 80% / rural : 20%

Les modalités non communes entre les profils de 1 et 2 sont : homme, femme, blond, brun, urbain et rural. La distance du F entre 1 et 2 est donc la suivante :

$$d_F^2(L_1, L_2) = \frac{1}{5} \left(\frac{1}{0,52} + \frac{1}{0,48} + \frac{1}{0,15} + \frac{1}{0,30} + \frac{1}{0,80} + \frac{1}{0,20} \right) = 4,05$$

Cette distance, bien que moins intuitive que la distance de Gower (voire plus), est la plus employée pour l'analyse d'enquêtes en sciences sociales. Il faut retenir que la distance entre deux profils est dépendante de la distribution globale de chaque modalité dans la population étudiée. Ainsi, si l'on recalcule les distances entre individus à partir d'un sous-séchantillon, le résultat obtenu sera différent. De manière générale, les individus présentant des caractéristiques rares dans la population vont se retrouver éloignés des individus présentant des caractéristiques fortement représentées.

Exemple

Nous allons reprendre l'ACM calculé avec `dudi.acm` (`ade4`) dans le chapitre consacré à l'ACM :

```
R> library(questionr)
data(hdv2003)
d <- hdv2003
d$grpage <- cut(d$age, c(16, 25, 45, 65, 93), right = FALSE,
  include.lowest = TRUE)
d$etud <- d$nivetud
levels(d$etud) <- c("Primaire", "Primaire", "Primaire",
  "Secondaire", "Secondaire", "Technique/Professionnel",
  "Technique/Professionnel", "Supérieur")
d2 <- d[, c("grpae", "sexe", "etud", "peche.chasse",
  "cinema", "cuisine", "bricol", "sport", "lecture.bd")]
library(ade4)
acm <- dudi.acm(d2, scannf = FALSE, nf = 5)
```

La matrice des distances s'obtient dès lors avec la fonction `dist.dudi` :

```
R> md <- dist.dudi(acm)
```

Calcul du dendrogramme

Il faut ensuite choisir une méthode d'agrégation pour construire le dendrogramme. De nombreuses solutions existent (saut minimum, distance maximum, moyenne, Ward). Chacune d'elle produira un dendrogramme différent. Nous ne détaillerons pas ici ces différentes techniques³. Cependant, à l'usage, on priviliera le plus souvent la méthode de Ward. Cette méthode se distingue de toutes les autres en ce sens qu'elle utilise une analyse de la variance approchée afin d'évaluer les distances entre groupes. La méthode de Ward se justifie bien lorsque lorsque l'on utilise le carré de la distance. Choisir de regrouper les deux individus les plus proches revient alors à choisir la paire de points dont l'agrégation entraîne la diminution minimale de l'inertie du nuage. En résumé, cette méthode cherche à minimiser l'inertie intra-classe et à maximiser l'inertie inter-classe afin d'obtenir des classes les plus homogènes possibles.

En raison de la variété des distances possibles et de la variété des techniques d'agrégation, on pourra faire aménager plusieurs dendrogrammes différents sur un même jeu de données jusqu'à obtenir une classification qui fait sens.

3. On pourra consulter le cours de FG Carpentier déjà cité ou bien des ouvrages d'analyse statistique.

La fonction de base pour le calcul d'un dendrogramme est `hclust` en précisant le critère d'aggrégation avec `method`. Dans notre cas, nous allons opter pour la méthode de Ward appliquée au carré des distances (ce qu'on indique avec `method = "ward.D2"`⁴, l'option `method = "ward.D"` correspondant à la version classique):

```
R> arbre <- hclust(md, method = "ward.D2")
```

NOTE

Le temps de calcul d'un dendrogramme peut être particulièrement important sur un gros fichier de données. L'extension `fastcluster` permet de réduire significativement le temps de calcul. Il suffit d'installer puis d'appeler cette extension. La fonction `hclust` sera automatiquement remplacée par cette version optimisée. Elle prend les mêmes paramètres:

```
R> library(fastcluster)
arbre <- hclust(md, method = "ward.D2")
```

Le dendrogramme obtenu peut être affiché simplement avec `plot`. Lorsque le nombre d'individus est important, il peut être utile de ne pas afficher les étiquettes des individus avec `labels=FALSE`.

4. Depuis la version 3.1 de R.

```
R> plot(arbre, labels = FALSE, main = "Dendrogramme")
```

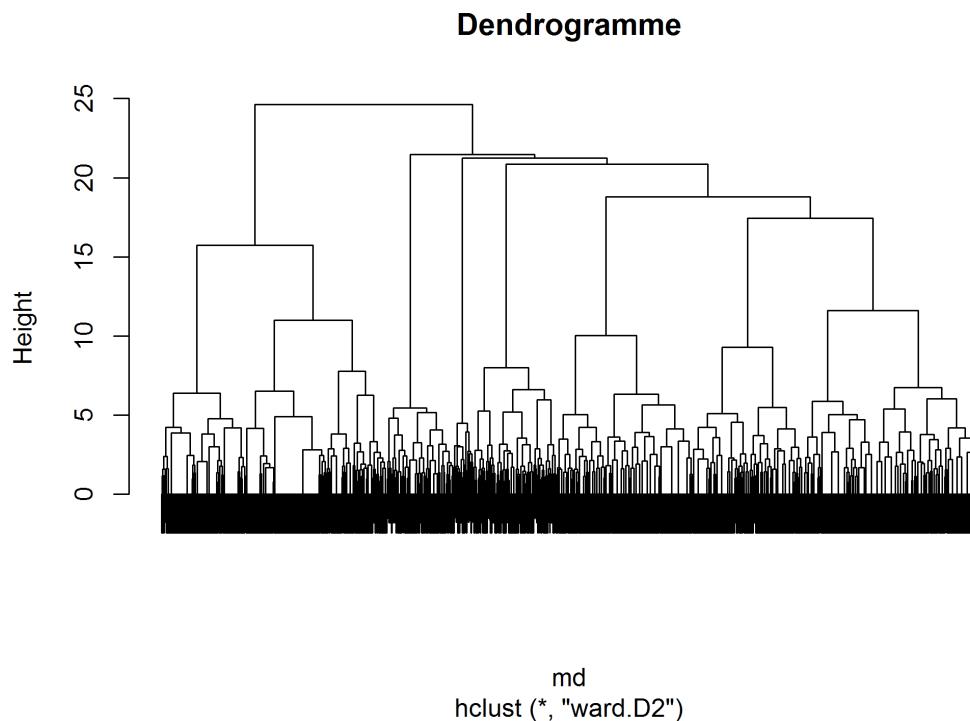


Figure 1. Dendrogramme obtenu avec `hclust`

La fonction `agnes` de l'extension `cluster` peut également être utilisée pour calculer le dendrogramme. Cependant, l'usage, elle semble être un peu plus lente que `hclust`.

```
R> library(cluster)
arbre2 <- agnes(md, method = "ward")
```

ATTENTION: la méthode implementée dans la fonction `agnes` correspond à l'option `method = "ward.D2"` de `hclust`.

Le résultat obtenu n'est pas au même format que celui de `hclust`. Il est possible de transformer un objet `agnes` au format `hclust` avec `as.hclust`.

```
R> as.hclust(arbre2)
```

Découper le dendrogramme

Pour obtenir une partition de la population, il suffit de découper le dendrogramme obtenu à une certaine hauteur. En premier lieu, une analyse de la forme du dendrogramme pourra nous donner une indication sur le nombre de classes à retenir. Dans notre exemple, deux branches bien distinctes apparaissent sur l'arbre.

Pour nous aider, nous pouvons représenter les sauts d'inertie du dendrogramme selon le nombre de classes retenues.

```
R> inertie <- sort(arbre$height, decreasing = TRUE)
plot(inertie[1:20], type = "s", xlab = "Nombre de classes",
     ylab = "Inertie")
```

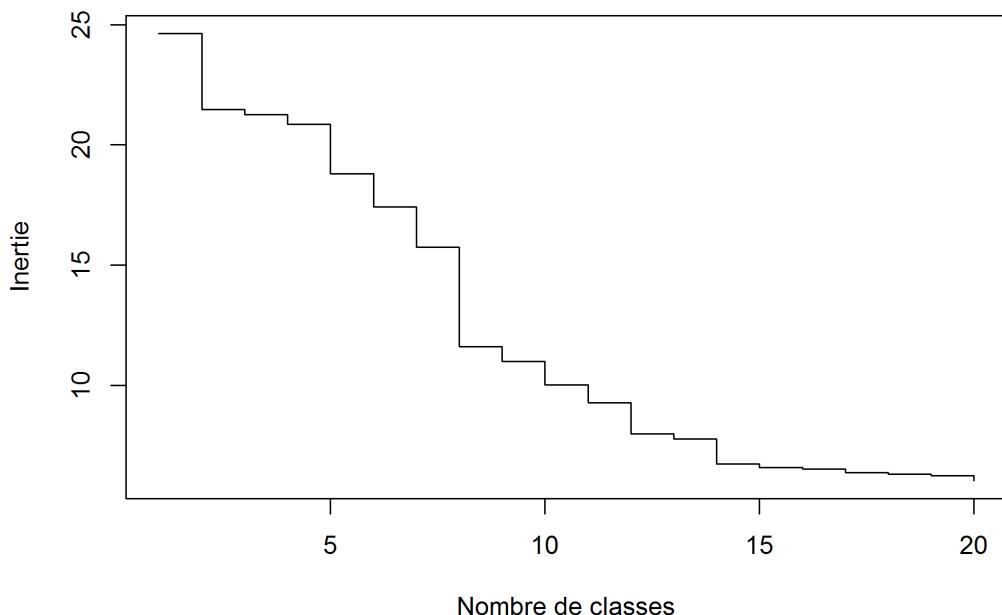


Figure 2. Inertie du dendrogramme

On voit trois sauts assez nets à 2, 5 et 8 classes, que nous avons représentés ci-dessous respectivement en vert, en rouge et en bleu.

```
R> plot(inertie[1:20], type = "s", xlab = "Nombre de classes",
  ylab = "Inertie")
  points(c(2, 5, 8), inertie[c(2, 5, 8)], col = c("green3",
  "red3", "blue3"), cex = 2, lwd = 3)
```

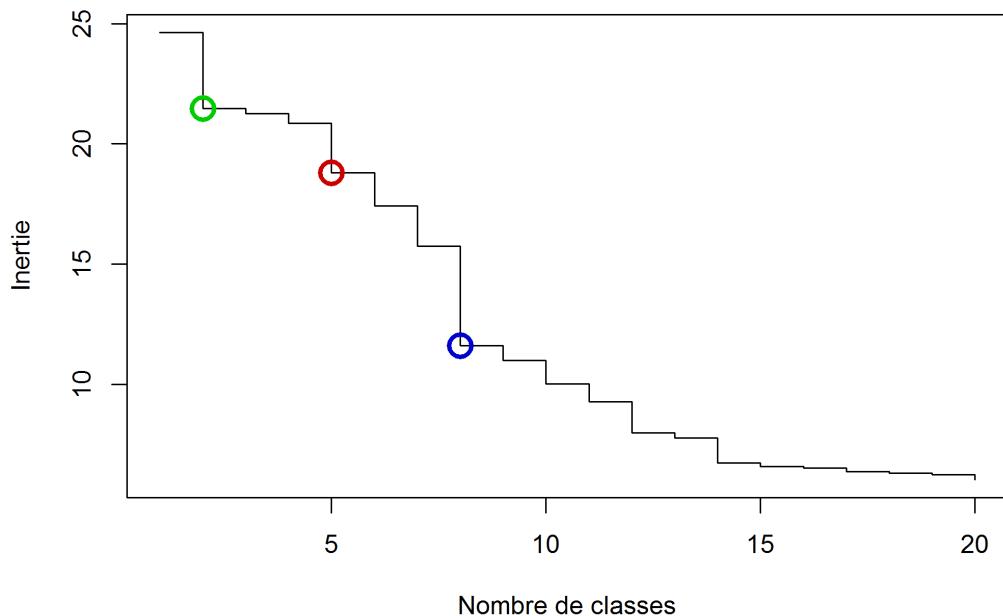


Figure 3. Sauts d'inertie du dendrogramme

La fonction `rect.hclust` permet de visualiser les différentes partitions directement sur le dendrogramme.

```
R> plot(arbre, labels = FALSE, main = "Partition en 2, 5 ou 8 classes",
       xlab = "", ylab = "", sub = "", axes = FALSE, hang = -1)
rect.hclust(arbre, 2, border = "green3")
rect.hclust(arbre, 5, border = "red3")
rect.hclust(arbre, 8, border = "blue3")
```

Partition en 2, 5 ou 8 classes

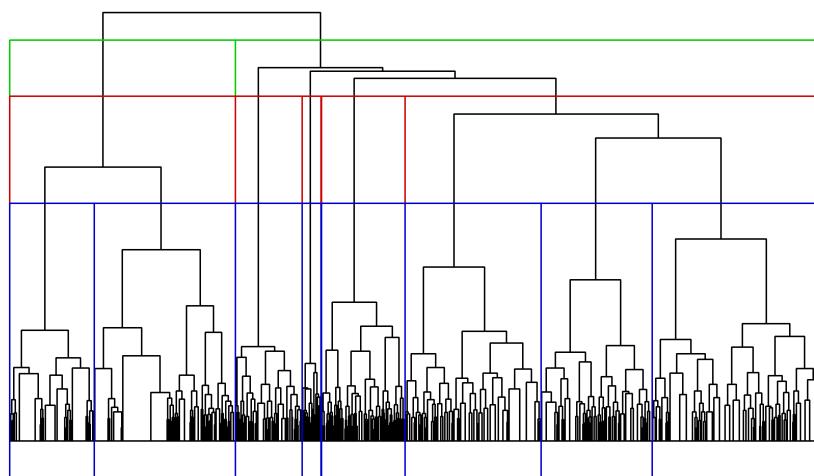


Figure 4. Différentes partitions du dendrogramme

L’extension **FactoMineR** (que nous aborderons dans une section dédiée ci-après, page 473) suggère d’utiliser la partition ayant la plus grande perte relative d’inertie.

L’extension **JLutils** (disponible sur [GitHub](#)) propose une fonction `best.cutree` qui permet de calculer cette indicateur à partir de n’importe quel dendrogramme calculé avec `hclust` ou `agnes`.

Pour installer **JLutils**, on aura recours au package `devtools` et à sa fonction `install_github` :

```
R> library(devtools)
install_github("larmarange/JLutils")
```

Par défaut, `best.cutree` regarde quelle serait la meilleure partition entre 3 et 20 classes.

```
R> library(JLutils)
```

```
Loading required package: ggplot2
```

```
R> best.cutree(arbre)
```

```
[1] 5
```

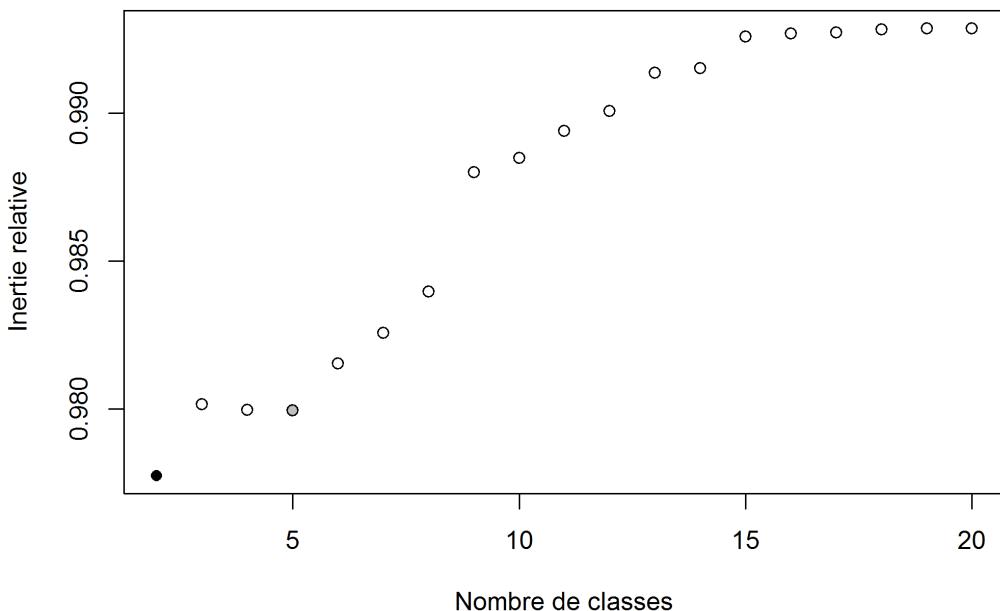
En l'occurrence il s'agit d'une partition en 5 classes. Il est possible de modifier le minimum et le maximum des partitions recherchées avec `min` et `max`.

```
R> best.cutree(arbre, min = 2)
```

```
[1] 2
```

On peut également représenter le graphique des pertes relatives d'inertie avec `graph=TRUE`. La meilleure partition selon ce critère est représentée par un point noir et la seconde par un point gris.

```
R> best.cutree(arbre, min = 2, graph = TRUE, xlab = "Nombre de classes",
  ylab = "Inertie relative")
```



```
[1] 2
```

Figure 5. Perte relative d'inertie selon le nombre de classes

Un découpage en deux classes minimise ce critère. Cependant, si l'on souhaite réaliser une analyse un peu plus fine, un nombre de classes plus élevé serait pertinent. Nous allons donc retenir un découpage en cinq classes. Le découpage se effectue avec la fonction `cutree`.

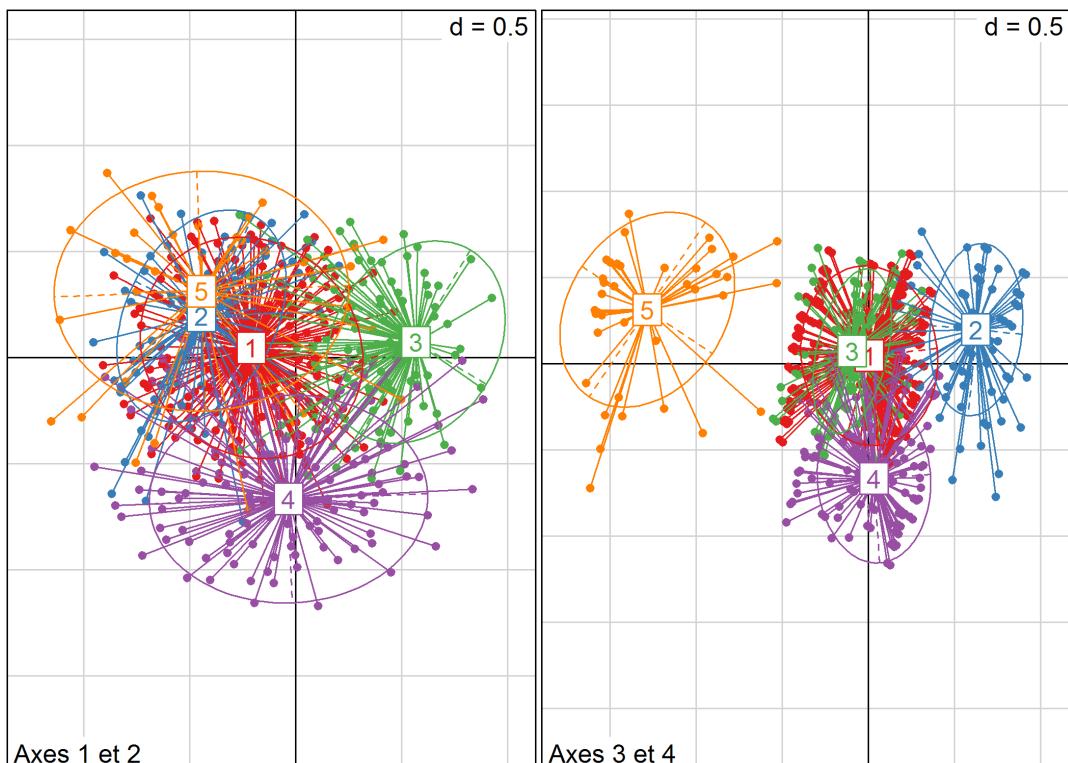
```
R> typo <- cutree(arbre, 5)
freq(typo)
```

	n	%	val%
1	1031	51.5	51.5
2	164	8.2	8.2
3	553	27.7	27.7
4	205	10.2	10.2

5	47	2.4	2.4
NA	0	0.0	NA

La typologie obtenue peut être représentée dans le plan factoriel avec `s.class`.

```
R> par(mfrow = c(1, 2))
library(RColorBrewer)
s.class(acm$li, as.factor(typo), col = brewer.pal(5,
  "Set1"), sub = "Axes 1 et 2")
s.class(acm$li, as.factor(typo), 3, 4, col = brewer.pal(5,
  "Set1"), sub = "Axes 3 et 4")
```



```
R> par(mfrow = c(1, 1))
```

Figure 6. Projection de la typologie obtenue par CAH selon les 4 premiers axes

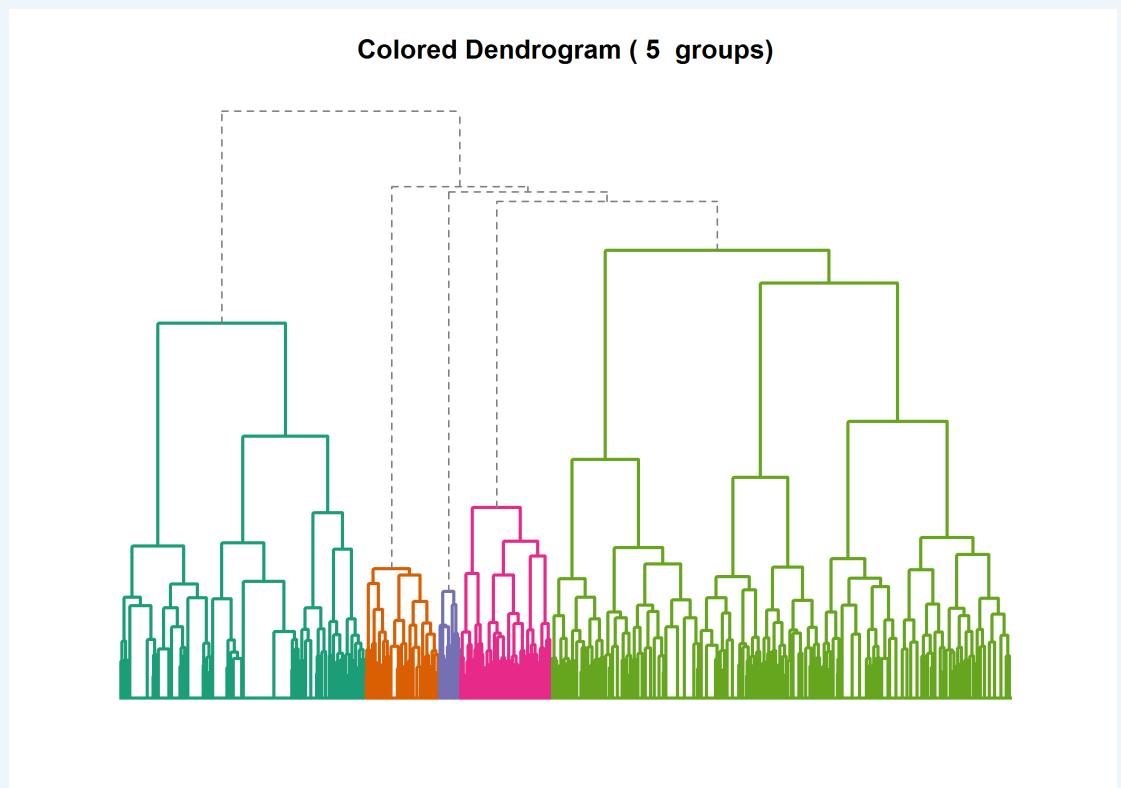
NOTE

De nombreuses possibilités graphiques sont possibles avec les dendrogrammes. Des exemples documentés sont disponibles à cette adresse : <http://rpubs.com/gaston/dendrograms>.

Romain François a développé une fonction `A2Rplot` permettant de réaliser facilement un dendrogramme avec les branches colorées⁵. Par commodité, cette fonction est disponible directement au sein de l’extension `JLutils`.

Pour réaliser le graphique, on indiquera le nombre de classes et les couleurs à utiliser pour chaque branche de l’arbre :

```
R> A2Rplot(arbre, k = 5, boxes = FALSE, col.up = "gray50",
           col.down = brewer.pal(5, "Dark2"), show.labels = FALSE)
```



On pourra aussi noter l’extension `ggdendro` pour représenter des dendrogrammes avec `ggplot2` ou encore l’extension `dendextend` qui permet de manipuler, représenter et comparer des dendrogrammes⁶.

5. Voir <http://addicted2r.free.fr/packages/A2R/lastVersion/R/code.R>.

CAH avec l'extension FactoMineR

L'extension **FactoMineR** fournit une fonction **HCPC** permettant de réaliser une classification hiérarchique à partir du résultat d'une analyse factorielle réalisée avec la même extension (voir la section dédiée du chapitre sur l'ACM, page 473).

HCPC réalise à la fois le calcul de la matrice des distances, du dendrogramme et le partitionnement de la population en classes. Par défaut, **HCPC** calcule le dendrogramme à partir du carré des distances du F et avec la méthode de Ward.

Par défaut, l'arbre est affiché à l'écran et l'arbre sera coupé selon la partition ayant la plus grande perte relative d'inertie (comme avec **best.cutree**). Utilisez **graph=FALSE** pour ne pas afficher le graphique et l'argument **nb.clust** pour indiquer le nombre de classes désirées.

```
R> library(FactoMineR)
acm2 <- MCA(d2[complete.cases(d2), ], ncp = 5, graph = FALSE)
cah <- HCPC(acm2, graph = FALSE)
```

On pourra représenter le dendrogramme avec **plot** et l'argument **choice="tree"**.

6. Pour une présentation succincte, voir par exemple <http://www.r-bloggers.com/dendextend-version-1-0-1-user2015-presentation/> (en anglais).

```
R> plot(cah, choice = "tree")
```

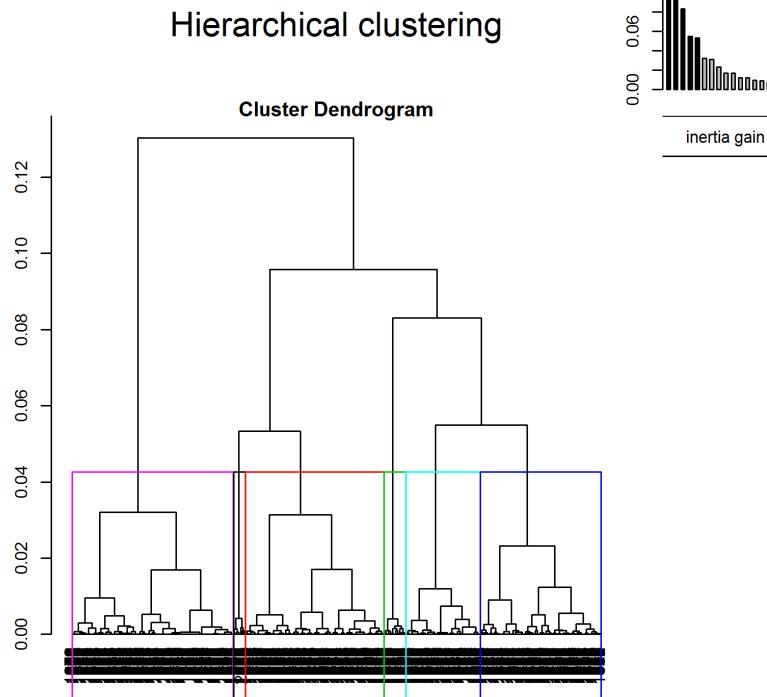


Figure 7. Dendrogramme obtenu avec HCPC (5 axes)

Il apparaît que le dendrogramme obtenu avec HCPC diffère de celui que nous avons calculé précédemment en utilisant la matrice des distances fournies par `dist.dudi`. Cela est dû au fait que HCPC prend directement pour calculer la matrice des distances en ne prenant en compte que les axes retenus dans le cadre de l'ACM. Pour rappel, nous avions retenu que 5 axes dans le cadre de notre ACM :

```
R> acm2 <- MCA(d2[complete.cases(d2), ], ncp = 5, graph = FALSE)
```

HCPC n'a donc pris en compte que ces 5 premiers axes pour calculer les distances entre les individus, considérant que les autres axes n'apportent que du bruit rendant la classification instable. Cependant, comme le montre `summary(acm2)`, nos cinq premiers axes n'expliquent que 54% de la variance. Il est généralement préférable de garder un plus grande nombre d'axes afin de couvrir au moins 80 à 90% de la variance⁷. De son côté, `dist.dudi` prends en compte l'ensemble des axes pour

7. Voir <http://factominer.free.fr/classical-methods/classification-hierarchique-sur-composantes-principales.html>

calculer la matrice des distances. On peut reproduire cela avec **FactoMineR** en indiquant `ncp=Inf` lors du calcul de l'ACM.

```
R> acm2 <- MCA(d2[complete.cases(d2), ], ncp = Inf, graph = FALSE)
cah <- HCPC(acm2, nb.clust = -1, graph = FALSE)
```

On obtient bien cette fois-ci le même résultat.

```
R> plot(cah, choice = "tree")
```

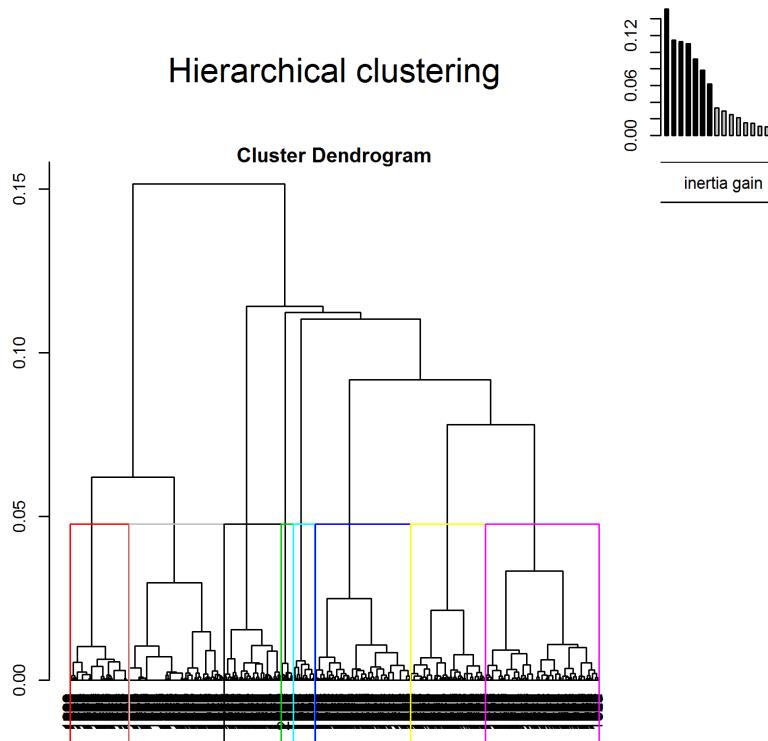


Figure 8. Dendrogramme obtenu avec HCPC (tous les axes)

D'autres graphiques sont disponibles, en faisant varier la valeur de l'argument `choice`:

```
R> plot(cah, choice = "3D.map")
```

Hierarchical clustering on the factor map

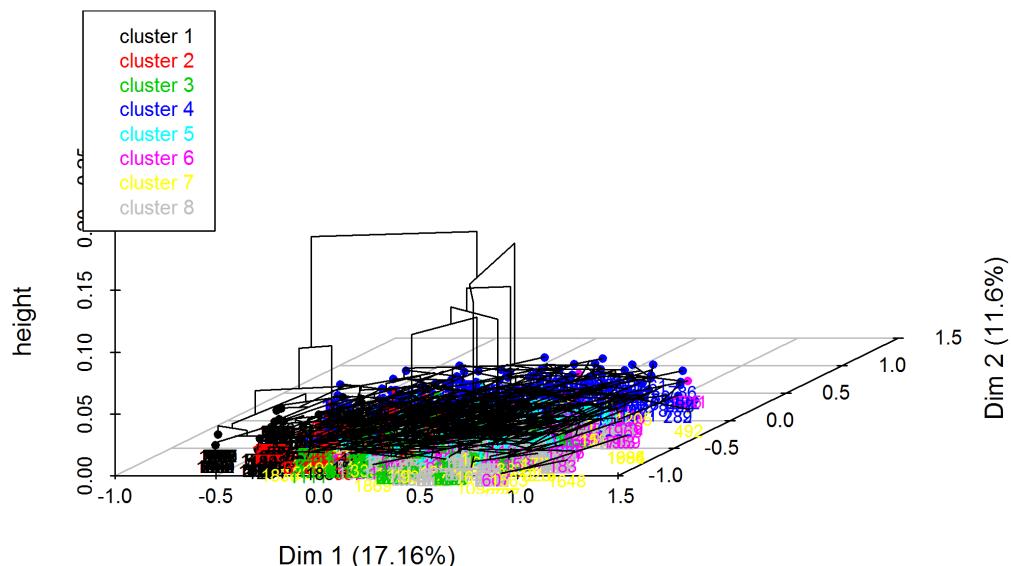


Figure 9. Représentation en 3 dimensions du dendrogramme

```
R> plot(cah, choice = "bar")
```

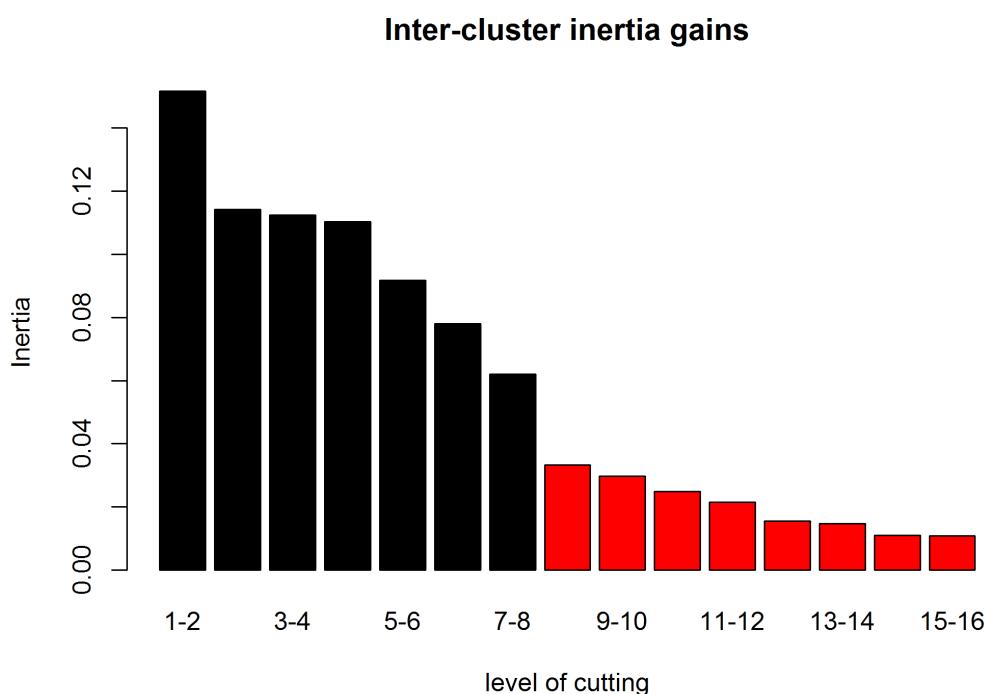


Figure 10. Gains d'inertie

```
R> plot(cah, choice = "map")
```

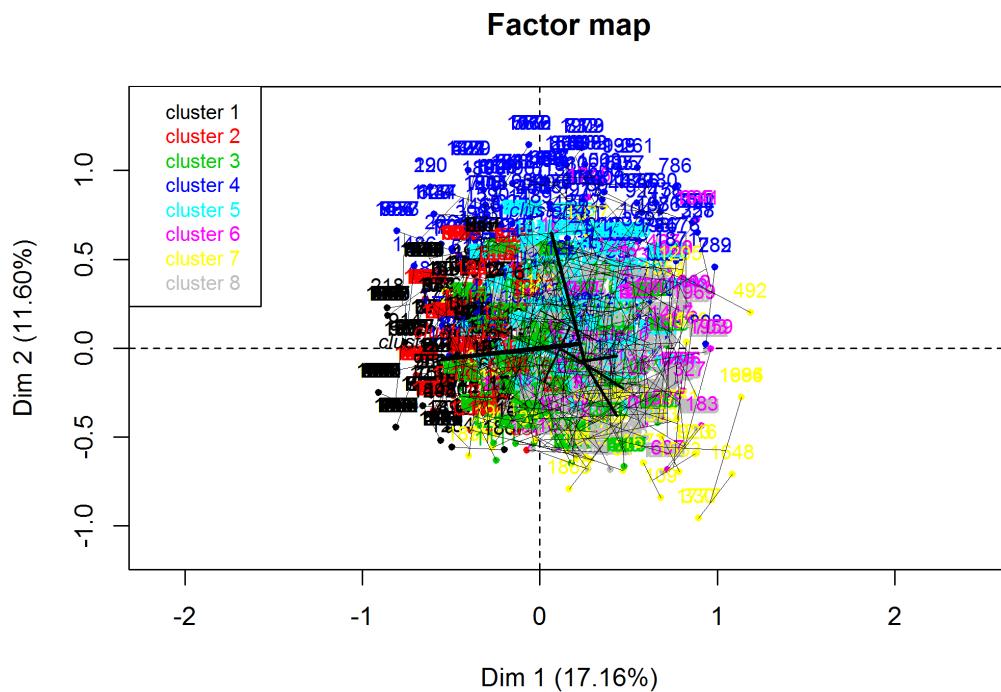


Figure 11. Projection des catégories sur le plan factoriel

L'objet renvoyé par `HCPC` contient de nombreuses informations. La partition peut notamment être récupérée avec `cah$data.clust$clust`. Il y a également diverses statistiques pour décrire les catégories.

```
R> cah
```

```
**Results for the Hierarchical Clustering on Principal Components**
  name
1  "$data.clust"
2  "$desc.var"
3  "$desc.var$test.chi2"
4  "$desc.axes$category"
5  "$desc.axes"
6  "$desc.axes$quanti.var"
7  "$desc.axes$quanti"
8  "$desc.ind"
```

```

9  "$desc.ind$para"
10 "$desc.ind$dist"
11 "$call"
12 "$call$t"
  description
1 "dataset with the cluster of the individuals"
2 "description of the clusters by the variables"
3 "description of the cluster var. by the categorical var."
4 "description of the clusters by the categories."
5 "description of the clusters by the dimensions"
6 "description of the cluster var. by the axes"
7 "description of the clusters by the axes"
8 "description of the clusters by the individuals"
9 "parangons of each clusters"
10 "specific individuals"
11 "summary statistics"
12 "description of the tree"

```

```
R> freq(cah$data.clust$clust)
```

	n	%	val%
1	308	16.3	16.3
2	209	11.1	11.1
3	281	14.9	14.9
4	201	10.7	10.7
5	416	22.1	22.1
6	78	4.1	4.1
7	43	2.3	2.3
8	350	18.6	18.6
NA	0	0.0	NA

Modèles linéaires & effets mixtes

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Modèles GEE

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

S \diamond ries temporelles

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d' \diamond criture.

Modèles temps discret

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Analyse de survie

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Analyse de séquences

L'analyse de séquences	491
Installer TraMineR et récupérer les données	493
Appariement optimal et classification	496
Représentations graphiques	500
Bibliographie	511

NOTE

La version originale de ce chapitre est une reprise, avec l'aimable autorisation de son auteur, d'un article de Nicolas Robette intitulé *L'analyse de séquences : une introduction avec le logiciel R et le package TraMineR* et publié sur le blog Quanti (<http://quanti.hypotheses.org/686/>).

Depuis les années 1980, l'étude quantitative des trajectoires biographiques (*life course analysis*) a pris une ampleur considérable dans le champ des sciences sociales. Les collectes de données micro-individuelles longitudinales se sont développées, principalement sous la forme de panels ou d'enquêtes rétrospectives. Parallèlement à cette multiplication des données disponibles, la méthodologie statistique a connu de profondes évolutions. L'analyse des biographies (*event history analysis*) qui ajoute une dimension diachronique aux modèles économétriques mainstream s'est rapidement imposée comme l'approche dominante : il s'agit de modéliser la durée des situations ou le risque d'occurrence des événements.

L'analyse de séquences

Cependant, ces dernières années ont vu la diffusion d'un large corpus de méthodes descriptives d'analyse de séquences, au sein desquelles l'appariement optimal (*optimal matching*) occupe une place centrale¹. L'objectif principal de ces méthodes est d'identifier dans la diversité d'un corpus de séquences constituées de séries d'états successifs les régularités, les ressemblances, puis le plus souvent de construire des typologies de séquences-types. L'analyse de

séquences constitue donc un moyen de décrire mais aussi de mieux comprendre le déroulement de divers processus.

La majeure partie des applications de l'analyse de séquences traite de trajectoires biographiques ou de carrières professionnelles. Dans ces cas, chaque trajectoire ou chaque carrière est décrite par une séquence, autrement dit par une suite chronologiquement ordonnée de moments temporels, chaque moment correspondant à un état d'termin de la trajectoire (par exemple, pour les carrières professionnelles : être en emploi, au chômage ou en inactivité). Mais on peut bien sûr imaginer des types de séquences plus originaux : Andrew Abbott², le sociologue américain qui a introduit l'*optimal matching* dans les sciences scientifiques ou des séquences de pas de danses traditionnelles.

En France, les premiers travaux utilisant l'appariement optimal sont ceux de Claire Lemercier³ sur les carrières des membres des institutions consulaires parisiennes au XIX^e siècle (Lemercier, 2005), et de Laurent Lesnard⁴ sur les emplois du temps (Lesnard, 2008). Mais dès les années 1980, les chercheurs du Creq construisaient des typologies de trajectoires d'insertion à l'aide des méthodes d'analyse des données : la française (analyse des correspondances, etc.)⁵. Au final, on dénombre maintenant plus d'une centaine d'articles de sciences sociales contenant ou discutant des techniques empruntées à l'analyse de séquences.

Pour une présentation des différentes méthodes d'analyse de séquences disponibles et de leur mise en oeuvre pratique, il existe un petit manuel en français, publié en 2011 dernier aux éditions du Ceped (collection « Les clefs pour »⁶) et disponible en pdf⁷ (Robette, 2011). De plus, un article récemment publié dans le *Bulletin de Méthodologie Sociologique* compare de manière systématique les résultats obtenus par les principales méthodes d'analyse de séquences (Robette & Bry, 2012). La conclusion en est qu'avec des données empiriques aussi structurées que celles que l'on utilise en sciences sociales, l'approche est robuste, c'est-à-dire qu'un changement de méthode aura peu d'influence sur les principaux résultats. Cependant, l'article tente aussi de décrire les spécificités de chaque méthode et les différences marginales qu'elles font apparaître, afin de permettre aux chercheurs de mieux adapter leurs choix méthodologiques à leur question de recherche.

Afin d'illustrer la démarche de l'analyse de séquences, nous allons procéder ici à la description pas à pas d'un corpus de carrières professionnelles, issues de l'enquête *Biographies et*

1. Pour une analyse des conditions sociales de la diffusion de l'analyse de séquences dans le champ des sciences sociales, voir Robette, 2012.

2. <http://home.uchicago.edu/~aabbott/>

3. <http://lemercier.ouvaton.org/document.php?id=62>

4. http://laurent.lesnard.free.fr/article.php3?id_article=22

5. Voir par exemple l'article de Yvette Grelet (2002).

6. <http://www.ceped.org/?rubrique57>

7. http://nicolas.robette.free.fr/Docs/Robette2011_Manuel_TypoTraj.pdf

entourage (Ined, 2000)⁸. Et pour ce faire, on va utiliser le logiciel R, qui propose la solution actuellement la plus complète et la plus puissante en matière d'analyse de séquences. Les méthodes d'analyse de séquences par analyses factorielles ou de correspondances ne nécessitent pas de logiciel spécifique : tous les logiciels de statistiques généralistes peuvent être utilisés (SAS, SPSS, Stata, R, etc.). En revanche, il n'existe pas de fonctions pour l'appariement optimal dans SAS ou SPSS. Certains logiciels gratuits implémentent l'appariement optimal (comme Chesa⁹ ou TDA¹⁰) mais il faut alors recourir à d'autres programmes pour dérouler l'ensemble de l'analyse (classification, représentation graphique). Stata propose le module sq¹¹, qui dispose d'un vaste ventail de fonctions intéressantes. Mais c'est R et le package TraMineR¹², développé par des collègues de l'Université de Genève (Gabadinho et al, 2011), qui fournit la solution la plus complète et la plus puissante à ce jour : on y trouve l'appariement optimal mais aussi d'autres algorithmes alternatifs, ainsi que de nombreuses fonctions de description des séquences et de représentation graphique.

Installer TraMineR et récupérer les données

Tout d'abord, à quoi ressemblent nos données ? On a reconstruit à partir de l'enquête les carrières de 1000 hommes. Pour chacune, on connaît la position professionnelle chaque année, de l'âge de 14 ans jusqu'à 50 ans. Cette position est codée de la manière suivante : les codes 1 à 6 correspondent aux groupes socioprofessionnels de la nomenclature des PCS de l'INSEE 13 (agriculteurs exploitants ; artisans, commerçants et chefs d'entreprise ; cadres et professions intellectuelles supérieures ; professions intermédiaires ; employés ; ouvriers) ; on y a ajouté études (code 7), inactivité (code 8) et service militaire (code 9). Le fichier de données comporte une ligne par individu et une colonne par année : la variable csp1 correspond à la position à 14 ans, la variable csp2 à la position à 15 ans, etc. Par ailleurs, les enquêtes étant toutes nées entre 1930 et 1950, on ajoute à notre base une variable d'origination à trois modalités, prenant les valeurs suivantes : 1=1930-1938 ; 2=1939-1945 ; 3=1946-1950. Au final, la base est constituée de 500 lignes et de 37+1=38 colonnes et se présente sous la forme d'un fichier texte au format csv (téléchargeable à <http://lamarange.github.io/analyse-R/data/trajpro.csv>).

Une fois R ouvert, on commence par installer les extensions nécessaires à ce programme (opération à ne réaliser que lors de leur première utilisation) et par les charger en mémoire. L'extension TraMineR

8. Pour une analyse plus poussée de ces données, avec deux méthodes différentes à ce programme (opération à ne réaliser que lors de leur première utilisation) et par les charger en mémoire. L'extension TraMineR

9. <http://home.fsw.vu.nl/ch.elzinga/>

10. <http://steinhaus.stat.ruhr-uni-bochum.de/tda.html>

11. <http://www.stata-journal.com/article.html?article=st0111>

12. <http://mephisto.unige.ch/traminer/>

propose de nombreuses fonctions pour l’analyse de séquences. L’extension **cluster** comprend un certain nombre de méthodes de classification automatique¹³.

```
R> install.packages(c("TraMineR"))
```

```
R> library(TraMineR)
```

```
TraMineR stable version 1.8-11.1 (Built: 2016-03-29)
```

```
Website: http://mephisto.unige.ch/traminer
```

```
Please type 'citation("TraMineR")' for citation information.
```

```
R> library(cluster)
```

On importe ensuite les données, on recode la variable `generation` pour lui donner des étiquettes plus explicites. On jette également un coup d’œil à la structure du tableau de données :

```
R> donnees <- read.csv("http://lamarange.github.io/analyse-R/data/trajpro.csv",
  header = T)
```

```
R> donnees$generation <- factor(donnees$generation, labels = c("1930-38",
  "1939-45", "1946-50"))
str(donnees)
```

```
'data.frame': 1000 obs. of 38 variables:
 $ csp1      : int 1 7 6 7 7 6 7 7 7 6 ...
 $ csp2      : int 1 7 6 7 7 6 7 7 7 6 ...
 $ csp3      : int 1 7 6 6 7 6 7 7 7 6 ...
 $ csp4      : int 1 7 6 6 7 6 7 7 7 6 ...
 $ csp5      : int 1 7 6 6 7 6 7 7 7 6 ...
 $ csp6      : int 1 7 6 6 7 6 9 7 6 6 ...
 $ csp7      : int 6 9 6 6 7 6 9 7 9 6 ...
 $ csp8      : int 6 9 9 6 7 6 9 7 4 6 ...
 $ csp9      : int 6 6 9 6 7 6 9 3 4 9 ...
 $ csp10     : int 6 6 9 6 7 6 4 3 4 9 ...
 $ csp11     : int 6 6 6 6 3 6 4 3 4 6 ...
 $ csp12     : int 6 6 6 6 3 6 4 3 4 6 ...
```

13. Pour une présentation plus détaillée, voir le chapitre sur la classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459.

```

$ csp13      : int 6 6 6 6 3 6 4 3 4 6 ...
$ csp14      : int 6 4 6 6 3 6 4 3 4 6 ...
$ csp15      : int 6 4 6 6 3 6 4 3 4 6 ...
$ csp16      : int 6 4 6 6 3 6 6 3 4 6 ...
$ csp17      : int 6 4 6 6 3 6 6 3 4 6 ...
$ csp18      : int 6 4 6 6 3 6 6 3 4 6 ...
$ csp19      : int 6 4 6 6 3 6 6 3 4 6 ...
$ csp20      : int 6 4 6 6 3 6 6 3 4 6 ...
$ csp21      : int 6 4 6 6 6 6 6 3 4 6 ...
$ csp22      : int 6 4 6 6 6 6 6 3 4 4 ...
$ csp23      : int 6 4 6 6 6 6 6 3 4 4 ...
$ csp24      : int 6 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp25      : int 6 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp26      : int 6 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp27      : int 6 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp28      : int 6 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp29      : int 6 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp30      : int 4 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp31      : int 4 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp32      : int 4 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp33      : int 4 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp34      : int 4 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp35      : int 4 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp36      : int 4 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ csp37      : int 4 6 6 6 5 6 6 3 4 4 ...
$ generation: Factor w/ 3 levels "1930-38","1939-45",...: 2 1 1 3 2 3 1 1 2 1
...

```

On a bien 1000 observations et 38 variables. On définit maintenant des *labels* pour les différents états qui composent les séquences et on crée un objet « séquence » avec `seqdef` :

```
R> labels <- c("agric", "acce", "cadre", "pint", "empl",
  "ouvr", "etud", "inact", "smil")
seq <- seqdef(donnees[, 1:37], states = labels)
```

[>] state coding:

	[alphabet]	[label]	[long label]
1 1	agric	agric	
2 2	acce	acce	
3 3	cadre	cadre	

4	4	pint	pint
5	5	empl	empl
6	6	ouvr	ouvr
7	7	etud	etud
8	8	inact	inact
9	9	smil	smil
[>] 1000 sequences in the data set			
[>] min/max sequence length: 37/37			

Appariement optimal et classification

Ces étapes préalables achevées, on peut comparer les séquences en calculant les dissimilarités entre paires de séquences. On va ici utiliser la méthode la plus recommandée, l'appariement optimal (*optimal matching*). Cette méthode consiste, pour chaque paire de séquences, à compter le nombre minimal de modifications (substitutions, suppressions, insertions) qu'il faut faire subir à l'une des séquences pour obtenir l'autre. On peut considérer que chaque modification est équivalente, mais il est aussi possible de prendre en compte le fait que les distances entre les différents états n'ont pas toutes la même valeur (par exemple, la distance sociale entre emploi temps plein et chômage est plus grande qu'entre emploi temps plein et emploi temps partiel), en assignant aux différentes modifications des coûts distincts. Dans notre exemple, on va créer avec `seqsubm` une matrice des coûts de substitution dans laquelle tous les coûts sont constants et gaux 2^{14} :

```
R> couts <- seqsubm(seq, method = "CONSTANT", cval = 2)
```

```
[>] creating 9x9 substitution-cost matrix using 2 as constant value
```

Ensuite, on calcule la matrice de distances entre les séquences (i.e contenant les dissimilarités entre les séquences) avec `seqdist`, avec un coût d'insertion/suppression (*indel*) que l'on fixe ici à 1,1:

14. Le fonctionnement de l'algorithme d'appariement optimal et notamment le choix des coûts est décrit dans le chapitre 9 du manuel de **TraMineR** (<http://mephisto.unige.ch/pub/TraMineR/doc/TraMineR-Users-Guide.pdf>).

```
R> seq.om <- seqdist(seq, method = "OM", indel = 1.1,
  sm = couts)
```

```
[>] 1000 sequences with 9 distinct events/states
[>] 818 distinct sequences
[>] min/max sequence length: 37/37
[>] computing distances using OM metric
[>] total time: 1.87 secs
```

Cette matrice des distances ou des dissimilarités entre séquences peut ensuite être utilisée pour une classification ascendante hiérarchique (CAH), qui permet de regrouper les séquences en un certain nombre de classes en fonction de leur proximité:

```
R> seq.agnes <- agnes(as.dist(seq.om), method = "ward",
  keep.diss = FALSE)
```

Avec la fonction `plot`, il est possible de tracer l'arbre de la classification (dendrogramme).

```
R> plot(as.dendrogram(seq.agnes), leaflab = "none")
```

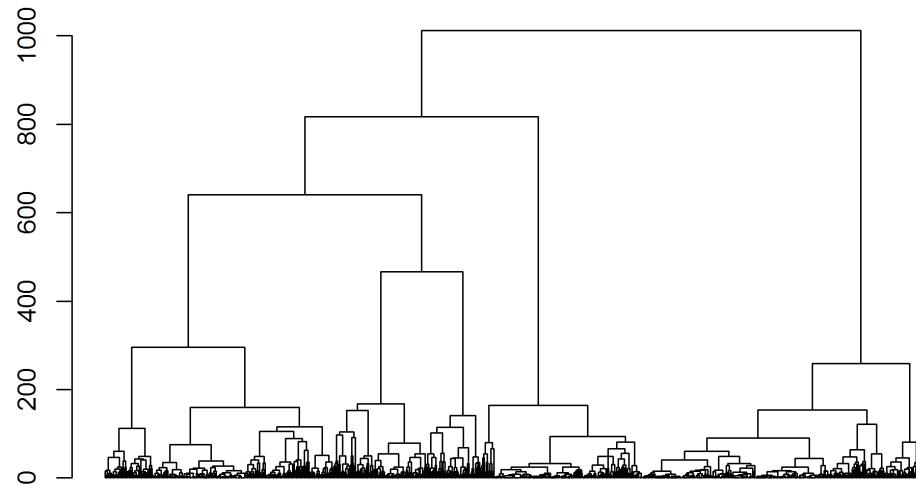


Figure 1. Dendrogramme de la classification des séquences

De même, on peut représenter les sauts d'inertie.

```
R> plot(sort(seq.agnes$height, decreasing = TRUE)[1:20],
      type = "s", xlab = "nb de classes", ylab = "inertie")
```

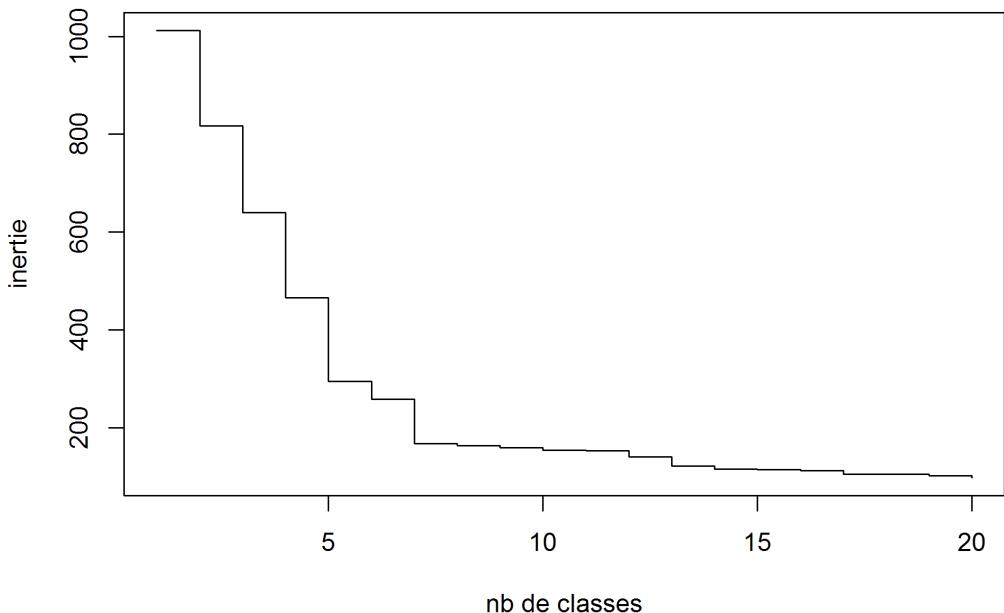


Figure 2. Sauts d'inertie de la classification des séquences

L'observation, sur ce dendrogramme ou sur la courbe des sauts d'inertie, des sauts d'inertie des dernières étapes de la classification peut servir de guide pour déterminer le nombre de classes que l'on va retenir pour la suite des analyses. Une première inflexion dans la courbe des sauts d'inertie apparaît au niveau d'une partition en 5 classes. On voit aussi une seconde inflexion assez nette à 7 classes. Mais il faut garder en tête le fait que ces outils ne sont que des guides, le choix devant avant tout se faire après différents essais, en fonction de l'intérêt des résultats par rapport à la question de recherche et en arbitrant entre exhaustivité et parcimonie.

On fait ici le choix d'une partition en 5 classes :

```
R> nbcl <- 5
  seq.part <- cutree(seq.agnes, nbcl)
  seq.part <- factor(seq.part, labels = paste("classe",
    1:nbcl, sep = "."))
```

Représentations graphiques

Pour se faire une première idée de la nature des classes de la typologie, il existe un certain nombre de représentations graphiques. Les chronogrammes (*state distribution plots*) présentent une série de coupes transversales : pour chaque âge, on a les proportions d’individus de la classe dans les différentes situations (agriculteur, étudiant, etc.). Ce graphique s’obtient avec `seqdplot` :

```
R> seqdplot(seq, group = seq.part, xlab = 14:50, border = NA,
           withlegend = T)
```

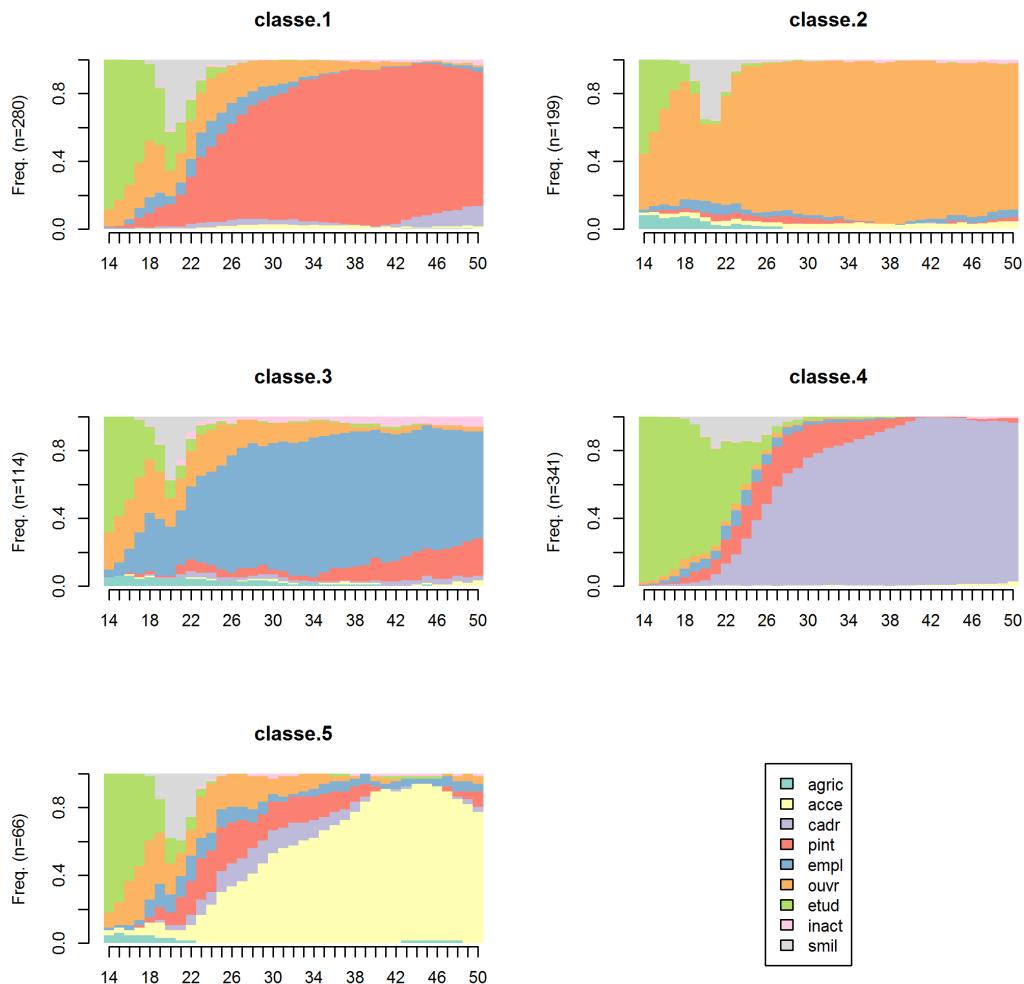


Figure 3. Chronogrammes

Chacune des classes semble caractérisée par un groupe professionnel principal : profession intermédiaire pour la classe 1, ouvrier pour la 2, employé pour la 3, cadre pour la 4 et indépendant pour la 5. Cependant, on aperçoit aussi des couches d'autres couleurs, indiquant que l'ensemble des carrières ne sont probablement pas stables.

Les tapis (index plots), obtenus avec `seqiplot`, permettent de mieux visualiser la dimension individuelle des séquences. Chaque segment horizontal représente une séquence, découpée en sous-segments correspondant aux différents états successifs qui composent la séquence.

```
R> seqiplot(seq, group = seq.part, xlab = 14:50, tlim = 0,
           space = 0, border = NA, withlegend = T, yaxis = FALSE)
```

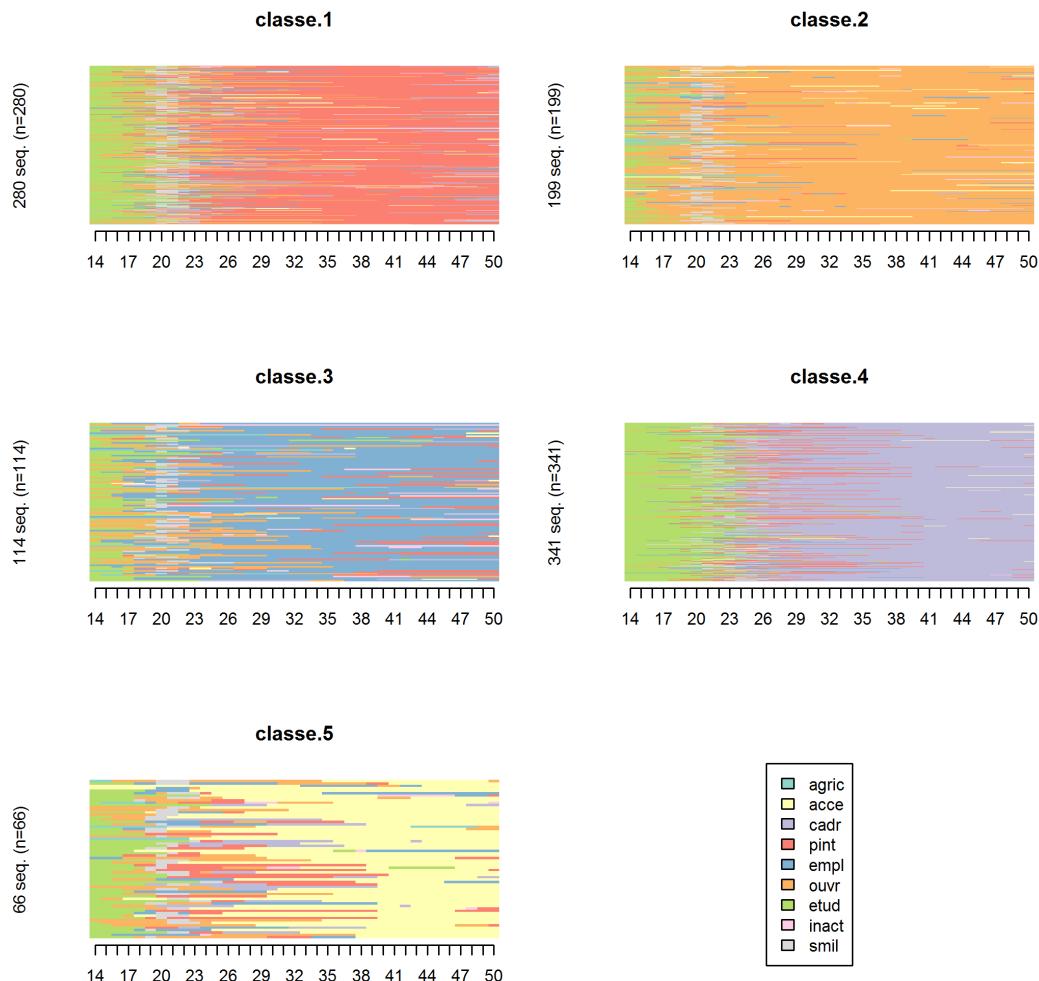


Figure 4. Tapis des séquences triées

Il est possible de trier les séquences pour rendre les tapis plus lisibles (on trie ici par *multidimensional scaling* à l'aide de la fonction `cmdscale`).

```
R> ordre <- cmdscale(as.dist(seq.om), k = 1)
seqiplot(seq, group = seq.part, sortv = ordre, xlab = 14:50,
         tlim = 0, space = 0, border = NA, withlegend = T,
         yaxis = FALSE)
```

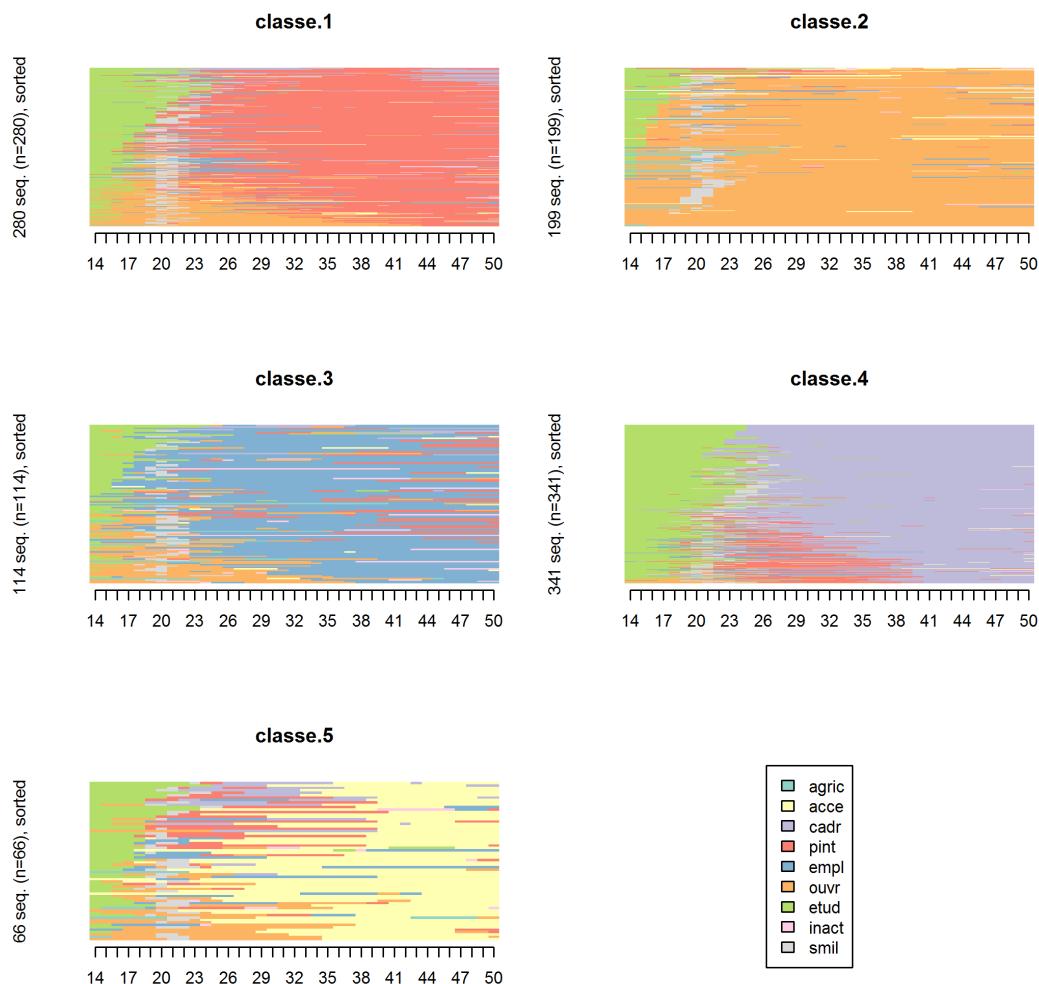


Figure 5. Tapis des séquences triés par multidimensional scaling

On voit mieux apparaître ainsi l'héritage n°1 de certaines classes. Les classes 1, 3 et 4, par exemple, semblent regrouper des carrières relativement stables (respectivement de professions intermédiaires, d'employés et de cadres) et des carrières plus mobiles commencées comme ouvrier (classes 1 et 3, en orange) ou comme profession intermédiaire (classe 4, en rouge). De même, la majorité des membres de la dernière classe commencent leur carrière dans un groupe

professionnel distinct de celui qu’ils occuperont par la suite (indépendants). Ces distinctions apparaissent d’ailleurs si on relance le programme avec un nombre plus élevé de classes (en remplaçant le 5 de la ligne `nbcl <- 5` par 7, seconde inflexion de la courbe des sauts d’inertie, et en exécutant de nouveau le programme à partir de cette ligne) : les stables et les mobiles se trouvent alors dans des classes distinctes.

Le package **JLutils**, disponible sur [GitHub](#), propose une fonction `seq_heatmap` permettant de représenter le tapis de l’ensemble des séquences selon l’ordre du dendrogramme.

Pour installer **JLutils**, on aura recours au package **devtools** et à sa fonction `install_github` :

```
R> library(devtools)
  install_github("larmarange/JLutils")
```

On peut ensuite générer le graphique ainsi :

```
R> library(JLutils)
```

Loading required package: ggplot2

```
R> seq_heatmap(seq, seq.agnes, labCol = 14:50)
```

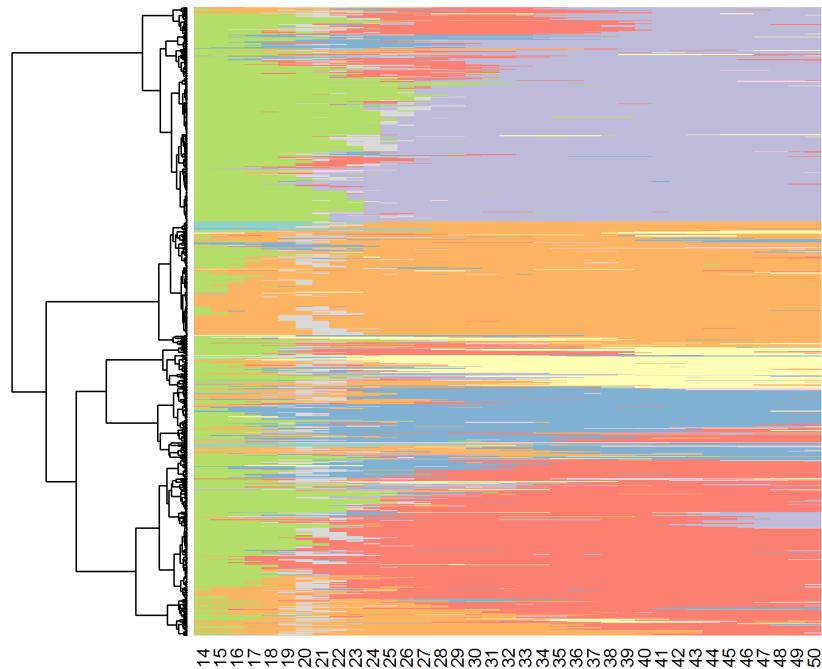


Figure 6. Tapis des séquences triées selon le dendrogramme

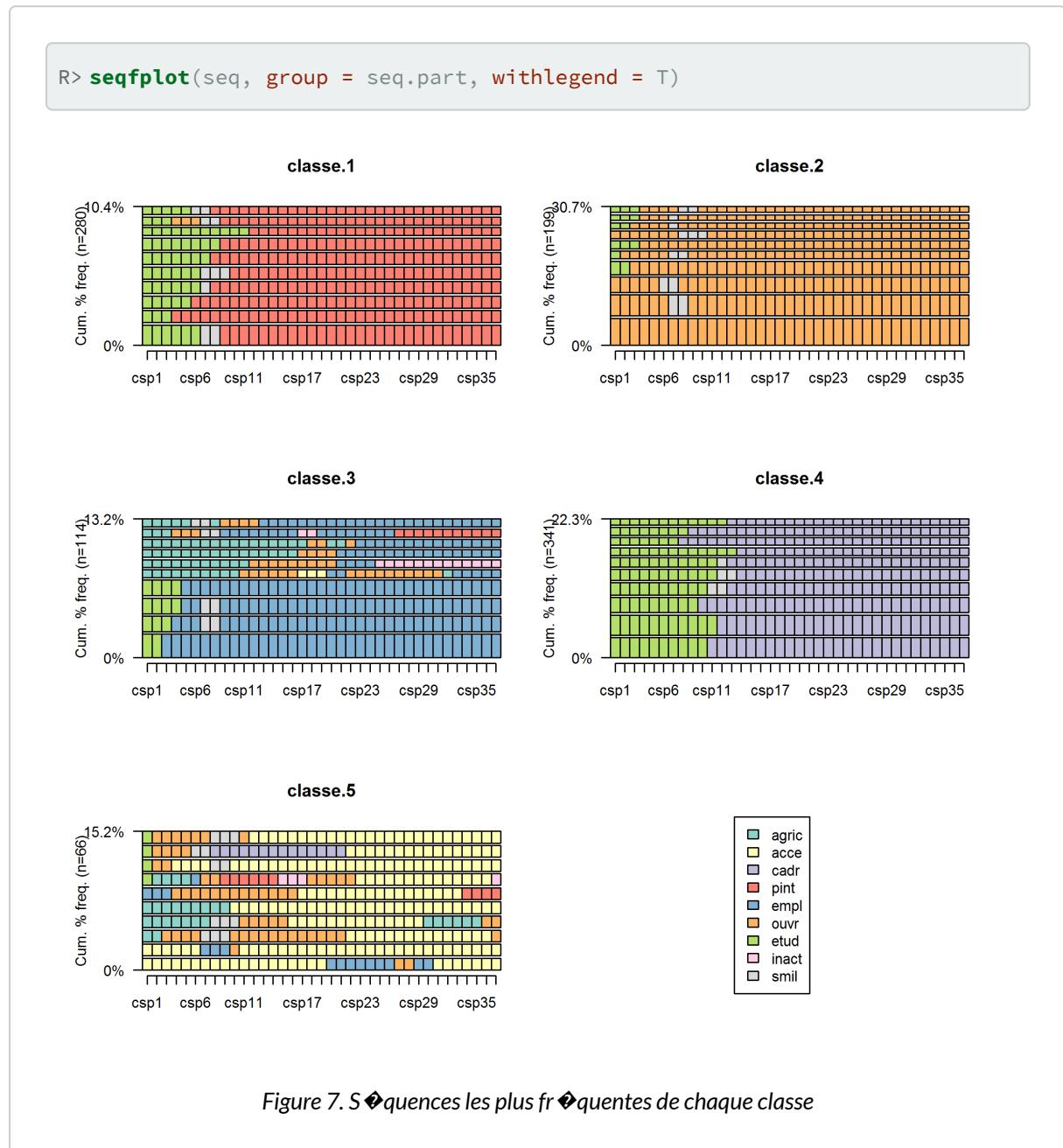
La distance moyenne des séquences d'une classe au centre de cette classe, obtenue avec `disscenter`, permet de mesurer plus précisément l'homogénéité des classes :

```
R> round(aggregate(disscenter(as.dist(seq.om)), group = seq.part),
       list(seq.part), mean)[, -1], 1)
```

[1] 13.1 8.9 15.6 9.7 16.5

Cela nous confirme que les classes 1, 3 et 5 sont nettement plus hétérogènes que les autres, alors que la classe 2 est la plus homogène.

D'autres représentations graphiques existent pour poursuivre l'examen de la typologie. On peut visualiser les 10 séquences les plus fréquentes de chaque classe avec `seqfplot`.



On peut aussi visualiser avec `seqmsplot` l'état modal (celui qui correspond au plus grand nombre de séquences de la classe) à chaque fois.

```
R> seqmsplot(seq, group = seq.part, xlab = 14:50, withlegend = T,
            title = "classe")
```

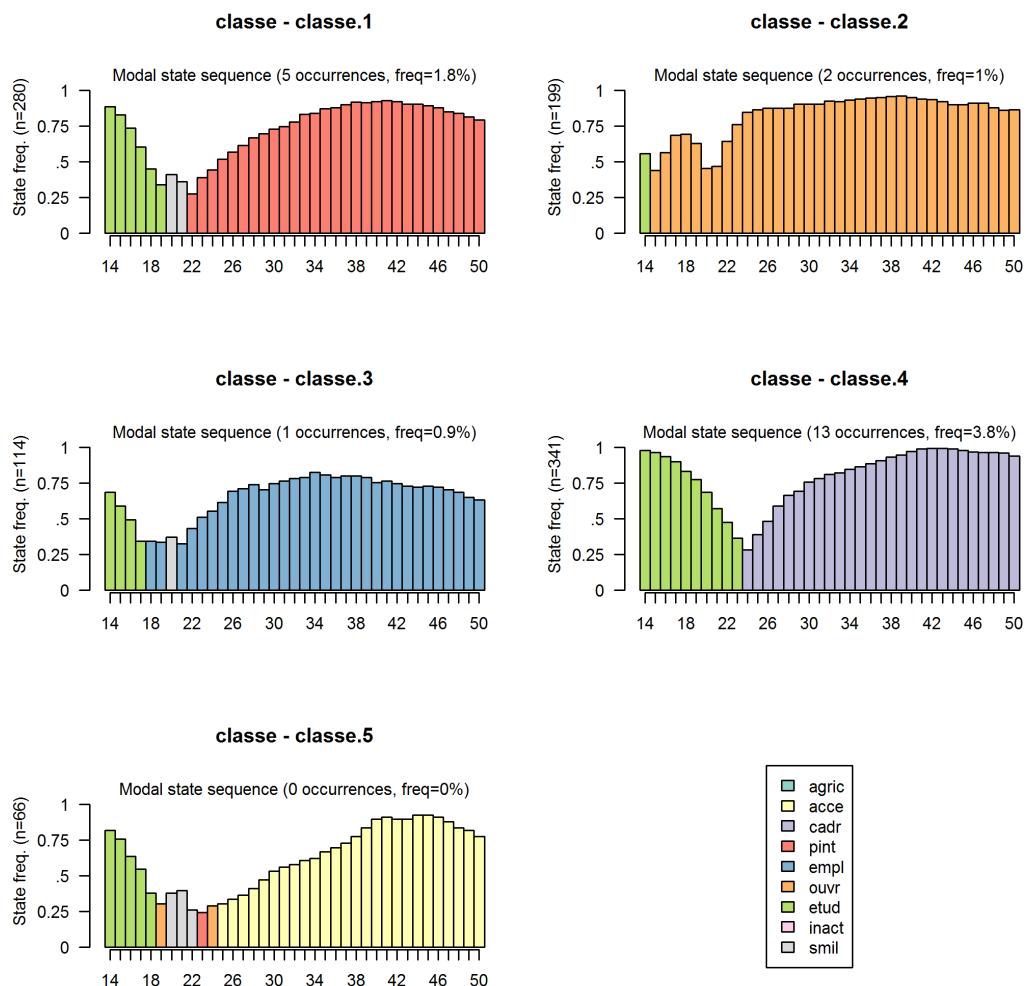


Figure 8. Statut modal à chaque âge

On peut également représenter avec `seqmtpplot` les durées moyennes passées dans les différents états.

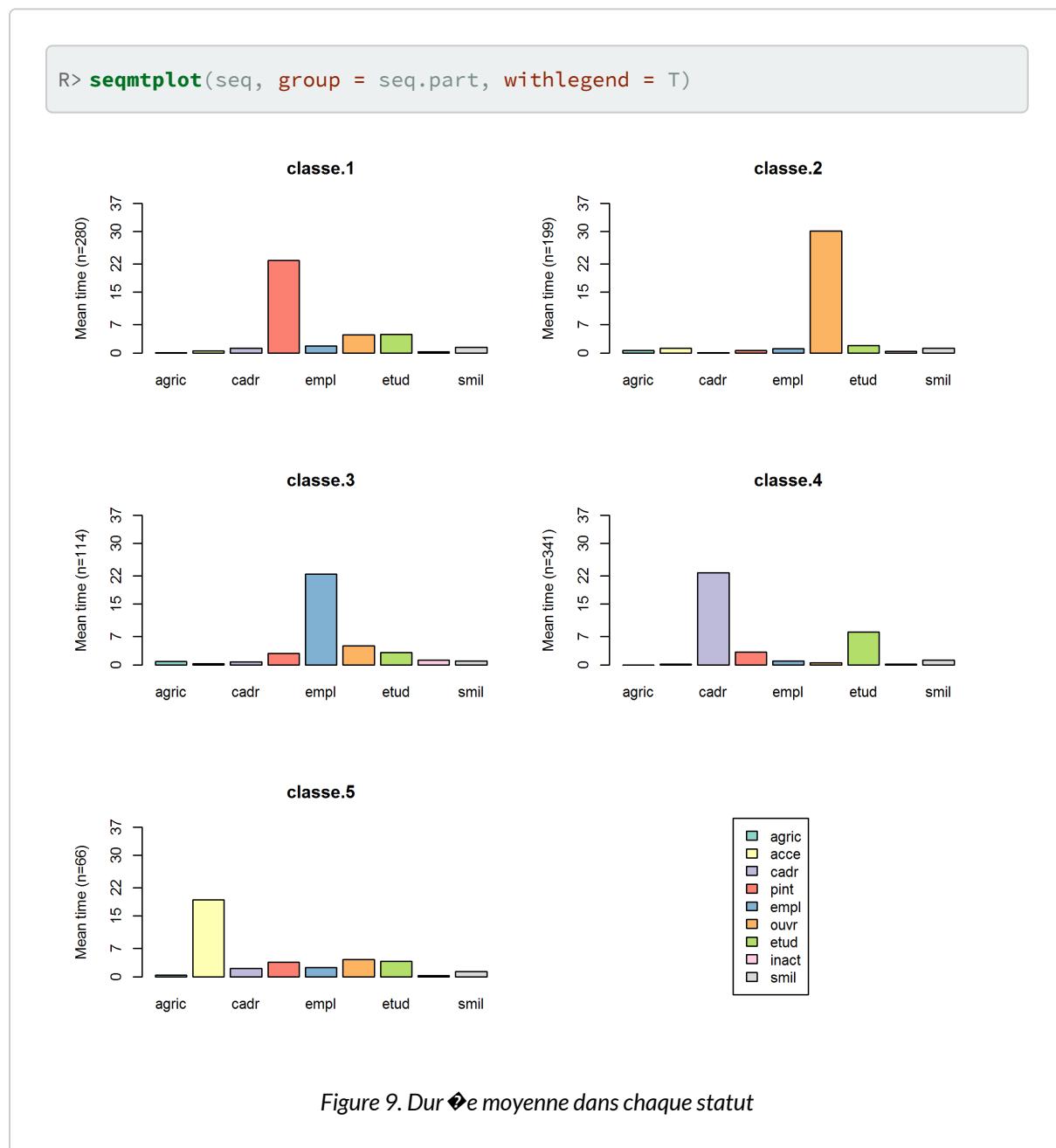


Figure 9. Durée moyenne dans chaque statut

Enfin, l'entropie transversale décrit l'évolution de l'homogénéité de la classe. Pour un usage donné, une entropie proche de 0 signifie que tous les individus de la classe (ou presque) sont dans la même situation. À l'inverse, l'entropie est de 1 si les individus sont dispersés dans toutes les situations. Ce type de graphique produit par `seqHtplot` peut être pratique pour localiser les moments de transition, l'insertion professionnelle ou une mobilité sociale ascendante.

```
R> seqHtplot(seq, group = seq.part, xlab = 14:50, withlegend = T)
```

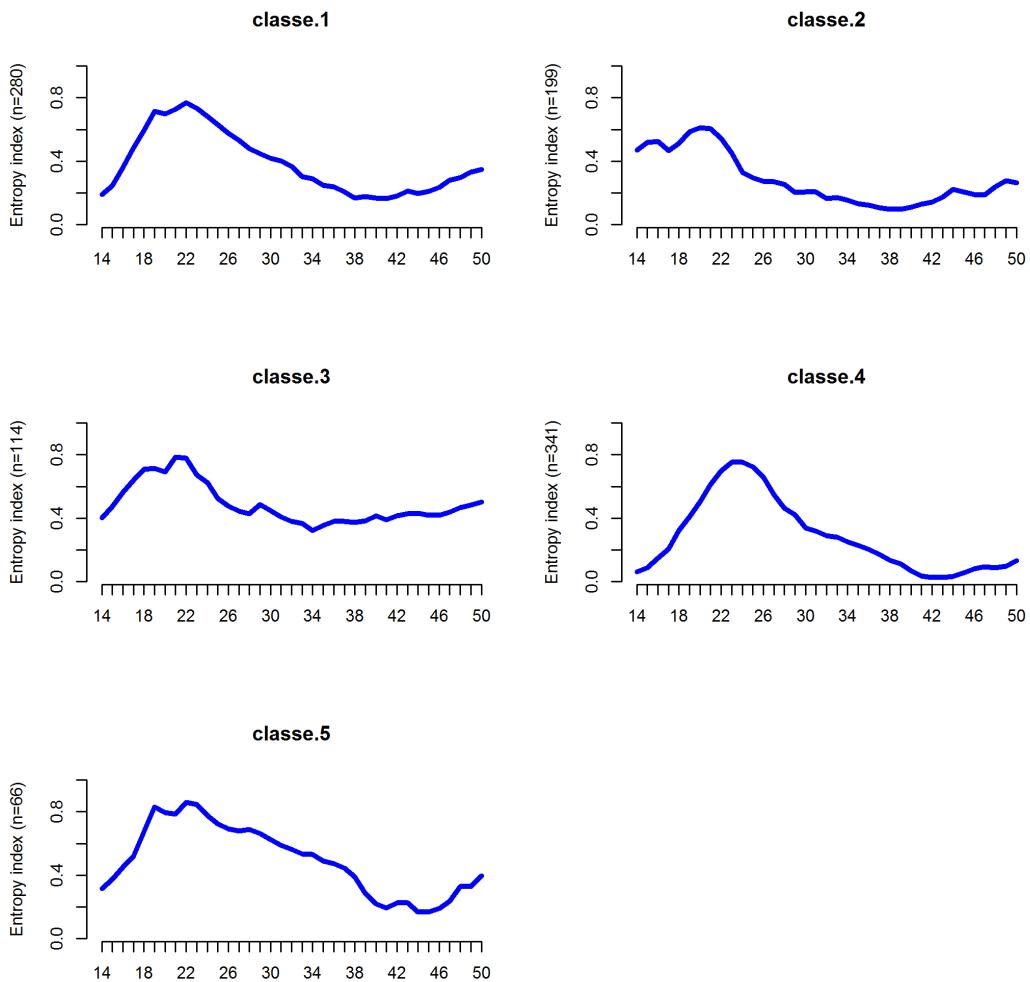


Figure 10. Entropie transversale

On souhaite maintenant connaître la distribution de la typologie (en effectifs et en pourcentages) :

```
R> library(questionr)
    freq(seq.part)
```

	n	%	val%
classe.1	280	28.0	28.0

```
classe.2 199 19.9 19.9
classe.3 114 11.4 11.4
classe.4 341 34.1 34.1
classe.5 66 6.6 6.6
NA       0 0.0  NA
```

On poursuit ensuite la description des classes en croisant la typologie avec la variable *generation*:

```
R> cprop(table(seq.part, donnees$generation))
```

seq.part	1930-38	1939-45	1946-50	Ensemble
classe.1	25.6	27.1	31.0	28.0
classe.2	20.9	20.0	18.9	19.9
classe.3	7.9	13.6	12.9	11.4
classe.4	38.2	31.9	32.1	34.1
classe.5	7.4	7.5	5.2	6.6
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

```
R> chisq.test(table(seq.part, donnees$generation))
```

Pearson's Chi-squared test

```
data: table(seq.part, donnees$generation)
X-squared = 12.032, df = 8, p-value = 0.1498
```

Le lien entre le fait d'avoir un certain type de carrières et la cohorte de naissance est significatif à un seuil de 15%. On constate par exemple l'augmentation continue de la proportion de carrières de type professions intermédiaires (classe 1) et, entre les deux cohortes les plus anciennes, l'augmentation de la part des carrières de type employés (classe 3) et la baisse de la part des carrières de type cadres (classe 4).

Bien d'autres analyses sont envisageables: croiser la typologie avec d'autres variables (origine sociale, etc.), construire l'espace des carrières possibles, étudier les interactions entre trajectoires familiales et professionnelles, analyser la variance des dissimilarités entre séquences en fonction de plusieurs variables explicatives¹⁵

15. L'articulation entre méthodes descriptives et méthodes explicatives est un prolongement possible de l'analyse de séquences. Cependant, l'analyse de séquences était envisagée par Abbott comme une alternative à la sociologie quantitative *mainstream*, i.e le paradigme des variables et ses hypothèses implicites souvent difficilement tenables (Abbott, 2001). Une bonne description solidement fondée théoriquement vaut bien des modèles explicatifs (Savage, 2009).

Mais l'exemple proposé est sans doute bien suffisant pour une première introduction !

Bibliographie

- Abbott A., 2001, *Time matters. On theory and method*, The University of Chicago Press.
- Abbott A., Hrycak A., 1990, Measuring resemblance in sequence data: an optimal matching analysis of musicians careers, *American journal of sociology*, (96), p.144-185.
<http://www.jstor.org/stable/10.2307/2780695>
- Abbott A., Tsay A., 2000, Sequence analysis and optimal matching methods in sociology: Review and prospect, *Sociological methods & research*, 29(1), p.3-33.
<http://smr.sagepub.com/content/29/1/3.short>
- Gabadinho, A., Ritschard, G., Mäler, N.S. & Studer, M., 2011, Analyzing and visualizing state sequences in R with TraMineR, *Journal of Statistical Software*, 40(4), p.1-37.
<http://archive-ouverte.unige.ch/downloader/vital/pdf/tmp/4hff8pe6uhukqjavvgaluqmjq2/out.pdf>
- Grelet Y., 2002, Des typologies de parcours. Méthodes et usages, Document Generation 92, (20), 47 p. http://www.cmh.greco.ens.fr/programs/Grelet_typolparc.pdf
- Lelièvre J., Vivier G., 2001, Évaluation d'une collecte : la croisée du quantitatif et du qualitatif : l'enquête Biographies et entourage, *Population*, (6), p.1043-1073.
http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/pop_0032-4663_2001_num_56_6_7217
- Lemercier C., 2005, Les carrières des membres des institutions consulaires parisiennes au XIX^e siècle, *Histoire et mesure*, XX (1-2), p.59-95. <http://histoiremesure.revues.org/786>
- Lesnard L., 2008, Off-Scheduling within Dual-Earner Couples: An Unequal and Negative Externality for Family Time, *American Journal of Sociology*, 114(2), p.447-490.
http://laurent.lesnard.free.fr/IMG/pdf/lesnard_2008_off-scheduling_within_dual-earner_couples-2.pdf
- Lesnard L., Saint Pol T. (de), 2006, Introduction aux Méthodes d'Appariement Optimal (Optimal Matching Analysis), *Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 90, p.5-25.
<http://bms.revues.org/index638.html>
- Robette N., 2011, *Explorer et décrire les parcours de vie : les typologies de trajectoires*, Ceped (Les Clefs pour), 86 p. http://nicolas.robette.free.fr/Docs/Robette2011_Manuel_TypoTraj.pdf
- Robette N., 2012, Du prosélytisme à la secularisation. Le processus de diffusion de l'Optimal Matching Analysis, document de travail. http://nicolas.robette.free.fr/Docs/Proselytisme_secularisation_NRobette.pdf
- Robette N., Bry X., 2012, Harpoon or bait? A comparison of various metrics to fish for life course patterns, *Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 116, p.5-24.
http://nicolas.robette.free.fr/Docs/Harpoon_maggot_RobetteBry.pdf
- Robette N., Thibault N., 2008, L'analyse exploratoire de trajectoires professionnelles : analyse harmonique qualitative ou appariement optimal?, *Population*, 64(3), p.621-646.
<http://www.cairn.info/revue-population-2008-4-p-621.htm>

- Savage M., 2009, *Contemporary Sociology and the Challenge of Descriptive Assemblage*, *European Journal of Social Theory*, 12(1), p.155-174. <http://est.sagepub.com/content/12/1/155.short>

Analyse de réseaux

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Analyse spatiale

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

ggplot2[?]: la grammaire des graphiques

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'~~écriture~~criture.

◆?tendre ggplot2

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d◆criture.

lattice[?]: graphiques et formules

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'~~écriture~~.

Diagrams

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Représenter des flux

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

R?seaux dynamiques

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d?criture.

ggvis◆: les graphiques interactifs

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'◆◆criture.

htmlwidgets♦: la puissance de javascript

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d♦criture.

Cartes

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Conditions et comparaisons

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Une condition est une expression logique dont le résultat est soit `TRUE` (vrai) soit `FALSE` (faux).

Une condition comprend la plupart du temps un opérateur de comparaison. Les plus courants sont les suivants :

Opérateur de comparaison	Signification
<code>==</code>	égal
<code>!=</code>	différent de
<code>></code>	strictement supérieur
<code><</code>	strictement inférieur
<code>>=</code>	supérieur ou égal
<code><=</code>	inférieur ou égal

Voyons tout de suite un exemple :

```
R> library(questionr)
data(hdv2003)
d <- hdv2003
str(d$sexe == "Homme")
```

```
logi [1:2000] FALSE FALSE TRUE TRUE FALSE FALSE ...
```

Que s'est-il passé ? Nous avons fourni à R une condition qui signifie que la valeur de la variable sexe vaut "Homme". Et il nous a renvoyé un vecteur avec autant d'éléments qu'il y a

d'observations dans `d`, et dont la valeur est `TRUE` si l'observation correspond à un homme et `FALSE` dans les autres cas.

Prenons un autre exemple. On n'affichera cette fois que les premiers éléments de notre variable `d$intertot` à l'aide de la fonction `head` :

```
R> head(d$age)
```

```
[1] 28 23 59 34 71 35
```

```
R> head(d$age > 40)
```

```
[1] FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE
```

On voit bien ici qu'à chaque élément du vecteur `d$age` dont la valeur est supérieure à 40 correspond un élément `TRUE` dans le résultat de la condition.

On peut combiner ou modifier des conditions à l'aide des opérateurs logiques habituels :

Opérateur logique	Signification
<code>&</code>	et logique
<code> </code>	ou logique
<code>!</code>	négation logique

Comment les utilise-t-on ? Voyons tout de suite des exemples. Supposons que je veuille déterminer quels sont dans mon échantillon les hommes ouvriers spécialisés :

```
R> d$sex == "Homme" & d$qualif == "Ouvrier specialise"
```

Si je souhaite identifier les personnes qui bricolent ou qui font la cuisine :

```
R> d$bricol == "Oui" | d$cuisine == "Oui"
```

Si je souhaite isoler les femmes qui ont entre 20 et 34 ans :

```
R> d$sex == "Femme" & d$age >= 20 & d$age <= 34
```

Si je souhaite recuperer les enquêtes qui ne sont pas cadres, on peut utiliser l'une des deux formes suivantes :

```
R> d$qualif != "Cadre"
  !(d$qualif == "Cadre")
```

Lorsqu'on mélange et et et ou ou il est nécessaire d'utiliser des parenthèses pour différencier les blocs. La condition suivante identifie les femmes qui sont soit cadre, soit employée:

```
R> d$sex == "Femme" & (d$qualif == "Employe" | d$qualif ==
  "Cadre"))
```

L'opérateur %in% peut être très utile: il teste si une valeur fait partie des éléments d'un vecteur. Ainsi on pourrait remplacer la condition précédente par:

```
R> d$sex == "Femme" & d$qualif %in% c("Employe", "Cadre")
```

Enfin, signalons qu'on peut utiliser les fonctions `table` ou `summary` pour avoir une idée du résultat de notre condition:

```
R> table(d$sex)
```

Homme	Femme
899	1101

```
R> table(d$sex == "Homme")
```

FALSE	TRUE
1101	899

```
R> summary(d$sex == "Homme")
```

Mode	FALSE	TRUE	NA's
logical	1101	899	0

Formules

Statistiques descriptives	539
Tableaux croisés avec xtabs	540
Statistiques bivari�es avec aggregate	544
Panels graphiques avec lattice	546
Visualisation bivariée	548
Visualisation par «petits multiples»	548
Pour aller plus loin	550

Ce chapitre vise   illustrer l utilisation de la notation «formule» de R, qui désigne l emploi de cette notation par l expression `formula`. Cette notation est utilis e par de très nombreuses fonctions de R: on en a notamment vu plusieurs exemples dans le [chapitre sur les graphiques bivariés](#), car l extension `ggplot2` se sert de cette notation dans ses paramètres `facet_wrap` et `facet_grid`.

Dans ce chapitre, on verra comment se servir de la notation «formule» dans deux contextes différents. D une part, on verra que deux fonctions basiques de R se servent de cette notation pour produire des tableaux croisés et des statistiques bivari es. D autre part, on verra que l extension `lattice` se sert de cette notation pour créer des graphiques «panelis s», dits graphiques   «petits multiples».

Dans plusieurs autres chapitres, les opérations décrites ci-dessus sont effectu es avec les extensions `dplyr` d une part, et `ggplot2` d autre part. On se servira également de ces extensions dans ce chapitre, de manière   mener une comparaison des différentes manières d effectuer certaines opérations dans R, avec ou sans la notation «formule»:

```
R> library(dplyr)
library(ggplot2)
```

Statistiques descriptives

Les premiers exemples de ce chapitre montrent l utilisation de cette notation pour produire des tableaux croisés et des statistiques descriptives. Le jeu de données utilisé, `hdv2003`, a déjà t 

utilisées dans plusieurs chapitres, et font partie de l'extension `questionr`. Chargeons cette extension et le jeu de données `hdv2003` :

```
R> library(questionr)
  data(hdv2003)
```

Pour rappel, ce jeu de données contient des individus, leur âge, leur statut professionnel, et le nombre d'heures quotidiennes passées à regarder la télévision.

```
R> glimpse(hdv2003, 75)
```

```
Observations: 2,000
Variables: 20
$ id          (int) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 1...
$ age         (int) 28, 23, 59, 34, 71, 35, 60, 47, 20, 28, 65, 47, ...
$ sexe        (fctr) Femme, Femme, Homme, Homme, Femme, Femme, Femme...
$ nivetud     (fctr) Enseignement superieur y compris technique supe...
$ poids        (dbl) 2634.3982, 9738.3958, 3994.1025, 5731.6615, 4329...
$ occup        (fctr) Exerce une profession, Etudiant, eleve, Exerce ...
$ qualif       (fctr) Employe, NA, Technicien, Technicien, Employe, E...
$ freres.soeurs (int) 8, 2, 2, 1, 0, 5, 1, 5, 4, 2, 3, 4, 1, 5, 2, 3, ...
$ cuso         (fctr) Oui, Oui, Non, Non, Oui, Non, Oui, Non, Oui, No...
$ relig         (fctr) Ni croyance ni appartenance, Ni croyance ni app...
$ trav.imp      (fctr) Peu important, NA, Aussi important que le reste...
$ trav.satisf   (fctr) Insatisfaction, NA, Equilibre, Satisfaction, NA...
$ hard.rock     (fctr) Non, Non, Non, Non, Non, Non, Non, Non, Non, No...
$ lecture.bd    (fctr) Non, Non, Non, Non, Non, Non, Non, Non, Non, No...
$ peche.chasse  (fctr) Non, Non, Non, Non, Non, Non, Oui, Oui, Non, No...
$ cuisine        (fctr) Oui, Non, Non, Oui, Non, Non, Oui, Oui, Non, No...
$ bricol         (fctr) Non, Non, Non, Oui, Non, Non, Non, Oui, Non, No...
$ cinema         (fctr) Non, Oui, Non, Oui, Non, Oui, Non, Non, Oui, Ou...
$ sport          (fctr) Non, Oui, Oui, Oui, Non, Oui, Non, Non, Non, Ou...
$ heures.tv      (dbl) 0.0, 1.0, 0.0, 2.0, 3.0, 2.0, 2.9, 1.0, 2.0, 2.0...
```

Tableaux croisés avec xtabs

Utilisons, pour ce premier exemple, la variable `occup` du jeu de données `hdv2003`, qui correspond au statut professionnel des individus inclus dans l'échantillon. La fonction de base pour compter les individus par statut est la fonction `table` :

```
R> table(hdv2003$occup)
```

Exerce une profession	Chomeur
1049	134
Etudiant, eleve	Retraite
94	392
Retire des affaires	Au foyer
77	171
Autre inactif	
83	

Avec la fonction `xtabs`, le même résultat est produit à partir de la notation suivante :

```
R> xtabs(~occup, data = hdv2003)
```

occup	
Exerce une profession	Chomeur
1049	134
Etudiant, eleve	Retraite
94	392
Retire des affaires	Au foyer
77	171
Autre inactif	
83	

Le premier argument est une formule, au sens où R entend cette expression. Le second argument, `data`, correspond au jeu de données auquel la formule doit être appliquée. On pourra se passer d'écrire explicitement cet argument dans les exemples suivants.

L'avantage de la fonction `xtabs` n'est pas évident dans ce premier exemple. En réalité, cette fonction devient utile lorsque l'on souhaite construire un ou plusieurs tableau(x) croisé(s). Par exemple, pour croiser la variable `occup` avec la variable `sexe`, une solution consiste à écrire :

```
R> with(hdv2003, table(occup, sexe))
```

occup	sexe	
	Homme	Femme
Exerce une profession	520	529
Chomeur	54	80
Etudiant, eleve	48	46
Retraite	208	184
Retire des affaires	39	38

Au foyer	0	171
Autre inactif	30	53

Ou alors, ce qui revient au même :

```
R> table(hdv2003$occup, hdv2003$sex)
```

Avec `xtabs`, la même opération se écrit de la manière suivante :

```
R> xtabs(~occup + sexe, hdv2003)
```

occup	sexe	
	Homme	Femme
Exerce une profession	520	529
Chomeur	54	80
Etudiant, élève	48	46
Retraite	208	184
Retire des affaires	39	38
Au foyer	0	171
Autre inactif	30	53

Cette écriture est plus courte que le code équivalent dans `dplyr` :

```
R> group_by(hdv2003, occup) %>%
  summarise(Homme = sum(sexe == "Homme"),
            Femme = sum(sexe == "Femme"))
```

Source: local data frame [7 x 3]

	occup	Homme	Femme
	(fctr)	(int)	(int)
1	Exerce une profession	520	529
2	Chomeur	54	80
3	Etudiant, élève	48	46
4	Retraite	208	184
5	Retire des affaires	39	38
6	Au foyer	0	171
7	Autre inactif	30	53

De plus, `xtabs` permet de créer plusieurs tableaux croisés en une seule formule :

```
R> xtabs(~occup + sexe + trav.imp, hdv2003)
```

, , trav.imp = Le plus important

occup	sexe	
	Homme	Femme
Exerce une profession	13	16
Chomeur	0	0
Etudiant, eleve	0	0
Retraite	0	0
Retire des affaires	0	0
Au foyer	0	0
Autre inactif	0	0

, , trav.imp = Aussi important que le reste

occup	sexe	
	Homme	Femme
Exerce une profession	159	100
Chomeur	0	0
Etudiant, eleve	0	0
Retraite	0	0
Retire des affaires	0	0
Au foyer	0	0
Autre inactif	0	0

, , trav.imp = Moins important que le reste

occup	sexe	
	Homme	Femme
Exerce une profession	328	380
Chomeur	0	0
Etudiant, eleve	0	0
Retraite	0	0
Retire des affaires	0	0
Au foyer	0	0
Autre inactif	0	0

, , trav.imp = Peu important

occup	sexe	
	Homme	Femme
Exerce une profession	20	32
Chomeur	0	0
Etudiant, eleve	0	0
Retraite	0	0

Retire des affaires	0	0
Au foyer	0	0
Autre inactif	0	0

Cet exemple permet simplement de réaliser que la variable `trav.imp`, qui contient les réponses à une question portant sur l'importance du travail, n'a pas été mesurée (c'est-à-dire que la question n'a pas posé) qu'aux seuls individus actifs de l'échantillon.

Statistiques bivariées avec aggregate

```
R> aggregate(heures.tv ~ sexe, mean, data = hdv2003)
```

sexe	heures.tv
1 Homme	2.219330
2 Femme	2.268727

Ici, le premier argument est à nouveau une formule. Le second argument correspond à la statistique descriptive que l'on souhaite obtenir, et le dernier argument indique le jeu de données auquel appliquer les deux autres arguments. On peut d'ailleurs obtenir le même résultat en respectant de manière plus stricte l'ordre des arguments dans la syntaxe de la fonction `aggregate` :

```
R> aggregate(heures.tv ~ sexe, hdv2003, mean)
```

sexe	heures.tv
1 Homme	2.219330
2 Femme	2.268727

Cette écriture est, à nouveau, plus compacte que le code équivalent dans `dplyr`, qui demande de spécifier le retrait des valeurs manquantes :

```
R> group_by(hdv2003, sexe) %>%
  summarise(heures.tv = mean(heures.tv, na.rm = TRUE))
```

À nouveau, on va pouvoir combiner plusieurs variables dans la formule que l'on passe à `aggregate`, ce qui va permettre d'obtenir la moyenne des heures de télévision quotidiennes par sexe et par statut professionnel :

```
R> aggregate(heures.tv ~ sexe + occup, hdv2003, mean)
```

	sexe	occup	heures.tv
1	Homme	Exerce une profession	1.920463
2	Femme	Exerce une profession	1.724953
3	Homme	Chomeur	2.853846
4	Femme	Chomeur	2.888608
5	Homme	Etudiant, eleve	1.400000
6	Femme	Etudiant, eleve	1.256522
7	Homme	Retraite	2.826442
8	Femme	Retraite	2.877174
9	Homme	Retire des affaires	2.410256
10	Femme	Retire des affaires	2.844737
11	Femme	Au foyer	2.822222
12	Homme	Autre inactif	3.133333
13	Femme	Autre inactif	3.339623

La même opération demanderait toujours un peu plus de code avec `dplyr`:

```
R> group_by(hdv2003, occup, sexe) %>%
  summarise(heures.tv = mean(heures.tv, na.rm = TRUE))
```

La fonction `aggregate` permet bien sûr d'utiliser une autre fonction que la moyenne, comme dans cet exemple, suivi de son équivalent avec `dplyr`:

```
R> # Age median par sexe et statut professionnel
  aggregate(age ~ sexe + occup, hdv2003, median)
```

	sexe	occup	age
1	Homme	Exerce une profession	42.0
2	Femme	Exerce une profession	41.0
3	Homme	Chomeur	35.5
4	Femme	Chomeur	40.0
5	Homme	Etudiant, eleve	20.0
6	Femme	Etudiant, eleve	20.5
7	Homme	Retraite	68.0
8	Femme	Retraite	69.0
9	Homme	Retire des affaires	70.0
10	Femme	Retire des affaires	74.0
11	Femme	Au foyer	51.0
12	Homme	Autre inactif	56.0
13	Femme	Autre inactif	58.0

```
R> # code équivalent avec l'extension 'dplyr'
  group_by(hdv2003, occup, sexe) %>%
    summarise(age = median(age, na.rm = TRUE))
```

La fonction `aggregate` permet, par ailleurs, d'obtenir des résultats sur plusieurs colonnes. Dans l'exemple ci-dessus, on illustre ce principe avec la fonction `range`, qui renvoie deux résultats (la valeur minimale et la valeur maximale de la variable, qui est toujours la variable `age`), chacun présentés dans une colonne :

```
R> aggregate(age ~ sexe + occup, hdv2003, range)
```

	sexe	occup	age.1	age.2
1	Homme	Exerce une profession	18	63
2	Femme	Exerce une profession	18	67
3	Homme	Chomeur	18	63
4	Femme	Chomeur	18	63
5	Homme	Etudiant, élève	18	34
6	Femme	Etudiant, élève	18	35
7	Homme	Retraite	48	92
8	Femme	Retraite	41	96
9	Homme	Retire des affaires	57	91
10	Femme	Retire des affaires	57	93
11	Femme	Au foyer	22	90
12	Homme	Autre inactif	39	71
13	Femme	Autre inactif	19	97

Cette fonction ne peut pas être facilement écrite dans `dplyr` sans redécrire chacune des colonnes, ce que le bloc de code suivant illustre. On y gagne en lisibilité dans les intitulés de colonnes :

```
R> group_by(hdv2003, occup, sexe) %>%
  summarise(min = min(age, na.rm = TRUE),
            max = max(age, na.rm = TRUE))
```

Panels graphiques avec lattice

Les exemples suivants montreront ensuite comment la notation «formule» peut servir à produire des graphiques par panel avec l'extension `lattice`.

```
R> library(lattice)
```

NOTE

L'extension **lattice** présente l'avantage d'être installée par défaut avec R. Il n'est donc pas nécessaire de l'installer séparément.

Chargeons les mêmes données que le [chapitre sur les graphiques bivariés](#).

```
R> # charger l'extension lisant le format CSV
library(readr)

# emplacement souhaité pour le jeu de données
file = "data/debt.csv"

# télécharger le jeu de données s'il n'existe pas
if(!file.exists(file))
  download.file("http://www.stat.cmu.edu/~cshalizi/uADA/13/hw/11/debt.csv",
                file, mode = "wb")

# charger les données dans l'objet 'debt'
debt = read_csv(file)
```

Rejetons rapidement un coup d'œil à ces données, qui sont structurées par pays (variable *CountryYear*). On y trouve deux variables, *growth* (le taux de croissance du produit intérieur brut réel), et *ratio* (le ratio entre la dette publique et le produit intérieur brut), ainsi qu'une première colonne vide, ne contenant que des numéros lignes, dont on va se débarrasser :

```
R> # inspection des données
glimpse(debt, 75)
```

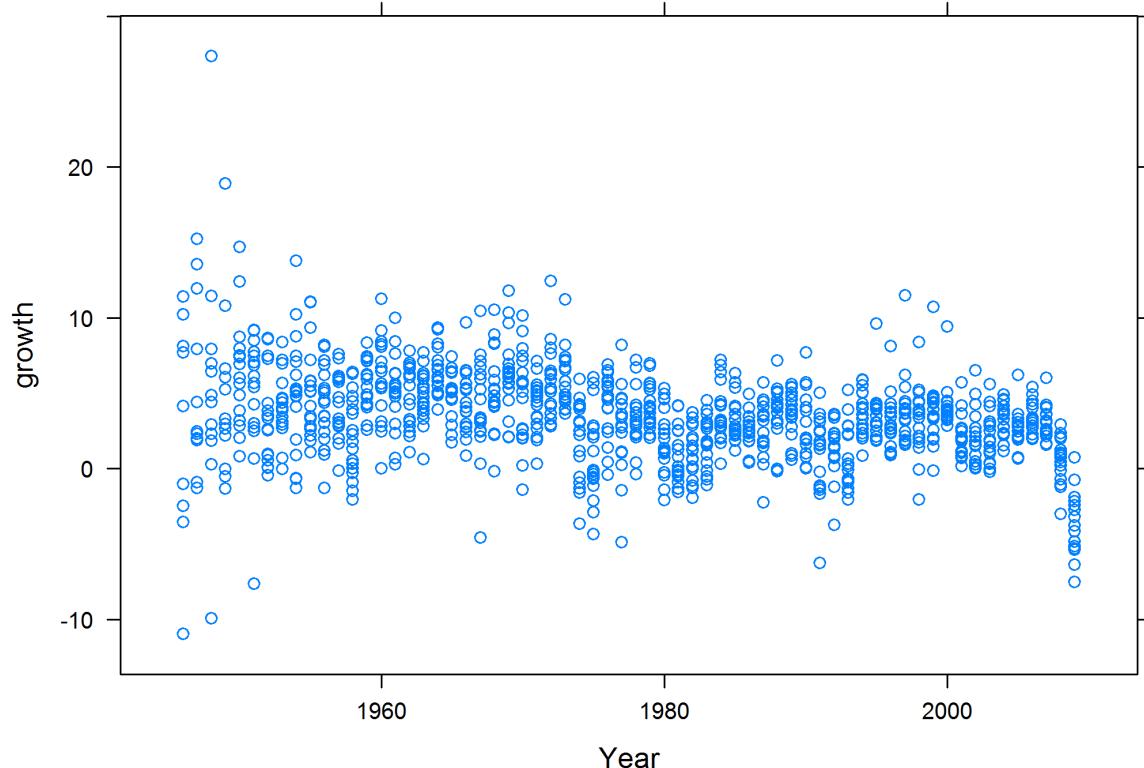
```
Observations: 1,171
Variables: 5
$          (int) 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, ...
$ Country (chr) "Australia", "Australia", "Australia", "Australia", "A...
$ Year     (int) 1946, 1947, 1948, 1949, 1950, 1951, 1952, 1953, 1954, ...
$ growth   (dbl) -3.5579515, 2.4594746, 6.4375341, 6.6119938, 6.9202012...
$ ratio    (dbl) 190.41908, 177.32137, 148.92981, 125.82870, 109.80940, ...
```

```
R> # suppression de la première colonne  
debt = debt[, -1]
```

Visualisation bivariée

Le même graphique se crée de la manière suivante avec l'extension **lattice**:

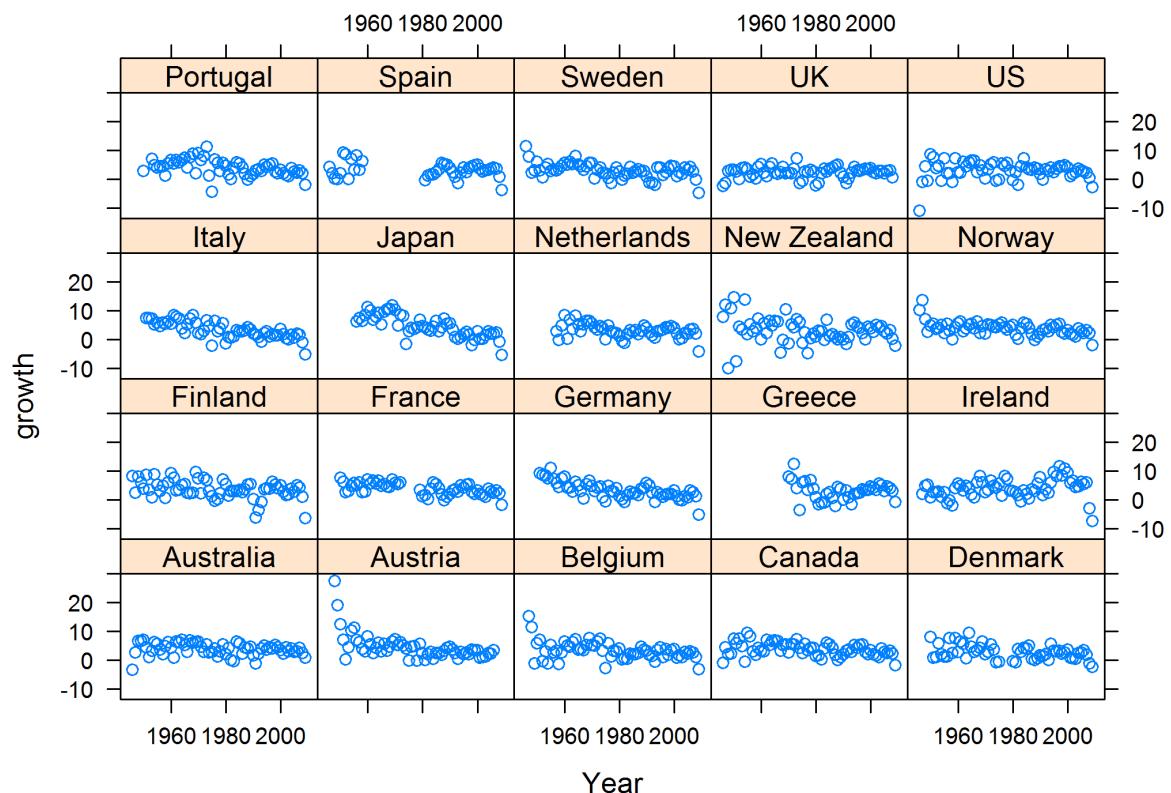
```
R> xyplot(growth ~ Year, data = debt)
```



Visualisation par «petits multiples»

Appliquons désormais la même visualisation par «petits multiples» que vue dans le chapitre :

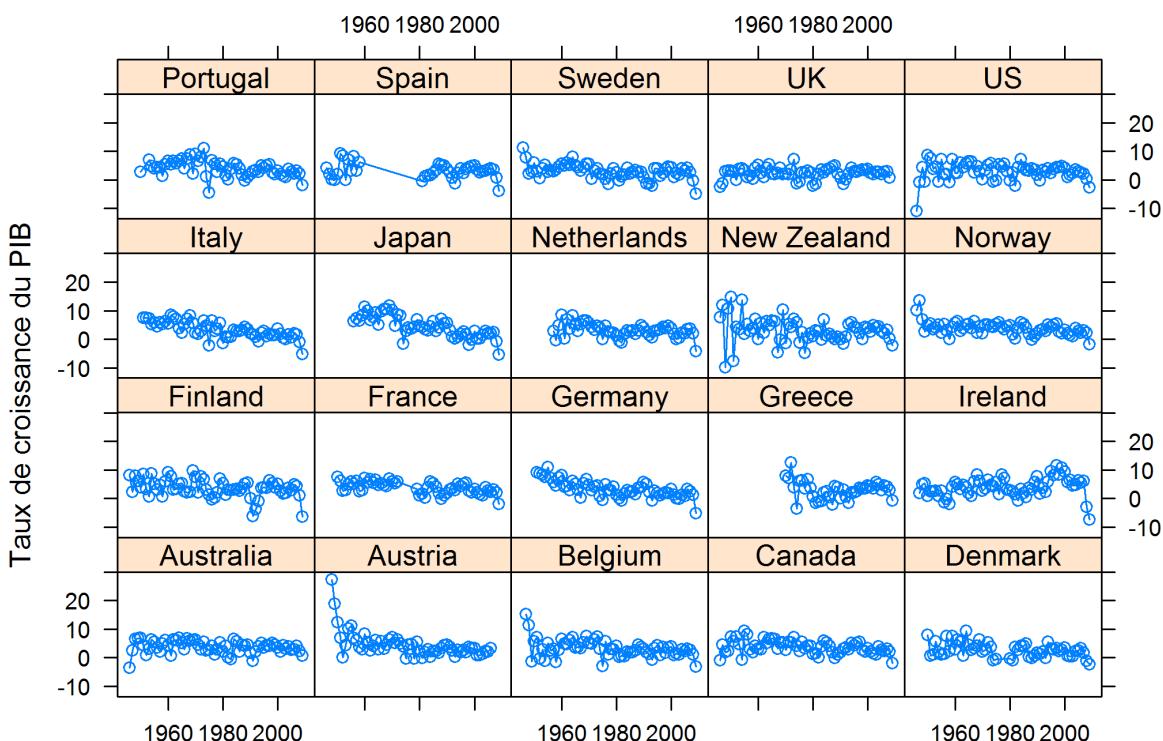
```
R> xyplot(growth ~ Year | Country, data = debt)
```



Enfin, rajoutons quelques options au graphique, afin de montrer comment l'extension **lattice** fonctionne :

```
R> xyplot(growth ~ Year | Country, type = c("o", "l"),
  main = "Données Reinhart et Rogoff corrigées, 1946-2009",
  ylab = "Taux de croissance du PIB", xlab = NULL,
  data = debt)
```

Données Reinhart et Rogoff corrigées, 1946-2009



Pour aller plus loin

Comme vient de le voir dans ce chapitre, la notation «formule» apparaît et dans les différentes fonctions de R est de ses extensions. Il est par conséquent utile d'en connaître les rudiments, et en particulier les opérateurs `~` (tilde) et `+`, ne serait-ce que pour pouvoir se servir des différentes fonctions présentées sur cette page.

La notation «formule» devient cruciale dès que l'on souhaite régider des modèles: la formule `y ~ x`, par exemple, qui est équivalente à la formule `y ~ 1 + x`, correspond à l'équation mathématique $Y = a + bX$. On trouvera de nombreux exemples d'utilisation de cette notation dans les chapitres consacrés, notamment, à la régression linéaire ou à la régression logistique, page 391.

De la même manière, l'opérateur `|` (*pipe*) utilisé par l'extension `lattice` joue aussi un rôle très important dans la rédaction de modèles multi-niveaux, où il sert à indiquer les variables à pentes ou à coefficients aléatoires. Ces modèles sont présentés dans un chapitre dédié, page 481.

Structures conditionnelles

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Expressions régulières

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

♦crire ses propres fonctions

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

R Markdown: les rapports automatisés

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Shiny[?]: les interfaces interactives

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'~~écriture~~criture.

Git

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Dévélloper un package

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Calculer un ♦ge

Rappel sur les ♦ges	567
Le package lubridate	568
Calcul d♦un ♦ge exact	568
Cas particulier des personnes n♦es un 29 f♦vrier	571
♦ge r♦volu ou ♦ge au dernier anniversaire	572
♦ge par diff♦rence de mill♦simes	573
Calcul d♦un ♦ge moyen	573
Notes	573

NOTE

La version originale de cette astuce a ♦t♦ publi♦e par Joseph Larmarange sur <http://joseph.larmarange.net/?Calculer-proprement-un-age-sous-R>.

Le calcul d♦un ♦ge sous R n♦est pas forc♦ment aussi trivial qu♦il n♦y paraît.

Rappel sur les ♦ges

Il convient en premier lieu de rappeler les principaux ♦ges utilis♦s les d♦mographes♦:

L♦ge ♦ on pr♦cise parfois ♦ge chronologique ♦ est une des caract♦ristiques fondamentales de la structure des populations. On l♦exprime g♦n♦ralement en ann♦es, ou en ann♦es et mois, voire en mois et jours, pour les enfants en bas ♦ge ♦; parfois en ann♦es et fractions d♦cimales d♦ann♦e. Les d♦mographes arrondissent d♦ordinaire l♦ge ♦ l♦unit♦ inf♦rieure, l♦exprimant ainsi en ann♦es r♦volues, ou ann♦es accomplies, le cas

l'âge exact en mois roulus, ou mois accomplis. Cet âge est aussi l'âge au dernier anniversaire. On trouve aussi, dans les statistiques, l'âge atteint dans l'année, qui est égal à la différence de millésimes entre l'année considérée et l'année de naissance. [1] On est parfois conduit à préciser que l'on considère un âge exact, pour éviter toute confusion avec un âge en années roulées, qui représente en fait une classe d'âges exacts.

— Source : [Demopedia \(322\)](#)

Le package lubridate

Le package **lubridate** est spécialement développé pour faciliter la manipulation et le calcul autour des dates. La version de développement intégrée depuis peu une fonction `time_length` adaptée au calcul des âges exacts.

NOTE

La fonction `time_length` étant récente, elle n'est pas encore disponible dans la version stable du package. Pour installer la version de développement de **lubridate**, on aura recours au package **devtools** :

```
R> library(devtools)
install_github("hadley/lubridate")
```

Nous noterons `naiss` la date de naissance et `evt` la date à laquelle nous calculerons l'âge.

Calcul d'un âge exact

On appelle âge exact l'expression d'un âge avec sa partie décimale.

Une approche simple consiste à calculer une différence en jours puis à diviser par 365. Or, le souci c'est que toutes les années n'ont pas le même nombre de jours. Regardons par exemple ce qui se passe si l'on calcule l'âge au 31 décembre 1999 d'une personne née le 1^{er} janvier 1900.

```
R> library(lubridate)
```

```
Attaching package: 'lubridate'
```

The following object is masked from 'package:base':

date

```
R> naiss <- ymd("1900-01-01")
  evt <- ymd("1999-12-31")
  time_length(interval(naiss, evt), "days")
```

[1] 36523

```
R> time_length(interval(naiss, evt), "days")/365
```

[1] 100.063

Or, au 31 décembre 1999, cette personne n'a pas encore fêté son centième anniversaire. Le calcul précédent ne prend pas en compte les années bissextiles. Une approche plus correcte serait de considérer que les années durent en moyenne 365,25 jours.

```
R> time_length(interval(naiss, evt), "days")/365.25
```

[1] 99.99452

Si cette approche semble fonctionner avec cet exemple, ce n'est plus le cas dans d'autres situations.

```
R> evt <- ymd("1903-01-01")
  time_length(interval(naiss, evt), "days")/365.25
```

[1] 2.997947

Or, à la date du premier janvier 1903, cette personne a bien fêté son troisième anniversaire.

Pour calculer proprement un âge en années (ou en mois), il est dès lors nécessaire de prendre en compte la date anniversaire et le fait que la durée de chaque année (ou mois) est variable. C'est justement ce que fait la fonction `time_length` appliquée à un objet de type `Interval`. On détermine le dernier et le prochain anniversaire et l'on rajoute, à l'âge atteint au dernier anniversaire, le ratio entre le nombre de jours entre l'avènement et le dernier anniversaire par le nombre de jours entre le prochain et le dernier anniversaire.

```
R> naiss <- ymd("1900-01-01")
  evt <- ymd("1999-12-31")
  time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 99.99726
```

```
R> evt <- ymd("1903-01-01")
  time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 3
```

```
R> evt <- ymd("1918-11-11")
  time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 18.86027
```

Attention, cela n’est valable que si l’on présente la fonction `time_length` un objet de type `Interval` (pour lequel on connaît dès lors la date de début et la date de fin). Si l’on passe une durée (objet de type `Duration`) à la fonction `time_length`, le calcul se effectuera alors en prenant en compte la durée moyenne d’une année (plus précisément 365 jours).

```
R> naiss <- ymd("1900-01-01")
  evt <- ymd("1999-12-31")
  time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 99.99726
```

```
R> time_length(evt - naiss, "years")
```

```
[1] 100.063
```

```
R> time_length(as.duration(interval(naiss, evt)), "years")
```

```
[1] 100.063
```

Cas particulier des personnes nées un 29 février

Pour les personnes nées un 29 février, il existe un certain flou concernant leur date d'anniversaire pour les années non bissextiles. Doit-on considérer qu'il s'agit du 28 février ou du 1^{er} mars ?

Au sens strict, on peut considérer que leur anniversaire a lieu entre le 28 février soir à minuit et le 1^{er} mars à 0 heure du matin, autrement dit que le 28 février ils n'ont pas encore fêté leur anniversaire. C'est la position adoptée par la fonction `time_length`.

```
R> naiss <- ymd("1992-02-29")
  evt <- ymd("2014-02-28")
  time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 21.99726
```

```
R> evt <- ymd("2014-03-01")
  time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 22
```

Cette approche permet également d'être cohérente avec la manière dont les dates sont prises en compte informatiquement. On considère en effet que lorsque seule la date est précisée (sans mention de l'heure), l'heure correspondante est 0:00. Autrement dit, "2014-03-01" est équivalent à "2014-03-01 00:00:00". L'approche adoptée permet donc d'être cohérente lorsque l'anniversaire est calculé en tenant compte des heures.

```
R> naiss <- ymd("1992-02-29")
  evt <- ymd_hms("2014-02-28 23:00:00")
  time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 21.99989
```

```
R> evt <- ymd_hms("2014-03-01 00:00:00")
  time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 22
```

```
R> evt <- ymd_hms("2014-03-01 01:00:00")
  time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 22.00011
```

```
R> naiss <- ymd_hms("1992-02-29 12:00:00")
  evt <- ymd_hms("2014-03-01 01:00:00")
  time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 22.00011
```

Age révolu ou âge au dernier anniversaire

Une fois que l’on sait calculer un âge exact, le calcul d’un âge révolu ou âge au dernier anniversaire est assez simple. Il suffit de ne garder que la partie entière de l’âge exact (approche conseillée).

```
R> naiss <- ymd("1980-01-09")
  evt <- ymd("2015-01-01")
  time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 34.97808
```

```
R> trunc(time_length(interval(naiss, evt), "years"))
```

```
[1] 34
```

Une autre approche consiste à convertir l’intervalle en objet de type `Period` et à ne prendre en compte que les années.

```
R> as.period(interval(naiss, evt))
```

```
[1] "34y 11m 23d 0H 0M 0S"
```

```
R> as.period(interval(naiss, evt))@year
```

```
[1] 34
```

Âge par différence de millésimes

L'âge par différence de millésimes, encore appelé âge atteint dans l'année, se obtient tout simplement en soustrayant l'année de naissance à l'année de l'événement.

```
R> naiss <- ymd("1980-01-09")
evt <- ymd("2015-01-01")
year(evt) - year(naiss)
```

```
[1] 35
```

Calcul d'un âge moyen

Le calcul d'un âge moyen se effectue normalement à partir des âges exacts. Il arrive fréquemment que l'on ne dispose dans les données d'enquêtes que de l'âge révolu. Auquel cas, il faut bien penser à rajouter 0,5 au résultat obtenu. En effet, un âge révolu peut être vu comme une classe d'âges exacts : les individus ayant 20 ans révolus ont entre 20 et 21 ans exacts, soit en moyenne 20,5 ans !

Notes

L'ensemble des fonctions présentées peuvent être appliquées à des vecteurs et, par conséquent, aux colonnes d'un tableau de données (*data.frame*).

Le package **eeprotools** fournit de son côté une fonction **age_calc**¹ qui permet le calcul des âges exacts et révolus.

1. https://github.com/jknowles/eeprotools/blob/master/R/age_calc.R

```
R> library(eeptools)
```

```
Loading required package: ggplot2
```

```
R> naiss <- as.Date("1980-01-09")
  evt <- as.Date("2015-01-01")
  age_calc(naiss, evt, units = "years", precise = TRUE)
```

```
[1] 34.97814
```

```
R> time_length(interval(naiss, evt), "years")
```

```
[1] 34.97808
```

La méthode utilisée par `age_calc` donne des résultats largement différents de ceux de `time_length`. Il est donc conseillé d'utiliser de préférence le package `lubridate`.

En l'absence du package `lubridate`, il reste facile de calculer une durée en jours avec les fonctions de base de R :

```
R> naiss <- as.Date("1900-01-01")
  evt <- as.Date("1999-12-31")
  evt - naiss
```

```
Time difference of 36523 days
```

```
R> as.integer(evt - naiss)
```

```
[1] 36523
```

prevR? : cartes de prévalence ? partir des EDS

IMPORTANT

Ce chapitre est en cours d'écriture.

Index des concepts

A, page 577 B, page 579 C, page 580 D, page 583 E, page 585 F, page 587 G, page 588 H, page 589
I, page 589 L, page 592 M, page 593 N, page 595 O, page 596 P, page 597 Q, page 598 R, page 599
S, page 600 T, page 602 U, page 604 V, page 604 W, page 606

A

ACM

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

ACP

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

AFC

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

âge

- Calculer un âge, page 567

âge atteint dans l'année

- Calculer un âge, page 567

âge au dernier anniversaire

- Calculer un âge, page 567

âge exact

- Calculer un âge, page 567

AIC

- Régression logistique, page 391

aide

- Premier contact, page 15

aide en ligne

- Où trouver de l’aide ?, page 193

Akaike Information Criterion

- Régression logistique, page 391

aléatoire, chantillonnage

- Définir un plan d’chantillonnage complexe, page 385

analyse de séquences

- Analyse de séquences, page 491

analyse des biographies

- Analyse de séquences, page 491

analyse des correspondances multiples

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

analyse en composante principale

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

analyse factorielle

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

analyse factorielle des correspondances

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

analyse mixte de Hill et Smith

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

appariement optimal

- Analyse de séquences, page 491

arbre de classification

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

argument

- Premier contact, page 15

argument nommé

- Premier contact, page 15

argument non nommé

- Premier contact, page 15

assignation par indexation

- Listes et Tableaux de données, page 81

assignation, opérateur

- Premier contact, page 15

attribut

- Import de données, page 135

autocomplete

- Organiser ses fichiers, page 125
- Premier contact, page 15
- Présentation et Philosophie, page 9

B

barres cumulées, graphique

- Statistique bivariée, page 273

barres, diagramme en

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

button, diagramme

- Statistique univariée, page 249

buttons, diagramme en

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

binaire, régression logistique

- Régression logistique, page 391

biographie, analyse

- Analyse de séquences, page 491

bitmap

- Export de graphiques, page 239

boîte à moustache

- Statistique bivariée, page 273

boîte à moustaches

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique univariée, page 249

booléenne, valeur

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

booléenne, variable

- Régression logistique, page 391

boxplot

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

C

CAH

- Analyse de séquences, page 491
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

camembert, graphique

- Statistique univariée, page 249

caractères, chaîne

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

catégorielle, variable

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

cercle de corrélation

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

chaîne de caractères

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

character

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

chemin relatif

- Organiser ses fichiers, page 125

Chi², distance

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

Chi², r² sidus

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

Chi², test

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353

classe de valeurs

- Statistique univariée, page 249

classe, homogénéité

- Analyse de séquences, page 491

classification ascendante hiérarchique

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

classification, arbre

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

Cleveland, diagramme

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique univariée, page 249

cluster

- Définir un plan d'échantillonnage complexe, page 385

coefficient de contingence de Cramer

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

coefficient de corrélation

- Statistique bivariée, page 273

coefficient, modèle

- Régression logistique, page 391

coloration syntaxique

- Premier contact, page 15
- Présentation et Philosophie, page 9

commentaire

- Premier travail avec des données, page 35

comparaison de médianes, test

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

comparaison de moyennes

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353

comparaison de proportions, test

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

comparaison, opérateur

- Conditions et comparaisons, page 535
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

Comprehensive R Archive Network

- Extensions, page 57

condition, indexation

- Listes et Tableaux de données, page 81
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

confusion, matrice

- Régression logistique, page 391

console

- Premier contact, page 15

corrélation, cercle

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

corr♦lation, coefficient

- Statistique bivari♦e, page 273

corr♦lation, matrice de

- Graphiques univari♦s et bivari♦s avec ggplot2, page 317

correspondances, analyse factorielle

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

couleur, palette

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

courbe de densit♦

- Graphiques univari♦s et bivari♦s avec ggplot2, page 317

Cramer, coefficient de contingence

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

CRAN

- Extensions, page 57

crois♦, tableau

- Statistique bivari♦e, page 273

CSV, fichier

- Import de donn♦es, page 135

D

data frame

- Listes et Tableaux de donn♦es, page 81
- Premier travail avec des donn♦es, page 35

date, variable

- Calculer un ♦ge, page 567
- Import de donn♦es, page 135

dendrogramme

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

densité, courbe de

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

densité, estimation locale

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique bivariée, page 273

descriptive, statistique

- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

design

- Données pondérées, page 353

diagramme de Cleveland

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique univariée, page 249

diagramme en barres

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

diagramme en boutons

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique univariée, page 249

diagramme en secteur

- Statistique univariée, page 249

distance

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

distance de Gower

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

distance du Chi²

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

distance du Phi²

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

distance, matrice

- Analyse de séquences, page 491

distribution

- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

donnée labelisée

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

données pondérées

- Données pondérées, page 353

données, exporter

- Export de données, page 237
- Import de données, page 135

données, tableau

- Listes et Tableaux de données, page 81

droite de régression

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

E

écart-type

- Statistique univariée, page 249

écart interquartile

- Statistique univariée, page 249

échantillonnage alatoire simple

- Définir un plan d'échantillonnage complexe, page 385

échantillonnage équitable

- Définir un plan d'échantillonnage complexe, page 385

échantillonnage par grappes

- Définir un plan d'échantillonnage complexe, page 385

♦chantillonnage stratifié

- Définir un plan de chantillonnage complexe, page 385

♦chantillonnage, plan

- Données pondérées, page 353

♦éditeur de script

- Présentation et Philosophie, page 9

empirical cumulative distribution function

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique univariée, page 249

entier

- Premier travail avec des données, page 35

entier, nombre

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

entropie transversale

- Analyse de séquences, page 491

environnement de développement

- Présentation et Philosophie, page 9

environnement de travail

- Premier contact, page 15

♦quiprobable, ♦chantillonnage

- Définir un plan de chantillonnage complexe, page 385

estimation locale de densité

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique bivariée, page 273

estimation par noyau

- Statistique univariée, page 249

♦tendue

- Statistique univariée, page 249

♦étiquette de valeur

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Import de données, page 135

étiquette de variable

- Import de données, page 135

étiquettes de valeurs

- Import de données, page 135

event history analysis

- Analyse de séquences, page 491

exact, égale

- Calculer un égale, page 567

explicative, variable

- Régression logistique, page 391

export de graphiques

- Export de graphiques, page 239
- Statistique univariée, page 249

exporter des données

- Export de données, page 237
- Import de données, page 135

extension

- Extensions, page 57

F

facteur

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Import de données, page 135
- Premier travail avec des données, page 35
- Régression logistique, page 391

factor

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Premier travail avec des données, page 35

factoriel, plan

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

factorielle, analyse

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

fichier de commandes

- Premier travail avec des données, page 35

fichier texte

- Import de données, page 135

fichiers Shapefile

- Import de données, page 135

Fisher, test exact

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

fonction

- Premier contact, page 15

fonction de rpartition empirique

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique univariée, page 249

formule

- Régression logistique, page 391
- Statistique bivariée, page 273

fréquence, tableau

- Statistique univariée, page 249

fusion de tables

- Fusion de tables, page 221

G

gestionnaire de versions

- Organiser ses fichiers, page 125

Gower, distance

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

Gower, indice de similarité

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

graphique en mosaïque

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

graphique en violon

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

graphique, export

- Export de graphiques, page 239
- Statistique univariée, page 249

grappe, échantillonnage

- Définir un plan d'échantillonnage complexe, page 385

H

Hill et Smith, analyse mixte

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

histogramme

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Statistique univariée, page 249

historique des commandes

- Premier contact, page 15

homogénéité des classes

- Analyse de séquences, page 491

I

image bitmap

- Export de graphiques, page 239

image matricielle

- Export de graphiques, page 239

image vectorielle

- Export de graphiques, page 239

indépendance

- Statistique bivariée, page 273

indertie, perte relative

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

index plots

- Analyse de séquences, page 491

indexation

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

indexation bidimensionnelle

- Listes et Tableaux de données, page 81

indexation directe

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

indexation par condition

- Listes et Tableaux de données, page 81
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

indexation par nom

- Listes et Tableaux de données, page 81

indexation par position

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

indexation, assignation

- Listes et Tableaux de données, page 81

indice de similarité

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

indice de similarité de Gower

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

inertie

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

inertie, saut

- Analyse de séquences, page 491
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

installation

- Installation de R et RStudio, page 13

integer

- Premier travail avec des données, page 35
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

interface

- Premier contact, page 15

interquartile

- Statistique univariée, page 249

intervalle de confiance

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Intervalles de confiance, page 365

intervalle de confiance d'un odds ratio

- Régression logistique, page 391

intervalle de confiance d'une moyenne

- Intervalles de confiance, page 365

intervalle de confiance d'une proportion

- Données pondérées, page 353
- Intervalles de confiance, page 365

invite de commande

- Premier contact, page 15

L

labelled data

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

labellisé, donnée

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

labelisé, variable

- Import de données, page 135

level, factor

- Premier travail avec des données, page 35

libre, logiciel

- Présentation et Philosophie, page 9

life course analysis

- Analyse de séquences, page 491

linéaire, régression

- Statistique bivariée, page 273

liste

- Listes et Tableaux de données, page 81

logical

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

logiciel libre

- Présentation et Philosophie, page 9

logique, opérateur

- Conditions et comparaisons, page 535
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

logique, valeur

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

logistique, régression

- Données pondérées, page 353
- Régression logistique, page 391

loi normale

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

M

Mann-Whitney, test

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

manquante, valeur

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Import de données, page 135
- Régression logistique, page 391
- Statistique bivariée, page 273
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

matching, optimal

- Analyse de séquences, page 491

matrice de confusion

- Régression logistique, page 391

matrice de corrélation

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

matrice de distances

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

maximum

- Statistique univariée, page 249

médiane

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Statistique univariée, page 249

médiane, test de comparaison

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

méthodologie

- Import de données, page 135

méthode de Ward

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

minimum

- Statistique univariée, page 249

mise en jour, R

- Installation de R et RStudio, page 13

modalité

- Statistique univariée, page 249

modalité de référence

- Régression logistique, page 391

modalité, facteur

- Premier travail avec des données, page 35

modèle linéaire généralisé

- Données pondérées, page 353
- Régression logistique, page 391

mosaïque, graphique

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique bivariée, page 273

moustaches, boîte

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

moyenne

- Données pondérées, page 353
- Statistique univariée, page 249

moyenne, moyenne

- Calculer une moyenne, page 567

moyenne, comparaison

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353

moyenne, intervalle de confiance

- Intervalles de confiance, page 365

multidimensional scaling

- Analyse de séquences, page 491

multinomiale, régression logistique

- Régression logistique, page 391

N

NA

- Premier contact, page 15

nom, indexation

- Listes et Tableaux de données, page 81
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

nombre entier

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

nombre réel

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

normale, loi

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

normalité, test de Shapiro-Wilk

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

notation formule

- Formules, page 539

notation scientifique

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

noyau, estimation

- Statistique univariée, page 249

nuage de points

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

numeric

- Premier travail avec des données, page 35
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

numérique, variable

- Premier travail avec des données, page 35
- Statistique univariée, page 249

O

observation

- Premier travail avec des données, page 35

odds ratio

- Régression logistique, page 391

odds ratio, intervalle de confiance

- Régression logistique, page 391

opérateur de comparaison

- Conditions et comparaisons, page 535

opérateur logique

- Conditions et comparaisons, page 535
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

optimal matching

- Analyse de séquences, page 491

optimal, appariement

- Analyse de séquences, page 491

ordinaire, régression logistique

- R^égression logistique, page 391

ordonner le tri \Leftrightarrow plat

- Statistique univari \neq e, page 249

P

package

- Extensions, page 57

palette de couleurs

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

partition

- Analyse de s \neq quences, page 491
- Classification ascendante hi \neq rarchique (CAH), page 459

pas \Leftrightarrow pas, s \neq lection descendante

- R^égression logistique, page 391

patron

- Classification ascendante hi \neq rarchique (CAH), page 459

perte relative d \neq inertie

- Classification ascendante hi \neq rarchique (CAH), page 459

Phi \neq , distance

- Classification ascendante hi \neq rarchique (CAH), page 459

plan d \neq chantillonnage

- Donn \neq es pond \neq r \neq es, page 353

plan factoriel

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

points, nuage de

- Graphiques univari \neq s et bivari \neq s avec ggplot2, page 317

pond \neq ration

- Donn \neq es pond \neq r \neq es, page 353

position, indexation

- Listes et Tableaux de données, page 81
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

projets

- Organiser ses fichiers, page 125

prompt

- Premier contact, page 15

proportion, intervalle de confiance

- Données pondérées, page 353
- Intervalles de confiance, page 365

proportion, test de comparaison

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

proxy

- Installation de R et RStudio, page 13

Q

qualitative, variable

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Régression logistique, page 391
- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

quantile

- Données pondérées, page 353
- Statistique univariée, page 249

quantitative, variable

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Régression logistique, page 391
- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

quartile

- Statistique univariée, page 249

R

rappor des cotes

- Régression logistique, page 391

recodage de variables

- Recodage, page 151

recyclage

- Premier contact, page 15

recycling rule

- Premier contact, page 15

réel, nombre

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

référence, modalité

- Régression logistique, page 391

régression linéaire

- Statistique bivariée, page 273

régression logistique

- Données pondérées, page 353
- Régression logistique, page 391

régression logistique binaire

- Régression logistique, page 391

régression logistique multinomiale

- Régression logistique, page 391

régression logistique ordinaire

- Régression logistique, page 391

régression, droite

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique bivariée, page 273

relatif, risque

- Régression logistique, page 391

répartition empirique, fonction

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique univariée, page 249

répertoire de travail

- Organiser ses fichiers, page 125

résolution

- Export de graphiques, page 239

ressemblance

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

révolu, ége

- Calculer un ége, page 567

risque relatif

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Régression logistique, page 391

S

SAS, fichier

- Import de données, page 135

saut d’inertie

- Analyse de séquences, page 491
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

scientifique, notation

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

script

- Organiser ses fichiers, page 125

- Premier travail avec des données, page 35

scripts

- Présentation et Philosophie, page 9

secteur, diagramme

- Statistique univariée, page 249

section

- Premier travail avec des données, page 35

sélection descendante pas à pas

- Régression logistique, page 391

séparateur de champs

- Import de données, page 135

séparateur décimal

- Import de données, page 135

séquence, analyse

- Analyse de séquences, page 491

séquence, tapis

- Analyse de séquences, page 491

Shapiro-Wilk, test de normalité

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

similarité, indice

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

sous-échantillon

- Données pondérées, page 353

SPSS, fichier

- Import de données, page 135

statistique bivariée

- Statistique bivariée, page 273

statistique descriptive

- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

statistique univariée

- Statistique univariée, page 249

straté

- Définir un plan de chantillonnage complexe, page 385

stratifié, chantillonnage

- Définir un plan de chantillonnage complexe, page 385

structure d'un objet

- Premier travail avec des données, page 35

Student, test-t

- Données pondérées, page 353

Student, test t

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

T

tableau croisé

- Données pondérées, page 353
- Statistique bivariée, page 273

tableau croisé, coefficient de contingence de Cramer

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

tableau croisé, graphique en mosaïque

- Statistique bivariée, page 273

tableau croisé, test exact de Fisher

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

tableau de donnée

- Premier travail avec des données, page 35

tableau de données, fusion

- Fusion de tables, page 221

tableau de données, tri

- Tris, page 209

tableau de fréquences

- Statistique univariée, page 249

tapis

- Analyse de séquences, page 491

task view

- Extensions, page 57

test d'egalité des variances

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

test de comparaison de deux proportions

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

test de normalité de Shapiro-Wilk

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

test de Wilcoxon/Mann-Whitney

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

test du Chi²

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353

test du Chi², residus

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

test exact de Fisher

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

test t de Student

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353

texte

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

texte tabulé, fichier

- Import de données, page 135

texte, fichier

- Import de données, page 135

total

- Données pondérées, page 353

trajectoire biographique

- Analyse de séquences, page 491

transversale, entropie

- Analyse de séquences, page 491

tri → plat

- Données pondérées, page 353
- Statistique univariée, page 249

tri → plat, ordonner

- Statistique univariée, page 249

U

univariée, statistique

- Données pondérées, page 353
- Statistique univariée, page 249

V

valeur booléenne

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

valeur logique

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

valeur manquante

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

- Import de données, page 135
- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

valeur manquante dclarée

- Import de données, page 135

valeur, étiquette

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Import de données, page 135

variable

- Premier travail avec des données, page 35

variable catégorielle

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

variable d'intérêt

- Régression logistique, page 391

variable explicative

- Régression logistique, page 391

variable labellisée

- Import de données, page 135

variable numérique

- Premier travail avec des données, page 35

variable qualitative

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Régression logistique, page 391
- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

variable quantitative

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Régression logistique, page 391
- Statistique bivariée, page 273

- Statistique univariée, page 249

variable, étiquette

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Import de données, page 135

variable, recodage

- Recodage, page 151

variance

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353

variance, test d'egalité

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

vecteur

- Premier contact, page 15
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

vector

- Premier contact, page 15

viewer

- Premier travail avec des données, page 35

violin plot

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

violon, graphique en

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

W

Ward, méthode

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

Wilcoxon, test

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

Index des fonctions

%, page 607 A, page 607 B, page 609 C, page 609 D, page 611 E, page 613 F, page 613 G, page 614
H, page 616 I, page 617 J, page 618 K, page 618 L, page 618 M, page 619 N, page 621 O, page 621
P, page 622 Q, page 624 R, page 624 S, page 627 T, page 632 U, page 633 V, page 633 W, page 634
X, page 635 Y, page 636

%

`%in%` (base)

- Conditions et comparaisons, page 535

A

`A2Rplot` (JLutils)

- Classification ascendante hi♦rarchique (CAH), page 459

`abline` (graphics)

- Statistique bivari♦e, page 273

`add.NA` (base)

- Régression logistique, page 391

`addNA` (base)

- Facteurs et vecteurs labellis♦s, page 107

`addNAstr` (questionr)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

`aes` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Introduction à ggplot2, page 295

`age_calc` (eepptools)

- Calculer une moyenne, page 567

`aggregate` (stats)

- Formules, page 539

`agnes` (cluster)

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`AIC.svyglm` (survey)

- Régression logistique, page 391

`allEffects` (effects)

- Régression logistique, page 391

`append` (base)

- Listes et Tableaux de données, page 81

`as.character` (base)

- Recodage, page 151

`as.data.frame` (base)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`as.hclust` (cluster)

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`as.integer` (base)

- Définir un plan d’échantillonnage complexe, page 385

`as.matrix` (base)

- Statistique univariée, page 249

`as.numeric` (base)

- Recodage, page 151

`as_factor` (haven)

- Recodage, page 151

B

`barplot` (graphics)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`best.cutree` (JLutils)

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`biplot` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`boxplot` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`boxplot` (graphics)

- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

`brewer.pal` (RColorBrewer)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`by` (base)

- Sous-ensembles, page 213

C

`c` (base)

- Premier contact, page 15
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`CA` (FactoMineR)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`cbind` (base)

- Fusion de tables, page 221

`chisq.residuals` (questionr)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

`chisq.test` (stats)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353

`class` (base)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`cmdscale` (stats)

- Analyse des séquences, page 491

`coef` (stats)

- Régression logistique, page 391

`coef` (survey)

- Régression logistique, page 391

`colors` (grDevices)

- Statistique univariée, page 249

`combine` (dplyr)

- Fusion de tables, page 221

`complete.cases` (stats)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Statistique bivariée, page 273

`confint` (stats)

- Régression logistique, page 391

`confint` (survey)

- Intervalles de confiance, page 365
- Régression logistique, page 391

`contour` (graphics)

- Statistique bivariée, page 273

`coord_flip` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`cor` (stats)

- Statistique bivariée, page 273

`corresp` (MASS)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`cprop` (questionr)

- Données pondérées, page 353
- Statistique bivariée, page 273

`cramer.v` (questionr)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

`cut` (base)

- Recodage, page 151
- Régression logistique, page 391

`cutree` (stats)

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

D

`daisy` (cluster)

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`data` (utils)

- Premier travail avec des données, page 35

`data.frame` (base)

- Listes et Tableaux de données, page 81

`density` (stats)

- Statistique univariée, page 249

`describe` (questionr)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

- Listes et Tableaux de données, page 81
- Premier travail avec des données, page 35

`dev.off` (grDevices)

- Export de graphiques, page 239

`dev.print` (grDevices)

- Export de graphiques, page 239

`dim` (base)

- Listes et Tableaux de données, page 81
- Premier travail avec des données, page 35

`dimdesc` (FactoMineR)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`display.brewer.all` (RColorBrewer)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`disscenter` (TraMineR)

- Analyse de séquences, page 491

`dist` (stats)

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`dist.dudi` (ade4)

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`dotchart` (graphics)

- Statistique univariée, page 249

`dput` (base)

- Recodage, page 151

`dudi.acm` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`dudi.coa` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`dudi.mix` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`dudi.pca` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`Duration` (lubridate)

- Calculer un Δ ge, page 567

E

`example` (utils)

- Où trouver de l'aide ?, page 193

`exp` (base)

- Régression logistique, page 391

F

`facet_grid` (ggplot2)

- Formules, page 539
- Introduction à ggplot2, page 295

`facet_wrap` (ggplot2)

- Formules, page 539
- Introduction à ggplot2, page 295

`factor` (base)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Recodage, page 151

`filled.contour` (graphics)

- Statistique bivariée, page 273

`fisher.test` (stats)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

`format` (base)

- Premier contact, page 15

`formula` (stats)

- Formules, page 539

`freq` (questionr)

- Données pondérées, page 353
- Recodage, page 151
- Régression logistique, page 391
- Statistique univariée, page 249

G

`geom_area` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`geom_bar` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`geom_bin2d` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`geom_boxplot` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`geom_density` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`geom_density_2d` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`geom_errorbarh` (ggplot2)

- Régression logistique, page 391

`geom_hex` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`geom_histogram` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`geom_line` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

geom_point (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Introduction à ggplot2, page 295

geom_rug (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

geom_smooth (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Introduction à ggplot2, page 295

geom_violin (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

geom_vline (ggplot2)

- Introduction à ggplot2, page 295
- Régression logistique, page 391

getValues (raster)

- Import de données, page 135

getwd (base)

- Organiser ses fichiers, page 125

ggcoef (GGally)

- Régression logistique, page 391

ggcorr (GGally)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

ggpairs (GGally)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

ggplot (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Introduction à ggplot2, page 295

ggsave (ggplot2)

- Export de graphiques, page 239
- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

- Introduction à ggplot2, page 295

`ggttitle` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`glance` (dplyr)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Listes et Tableaux de données, page 81

`glm` (stats)

- Données pondérées, page 353
- Régression logistique, page 391

H

`hclust` (fastcluster)

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`hclust` (stats)

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`HCPC` (FactoMineR)

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`hdv2003` (questionr)

- Formules, page 539
- Premier travail avec des données, page 35

`head` (utils)

- Conditions et comparaisons, page 535
- Listes et Tableaux de données, page 81
- Premier travail avec des données, page 35

`help` (utils)

- Où trouver de l’aide ?, page 193
- Premier contact, page 15

`help.search` (utils)

- Où trouver de l’aide ?, page 193

`help.start` (utils)

- Où trouver de l'aide ?, page 193

`hist` (graphics)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique univariée, page 249

|

`icut` (questionr)

- Recodage, page 151

`ifelse` (base)

- Recodage, page 151

`image` (graphics)

- Statistique bivariée, page 273

`inertia.dudi` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`install.packages` (utils)

- Extensions, page 57

`install_github` (devtools)

- Analyse de séquences, page 491
- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Extensions, page 57
- Intervalles de confiance, page 365

`interaction` (base)

- Recodage, page 151

`Interval` (lubridate)

- Calculer un âge, page 567

`iorder` (questionr)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

`irec` (questionr)

- Recodage, page 151

`is.na` (base)

- Recodage, page 151
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`is.numeric` (base)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

J

`jpeg` (grDevices)

- Export de graphiques, page 239

K

`kde2d` (MASS)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique bivariée, page 273

L

`labelled` (haven)

- Import de données, page 135

`labelled` (labelled)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

`labs` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`length` (base)

- Listes et Tableaux de données, page 81
- Premier contact, page 15
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`letters` (base)

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`LETTERS` (base)

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`levels` (base)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Régression logistique, page 391
- Tris, page 209

`library` (base)

- Extensions, page 57
- Organiser ses fichiers, page 125
- Premier travail avec des données, page 35

`list` (base)

- Listes et Tableaux de données, page 81

`lm` (stats)

- Données pondérées, page 353
- Statistique bivariée, page 273

`load` (base)

- Import de données, page 135

`lookfor` (questionr)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Listes et Tableaux de données, page 81

`lprop` (questionr)

- Données pondérées, page 353
- Statistique bivariée, page 273

`ltabs` (questionr)

- Statistique bivariée, page 273

M

`max` (base)

- Premier contact, page 15

- Premier travail avec des données, page 35
- Statistique univariée, page 249

`mca` (MASS)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`MCA` (FactoMineR)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`mean` (base)

- Données pondérées, page 353
- Où trouver de l’aide ?, page 193
- Premier contact, page 15
- Premier travail avec des données, page 35
- Sous-ensembles, page 213
- Statistique univariée, page 249

`median` (stats)

- Premier travail avec des données, page 35
- Statistique univariée, page 249

`merge` (base)

- Fusion de tables, page 221
- Import de données, page 135

`min` (base)

- Premier contact, page 15
- Premier travail avec des données, page 35
- Statistique univariée, page 249

`month.abb` (base)

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`month.name` (base)

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`mosaic` (vcd)

- Statistique bivariée, page 273

`mosaicplot` (graphics)

- Statistique bivariée, page 273

`multinom` (nnet)

- R^égression logistique, page 391

N

`NA` (base)

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`names` (base)

- Listes et Tableaux de donn^{ées}, page 81
- Premier travail avec des donn^{ées}, page 35
- Recodage, page 151
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`ncol` (base)

- Listes et Tableaux de donn^{ées}, page 81
- Premier travail avec des donn^{ées}, page 35

`nolabel_to_na` (labelled)

- Facteurs et vecteurs labellis^{és}, page 107

`nrow` (base)

- Listes et Tableaux de donn^{ées}, page 81
- Premier travail avec des donn^{ées}, page 35

`NULL` (base)

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

O

`odds.ratio` (questionr)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- R^égression logistique, page 391

`order` (base)

- Tris, page 209

P

`pairs` (graphics)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique bivariée, page 273

`par` (graphics)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

`PCA` (FactoMineR)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`pdf` (grDevices)

- Export de graphiques, page 239

`percent` (scales)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`Period` (lubridate)

- Calculer un âge, page 567

`pi` (base)

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`pie` (graphics)

- Statistique univariée, page 249

`plot` (effects)

- Régression logistique, page 391

`plot` (FactoMineR)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`plot` (graphics)

- Introduction à ggplot2, page 295
- Premier travail avec des données, page 35
- Statistique bivariée, page 273

- Statistique univariée, page 249

`plot` (stats)

- Analyse de séquences, page 491
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Statistique univariée, page 249
- Statistique univariée, page 249

`plotellipses` (FactoMineR)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`png` (grDevices)

- Export de graphiques, page 239

`postscript` (grDevices)

- Export de graphiques, page 239

`predict` (stats)

- Régression logistique, page 391

`predict` (survey)

- Régression logistique, page 391

`princomp` (stats)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`print` (questionr)

- Statistique bivariée, page 273

`prop` (questionr)

- Statistique bivariée, page 273

`prop.ci` (JLutils)

- Intervalles de confiance, page 365

`prop.ci.lower` (JLutils)

- Intervalles de confiance, page 365

`prop.ci.upper` (JLutils)

- Intervalles de confiance, page 365

`prop.table` (base)

- Statistique univariée, page 249

`prop.test` (stats)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Intervalles de confiance, page 365

Q

`qplot` (ggplot2)

- Introduction à ggplot2, page 295

`quant.cut` (questionr)

- Recodage, page 151

`quantile` (stats)

- Statistique univariée, page 249

R

`range` (base)

- Statistique univariée, page 249

`range` (stats)

- Formules, page 539

`raster` (raster)

- Import de données, page 135

`rbind` (base)

- Fusion de tables, page 221

`rbind.fill` (plyr)

- Fusion de tables, page 221

`read.csv` (utils)

- Import de données, page 135
- Introduction à ggplot2, page 295

`read.csv2` (utils)

- Import de données, page 135

`read.dbf` (foreign)

- Import de données, page 135

`read.delim` (utils)

- Import de données, page 135

`read.delim2` (utils)

- Import de données, page 135

`read.dta` (foreign)

- Import de données, page 135

`read.spss` (foreign)

- Import de données, page 135

`read.table` (utils)

- Import de données, page 135

`read.xlsx` (xlsx)

- Import de données, page 135

`read.xlsx2` (xlsx)

- Import de données, page 135

`read.xport` (foreign)

- Import de données, page 135

`read_csv` (readr)

- Introduction à ggplot2, page 295

`read_dta` (haven)

- Import de données, page 135

`read_excel` (readxl)

- Import de données, page 135

`read_sas` (haven)

- Import de données, page 135

`read_spss` (haven)

- Import de données, page 135

`read_stata` (haven)

- Import de données, page 135

`readAsciiGrid` (maptools)

- Import de données, page 135

`readShapeLines` (maptools)

- Import de données, page 135

`readShapePoints` (maptools)

- Import de données, page 135

`readShapePoly` (maptools)

- Import de données, page 135

`readShapeSpatial` (maptools)

- Import de données, page 135

`rect.hclust` (stats)

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`relevel` (stats)

- Intervalles de confiance, page 365
- Régression logistique, page 391

`relrisk` (mosaic)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

`remove.packages` (utils)

- Extensions, page 57

`rename.variable` (questionr)

- Recodage, page 151

`rep` (base)

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`require` (base)

- Extensions, page 57

`row.names` (base)

- Listes et Tableaux de données, page 81

`rprop` (questionr)

- Statistique bivariée, page 273

`rug` (graphics)

- Statistique univariée, page 249

S

`s.arrow` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`s.chull` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`s.class` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`s.circicle` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`s.freq` (JLutils)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`s.hist` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`s.label` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`s.value` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`save` (base)

- Import de données, page 135

`save.image` (base)

- Import de données, page 135

`scale_colour_brewer` (ggplot2)

- Introduction à ggplot2, page 295

`scale_x_continuous` (ggplot2)

- Introduction à ggplot2, page 295

`scale_x_log10` (ggplot2)

- Régression logistique, page 391

`scale_y_continuous` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`scatter` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`score` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`screeplot` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`sd` (stats)

- Premier contact, page 15
- Statistique univariée, page 249

`seq` (base)

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`seq_heatmap` (JLutils)

- Analyse de séquences, page 491

`seqdef` (TraMineR)

- Analyse de séquences, page 491

`seqdist` (TraMineR)

- Analyse de séquences, page 491
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

`seqdplot` (TraMineR)

- Analyse de séquences, page 491

`seqfplot` (TraMineR)

- Analyse de séquences, page 491

`seqHtplot` (TraMineR)

- Analyse de séquences, page 491

`seqiplot` (TraMineR)

- Analyse de séquences, page 491

`seqmsplot` (TraMineR)

- Analyse de séquences, page 491

`seqmtpplot` (TraMineR)

- Analyse de séquences, page 491

`seqsubm` (TraMineR)

- Analyse de séquences, page 491

`setwd` (base)

- Organiser ses fichiers, page 125

`shapiro.test` (stats)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

`smoothScatter` (graphics)

- Statistique bivariée, page 273

`sort` (base)

- Statistique univariée, page 249
- Tris, page 209

`sort_val_labels` (labelled)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

`source` (base)

- Organiser ses fichiers, page 125

`SpatialGridDataFrame` (sp)

- Import de données, page 135

`stat_count` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`stat_density_2d` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`stat_ecdf` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`step` (stats)

- Régression logistique, page 391

`str` (utils)

- Listes et Tableaux de données, page 81

- Premier travail avec des données, page 35

- Statistique univariée, page 249

`subset` (base)

- Sous-ensembles, page 213

`subset` (survey)

- Définir un plan d’échantillonnage complexe, page 385

- Données pondérées, page 353

`summary` (ade4)

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423

`summary` (base)

- Conditions et comparaisons, page 535

- Listes et Tableaux de données, page 81

- Premier travail avec des données, page 35

- Recodage, page 151

- Statistique univariée, page 249

`summary` (stats)

- Régression logistique, page 391

`svg` (grDevices)

- Export de graphiques, page 239

`svyboxplot` (survey)

- Données pondérées, page 353

svyby (survey)

- Données pondérées, page 353

svychisq (survey)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353

svyciprop (survey)

- Données pondérées, page 353
- Intervalles de confiance, page 365

svydesign (survey)

- Définir un plan d'échantillonnage complexe, page 385
- Données pondérées, page 353

svyglm (survey)

- Données pondérées, page 353
- Régression logistique, page 391

svyhist (survey)

- Données pondérées, page 353

svymean (survey)

- Données pondérées, page 353

svyplot (survey)

- Données pondérées, page 353

svyquantile (survey)

- Données pondérées, page 353

svyratio (survey)

- Données pondérées, page 353

svytable (survey)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353

svytotal (survey)

- Données pondérées, page 353

svyttest (survey)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353

`svyvar` (survey)

- Données pondérées, page 353

T

`t.test` (stats)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Intervalles de confiance, page 365

`table` (base)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Conditions et comparaisons, page 535
- Données pondérées, page 353
- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Formules, page 539
- Intervalles de confiance, page 365
- Premier travail avec des données, page 35
- Recodage, page 151
- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

`tail` (utils)

- Listes et Tableaux de données, page 81
- Premier travail avec des données, page 35

`tapply` (base)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353
- Sous-ensembles, page 213

`tbl_df` (dplyr)

- Import de données, page 135

`theme` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`tidy` (broom)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Régression logistique, page 391
- Régression logistique, page 391
- Régression logistique, page 391

`tidy_detailed` (JLutils)

- Régression logistique, page 391

`tiff` (grDevices)

- Export de graphiques, page 239

`time_length` (lubridate)

- Calculer un décalage, page 567

`to_factor` (labelled)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Recodage, page 151
- Régression logistique, page 391

`typeof` (base)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

U

`unname` (base)

- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

`update.packages` (utils)

- Extensions, page 57
- Installation de R et RStudio, page 13

V

`val_label` (labelled)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

`val_labels` (labelled)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

`val_labels_to_na` (labelled)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

`var` (base)

- Données pondérées, page 353

`var` (stats)

- Premier contact, page 15

`var.test` (stats)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

`var_label` (labelled)

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

`View` (utils)

- Listes et Tableaux de données, page 81

- Premier travail avec des données, page 35

W

`win.metafile` (grDevices)

- Export de graphiques, page 239

`write.csv` (utils)

- Export de données, page 237

`write.dbf` (foreign)

- Export de données, page 237

`write.dta` (foreign)

- Export de données, page 237

`write.foreign` (foreign)

- Export de données, page 237

`write.table` (utils)

- Export de données, page 237

`write.xlsx` (xlsx)

- Export de données, page 237

`write_csv` (readr)

- Export de données, page 237

`write_dta` (haven)

- Export de données, page 237

`write_sav` (haven)

- Export de données, page 237

`writeAsciiGrid` (maptools)

- Export de données, page 237

`writeLinesShape` (maptools)

- Export de données, page 237

`writePointsShape` (maptools)

- Export de données, page 237

`writePolyShape` (maptools)

- Export de données, page 237

`wtd.mean` (questionr)

- Données pondérées, page 353

`wtd.table` (questionr)

- Données pondérées, page 353

`wtd.var` (questionr)

- Données pondérées, page 353

X

`xlab` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

`xtabs` (stats)

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Formules, page 539
- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Recodage, page 151
- Statistique bivariée, page 273

Y

`ylab` (ggplot2)

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

Index des extensions

A, page 637 B, page 637 C, page 638 D, page 638 E, page 639 F, page 639 G, page 639 H, page 641
J, page 641 L, page 641 M, page 642 N, page 642 P, page 642 Q, page 643 R, page 643 S, page 644
T, page 645 U, page 645 V, page 646 X, page 646

A

ade4

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Données pondérées, page 353
- Extensions, page 57

B

base

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Conditions et comparaisons, page 535
- Définir un plan d'échantillonnage complexe, page 385
- Données pondérées, page 353
- Extensions, page 57
- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Formules, page 539
- Fusion de tables, page 221
- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Import de données, page 135

- Intervalles de confiance, page 365
- Listes et Tableaux de données, page 81
- Organiser ses fichiers, page 125
- Où trouver de l’aide ?, page 193
- Premier contact, page 15
- Premier travail avec des données, page 35
- Recodage, page 151
- Régression logistique, page 391
- Sous-ensembles, page 213
- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249
- Tris, page 209
- Vecteurs, indexation et assignation, page 61

broom

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Régression logistique, page 391

C

cluster

- Analyse de séquences, page 491
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

D

data.table

- Recodage, page 151

dendextend

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

devtools

- Analyse de séquences, page 491
- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Calculer un dégé, page 567
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Extensions, page 57
- Intervalles de confiance, page 365

dplyr

- Extensions, page 57
- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Formules, page 539
- Fusion de tables, page 221
- Import de données, page 135
- Listes et Tableaux de données, page 81
- *Scraping*

E

ecdf

- Statistique univariée, page 249

eeprotools

- Calculer un dégé, page 567

effects

- Régression logistique, page 391

F

FactoMineR

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Données pondérées, page 353

fastcluster

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

foreign

- Export de données, page 237
- Import de données, page 135

G

GGally

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Introduction à ggplot2, page 295
- Régression logistique, page 391

ggalt

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

ggdendro

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

ggfortify

- Introduction à ggplot2, page 295

gglat

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

ggmap

- Introduction à ggplot2, page 295

ggplot2

- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Export de graphiques, page 239
- Extensions, page 57
- Formules, page 539
- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Introduction à ggplot2, page 295
- Régression logistique, page 391

ggthemes

- Introduction à ggplot2, page 295

ggvis

- Introduction à ggplot2, page 295

graphics

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Introduction à ggplot2, page 295
- Premier travail avec des données, page 35
- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

grDevices

- Export de graphiques, page 239
- Statistique univariée, page 249

H

haven

- Export de données, page 237
- Extensions, page 57
- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Import de données, page 135
- Recodage, page 151

Hmisc

- Données pondérées, page 353
- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

J

JLutils

- Analyse de séquences, page 491
- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Intervalles de confiance, page 365
- Régression logistique, page 391

L

labelled

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Recodage, page 151
- Régression logistique, page 391

lattice

- Formules, page 539

- Introduction à ggplot2, page 295

lubridate

- Calculer un âge, page 567
- Extensions, page 57
- Import de données, page 135
- *Scraping*

M

maptools

- Export de données, page 237
- Import de données, page 135

MASS

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Statistique bivariée, page 273

memisc

- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107

mlogit

- Régression logistique, page 391

mosaic

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373

N

nnet

- Régression logistique, page 391

P

packrat

- Organiser ses fichiers, page 125

plyr

- Fusion de tables, page 221

productplots

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

Q

question

- Statistique bivariée, page 273

questionr

- Analyse de séquences, page 491
- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Conditions et comparaisons, page 535
- Données pondérées, page 353
- Facteurs et vecteurs labellisés, page 107
- Formules, page 539
- Fusion de tables, page 221
- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Intervalles de confiance, page 365
- Listes et Tableaux de données, page 81
- Premier travail avec des données, page 35
- Recodage, page 151
- Régression logistique, page 391
- Sous-ensembles, page 213
- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249
- Tris, page 209

R

raster

- Import de données, page 135

RColorBrewer

- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Introduction à ggplot2, page 295

readr

- Export de données, page 237
- Extensions, page 57
- Formules, page 539
- Import de données, page 135
- Introduction à ggplot2, page 295
- **Scraping**

readxl

- Extensions, page 57
- Import de données, page 135

reshape2

- Extensions, page 57

rvest

- **Scraping**

S

scales

- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317

sp

- Import de données, page 135

stats

- Analyse de séquences, page 491
- Analyse des correspondances multiples (ACM), page 423
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459
- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Données pondérées, page 353
- Formules, page 539
- Graphiques univariés et bivariés avec ggplot2, page 317
- Intervalles de confiance, page 365

- Premier contact, page 15
- Premier travail avec des données, page 35
- Recodage, page 151
- Régression logistique, page 391
- Statistique bivariée, page 273
- Statistique univariée, page 249

string

- Extensions, page 57
- Scraping

survey

- Comparaisons (moyennes et proportions), page 373
- Définir un plan d'échantillonnage complexe, page 385
- Données pondérées, page 353
- Intervalles de confiance, page 365
- Régression logistique, page 391

T

tidyverse

- Extensions, page 57

TraMineR

- Analyse de séquences, page 491
- Classification ascendante hiérarchique (CAH), page 459

U

utils

- Conditions et comparaisons, page 535
- Export de données, page 237
- Extensions, page 57
- Import de données, page 135
- Installation de R et RStudio, page 13
- Introduction à ggplot2, page 295
- Listes et Tableaux de données, page 81
- Où trouver de l'aide ?, page 193
- Premier contact, page 15

- Premier travail avec des données, page 35
- Statistique univariée, page 249

V

vcd

- Statistique bivariée, page 273

X

xlsx

- Export de données, page 237
- Import de données, page 135