

# BIO4558 Biostatistiques appliquées avec R

Julien Martin

04-09-2020



# Contents



## Note

Version en cours de développement pour le cours de l'automne 2020. Les chapitres vont apparaître au cours de la session.



# Préface

Les exercices de laboratoire que vous retrouverez dans les pages qui suivent sont conçus de manière à vous permettre de développer une expérience pratique en analyse de données à l'aide d'un logiciel (R). R est un logiciel très puissant, mais comme tous les logiciels, il a des limites. En particulier il ne peut réfléchir à votre place, vous dire si l'analyse que vous tentez d'effectuer est appropriée ou sensée, ou interpréter biologiquement les résultats.

## Quelques points importants à retenir

- Avant de commencer une analyse statistique, il faut d'abord vous familiariser son fonctionnement. Cela ne veut pas dire que vous devez connaître les outils mathématiques qui la sous-tendent, mais vous devriez au moins comprendre les principes utilisés lors de cette analyse. Avant de faire un exercice de laboratoire, lisez donc la section correspondante dans les notes de cours. Sans cette lecture préalable, il est très probable que les résultats produits par le logiciel, même si l'analyse a été effectuée correctement, seront indéchiffrables.
- Les laboratoires sont conçus pour compléter les cours théoriques et vice versa. À cause des contraintes d'horaires, il se pourrait que le cours et le laboratoire ne soient pas parfaitement synchronisés. N'hésitez donc pas à poser des questions sur le labo en classe ou des questions théoriques au laboratoire.
- Travaillez sur les exercices de laboratoire à votre propre rythme. Certains exercices prennent beaucoup moins de temps que d'autres et il n'est pas nécessaire de compléter un exercice par séance de laboratoire. En fait deux séances de laboratoire sont prévues pour certains des exercices. Même si

vous n'êtes pas notés sur les exercices de laboratoire, soyez conscient que ces exercices sont essentiels. Si vous ne les faites pas, il est très peu probable que vous serez capable de compléter les devoirs et le projet de session. Prenez donc ces exercices de laboratoire au sérieux !

- Les 2 premier laboratoires sont conçu pour vous permettre d'acquérir ou de réviser le minimum de connaissances requises pour vous permettre de réaliser les exercices de laboratoires avec R. Il y a presque toujours de multiples façons de faire les choses avec R et vous ne trouverez ici que des méthodes simples. Ceux et celles d'entre vous qui y sont enclins pourront trouver en ligne des instructions plus détaillées et complexes. En particulier, je vous conseille :

- R pour les débutants [http://cran.r-project.org/doc/contrib/Paradis-rdebuts\\_fr.pdf](http://cran.r-project.org/doc/contrib/Paradis-rdebuts_fr.pdf)
- An introduction to R <http://cran.r-project.org/doc/manuals/R-intro.html>
- Si vous préférez des manuels, le site web de CRAN en garde une liste commentée à : <http://www.r-project.org/doc/bib/R-books.html>
- Une liste impressionnante de très bon livre sur R <https://www.bigbookofr.com/>
- Finalement, comme aide-mémoire à garder sous la main, je vous recommande R reference card par Tom Short <http://cran.r-project.org/doc/contrib/Short-refcard.pdf>

## **Qu'est-ce que R et pourquoi l'utiliser dans ce cours?**

R est un logiciel libre et multi-plateforme formant un système statistique et graphique. R est également un langage de programmation spécialisé pour les statistiques.

R a deux très grands avantages pour ce cours, et un inconvénient embêtant initialement mais qui vous forcera à acquérir des excellentes habitudes de travail. Le premier avantage est que vous pouvez tous l'installer sur votre (ou vos) ordinateurs personnel gratuitement. C'est important parce que c'est à l'usage que vous apprendrez et maîtriserez réellement les biostatistiques et cela implique que vous devez avoir un accès facile et illimité à un logiciel statistique. Le deuxième



avantage est que R peut tout faire en statistiques. R est conçu pour être extensible et est devenu l'outil de prédilection des statisticiens mondialement. La question n'est plus : " Est-ce que R peut faire ceci? ", mais devient " Comment faire ceci avec R ". Et la recherche internet est votre ami. Aucun autre logiciel n'offre ces deux avantages.

L'inconvénient embêtant initialement est que l'on doit opérer R en tapant des instructions (ou en copiant des sections de code) plutôt qu'en utilisant des menus et en cliquant sur différentes options. Si on ne sait pas quelle commande taper, rien ne se passe. Ce n'est donc pas facile d'utilisation à priori. Cependant, il est possible d'apprendre rapidement à faire certaines des opérations de base (ouvrir un fichier de données, faire un graphique pour examiner ces données, effectuer un test statistique simple). Et une fois que l'on comprend le principe de la chose, on peut assez facilement trouver sur le web des exemples d'analyses ou de graphiques plus complexes et adapter le code à nos propres besoins. C'est ce que vous ferez dans le premier laboratoire pour vous familiariser avec R.

Pourquoi cet inconvénient est-il d'une certaine façon un avantage? Parce que vous allez sauver du temps en fin de compte. Garanti. Croyez-moi, on ne fait jamais une analyse une seule fois. En cours de route, on découvre des erreurs d'entrée de données, ou que l'on doit faire l'analyse séparément pour des sous-groupes, ou on obtient des données supplémentaires, ou on fait une erreur. On doit alors recommencer l'analyse. Avec une interface graphique et des menus, cela implique recommencer à cliquer ici, entre des paramètres dans des boîtes et sélectionner des boutons. Chaque fois avec possibilité d'erreur. Avec une série de commandes écrites, il suffit de corriger ce qui doit l'être puis de copier-coller l'ensemble pour répéter instantanément. Et vous avez la possibilité de parfaitement documenter ce que vous avez fait. C'est comme cela que les professionnels travaillent et offrent une assurance de qualité de leurs résultats.

## **Installation des logiciels nécessaires**

### **R**

Pour installer R sur un nouvel ordinateur, allez au site <http://cran.r-project.org/>. Vous y trouverez des versions compilées (binaries) ou non (sources) pour votre système d'exploitation de prédilection (Windows, MacOS, Linux).

Note : R a déjà été installé sur les ordinateurs du laboratoire (la version pourrait être un peu plus ancienne, mais cela devrait être sans conséquences).

## Rstudio

RStudio est un environnement de développement intégré (IDE) créé spécifiquement pour travailler avec R. Sa popularité connaît une progression foudroyante depuis 2014. Il permet de consulter dans une interface conviviale ses fichiers de script, la ligne de commande R, les rubriques d'aide, les graphiques, etc.

RStudio est disponible à l'identique pour les plateformes Windows, OS X et Linux. Pour une utilisation locale sur son poste de travail, on installera la version libre (Open Source) de RStudio Desktop depuis le site <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>

## Paquets pour R

- Rmarkdown
- tinytex

Ces 2 paquets devrait être installé automatiquement avec RStudio, mais pas toujours. Je vous recommande donc de les installer manuellement. Pour ce faire, simplement copier-coller le texte suivant dans le terminal R.

```
install.packages(c("rmarkdown", "tinytex"))
```

## G\*Power

G\*Power est un programme gratuit, développé par des psychologues de l'Université de Dusseldorf en Allemagne. Le programme existe en version Mac et Windows. Il peut cependant être utilisé sous linux via Wine. G\*Power vous permettra d'effectuer une analyse de puissance pour la majorité des tests que nous verrons au cours de la session sans avoir à effectuer des calculs complexes ou farfouiller dans des tableaux ou des figures décrivant des distributions ou des courbes de puissance.

Téléchargez le programme sur le site <https://www.psychologie.hhu.de/arbeitsgruppen/allgemeine-psychologie-und->

arbeitspsychologie/gpower.html

## Instructions générales pour les laboratoires

- Apporter une clé USB ou son équivalent à chaque séance de laboratoire pour sauvegarder votre travail.
- Lire l'exercice de laboratoire AVANT la séance, lire le code R correspondant et préparer vos questions sur le code.
- Durant les pré-labs, écouter les instructions et posez vos questions au moment approprié.
- Faites les exercices du manuel de laboratoire à votre rythme, en équipe, puis je vous recommande de commencer (compléter?) le devoir. Profitez de la présence du démonstrateur et du prof...
- Pendant vos analyses, copiez-collez des fragments de sorties de R dans un document (par exemple dans votre traitement de texte favori) et annotez abondamment.
- Ne tapez pas directement vos commandes dans R mais plutôt dans un script. Vous pourrez ainsi refaire le labo instantanément, récupérer des fragments de code, ou plus facilement identifier les erreurs dans vos analyses.
- Créez votre propre librairie de fragments de codes (snippets). Annotez-là abondamment. Vous vous en félicitez plus tard.

## Notes sur le manuel

Vous trouverez dans le manuel des explications sur la théorie, du code R, des explications sur R et des exercices.

Le manuel essaie aussi de mettre en évidence le texte de différentes manières.



Avec des sections à vous de jouer, ui indique un exercice à faire, idéalement sans regarder la solution qui se trouve plus bas.



des avertissements



des avertissements



des points importants



des notes



et des conseils

### Resources {-}

Ce document est généré par l'excellente extension `bookdown`<sup>1</sup> de Yihui Xie<sup>2</sup>. Il est basé sur le précédent manuel de laboratoire *BIO4558 manuel de laboratoire* par Antoine Morin. L'introduction à R est largement reprise de l'excellent manuel de **Julien Barnier** intitulé *Introduction à R et au tidyverse*<sup>3</sup>

## Licence

Ce document est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International<sup>4</sup>.



**Figure 1:** Licence Creative Commons

<sup>1</sup><https://bookdown.org/>

<sup>2</sup><https://yihui.name/>

<sup>3</sup><https://juba.github.io/tidyverse/>

<sup>4</sup><http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

## **Part I**

### **Introduction à R**



# Chapter 1

## Objectifs Labo 1

Après avoir complété cet exercice de laboratoire, vous pourrez : - Ouvrir des fichiers de données R déjà existants - Importer des ensembles de données rectangulaires - Exporter des données de R vers un fichier texte - Vérifier si les données ont été correctement importées - Examiner la distribution des observations d'une variable - Examiner visuellement et tester la normalité d'une variable - Calculer des statistiques descriptives d'une variable - Effectuer des transformations de données

### 1.1 Paquets et données requises pour le labo

Ce laboratoire nécessite:

- les paquets R:
  - questionr
  - ggplot2
- les fichiers de données
  - ErablesGatineau.csv
  - sturgeon.csv





# Chapter 2

## Premier pas avec R

Une fois R et RStudio installés sur votre machine, nous n’allons pas lancer R mais plutôt RStudio.

RStudio n’est pas à proprement parler une interface graphique qui permettrait d’utiliser R de manière “classique” via la souris, des menus et des boîtes de dialogue. Il s’agit plutôt de ce qu’on appelle un *Environnement de développement intégré* (IDE) qui facilite l’utilisation de R et le développement de scripts (voir section ??).

### 2.1 La console

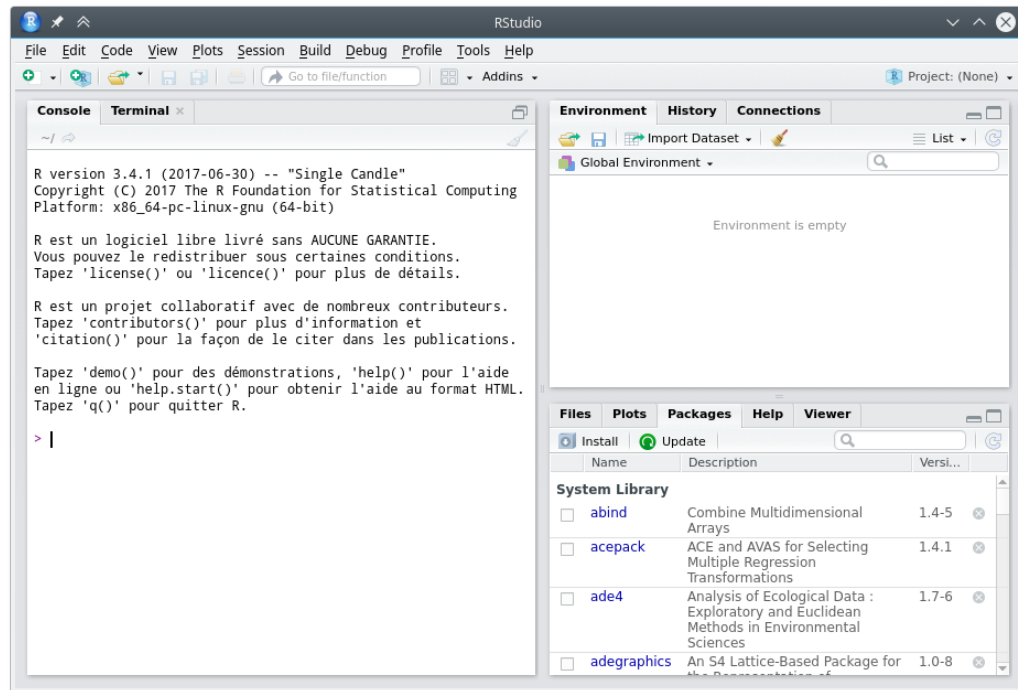
#### 2.1.1 L’invite de commandes

Au premier lancement de RStudio, l’écran principal est découpé en trois grandes zones :

La zone de gauche se nomme *Console*. À son démarrage, RStudio a lancé une nouvelle session de R et c’est dans cette fenêtre que nous allons pouvoir interagir avec lui.

La *Console* doit normalement afficher un texte de bienvenue ressemblant à ceci :

```
R version 4.0.0 (2020-04-24) -- "Arbor Day"
Copyright (C) 2020 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: x86_64-pc-linux-gnu (64-bit)
```



**Figure 2.1:** Interface de Rstudio

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

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

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

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 pouvons tout de suite lui fournir une première commande, en saisissant le

texte suivant puis en appuyant sur Entrée :

```
2 + 2
```

```
## [1] 4
```

R nous répond immédiatement, et nous pouvons constater avec soulagement qu'il sait faire des additions à un chiffre<sup>1</sup>. On peut donc continuer avec d'autres opérations :

```
5 - 7
```

```
## [1] -2
```

```
4 * 12
```

```
## [1] 48
```

```
-10 / 3
```

```
## [1] -3.333333
```

```
5^2
```

```
## [1] 25
```

Cette dernière opération utilise le symbole  $^$  qui représente l'opération *puissance*.  $5^2$  signifie donc "5 au carré", soit 25.

### 2.1.2 Précisions concernant la saisie des commandes

Lorsqu'on saisit une commande, les espaces autour des opérateurs n'ont pas d'importance. Les trois commandes suivantes sont donc équivalentes, mais on privilégie en général la deuxième pour des raisons de lisibilité du code.

---

<sup>1</sup>On peut ignorer pour le moment la présence du `[1]` en début de ligne.

```
10+2
10 + 2
10      +      2
```

Quand vous êtes dans la console, vous pouvez utiliser les flèches vers le haut et vers le bas pour naviguer dans l'historique des commandes que vous avez tapées précédemment. Vous pouvez à tout moment modifier la commande affichée, et l'exécuter en appuyant sur Entrée.

Enfin, il peut arriver qu'on saisisse une commande de manière incomplète : oubli d'une parenthèse, faute de frappe, etc. Dans ce cas, R remplace l'invite de commande habituel par un signe + :

```
4 *
+
```

Cela signifie qu'il "attend la suite". On peut alors soit compléter la commande sur cette nouvelle ligne et appuyer sur Entrée, soit, si on est perdu, tout annuler et revenir à l'invite de commandes normal en appuyant sur Esc ou Échap.

## 2.2 Objets

### 2.2.1 Objets simples

Faire des calculs c'est bien, mais il serait intéressant de pouvoir stocker un résultat quelque part pour pouvoir le réutiliser ultérieurement sans avoir à faire du copier/coller.

Pour conserver le résultat d'une opération, on peut le stocker dans un *objet* à l'aide de l'opérateur d'assignation `<-`. Cette "flèche" stocke ce qu'il y a à sa droite dans un objet dont le nom est indiqué à sa gauche.

Prenons tout de suite un exemple :

```
x <- 2
```

Cette commande peut se lire “prend la valeur 2 et mets la dans un objet qui s’appelle x”.

Si on exécute une commande comportant juste le nom d’un objet, R affiche son contenu :

```
x
```

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

On voit donc que notre objet x contient bien la valeur 2.

On peut évidemment réutiliser cet objet dans d’autres opérations. R le remplacera alors par sa valeur :

```
x + 4
```

```
## [1] 6
```

On peut créer autant d’objets qu’on le souhaite.

```
x <- 2  
y <- 5  
resultat <- x + y  
resultat
```

```
## [1] 7
```



Les noms d’objets peuvent contenir des lettres, des chiffres, les symboles `.` et `_`. Ils ne peuvent pas commencer par un chiffre. Attention, R fait la différence entre minuscules et majuscules dans les noms d’objets, ce qui signifie que x et X seront deux objets différents, tout comme resultat et Resultat.

De manière générale, il est préférable d’éviter les majuscules (pour les risques d’erreur) et les caractères accentués (pour des questions d’encodage) dans les noms d’objets.

De même, il faut essayer de trouver un équilibre entre clarté du nom (comprendre à quoi sert l'objet, ce qu'il contient) et sa longueur. Par exemple, on préférera comme nom d'objet `taille_conj1` à `taille_du_conjoint_numero_1` (trop long) ou à `t1` (pas assez explicite).

Quand on assigne une nouvelle valeur à un objet déjà existant, la valeur précédente est perdue. Les objets n'ont pas de mémoire.

```
x <- 2
x <- 5
x
```

```
## [1] 5
```

De la même manière, assigner un objet à un autre ne crée pas de “lien” entre les deux. Cela copie juste la valeur de l'objet de droite dans celui de gauche :

```
x <- 1
y <- 3
x <- y
x
```

```
## [1] 3
```

```
## Si on modifie y, cela ne modifie pas x
y <- 4
x
```

```
## [1] 3
```

On le verra, les objets peuvent contenir tout un tas d'informations. Jusqu'ici on n'a stocké que des nombres, mais ils peuvent aussi contenir des chaînes de caractères (du texte), qu'on délimite avec des guillemets simples ou doubles ( ' ou " ) :

```
chien <- "Chihuahua"  
chien
```

```
## [1] "Chihuahua"
```

### 2.2.2 Vecteurs

Imaginons maintenant qu'on a demandé la taille en centimètres de 5 personnes et qu'on souhaite calculer leur taille moyenne. On pourrait créer autant d'objets que de tailles et faire l'opération mathématique qui va bien :

```
taille1 <- 156  
taille2 <- 164  
taille3 <- 197  
taille4 <- 147  
taille5 <- 173  
(taille1 + taille2 + taille3 + taille4 + taille5) / 5
```

```
## [1] 167.4
```

Cette manière de faire n'est évidemment pas pratique du tout. On va plutôt stocker l'ensemble de nos tailles dans un seul objet, de type *vecteur*, avec la syntaxe suivante :

```
tailles <- c(156, 164, 197, 147, 173)
```

Si on affiche le contenu de cet objet, on voit qu'il contient bien l'ensemble des tailles saisies :

```
tailles
```

```
## [1] 156 164 197 147 173
```

Un *vecteur* dans R est un objet qui peut contenir plusieurs informations du même type, potentiellement en très grand nombre.

L'avantage d'un vecteur est que lorsqu'on lui applique une opération, celle-ci s'applique à toutes les valeurs qu'il contient. Ainsi, si on veut la taille en mètres plutôt qu'en centimètres, on peut faire :

```
tailles_m <- tailles / 100  
tailles_m
```

```
## [1] 1.56 1.64 1.97 1.47 1.73
```

Cela fonctionne pour toutes les opérations de base :

```
tailles + 10
```

```
## [1] 166 174 207 157 183
```

```
tailles^2
```

```
## [1] 24336 26896 38809 21609 29929
```

Imaginons maintenant qu'on a aussi demandé aux cinq mêmes personnes leur poids en kilos. On peut alors créer un deuxième vecteur :

```
poids <- c(45, 59, 110, 44, 88)
```

On peut alors effectuer des calculs utilisant nos deux vecteurs `tailles` et `poids`. On peut par exemple calculer l'indice de masse corporelle (IMC) de chacun de nos enquêtés en divisant leur poids en kilo par leur taille en mètre au carré :

```
imc <- poids / (tailles / 100) ^ 2  
imc
```

```
## [1] 18.49112 21.93635 28.34394 20.36189 29.40292
```

Un vecteur peut contenir des nombres, mais il peut aussi contenir du texte. Imaginons qu'on a demandé aux 5 mêmes personnes leur niveau de diplôme : on peut



regrouper l'information dans un vecteur de *chaînes de caractères*. Une chaîne de caractère contient du texte libre, délimité par des guillemets simples ou doubles :

```
diplome <- c("CAP", "Bac", "Bac+2", "CAP", "Bac+3")
diplome
```

```
## [1] "CAP" "Bac" "Bac+2" "CAP" "Bac+3"
```

L'opérateur `:`, lui, permet de générer rapidement un vecteur comprenant tous les nombres entre deux valeurs, opération assez courante sous R :

```
x <- 1:10
x
```

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

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

```
diplome[2]
```

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

Cette opération, qui utilise l'opérateur `[]`, permet donc la sélection d'éléments d'un vecteur.

Dernière remarque, si on affiche dans la console un vecteur avec beaucoup d'éléments, ceux-ci seront répartis sur plusieurs lignes. Par exemple, si on a un vecteur de 50 nombres on peut obtenir quelque chose comme :

```
[1] 294 425 339 914 114 896 716 648 915 587 181 926 489
[14] 848 583 182 662 888 417 133 146 322 400 698 506 944
[27] 237 324 333 443 487 658 793 288 897 588 697 439 697
[40] 914 694 126 969 744 927 337 439 226 704 635
```

On remarque que R ajoute systématiquement un nombre entre crochets au début de chaque ligne : il s'agit en fait de la position du premier élément de la ligne dans

le vecteur. Ainsi, le 848 de la deuxième ligne est le 14<sup>e</sup> élément du vecteur, le 914 de la dernière ligne est le 40<sup>e</sup>, etc.

Ceci explique le `[1]` qu'on obtient quand on affiche un simple nombre<sup>2</sup> :

```
[1] 4
```

## 2.3 Fonctions

### 2.3.1 Principe

Nous savons désormais effectuer des opérations arithmétiques de base sur des nombres et des vecteurs, et stocker des valeurs dans des objets pour pouvoir les réutiliser plus tard.

Pour aller plus loin, nous devons aborder les *fonctions* qui sont, avec les objets, un deuxième concept de base de R. On utilise des fonctions pour effectuer des calculs, obtenir des résultats et accomplir des actions.

Formellement, une fonction a un *nom*, elle prend en entrée entre parenthèses un ou plusieurs *arguments* (ou *paramètres*), et retourne un *résultat*.

Prenons tout de suite un exemple. Si on veut connaître le nombre d'éléments du vecteur `tailles` que nous avons construit précédemment, on peut utiliser la fonction `length`, de cette manière :

```
length(tailles)
```

```
## [1] 5
```

Ici, `length` est le nom de la fonction, on l'appelle en lui passant un argument entre parenthèses (en l'occurrence notre vecteur `tailles`), et elle nous renvoie un résultat, à savoir le nombre d'éléments du vecteur passé en paramètre.

Autre exemple, les fonctions `min` et `max` retournent respectivement les valeurs minimales et maximales d'un vecteur de nombres :

---

<sup>2</sup>Et permet de constater que pour R, un nombre est un vecteur à un seul élément.

```
min(tailles)
```

```
## [1] 147
```

```
max(tailles)
```

```
## [1] 197
```

La fonction `mean` calcule et retourne la moyenne d'un vecteur de nombres :

```
mean(tailles)
```

```
## [1] 167.4
```

La fonction `sum` retourne la somme de tous les éléments du vecteur :

```
sum(tailles)
```

```
## [1] 837
```

Jusqu'à présent on n'a vu que des fonctions qui calculent et retournent un unique nombre. Mais une fonction peut renvoyer d'autres types de résultats. Par exemple, la fonction `range` (étendue) renvoie un vecteur de deux nombres, le minimum et le maximum :

```
range(tailles)
```

```
## [1] 147 197
```

Ou encore, la fonction `unique`, qui supprime toutes les valeurs en double dans un vecteur, qu'il s'agisse de nombres ou de chaînes de caractères :

```
diplome <- c("CAP", "Bac", "Bac+2", "CAP", "Bac+3")  
unique(diplome)
```

```
## [1] "CAP" "Bac" "Bac+2" "Bac+3"
```

### 2.3.2 Arguments

Une fonction peut prendre plusieurs arguments, dans ce cas on les indique toujours entre parenthèses, séparés par des virgules.

On a déjà rencontré un exemple de fonction acceptant plusieurs arguments : la fonction `c`, qui combine l'ensemble de ses arguments en un vecteur<sup>3</sup> :

```
tailles <- c(156, 164, 197, 181, 173)
```

Ici, `c` est appelée en lui passant cinq arguments, les cinq tailles séparées par des virgules, et elle renvoie un vecteur numérique regroupant ces cinq valeurs.

Supposons maintenant que dans notre vecteur `tailles` nous avons une valeur manquante (une personne a refusé de répondre, ou notre mètre mesureur était en panne). On symbolise celle-ci dans R avec le code interne `NA` :

```
tailles <- c(156, 164, 197, NA, 173)
tailles
```

```
## [1] 156 164 197 NA 173
```



`NA` est l'abréviation de *Not available*, non disponible. Cette valeur particulière peut être utilisée pour indiquer une valeur manquante, qu'il s'agisse d'un nombre, d'une chaîne de caractères, etc.

Si je calcule maintenant la taille moyenne à l'aide de la fonction `mean`, j'obtiens :

```
mean(tailles)
```

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

En effet, R considère par défaut qu'il ne peut pas calculer la moyenne si une des valeurs n'est pas disponible. Il considère alors que cette moyenne est elle-même "non disponible" et renvoie donc comme résultat `NA`.

<sup>3</sup> `c` est l'abréviation de *combine*, son nom est très court car on l'utilise très souvent

On peut cependant indiquer à `mean` d'effectuer le calcul en ignorant les valeurs manquantes. Ceci se fait en ajoutant un argument supplémentaire, nommé `na.rm` (abréviation de *NA remove*, “enlever les NA”), et de lui attribuer la valeur `TRUE` (code interne de R signifiant *vrai*) :

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

```
## [1] 172.5
```

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

Si on ne dit rien à la fonction `mean`, cet argument a une valeur par défaut, en l'occurrence `FALSE` (faux), qui fait qu'il ne supprime pas les valeurs manquantes. Les deux commandes suivantes sont donc rigoureusement équivalentes :

```
mean(tailles)
```

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

```
mean(tailles, na.rm = FALSE)
```

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



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*.

### 2.3.3 Aide sur une fonction

Il est fréquent de ne pas savoir (ou d'avoir oublié) quels sont les arguments d'une fonction, ou comment ils se nomment. On peut à tout moment faire appel à l'aide intégrée à R en passant le nom de la fonction (entre guillemets) à la fonction `help` :

```
help("mean")
```

On peut aussi utiliser le raccourci `?mean`.

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

Dans RStudio, les pages d'aide en ligne s'ouvriront par défaut dans la zone en bas à droite, sous l'onglet *Help*. Un clic sur l'icône en forme de maison vous affichera la page d'accueil de l'aide.

## 2.4 Regrouper ses commandes dans des scripts

Jusqu'ici on a utilisé R de manière “interactive”, en saisissant des commandes directement dans la console. Ça n'est cependant pas la manière dont on va utiliser R au quotidien, pour une raison simple : lorsque R redémarre, tout ce qui a été effectué dans la console est perdu.

Plutôt que de saisir nos commandes dans la console, on va donc les regrouper dans des scripts (de simples fichiers texte), qui vont garder une trace de toutes les opérations effectuées, et ce sont ces scripts, sauvegardés régulièrement, qui seront le “coeur” de notre travail. C'est en ouvrant les scripts et en réexécutant les commandes qu'ils contiennent qu'on pourra “reproduire” les données, leur traitement, les analyses et leurs résultats.

Pour créer un script, il suffit de sélectionner le menu *File*, puis *New file* et *R script*. Une quatrième zone apparaît alors en haut à gauche de l'interface de RStudio. On peut enregistrer notre script à tout moment dans un fichier avec l'extension `.R`, en cliquant sur l'icône de disquette ou en choisissant *File* puis *Save*.

Un script est un fichier texte brut, qui s'édite de la manière habituelle. À la différence de la console, quand on appuie sur *Entrée*, cela n'exécute pas la commande en cours mais insère un saut de ligne (comme on pouvait s'y attendre).

Pour exécuter une commande saisie dans un script, il suffit de positionner le curseur sur la ligne de la commande en question, et de cliquer sur le bouton *Run* dans la barre d'outils juste au-dessus de la zone d'édition du script. On peut aussi

utiliser le raccourci clavier `Ctrl + Entrée` (`Cmd + Entrée` sous Mac). On peut enfin sélectionner plusieurs lignes avec la souris ou le clavier et cliquer sur *Run* (ou utiliser le raccourci clavier), et l'ensemble des lignes est exécuté d'un coup.

Au final, un script pourra ressembler à quelque chose comme ça :

```
tailles <- c(156, 164, 197, 147, 173)
poids <- c(45, 59, 110, 44, 88)

mean(tailles)
mean(poids)

imc <- poids / (tailles / 100) ^ 2
min(imc)
max(imc)
```

### 2.4.1 Commentaires

Les commentaires sont un élément très important d'un script. Il s'agit de texte libre, ignoré par R, et qui permet de décrire les étapes du script, sa logique, les raisons pour lesquelles on a procédé de telle ou telle manière... Il est primordial de documenter ses scripts à l'aide de commentaires, car il est très facile de ne plus se retrouver dans un programme qu'on a produit soi-même, même après une courte interruption.

Pour ajouter un commentaire, il suffit de le faire précéder d'un ou plusieurs symboles `#`. En effet, dès que R rencontre ce caractère, il ignore tout ce qui se trouve derrière, jusqu'à la fin de la ligne.

On peut donc documenter le script précédent :

```
# Saisie des tailles et poids des enquêtés
tailles <- c(156, 164, 197, 147, 173)
poids <- c(45, 59, 110, 44, 88)

# Calcul des tailles et poids moyens
```

```

mean(tailles)
mean(poids)

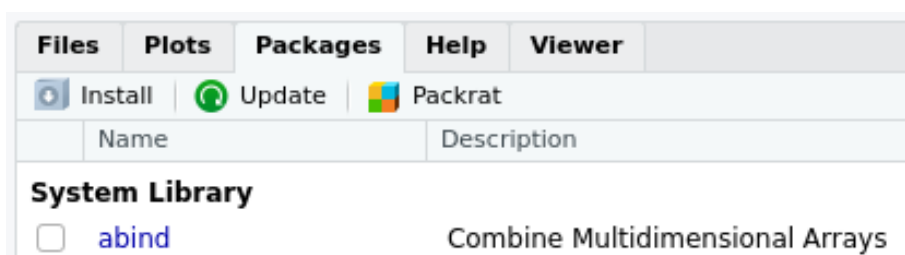
# Calcul de l'IMC (poids en kilo divisé par les tailles en mètre au
imc <- poids / (tailles / 100) ^ 2
# Valeurs extrêmes de l'IMC
min(imc)
max(imc)

```

## 2.5 Installer et charger des extensions (packages)

R étant un logiciel libre, il bénéficie d'un développement communautaire riche et dynamique. L'installation de base de R permet de faire énormément de choses, mais le langage dispose en plus d'un système d'extensions permettant d'ajouter facilement de nouvelles fonctionnalités. La plupart des extensions sont développées et maintenues par la communauté des utilisateurs de R, et diffusées via un réseau de serveurs nommé CRAN (*Comprehensive R Archive Network*).

Pour installer une extension, si on dispose d'une connexion Internet, on peut utiliser le bouton *Install* de l'onglet *Packages* de RStudio.

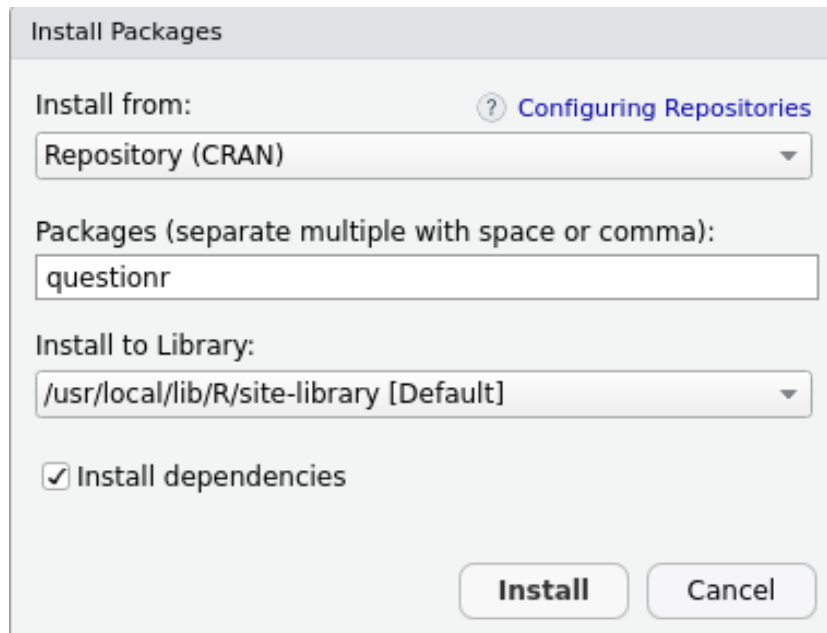


**Figure 2.2:** Installer une extension

Il suffit alors d'indiquer le nom de l'extension dans le champ *Package* et de cliquer sur *Install*.

On peut aussi installer des extensions en utilisant la fonction `install.packages()` directement dans la console. Par exemple, pour installer le *package* `questionr` on peut exécuter la commande :





**Figure 2.3:** Installation d’une extension

```
install.packages("questionr")
```

Installer une extension via l’une des deux méthodes précédentes va télécharger l’ensemble des fichiers nécessaires depuis l’une des machines du CRAN, puis installer tout ça sur le disque dur de votre ordinateur. Vous n’avez besoin de le faire qu’une fois, comme vous le faites pour installer un programme sur votre Mac ou PC.

Une fois l’extension installée, il faut la “charger” avant de pouvoir utiliser les fonctions qu’elle propose. Ceci se fait avec la fonction `library`. Par exemple, pour pouvoir utiliser les fonctions de `questionr`, vous devrez exécuter la commande suivante :

```
library(questionr)
```

Ainsi, bien souvent, on regroupe en début de script toute une série d’appels à `library` qui permettent de charger tous les packages utilisés dans le script.

Quelque chose comme :

```
library(readxl)
library(ggplot2)
library(questionr)
```

Si vous essayez d'exécuter une fonction d'une extension et que vous obtenez le message d'erreur `impossible de trouver la fonction`, c'est certainement parce que vous n'avez pas exécuté la commande `library` correspondante.

## 2.6 Exercices

### Exercice 1

Construire le vecteur `x` suivant :

```
## [1] 120 134 256 12
```

Utiliser ce vecteur `x` pour générer les deux vecteurs suivants :

```
## [1] 220 234 356 112
```

```
## [1] 240 268 512 24
```

### Exercice 2

On a demandé à 4 ménages le revenu des deux conjoints, et le nombre de personnes du ménage :

```
conjoint1 <- c(1200, 1180, 1750, 2100)
conjoint2 <- c(1450, 1870, 1690, 0)
nb_personnes <- c(4, 2, 3, 2)
```

Calculer le revenu total de chaque ménage, puis diviser par le nombre de personnes pour obtenir le revenu par personne de chaque ménage.

### Exercice 3

Dans l'exercice précédent, calculer le revenu minimum et maximum parmi ceux du premier conjoint.

```
conjoint1 <- c(1200, 1180, 1750, 2100)
```

Recommencer avec les revenus suivants, parmi lesquels l'un des enquêtés n'a pas voulu répondre :

```
conjoint1 <- c(1200, 1180, 1750, NA)
```

#### Exercice 4

Les deux vecteurs suivants représentent les précipitations (en mm) et la température (en °C) moyennes sur la ville de Lyon, pour chaque mois de l'année, entre 1981 et 2010 :

```
temperature <- c(3.4, 4.8, 8.4, 11.4, 15.8, 19.4, 22.2, 21.6, 17.6, 13.4, 9.8, 6.4)
precipitations <- c(47.2, 44.1, 50.4, 74.9, 90.8, 75.6, 63.7, 62, 87.5, 91.2, 78.5, 54.1)
```

Calculer la température moyenne sur l'année.

Calculer la quantité totale de précipitations sur l'année.

À quoi correspond et comment peut-on interpréter le résultat de la fonction suivante ? Vous pouvez vous aider de la page d'aide de la fonction si nécessaire.

```
cumsum(precipitations)
```

```
## [1] 47.2 91.3 141.7 216.6 307.4 383.0 446.7 508.7 596.2 694.8 776.7 831.9
```

Même question pour :

```
diff(temperature)
```

```
## [1] 1.4 3.6 3.0 4.4 3.6 2.8 -0.6 -4.0 -4.2 -5.8 -3.2
```

#### Exercice 5

On a relevé les notes en maths, anglais et sport d'une classe de 6 élèves et on a stocké ces données dans trois vecteurs :

```
maths <- c(12, 16, 8, 18, 6, 10)
anglais <- c(14, 9, 13, 15, 17, 11)
sport <- c(18, 11, 14, 10, 8, 12)
```

Calculer la moyenne des élèves de la classe en anglais.

Calculer la moyenne générale de chaque élève.

Essayez de comprendre le résultat des deux fonctions suivantes (vous pouvez vous aider de la page d'aide de ces fonctions) :

```
pmin(maths, anglais, sport)
```

```
## [1] 12  9  8 10  6 10
```

```
pmax(maths, anglais, sport)
```

```
## [1] 18 16 14 18 17 12
```

## Chapter 3

# Premier travail avec des données

### 3.1 Jeu de données d'exemple

Dans cette partie nous allons (enfin) travailler sur des “vraies” données, et utiliser un jeu de données présent dans l'extension `questionr`. Nous devons donc avant toute chose installer cette extension.

Pour installer ce package, deux possibilités :

- Dans l'onglet *Packages* de la zone de l'écran en bas à droite, cliquez sur le bouton *Install*. Dans le dialogue qui s'ouvre, entrez “questionr” dans le champ *Packages* puis cliquez sur *Install*.
- Saisissez directement la commande suivante dans la console : `install.packages("questionr")`

Dans les deux cas, tout un tas de messages devraient s'afficher dans la console. Attendez que l'invite de commandes `>` apparaisse à nouveau.

Pour plus d'informations sur les extensions et leur installation, voir la section ??.

Le jeu de données que nous allons utiliser est un extrait de l'enquête *Histoire de vie* réalisée par l'INSEE en 2003. Il contient 2000 individus et 20 variables. Pour une description plus complète et une liste des variables, voir la section ??.

Pour pouvoir utiliser ces données, il faut d'abord charger l'extension `questionr` (après l'avoir installée, bien entendu) :

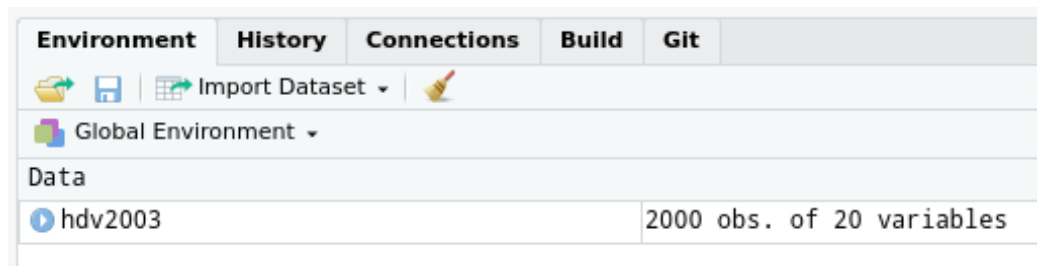
### `library(questionr)`

L'utilisation de `library` permet de rendre “disponibles”, dans notre session R, les fonctions et jeux de données inclus dans l'extension.

Nous devons ensuite indiquer à R que nous souhaitons accéder au jeu de données à l'aide de la commande `data` :

### `data(hdv2003)`

Cette commande ne renvoie aucun résultat particulier (sauf en cas d'erreur), mais vous devriez voir apparaître dans l'onglet *Environment* de RStudio un nouvel objet nommé `hdv2003` :



**Figure 3.1:** Onglet *Environment*

Cet objet est d'un type nouveau : il s'agit d'un tableau de données.

## 3.2 Tableau de données (*data frame*)

Un *data frame* (ou tableau de données, ou table) est un type d'objet R qui contient des données au format tabulaire, avec les observations en ligne et les variables en colonnes, comme dans une feuille de tableur de type LibreOffice ou Excel.

Si on se contente d'exécuter le nom de notre tableau de données :

```
hdv2003
```

R va, comme à son habitude, nous l'afficher dans la console, ce qui est tout sauf utile.

Une autre manière d'afficher le contenu du tableau est de cliquer sur l'icône en forme de tableau à droite du nom de l'objet dans l'onglet *Environment* :



**Figure 3.2:** View icon

Ou d'utiliser la fonction `View` :

```
View(hdv2003)
```

Dans les deux cas votre tableau devrait s'afficher dans RStudio avec une interface de type tableau :

	id	age	sexe	nivetud	poids	occup	qualif	freres.sc
1	1	28	Femme	Enseignement superieur y compris technique sup...	2634.3982	Exerce une profession	Employe	
2	2	23	Femme	NA	9738.3958	Etudiant, eleve	NA	
3	3	59	Homme	Derniere annee d'etudes primaires	3994.1025	Exerce une profession	Technicien	
4	4	34	Homme	Enseignement superieur y compris technique sup...	5731.6615	Exerce une profession	Technicien	
5	5	71	Femme	Derniere annee d'etudes primaires	4329.0940	Retraite	Employe	
6	6	35	Femme	Enseignement technique ou professionnel court	8674.6994	Exerce une profession	Employe	
7	7	60	Femme	Derniere annee d'etudes primaires	6165.8035	Au foyer	Ouvrier qualifie	
8	8	47	Homme	Enseignement technique ou professionnel court	12891.6408	Exerce une profession	Ouvrier qualifie	
9	9	20	Femme	NA	7808.8721	Etudiant, eleve	NA	
10	10	28	Homme	Enseignement technique ou professionnel long	2277.1605	Exerce une profession	Autre	
11	11	65	Femme	Enseignement superieur y compris technique sup...	704.3227	Retraite	Employe	
12	12	47	Homme	2eme cycle	6697.8682	Exerce une profession	Ouvrier qualifie	
13	13	63	Femme	Derniere annee d'etudes primaires	7118.4659	Retraite	Employe	
14	14	67	Femme	Enseignement technique ou professionnel court	586.7714	Exerce une profession	NA	
15	15	76	Femme	A arrete ses etudes, avant la derniere annee d'et...	11042.0774	Retraite	NA	
16	16	49	Femme	Enseignement technique ou professionnel court	9958.2287	Exerce une profession	Employe	
17	17	62	Homme	Enseignement superieur y compris technique sup...	4836.1393	Retraite	Cadre	
18	18	20	Femme	NA	1551.4846	Etudiant, eleve	NA	

Showing 1 to 19 of 2,000 entries

**Figure 3.3:** Interface “View”

Il est important de comprendre que l'objet `hdv2003` contient *l'intégralité* des données du tableau. On voit donc qu'un objet peut contenir des données de types très

différents (simple nombre, texte, vecteur, tableau de données entier), et être potentiellement de très grande taille<sup>1</sup>.



Sous R, on peut importer ou créer autant de tableaux de données qu'on le souhaite, dans les limites des capacités de sa machine.

Un *data frame* peut être manipulé comme les autres objets vus précédemment. On peut par exemple faire :

```
d <- hdv2003
```

ce qui va entraîner la copie de l'ensemble de nos données dans un nouvel objet nommé *d*. Ceci 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.

**Pour résumer**, 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 :

```
## Chargement des extensions nécessaires
library(questionr)

## Jeu de données hdv2003
data(hdv2003)
d <- hdv2003
```

### 3.2.1 Structure du tableau

Un tableau étant un objet comme un autre, on peut lui appliquer des fonctions. Par exemple, *nrow* et *ncol* retournent le nombre de lignes et de colonnes du tableau :

---

<sup>1</sup>La seule limite pour la taille d'un objet étant la mémoire vive (RAM) de la machine sur laquelle tourne la session R.



```
nrow(d)
```

```
## [1] 2000
```

```
ncol(d)
```

```
## [1] 20
```

La fonction `dim` renvoie ses dimensions, donc les deux nombres précédents :

```
dim(d)
```

```
## [1] 2000 20
```

La fonction `names` retourne les noms des colonnes du tableau, c'est-à-dire la liste de nos *variables* :

```
names(d)
```

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

Enfin, la fonction `str` renvoie un descriptif plus détaillé de la structure du tableau. Elle liste les différentes variables, indique leur type <sup>2</sup> et affiche les premières valeurs :

```
str(d)
```

```
## 'data.frame': 2000 obs. of 20 variables:
## $ id : int 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...
```

---

<sup>2</sup>Les différents types de variables seront décrits plus en détail dans le chapitre ?? sur les re-codages.

```
## $ 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
## $ poids    : num  2634 9738 3994 5732 4329 ...
## $ occup    : Factor w/ 7 levels "Exerce une profession",...: 1 3 1
## $ qualif   : Factor w/ 7 levels "Ouvrier specialise",...: 6 NA 3 3
## $ freres.soeurs: int  8 2 2 1 0 5 1 5 4 2 ...
## $ clso     : Factor w/ 3 levels "Oui","Non","Ne sait pas": 1 1 2 2
## $ relig    : Factor w/ 6 levels "Pratiquant regulier",...: 4 4 4 3
## $ trav.imp  : Factor w/ 4 levels "Le plus important",...: 4 NA 2 3 NA
## $ trav.satisf : Factor w/ 3 levels "Satisfaction",...: 2 NA 3 1 NA 3
## $ 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 ...
```

Sous RStudio, on peut afficher à tout moment la structure d'un objet en cliquant sur l'icône de triangle sur fond bleu à gauche du nom de l'objet dans l'onglet *Environment* :

### 3.2.2 Accéder aux variables d'un tableau

Une opération très importante est l'accès aux variables du tableau (à ses colonnes) pour pouvoir les manipuler, effectuer des calculs, etc. On utilise pour cela l'opérateur \$, qui permet d'accéder aux colonnes du tableau. Ainsi, si l'on tape :

```
d$sexe
```

```
## [1] Femme Femme Homme Homme Femme Femme Femme Homme Femme Homme Fe
## [13] Femme Femme Femme Femme Homme Femme Homme Femme Femme Homme Fe
## [25] Femme Homme Femme Homme Homme Homme Homme Homme Homme Homme Fe
## [37] Homme Femme Femme Homme Femme Homme Homme Femme Femme Homme Fe
## [49] Femme Femme Homme Femme Homme Femme Homme Femme Femme Femme Ho
```



tableau `table`, c'est-à-dire un vecteur, en général de nombres ou de chaînes de caractères.

Si on souhaite afficher seulement les premières ou dernières valeurs d'une variable, on peut utiliser les fonctions `head` et `tail` :

```
head(d$age)
```

```
## [1] 28 23 59 34 71 35
```

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

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

Le deuxième argument numérique permet d'indiquer le nombre de valeurs à afficher.

### 3.2.3 Créer une nouvelle variable

On peut aussi utiliser l'opérateur `$` pour créer une nouvelle variable dans notre tableau : pour cela, il suffit de lui assigner une valeur.

Par exemple, la variable `heures.tv` contient le nombre d'heures passées quotidiennement devant la télé :

```
head(d$heures.tv, 10)
```

```
## [1] 0.0 1.0 0.0 2.0 3.0 2.0 2.9 1.0 2.0 2.0
```

On peut vouloir créer une nouvelle variable dans notre tableau qui contienne la même durée mais en minutes. On va donc créer une nouvelle variable `minutes.tv` de la manière suivante :

```
d$minutes.tv <- d$heures.tv * 60
```

On peut alors constater, soit visuellement soit dans la console, qu'une nouvelle variable (une nouvelle colonne) a bien été ajoutée au tableau :

```
head(d$minutes.tv)
```

```
## [1] 0 60 0 120 180 120
```

### 3.3 Analyse univariée

On a donc désormais accès à un tableau de données `d`, dont les lignes sont des observations (des individus enquêtés), et les colonnes des variables (des caractéristiques de chacun de ces individus), et on sait accéder à ces variables grâce à l'opérateur `$`.

Si on souhaite analyser ces variables, les méthodes et fonctions utilisées seront différentes selon qu'il s'agit d'une variable *quantitative* (variable numérique pouvant prendre un grand nombre de valeurs : l'âge, le revenu, un pourcentage...) ou d'une variable *qualitative* (variable pouvant prendre un nombre limité de valeurs appelées modalités : le sexe, la profession, le dernier diplôme obtenu, etc.).

#### 3.3.1 Analyser une variable quantitative

Une variable quantitative est une variable de type numérique (un nombre) qui peut prendre un grand nombre de valeurs. On en a plusieurs dans notre jeu de données, notamment l'âge (variable `age`) ou le nombre d'heures passées devant la télé (`heures.tv`).

##### 3.3.1.1 Indicateurs de centralité

Caractériser une variable quantitative, c'est essayer de décrire la manière dont ses valeurs se répartissent, ou se distribuent.

Pour cela on peut commencer par regarder les valeurs extrêmes, avec les fonctions `min`, `max` ou `range` :

```
min(d$age)
```

```
## [1] 18
```

```
max(d$age)
```

```
## [1] 97
```

```
range(d$age)
```

```
## [1] 18 97
```

On peut aussi calculer des indicateurs de *centralité* : ceux-ci indiquent autour de quel nombre se répartissent les valeurs de la variable. Il y en a plusieurs, le plus connu étant la moyenne, qu'on peut calculer avec la fonction `mean` :

```
mean(d$age)
```

```
## [1] 48.157
```

Il existe aussi la médiane, qui est la valeur qui sépare notre population en deux : on a la moitié de nos observations en-dessous, et la moitié au-dessus. Elle se calcule avec la fonction `median` :

```
median(d$age)
```

```
## [1] 48
```

Une différence entre les deux indicateurs est que la médiane est beaucoup moins sensible aux valeurs “extrêmes” : on dit qu'elle est plus *robuste*. Ainsi, en 2013, le salaire net *moyen* des salariés à temps plein en France était de 2202 euros, tandis que le salaire net *médian* n'était que de 1772 euros. La différence étant due à des très hauts salaires qui “tirent” la moyenne vers le haut.

### 3.3.1.2 Indicateurs de dispersion

Les indicateurs de dispersion permettent de mesurer si les valeurs sont plutôt regroupées ou au contraire plutôt dispersées.

L'indicateur le plus simple est l'étendue de la distribution, qui décrit l'écart maximal observé entre les observations :

```
max(d$age) - min(d$age)
```

```
## [1] 79
```

Les indicateurs de dispersion les plus utilisés sont la variance ou, de manière équivalente, l'écart-type (qui est égal à la racine carrée de la variance). On obtient la première avec la fonction `var`, et le second avec `sd` (abréviation de *standard deviation*) :

```
var(d$age)
```

```
## [1] 287.0249
```

```
sd(d$age)
```

```
## [1] 16.94181
```

Plus la variance ou l'écart-type sont élevés, plus les valeurs sont dispersées autour de la moyenne. À l'inverse, plus ils sont faibles et plus les valeurs sont regroupées.

Une autre manière de mesurer la dispersion est de calculer les quartiles :

- le premier quartile est la valeur pour laquelle on a 25% des observations en dessous et 75% au dessus
- le deuxième quartile est la valeur pour laquelle on a 50% des observations en dessous et 50% au dessus (c'est donc la médiane)
- le troisième quartile est la valeur pour laquelle on a 75% des observations en dessous et 25% au dessus

On peut les calculer avec la fonction `quantile` :

```
## Premier quartile  
quantile(d$age, prob = 0.25)
```

```
## 25%
```

```
## 35
```

```
## Troisième quartile  
quantile(d$age, prob = 0.75)
```

```
## 75%  
## 60
```

`quantile` prend deux arguments principaux : le vecteur dont on veut calculer le quantile, et un argument `prob` qui indique quel quantile on souhaite obtenir. `prob` prend une valeur entre 0 et 1 : 0.5 est la médiane, 0.25 le premier quartile, 0.1 le premier décile, etc.

Notons enfin que la fonction `summary` permet d'obtenir d'un coup plusieurs indicateurs classiques :

```
summary(d$age)
```

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

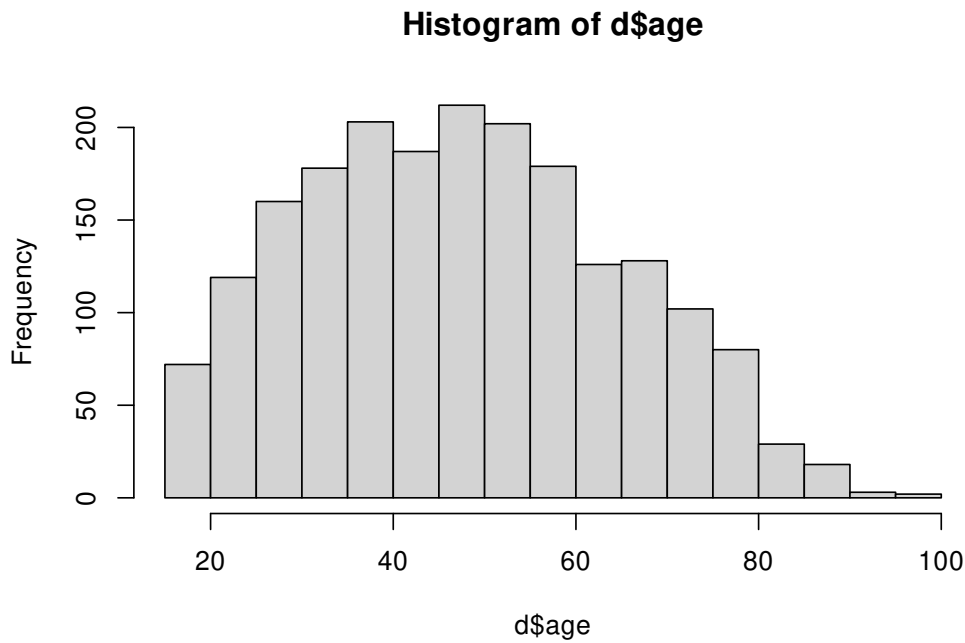
### 3.3.1.3 Représentation graphique

L'outil le plus utile pour étudier la distribution des valeurs d'une variable quantitative reste la représentation graphique.

La représentation la plus courante est sans doute l'histogramme. On peut l'obtenir avec la fonction `hist` :

```
hist(d$age)
```

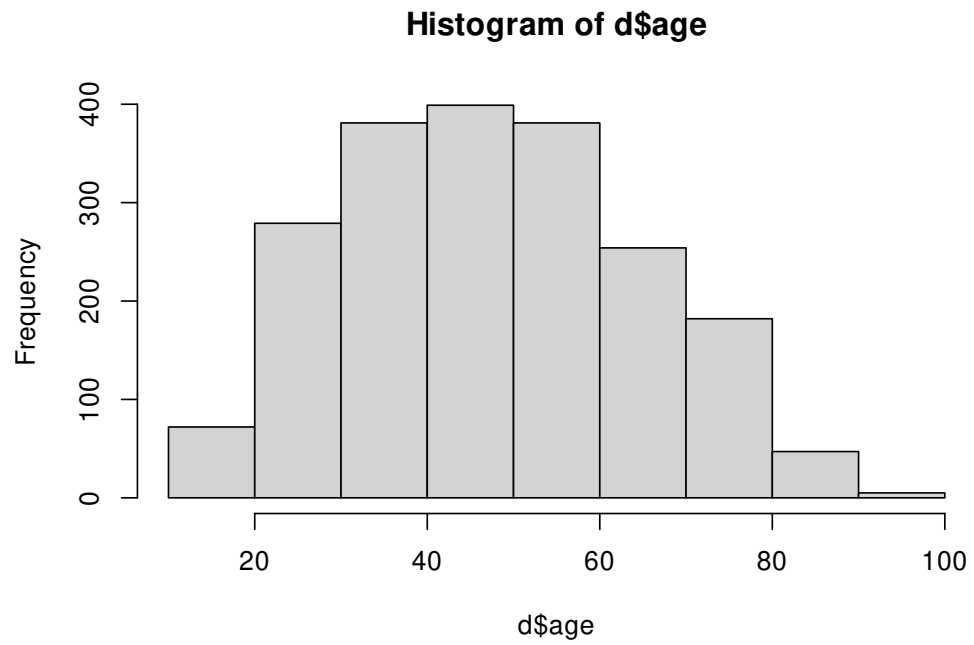




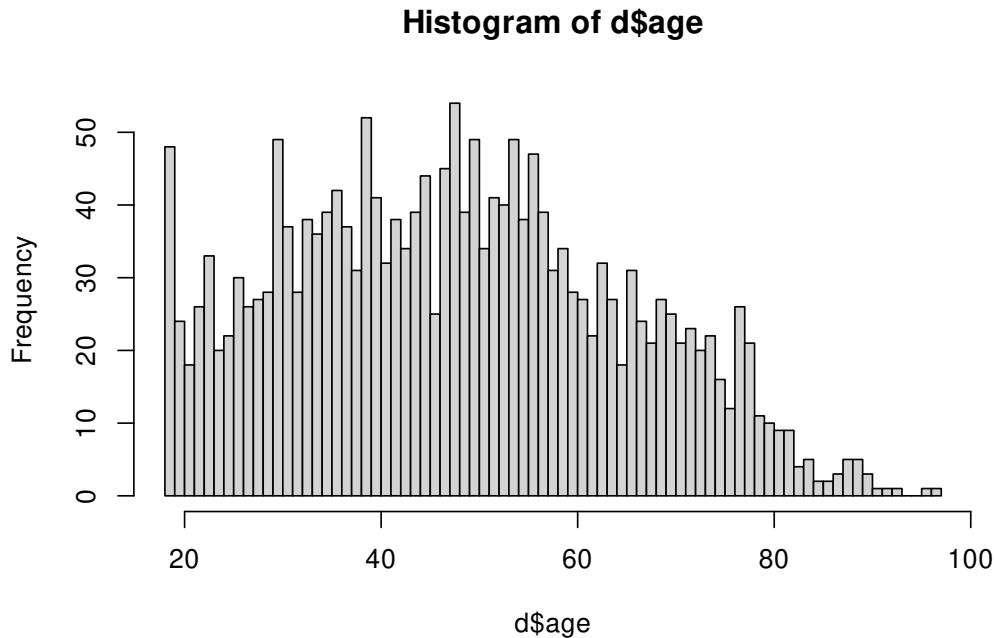
Cette fonction n'a pas pour effet direct d'effectuer un calcul ou de nous renvoyer un résultat : elle génère un graphique qui va s'afficher dans l'onglet *Plots* de RStudio.

On peut personnaliser l'apparence de l'histogramme en ajoutant des arguments supplémentaires à la fonction `hist`. L'argument le plus important est `breaks`, qui permet d'indiquer le nombre de classes que l'on souhaite.

```
hist(d$age, breaks = 10)
```



```
hist(d$age, breaks = 70)
```

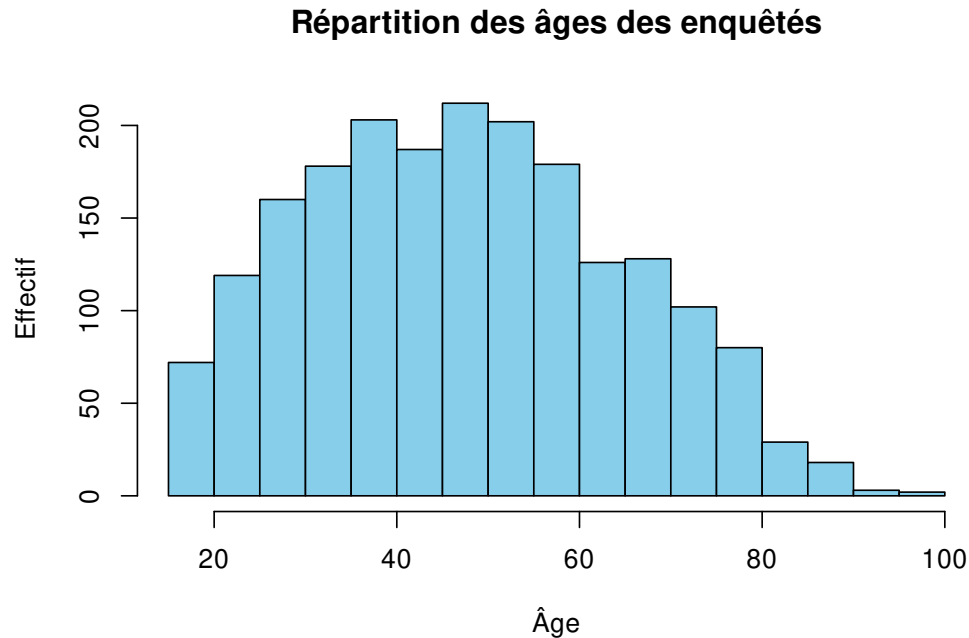


Le choix d'un “bon” nombre de classes pour un histogramme n'est pas un problème simple : si on a trop peu de classes, on risque d'effacer quasiment toutes les variations, et si on en a trop on risque d'avoir trop de détails et de masquer les grandes tendances.

Les arguments de `hist` permettent également de modifier la présentation du graphique. On peut ainsi changer la couleur des barres avec `col`<sup>3</sup>, le titre avec `main`, les étiquettes des axes avec `xlab` et `ylab`, etc. :

```
hist(d$age, col = "skyblue",
      main = "Répartition des âges des enquêtés",
      xlab = "Âge",
      ylab = "Effectif")
```

<sup>3</sup>Les différentes manières de spécifier des couleurs sont indiquées dans l'encadré de la section ??.



La fonction `hist` fait partie des fonctions graphique de base de R. On verra plus en détail d'autres fonctions graphiques dans la partie ?? de ce document, consacrée à l'extension `ggplot2`, qui fait partie du *tidyverse* et qui permet la production et la personnalisation de graphiques complexes.

### 3.3.2 Analyser une variable qualitative

Une variable qualitative est une variable qui ne peut prendre qu'un nombre limité de valeurs, appelées modalités. Dans notre jeu de données on trouvera par exemple le sexe (`sexe`), le niveau d'études (`nivetud`), la catégorie socio-professionnelle (`qualif`)...

À noter qu'une variable qualitative peut tout-à-fait être numérique, et que certaines variables peuvent être traitées soit comme quantitatives, soit comme qualitatives : c'est le cas par exemple du nombre d'enfants ou du nombre de frères et sœurs.

### 3.3.2.1 Tri à plat

L'outil le plus utilisé pour représenter la répartition des valeurs d'une variable qualitative est le *tri à plat* : il s'agit simplement de compter, pour chacune des valeurs possibles de la variable (pour chacune des modalités), le nombre d'observations ayant cette valeur. Un tri à plat s'obtient sous R à l'aide de la fonction `table` :

```
table(d$sexe)
```

```
##
## Homme Femme
##    899  1101
```

Ce tableau nous indique donc que parmi nos enquêtés on trouve 899 hommes et 1101 femmes.

```
table(d$qualif)
```

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

Un tableau de ce type peut être affiché ou stocké dans un objet, et on peut à son tour lui appliquer des fonctions. Par exemple, la fonction `sort` permet de trier le tableau selon la valeur de l'effectif. On peut donc faire :

```
tab <- table(d$qualif)
sort(tab)
```

```
##
##      Autre      Technicien Profession intermediaire
##      58      86      160
```

```
##      Ouvrier specialise      Cadre      Ouvrier qualifie
##              203              260              292
##              Employe
##              594
```



Attention, par défaut la fonction `table` n'affiche pas les valeurs manquantes (NA). Si on souhaite les inclure il faut utiliser l'argument `useNA = "always"`, soit : `table(d$qualif, useNA = "always")`.

À noter qu'on peut aussi appliquer `summary` à une variable qualitative. Le résultat est également le tri à plat de la variable, avec en plus le nombre de valeurs manquantes éventuelles :

```
summary(d$qualif)
```

```
##      Ouvrier specialise      Ouvrier qualifie      Technicien
##              203              292              86
## Profession intermediaire      Cadre      Employe
##              160              260              594
##              Autre      NA's
##              58              347
```

Par défaut ces tris à plat sont en effectifs et ne sont donc pas toujours très lisibles, notamment quand on a des effectifs importants. On leur rajoute donc en général la répartition en pourcentages. Pour cela, nous allons utiliser la fonction `freq` de l'extension `questionr`, qui devra donc avoir précédemment été chargée avec `library(questionr)` :

```
## À rajouter en haut de script et à exécuter
library(questionr)
```

On peut alors utiliser la fonction :

```
freq(d$qualif)
```

```
##              n      % val%
```

```
## Ouvrier specialise      203 10.2 12.3
## Ouvrier qualifie       292 14.6 17.7
## Technicien              86  4.3  5.2
## Profession intermediaire 160  8.0  9.7
## Cadre                   260 13.0 15.7
## Employe                 594 29.7 35.9
## Autre                   58  2.9  3.5
## NA                      347 17.3  NA
```

La colonne `n` représente les effectifs de chaque catégorie, la colonne `%` le pourcentage, et la colonne `val%` le pourcentage calculé sur les valeurs valides, donc en excluant les NA. Une ligne a également été rajoutée pour indiquer le nombre et la proportion de NA.

`freq` accepte un certain nombre d'arguments pour personnaliser son affichage. Par exemple :

- `valid` indique si on souhaite ou non afficher les pourcentages sur les valeurs valides
- `cum` indique si on souhaite ou non afficher les pourcentages cumulés
- `total` permet d'ajouter une ligne avec les effectifs totaux
- `sort` permet de trier le tableau par fréquence croissante (`sort="inc"`) ou décroissante (`sort="dec"`).

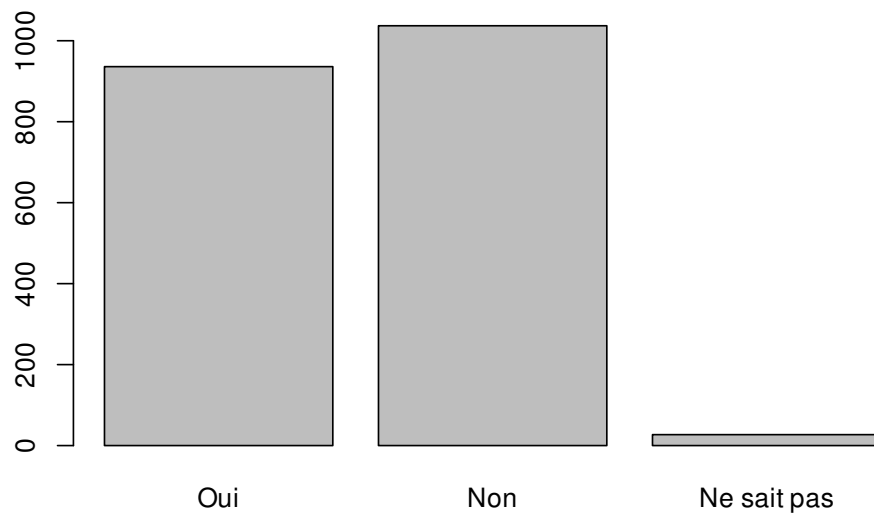
```
freq(d$qualif, valid= FALSE, total = TRUE, sort = "dec")
```

```
##              n      %
## Employe      594  29.7
## Ouvrier qualifie 292  14.6
## Cadre        260  13.0
## Ouvrier specialise 203  10.2
## Profession intermediaire 160  8.0
## Technicien     86  4.3
## Autre          58  2.9
## NA            347  17.3
## Total        2000 100.0
```

### 3.3.2.2 Représentations graphiques

On peut représenter graphiquement le tri à plat d'une variable qualitative avec un diagramme en barres, obtenu avec la fonction `barplot`. Attention, contrairement à `hist` cette fonction ne s'applique pas directement à la variable mais au résultat du tri à plat de cette variable, calculé avec `table`. Il faut donc procéder en deux étapes :

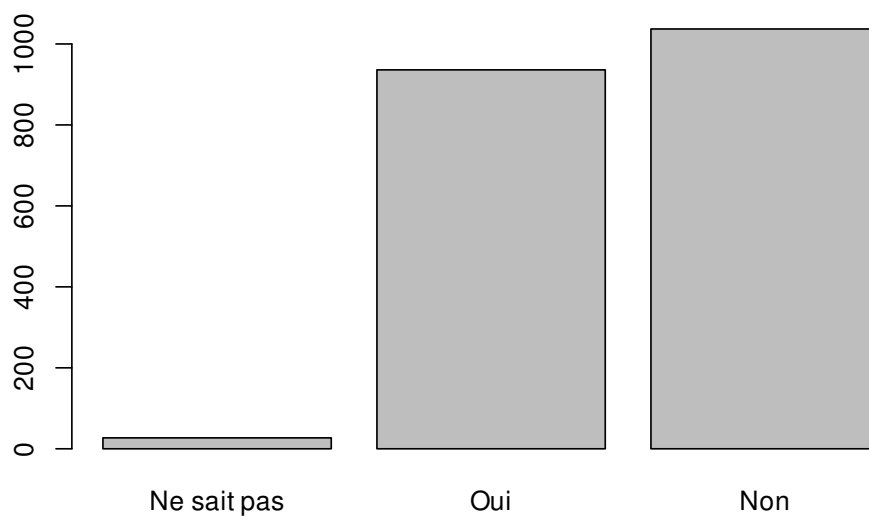
```
tab <- table(d$clso)
barplot(tab)
```



On peut aussi trier le tri à plat avec la fonction `sort` avant de le représenter graphiquement, ce qui peut faciliter la lecture du graphique :

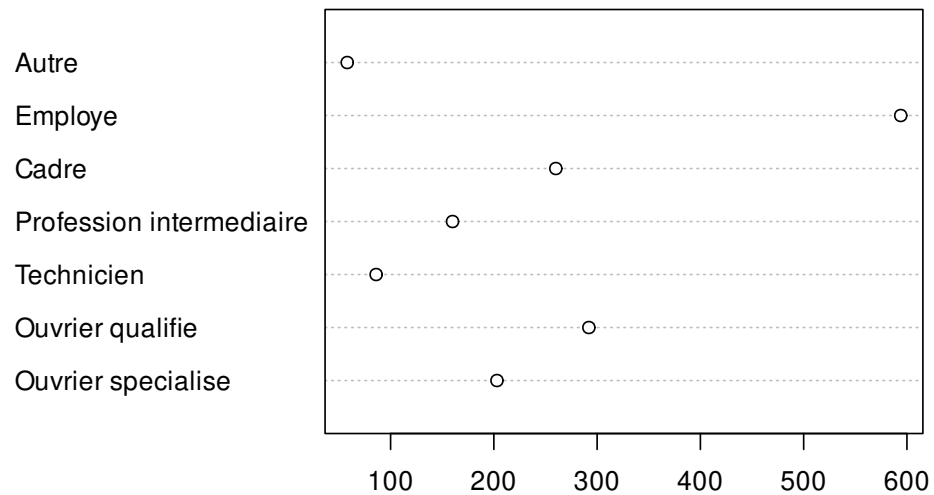


```
barplot(sort(tab))
```



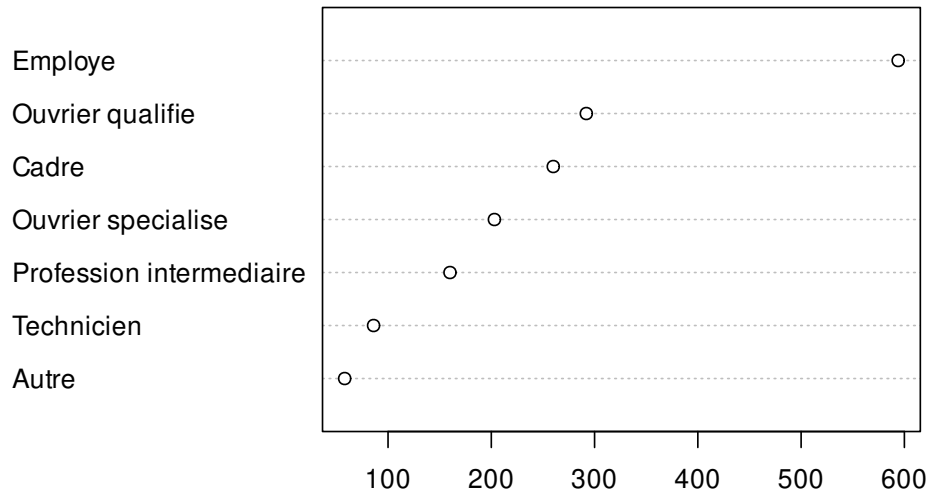
Une alternative au graphique en barres est le *diagramme de Cleveland*, qu'on peut obtenir avec la fonction `dotchart`. Celle-ci s'applique elle aussi au tri à plat de la variable calculé avec `table`.

```
dotchart(table(d$qualif))
```



Là aussi, pour améliorer la lisibilité du graphique il est préférable de trier le tri à plat de la variable avant de le représenter :

```
dotchart(sort(table(d$qualif)))
```



## 3.4 Exercices

### Exercice 1

Créer un nouveau script qui effectue les actions suivantes :

- charger l'extension `questionr`
- charger le jeu de données nommé `hdv2003`
- copier le jeu de données dans un nouvel objet nommé `df`
- afficher les dimensions et la liste des variables de `df`

### Exercice 2

On souhaite étudier la répartition du temps passé devant la télévision par les enquêtés (variable `heures.tv`). Pour cela, affichez les principaux indicateurs de cette variable : valeur minimale, maximale, moyenne, médiane et écart-type. Représentez ensuite sa distribution par un histogramme en 10 classes.

### Exercice 3

On s'intéresse maintenant à l'importance accordée par les enquêtés à leur travail (variable `trav.imp`). Faites un tri à plat des effectifs des modalités de cette variable avec la commande `table`.

Faites un tri à plat affichant à la fois les effectifs et les pourcentages de chaque modalité. Y'a-t-il des valeurs manquantes ?

Représentez graphiquement les effectifs des modalités à l'aide d'un graphique en barres.

Utilisez l'argument `col` de la fonction `barplot` pour modifier la couleur du graphique en `tomato`.

Tapez `colors()` dans la console pour afficher l'ensemble des noms de couleurs disponibles dans R. Testez chaque couleur une à une pour trouver votre couleur préférée.

# Chapter 4

## Analyse de 2 variables

Faire une analyse bivariée, c'est étudier la relation entre deux variables : sont-elles liées ? les valeurs de l'une influencent-elles les valeurs de l'autre ? ou sont-elles au contraire indépendantes ?

À noter qu'on va parler ici d'influence ou de lien, mais pas de relation de cause à effet : les outils présentés permettent de visualiser ou de déterminer une relation, mais des liens de causalité proprement dit sont plus difficiles à mettre en évidence. Il faut en effet vérifier que c'est bien telle variable qui influence telle autre et pas l'inverse, qu'il n'y a pas de "variable cachée", etc.

Là encore, le type d'analyse ou de visualisation est déterminé par la nature qualitative ou quantitative des deux variables.

### 4.1 Croisement de deux variables qualitatives

#### 4.1.1 Tableaux croisés

On va continuer à travailler avec le jeu de données tiré de l'enquête *Histoire de vie* inclus dans l'extension `questionr`. On commence donc par charger l'extension, le jeu de données, et à le renommer en un nom plus court pour gagner un peu de temps de saisie au clavier :

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

Quand on veut croiser deux variables qualitatives, on fait un *tableau croisé*. Comme pour un tri à plat ceci s'obtient avec la fonction `table` de R, mais à laquelle on passe cette fois deux variables en argument. Par exemple, si on veut croiser la catégorie socio-professionnelle et le sexe des enquêtés :

```
table(d$qualif, d$sexe)
```

```
##
##                               Homme  Femme
##   Ouvrier specialise             96    107
##   Ouvrier qualifie             229     63
##   Technicien                   66     20
##   Profession intermediaire      88     72
##   Cadre                       145    115
##   Employe                      96    498
##   Autre                        21     37
```

Pour pouvoir interpréter ce tableau on doit passer du tableau en effectifs au tableau en pourcentages ligne ou colonne. Pour cela, on peut utiliser les fonctions `lprop` et `cprop` de l'extension `questionr`, qu'on applique au tableau croisé précédent.

Pour calculer les pourcentages ligne :

```
tab <- table(d$qualif, d$sexe)
lprop(tab)
```

```
##
##                               Homme  Femme  Total
##   Ouvrier specialise         47.3    52.7  100.0
##   Ouvrier qualifie          78.4    21.6  100.0
##   Technicien                 76.7    23.3  100.0
```

##	Profession intermediaire	55.0	45.0	100.0
##	Cadre	55.8	44.2	100.0
##	Employe	16.2	83.8	100.0
##	Autre	36.2	63.8	100.0
##	All	44.8	55.2	100.0

Et pour les pourcentages colonne :

**cprop(tab)**

##				
##		Homme	Femme	All
##	Ouvrier specialise	13.0	11.7	12.3
##	Ouvrier qualifie	30.9	6.9	17.7
##	Technicien	8.9	2.2	5.2
##	Profession intermediaire	11.9	7.9	9.7
##	Cadre	19.6	12.6	15.7
##	Employe	13.0	54.6	35.9
##	Autre	2.8	4.1	3.5
##	Total	100.0	100.0	100.0



Pour savoir si on doit faire des pourcentages ligne ou colonne, on pourra se référer à l'article suivant :

<http://alain-leger.lesdigales.org/textes/lignecolonne.pdf>

En résumé, quand on fait un tableau croisé, celui-ci est parfaitement symétrique : on peut inverser les lignes et les colonnes, ça ne change pas son interprétation. Par contre, on a toujours en tête un “sens” de lecture dans le sens où on considère que l’une des variables *dépend* de l’autre. Par exemple, si on croise sexe et type de profession, on dira que le type de profession dépend du sexe, et non l’inverse : le type de profession est alors la variable *dépendante* (à expliquer), et le sexe la variable *indépendante* (explicative).

Pour faciliter la lecture d’un tableau croisé, il est recommandé de **faire les pourcentages sur la variable indépendante**. Dans notre exemple, la vari-

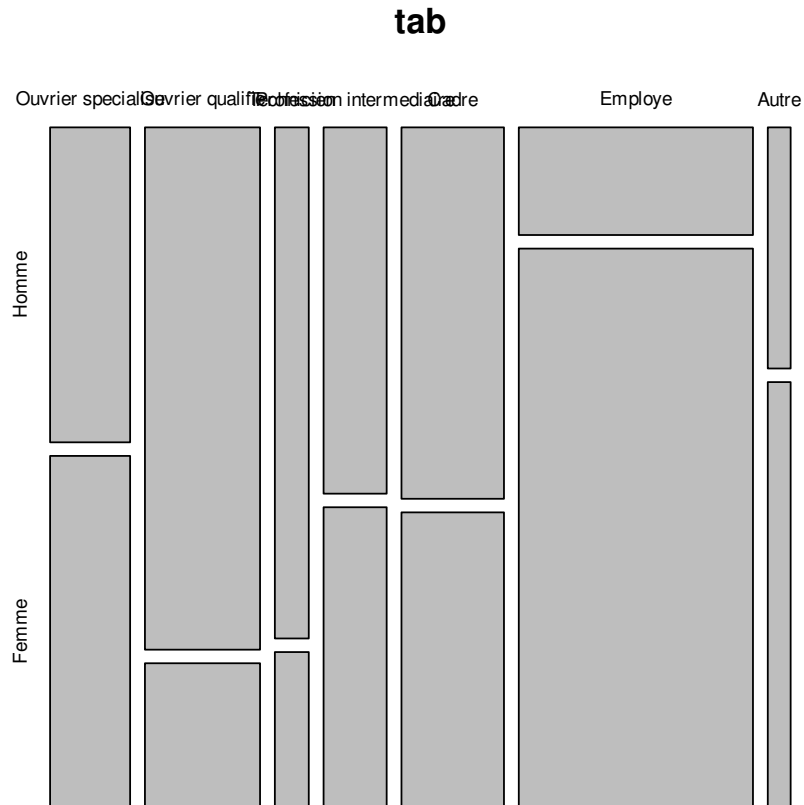
able indépendante est le sexe, elle est en colonne, on calcule donc les pourcentages colonnes qui permettent de comparer directement, pour chaque sexe, la répartition des catégories socio-professionnelles.

### 4.1.2 Représentation graphique

Il est possible de faire une représentation graphique d'un tableau croisé, par exemple avec la fonction `mosaicplot` :

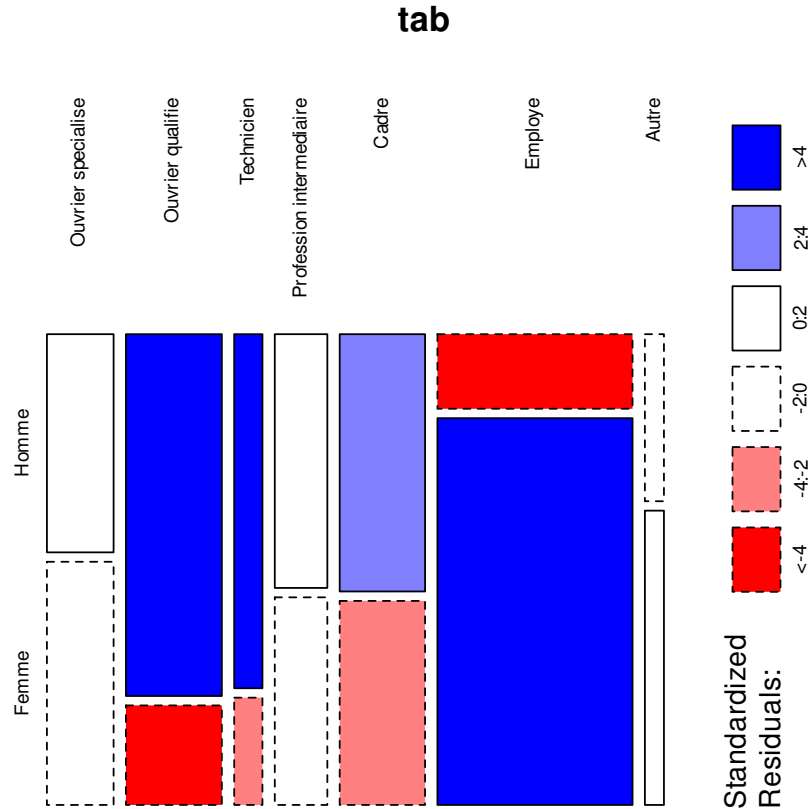
```
mosaicplot(tab)
```





On peut améliorer ce graphique en colorant les cases selon les résidus du test du  $\chi^2$  (argument `shade = TRUE`) et en orientant verticalement les labels de colonnes (argument `las = 3`):

```
mosaicplot(tab, las = 3, shade = TRUE)
```



Chaque rectangle de ce graphique représente une case de tableau. Sa largeur correspond au pourcentage des modalités en colonnes (il y'a beaucoup d'employés et d'ouvriers et très peu d'"autres"). Sa hauteur correspond aux pourcentages colonnes : la proportion d'hommes chez les cadres est plus élevée que chez les employés. Enfin, la couleur de la case correspond au résidu du test du  $\chi^2$  correspondant : les cases en rouge sont sous-représentées, les cases en bleu sur-représentées, et les cases blanches sont proches des effectifs attendus sous l'hypothèse d'indépendance.

## 4.2 Croisement d'une variable quantitative et d'une variable qualitative

### 4.2.1 Représentation graphique

Croiser une variable quantitative et une variable qualitative, c'est essayer de voir si les valeurs de la variable quantitative se répartissent différemment selon la catégorie d'appartenance de la variable qualitative.

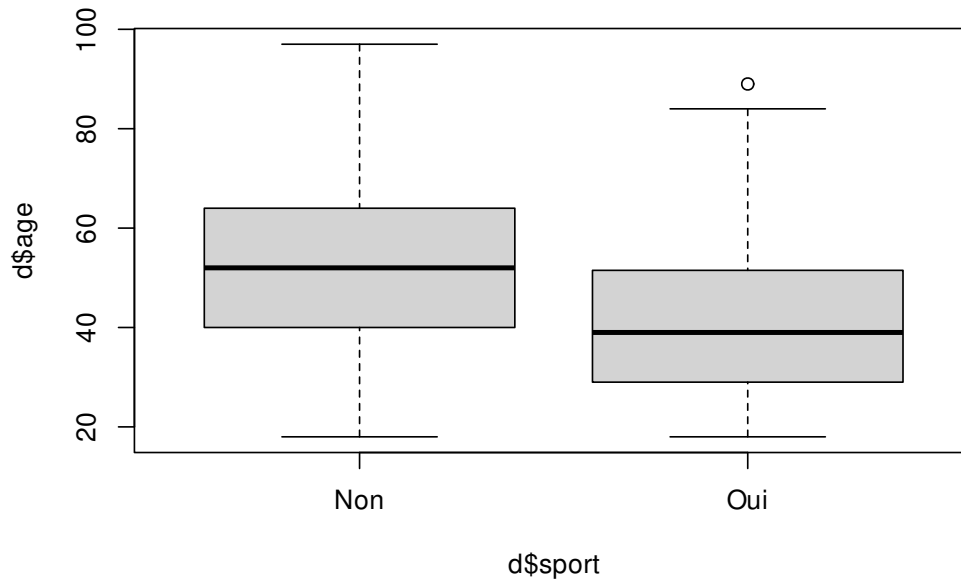
Pour cela, l'idéal est de commencer par une représentation graphique de type "boîte à moustache" à l'aide de la fonction `boxplot`. Par exemple, si on veut visualiser la répartition des âges selon la pratique ou non d'un sport, on va utiliser la syntaxe suivante :

```
boxplot(d$age ~ d$sport)
```



Cette syntaxe de `boxplot` utilise une nouvelle notation de type "formule". Celle-ci est utilisée notamment pour la spécification des modèles de régression. Ici le `~` peut se lire comme "en fonction de" : on veut représenter le boxplot de l'âge en fonction du sport.

Ce qui va nous donner le résultat suivant :



L'interprétation d'un boxplot est la suivante : Les bords inférieurs et supérieurs du carré central représentent le premier et le troisième quartile de la variable représentée sur l'axe vertical. On a donc 50% de nos observations dans cet intervalle. Le trait horizontal dans le carré représente la médiane. Enfin, des “moustaches” s'étendent de chaque côté du carré, jusqu'aux valeurs minimales et maximales, avec une exception : si des valeurs sont éloignées du carré de plus de 1,5 fois l'écart interquartile (la hauteur du carré), alors on les représente sous forme de points (symbolisant des valeurs considérées comme “extrêmes”).

Dans le graphique ci-dessus, on voit que ceux qui ont pratiqué un sport au cours des douze derniers mois ont l'air d'être sensiblement plus jeunes que les autres.

#### 4.2.2 Calculs d'indicateurs

On peut aussi vouloir comparer certains indicateurs (moyenne, médiane) d'une variable quantitative selon les modalités d'une variable qualitative. Si on reprend

#### 4.2. CROISEMENT D'UNE VARIABLE QUANTITATIVE ET D'UNE VARIABLE QUALITATIVE<sup>69</sup>

l'exemple précédent, on peut calculer la moyenne d'âge pour ceux qui pratiquent un sport et pour ceux qui n'en pratiquent pas.

Une première méthode pour cela est d'extraire de notre population autant de sous-populations qu'il y a de modalités dans la variable qualitative. On peut le faire notamment avec la fonction `filter` du package `dplyr`.

On commence par charger `dplyr` (en l'ayant préalablement installé) :

```
library(dplyr)
```

Puis on applique `filter` pour créer deux sous-populations, stockées dans deux nouveaux tableaux de données :

```
d_sport <- filter(d, sport == "Oui")  
d_nonsport <- filter(d, sport == "Non")
```

On peut ensuite utiliser ces deux nouveaux tableaux de données comme on en a l'habitude, et calculer les deux moyennes d'âge :

```
mean(d_sport$age)
```

```
## [1] 40.92531
```

```
mean(d_nonsport$age)
```

```
## [1] 52.25137
```

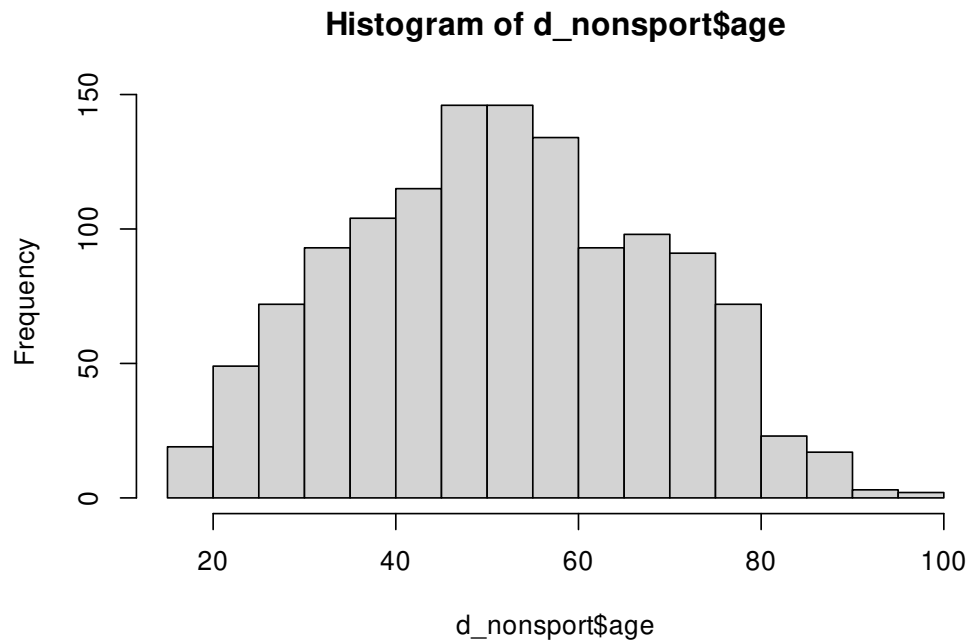
Une autre possibilité est d'utiliser la fonction `tapply`, qui prend en paramètre une variable quantitative, une variable qualitative et une fonction, puis applique automatiquement la fonction aux valeurs de la variables quantitative pour chaque niveau de la variable qualitative :

```
tapply(d$age, d$sport, mean)
```

```
##           Non           Oui
```

```
## 52.25137 40.92531
```

```
hist(d_nonsport$age)
```



Si l'âge dans le groupe des non sportifs se rapproche d'une distribution normale, celui des sportifs en semble assez éloigné, notamment du fait de la limite d'âge à 18 ans imposée par construction de l'enquête.

On peut tester cette normalité à l'aide du test de Shapiro-Wilk et de la fonction `shapiro.test`:

```
shapiro.test(d_sport$age)
```

```
##  
##  Shapiro-Wilk normality test  
##  
## data:  d_sport$age  
## W = 0.96203, p-value = 9.734e-13
```

```
shapiro.test(d_nonsport$age)
```

```
##  
##  Shapiro-Wilk normality test  
##  
## data:  d_nonsport$age  
## W = 0.98844, p-value = 1.654e-08
```

Le test est significatif dans les deux cas et rejette l'hypothèse d'une normalité des deux distributions.

Dans ce cas on peut faire appel à un test non-paramétrique, qui ne fait donc pas d'hypothèses sur les lois de distribution des variables testées, en l'occurrence le test des rangs de Wilcoxon, à l'aide de la fonction `wilcox.test` :

```
wilcox.test(d$age ~ d$sport)
```

```
##  
##  Wilcoxon rank sum test with continuity correction  
##  
## data:  d$age by d$sport  
## W = 640577, p-value < 2.2e-16  
## alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

La valeur  $p$  étant à nouveau extrêmement petite, on peut rejeter l'hypothèse d'indépendance et considérer que les distributions des âges dans les deux sous-populations sont différentes. ->

### 4.3 Croisement de deux variables quantitatives

Le jeu de données `hdv2003` comportant assez peu de variables quantitatives, on va s'intéresser maintenant à un autre jeu de données comportant des informations du recensement de la population de 2012. On le charge avec :

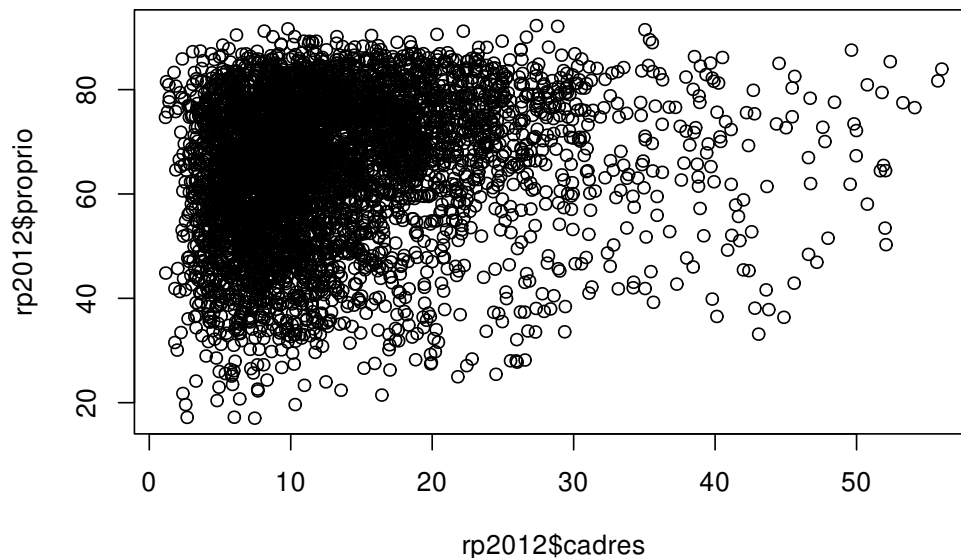
```
data(rp2012)
```

Un nouveau tableau de données `rp2012` devrait apparaître dans votre environnement. Celui-ci comprend les 5170 communes de France métropolitaine de plus de 2000 habitants, et une soixantaine de variables telles que le département, la population, le taux de chômage, etc. Pour une description plus complète et une liste des variables, voir section ??.

### 4.3.1 Représentation graphique

Quand on croise deux variables quantitatives, l'idéal est de faire une représentation graphique sous forme de nuage de points à l'aide de la fonction `plot`. On va représenter le croisement entre le pourcentage de cadres et le pourcentage de propriétaires dans la commune :

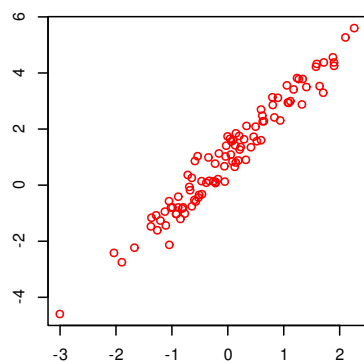
```
plot(rp2012$cadres, rp2012$proprio)
```



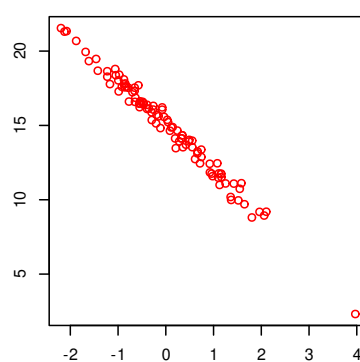
Une représentation graphique est l'idéal pour visualiser l'existence d'un lien entre les deux variables. Voici quelques exemples d'interprétation :



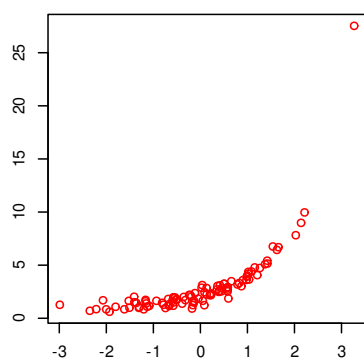
Dépendance linéaire positive



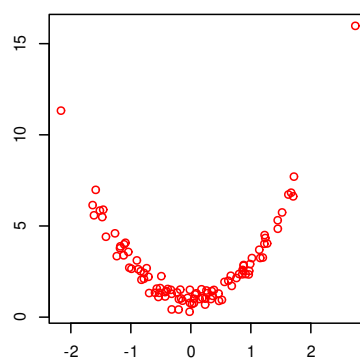
Dépendance linéaire négative



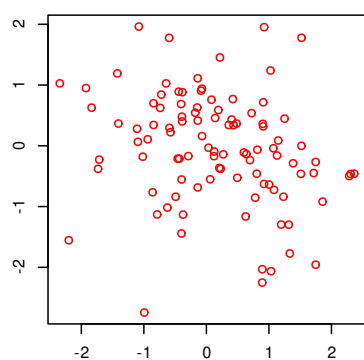
Dépendance non-linéaire monotone



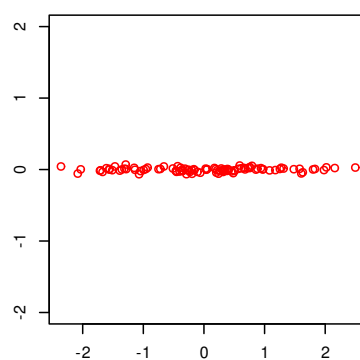
Dépendance non-linéaire non monotone



Indépendance

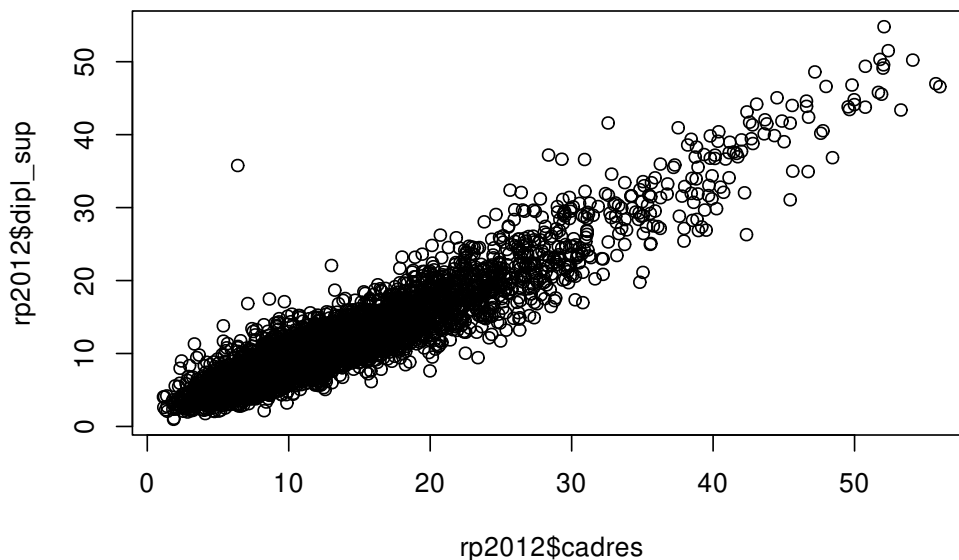


Indépendance



Dans ce premier graphique généré sur nos données, il semble difficile de mettre en évidence une relation de dépendance. Si par contre on croise le pourcentage de cadres et celui de diplômés du supérieur, on obtient une belle relation de dépendance linéaire.

```
plot(rp2012$cadres, rp2012$dipl_sup)
```



La corrélation des rangs a aussi pour avantage d'être moins sensibles aux valeurs extrêmes ou aux points isolés. On dit qu'elle est plus "robuste".

Pour calculer une corrélation de Spearman, on utilise la fonction `cor` mais avec l'argument `method = "spearman"`:

```
cor(rp2012$cadres, rp2012$dipl_sup, method = "spearman")
```

```
## [1] 0.9036273
```

### 4.3.2 Régression linéaire

Quand on est en présence d'une association linéaire entre deux variables, on peut vouloir faire la régression linéaire d'une des variables sur l'autres.

Une régression linéaire simple se fait à l'aide de la fonction `lm` :

```
lm(rp2012$cadres ~ rp2012$dipl_sup)

##
## Call:
## lm(formula = rp2012$cadres ~ rp2012$dipl_sup)
##
## Coefficients:
##      (Intercept)  rp2012$dipl_sup
##           0.9217           1.0816
```



On retrouve avec `lm` la syntaxe “formule” déjà rencontrée avec `boxplot`. Elle permet ici de spécifier des modèles de régression : la variable dépendante se place à gauche du `~`, et la variable indépendante à droite. Si on souhaite faire une régression multiple avec plusieurs variables indépendantes, on aura une formule du type `dep ~ indep1 + indep2`. Il est également possible de spécifier des termes plus complexes, des interactions, etc.

`lm` nous renvoie par défaut les coefficients de la droite de régression :

- l'ordonnée à l'origine (`Intercept`) vaut 0.92
- le coefficient associé à `dipl_sup` vaut 1.08

Pour des résultats plus détaillés, on peut stocker le résultat de la régression dans un objet et utiliser la fonction `summary` :

```
reg <- lm(rp2012$cadres ~ rp2012$dipl_sup)
summary(reg)

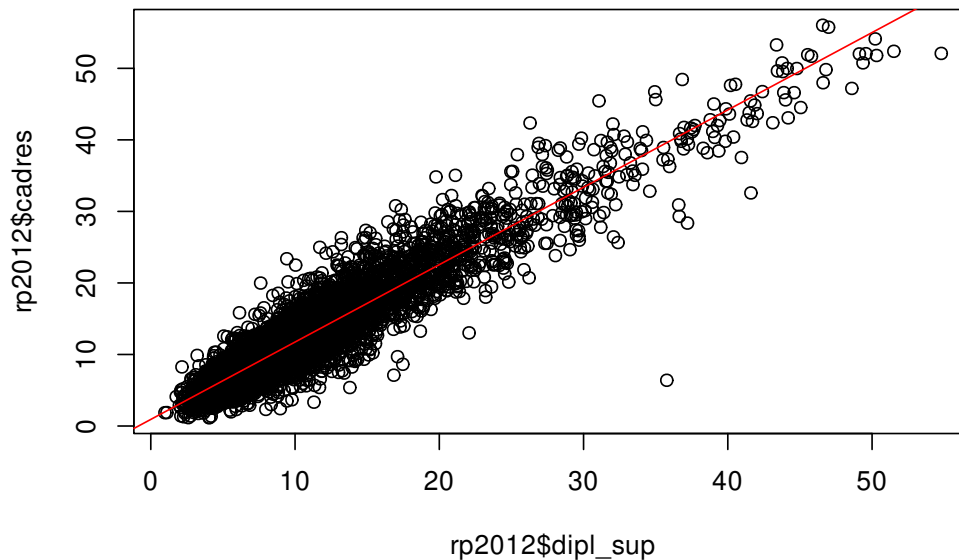
##
## Call:
```

```
## lm(formula = rp2012$cadres ~ rp2012$dipl_sup)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -33.218  -1.606   -0.172    1.491   13.001
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)   0.921661  0.071814  12.83  <2e-16 ***
## rp2012$dipl_sup 1.081636   0.005601  193.10  <2e-
16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.701 on 5168 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.8783, Adjusted R-squared:  0.8783
## F-statistic: 3.729e+04 on 1 and 5168 DF,  p-
value: < 2.2e-16
```

Ces résultats montrent notamment que les coefficients sont significativement différents de 0. La part de cadres augmente donc bien avec celle de diplômés du supérieur.

On peut enfin représenter la droite de régression sur notre nuage de points à l'aide de la fonction `abline` :

```
plot(rp2012$dipl_sup, rp2012$cadres)
abline(reg, col="red")
```



->

## 4.4 Exercices

### Exercice 1

Dans le jeu de données `hdv2003`, faire le tableau croisé entre la catégorie socio-professionnelle (variable `qualif`) et le fait de croire ou non en l'existence des classes sociales (variable `clso`). Identifier la variable indépendante et la variable dépendante, et calculer les pourcentages ligne ou colonne. Interpréter le résultat.

Représenter ce tableau croisé sous la forme d'un `mosaicplot` en colorant les cases selon les résidus du test du  $\chi^2$ .

### Exercice 2

Toujours sur le jeu de données `hdv2003`, faire le boxplot qui croise le nombre d'heures passées devant la télévision (variable `heures.tv`) avec le statut d'occupation (variable `occup`).

Calculer la durée moyenne devant la télévision en fonction du statut d'occupation

à l'aide de `tapply`.

**Exercice 3**

Sur le jeu de données `rp2012`, représenter le nuage de points croisant le pourcentage de personnes sans diplôme (variable `dipl_aucun`) et le pourcentage de propriétaires (variable `proprio`).

# Chapter 5

## Gérer les données

### 5.1 Importer et exporter des données

Il existe de multiple format four sauvegarder les données, les 2 plus utiles sont `.csv` et `.Rdata`. Les fichiers `.csv` sont utilisés pour stocker des données. Ils sont ouvrables par les éditeurs de texte (e.g. Word, Writer, atom, ...) et les tableurs (e.g. MS Excel, LO Calc). Les fichiers `.Rdata` sont utilisés pour stocker n'importe quelle objet R pas uniquement des données. Cependant, ces fichiers ne peuvent être lus et utilisés que par R.

Les données pour les exercices de laboratoire et pour les devoirs vous sont fournies déjà en format `.csv`.

#### 5.1.1 Ouvrir un fichier de données en format `.Rdata`

Pour ouvrir ces fichiers, vous pouvez cliquer dessus et laisser votre système d'exploitation démarrer une nouvelle session de R ou encore, à partir de la console de R, taper sur une ligne de commande :

```
load(file.choose())
```

ce qui ouvrira une boîte de dialogue vous permettant d'aller choisir un fichier sur votre ordinateur. Si cette option semble très attirante de part sa simplicité, je ne recommande pas de s'en servir car elle ne permet pas de reproduire

l'analyse facilement. En effet, elle nécessite de choisir le document chaque que l'on souhaite l'utiliser.

Vous pouvez aussi directement taper le nom du fichier entre guillemet "nom du fichier avec l'extension". Par exemple,

```
load("ErablesGatineau.Rdata")
```

### 5.1.2 Ouvrir un fichier de données en format .csv

Pour importer ces données en format .csv dans R, il faut utiliser la commande `read.csv()`. Par exemple, pour créer un objet R `erables` qui contient les données du fichier `ErablesGatineau.csv`, il faut utiliser la commande suivante.

```
erables <- read.csv("data/ErablesGatineau.csv")
```



Attention si vous travaillez dans une langue utilisant la virgule au lieu du point décimal. Par défaut, R utilise le point décimal et vous n'obtiendrez pas le résultat escompté. Il existe une version modifiée de `read.csv()` appelée `read.csv2()` qui règle ce problème. Googlez-la si vous en avez besoin.

Pour vérifier si les données ont bel et bien été lues, vous pouvez lister les objets en mémoire avec la fonction `ls()` ou en obtenir une liste avec une description plus détaillée avec `ls.str()`.



Je vous déconseille cependant, la fonction `ls.str()` car elle peut produire des sorties extrêmementn longue si vous avez beaucoup d'objet dans l'environnement R. Je vous suggère donc d'utiliser `ls()` et ensuite `str()` sur l'objet qui vous intéresse.

```
ls()
```



```
## [1] "anglais"      "chien"        "d"            "d_nonsport"
## [5] "d_sport"      "diplome"      "erables"      "hdv2003"
## [9] "imc"          "maths"        "p"            "poids"
## [13] "precipitations" "reg"          "resultat"     "rp2012"
## [17] "s"            "sport"        "tab"          "taille1"
## [21] "taille2"      "taille3"      "taille4"      "taille5"
## [25] "tailles"      "tailles_m"    "temperature"  "title"
## [29] "x"            "y"
```

```
str(erables)
```

```
## 'data.frame': 100 obs. of  3 variables:
## $ station: chr  "A" "A" "A" "A" ...
## $ diam   : num  22.4 36.1 44.4 24.6 17.7 ...
## $ biom   : num  732 1171 673 1552 504 ...
```

R confirme avoir en mémoire l'objet `erables`. `erables` est un tableau de données rectangulaire (`data.frame`) contenant 100 observations (lignes) de 3 variables (colonnes): `station`, une variable de type Facteur avec 2 niveaux, et `diam` et `biom` qui sont 2 variables numériques.

### 5.1.3 Entrer des données

R n'est pas un environnement idéal pour entrer des données. C'est possible, mais la syntaxe est lourde et peut inciter à s'arracher les cheveux. Utilisez votre chiffrier préféré pour faire l'entrée de données. Ce sera plus efficace et moins frustrant.

### 5.1.4 Nettoyer/corriger des données

Une autre opération qui peut être frustrante en R. Mon conseil : ne le faites pas là. Retournez au fichier original, faites la correction, puis re-exportez les données vers R. Il est finalement plus simple de refaire exécuter les quelques lignes de code par la machine. Vous aurez à la fin une seule version (corrigée) de vos données et un code qui vous permet de refaire votre analyse.

### 5.1.5 Exporter des données à partir de R.

Vous pouvez utiliser la fonction,

```
write.csv(mydata, file = "outfilename.csv", row.names = FALSE)
```

où `mydata` est le nom du base de données à exporter et `outfilename.csv` est le nom du fichier à produire. Notez que ce fichier sera créé dans le répertoire de travail (qui peut être changé par le menu à `File>Change dir`, ou par la commande `setwd()`)

## 5.2 Examen préliminaire des données

La première étape de toute analyse est l'examen des données. Elle nous permet de découvrir si on a bien importé les données, si les nombres enregistrés sont possibles, si toutes les données ont bien été lues, etc. L'examen préliminaire des données permet souvent aussi d'identifier des observations suspectes, possiblement dûes à des erreurs d'entrée de donnée. Finalement, l'examen graphique préliminaire permet en général de visualiser les tendances principales qui seront confirmées par l'analyse statistique en tant que telle. Le fichier `sturgeon.csv` contient les données d'une étude effectuée sur les esturgeons de la rivière Saskatchewan. Ces données ont été récoltées, entre autres, pour examiner comment la taille des esturgeons varie entre les sexes (`sex`), les sites (`location`), et les années (`year`).

- Chargez les données du fichier `sturgeon.csv` dans un objet `sturgeon`.
- Pour obtenir un aperçu des éléments du fichier qui ont été chargés en mémoire, taper la commande `str(sturgeon)`.

```
sturgeon <- read.csv("data/sturgeon.csv")
str(sturgeon)
```

```
## 'data.frame': 186 obs. of  9 variables:
##  $ fklngth : num  37 50.2 28.9 50.2 45.6 ...
##  $ totlngth: num  40.7 54.1 31.3 53.1 49.5 ...
##  $ drlngth : num  23.6 31.5 17.3 32.3 32.1 ...
```

```
## $ rdwght : num 15.95 NA 6.49 NA 29.92 ...
## $ age : int 11 24 7 23 20 23 20 7 23 19 ...
## $ girth : num 40.5 53.5 31 52.5 50 54.2 48 28.5 44 39 ...
## $ sex : chr "MALE" "FEMALE" "MALE" "FEMALE" ...
## $ location: chr "THE_PAS" "THE_PAS" "THE_PAS" "THE_PAS" ...
## $ year : int 1978 1978 1978 1978 1978 1978 1978 1978 1978 1978 ...
```

### 5.2.1 Sommaire statistique

Pour un sommaire du contenu du base de données appelé `sturgeon` qui est en mémoire, taper la commande

```
summary(sturgeon)
```

```
##      fklngth      totlngth      drlngth      rdwght
## Min.   :24.96  Min.   :28.15  Min.   :14.33  Min.   : 4.73
## 1st Qu.:41.00  1st Qu.:43.66  1st Qu.:25.00  1st Qu.:18.09
## Median :44.06  Median :47.32  Median :27.00  Median :23.10
## Mean   :44.15  Mean   :47.45  Mean   :27.29  Mean   :24.87
## 3rd Qu.:48.00  3rd Qu.:51.97  3rd Qu.:29.72  3rd Qu.:30.27
## Max.   :66.85  Max.   :72.05  Max.   :41.93  Max.   :93.72
##              NA's   :85      NA's   :13      NA's   :4
##      age      girth      sex      location
## Min.   : 7.00  Min.   :11.50  Length:186  Length:186
## 1st Qu.:17.00  1st Qu.:40.00  Class :character  Class :character
## Median :20.00  Median :44.00  Mode  :character  Mode  :character
## Mean    :20.24  Mean    :44.33
## 3rd Qu.:23.50  3rd Qu.:48.80
## Max.    :55.00  Max.    :73.70
## NA's    :11     NA's    :85
##      year
## Min.    :1978
## 1st Qu.:1979
## Median :1979
## Mean    :1979
## 3rd Qu.:1980
## Max.    :1980
```

##

Pour chaque variable, R donne le minimum, le maximum, la médiane qui est la valeur au milieu de la liste des observations ordonnées (appelée le 50 ième percentile), ici, la 93 ième valeur des 186 observations, les valeurs au premier (25%) et troisième quartile (75%), et si il y a des valeurs manquantes dans la colonne. Notez que plusieurs des variables ont des observations manquantes (NA). Donc, seules les variables `fklngh` (longueur à la fourche), `sex`, `location` et `year` ont 186 observations.

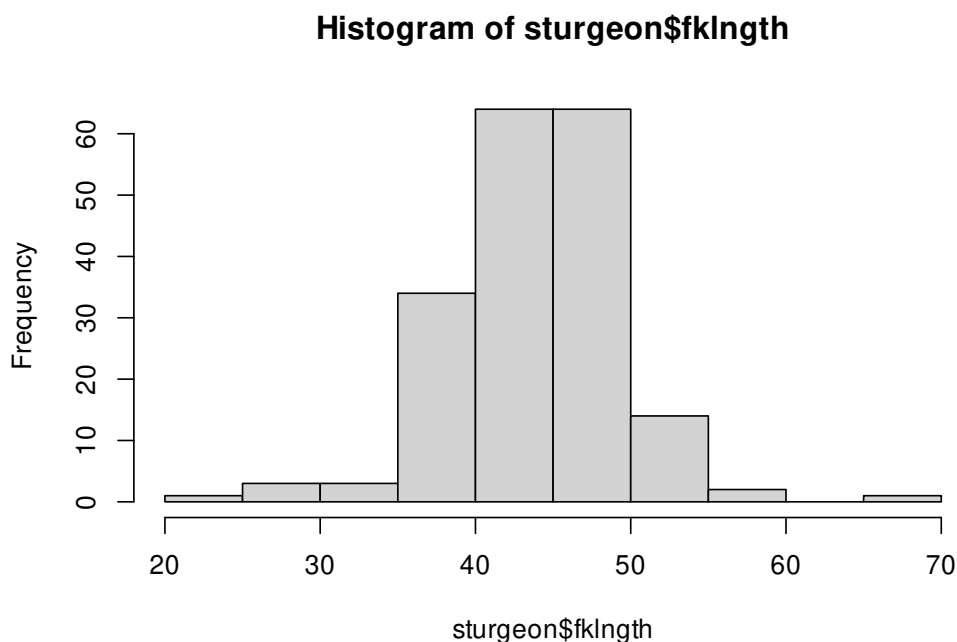


**Attention aux valeurs manquantes** Plusieurs fonctions de R y réagissent mal et on doit souvent faire les analyses sur des sous-ensembles sans valeur manquante, par des commandes ou des options dans les commandes. On y reviendra, mais prenez l'habitude de noter mentalement si il y a des données manquantes et de vous en rappeler en faisant l'analyse.

### 5.2.2 Histogramme, densité de probabilité empirique, boxplot et examen visuel de la normalité

Examinons maintenant de plus près la distribution de `fklngh`. La commande `hist()` permet de tracer un histogramme de la variable `fklngh` dans le base de données `sturgeon`.

```
hist(sturgeon$fklngh)
```



Les données semblent suivre approximativement une distribution normale.



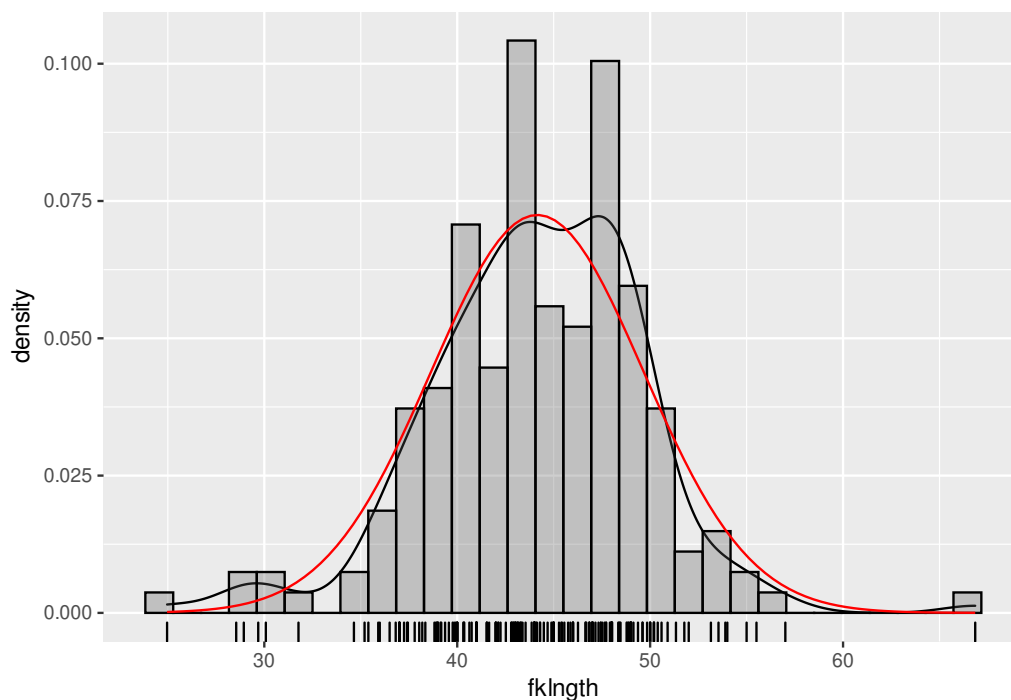
Cette syntaxe peut paraître un peu lourde puisqu'on doit ajouter le préfixe `sturgeon$` devant chaque nom de variable. On pourrait se faciliter la tâche en utilisant la commande `attach()` **mais cela est fortement déconseillé** et jamais utilisé dans ce document.

Cet histogramme est la représentation classique. Mais les histogrammes ne sont pas parfaits. Leur forme dépend en partie du nombre de catégories utilisées, surtout pour les petits échantillons. On peut faire mieux, particulièrement si on est intéressé à comparer visuellement la distribution des observations à une distribution normale. Mais il faut programmer un peu (ou savoir copier-coller...)



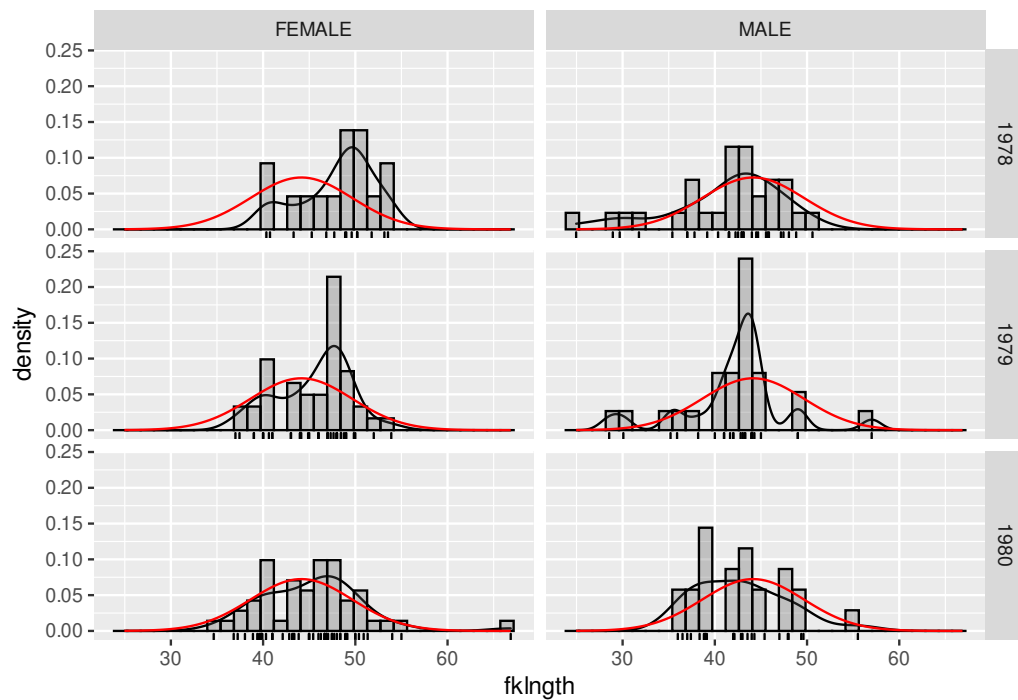
Copiez-collez le code suivant dans une nouvelle fenêtre script (File->New script, ou Ctrl-n dans Windows), puis exécutez le.

```
library(ggplot2)  
# use "sturgeon" dataframe to make plot called mygraph  
# and define x axis as representing fklength  
mygraph <- ggplot(sturgeon, aes(x = fklength))  
# add data to the mygraph ggplot  
mygraph <- mygraph +  
# add data density smooth  
  geom_density() +  
# add rug (bars at the bottom of the plot)  
  geom_rug() +  
# add black semitransparent histogram  
  geom_histogram(aes(y = ..density..), bins = 30, color = "black")  
# add normal curve in red, with mean and sd from fklength  
  stat_function(fun = dnorm,  
    args = list(  
      mean = mean(sturgeon$fklength),  
      sd = sd(sturgeon$fklength) ),  
    color = "red")  
  
# display graph  
mygraph
```



Chaque observation est représentée par une barre sous l'axe des x (rug). En rouge est la distribution normale de données avec la même moyenne et écart-type que les observations. Et l'autre ligne est la densité de probabilité empirique, « lissée » à partir des observations. Si vous êtes plus aventureux, vous pouvez examiner la distribution des observations de fklngth par sous-groupes (par exemple sex et year) avec :

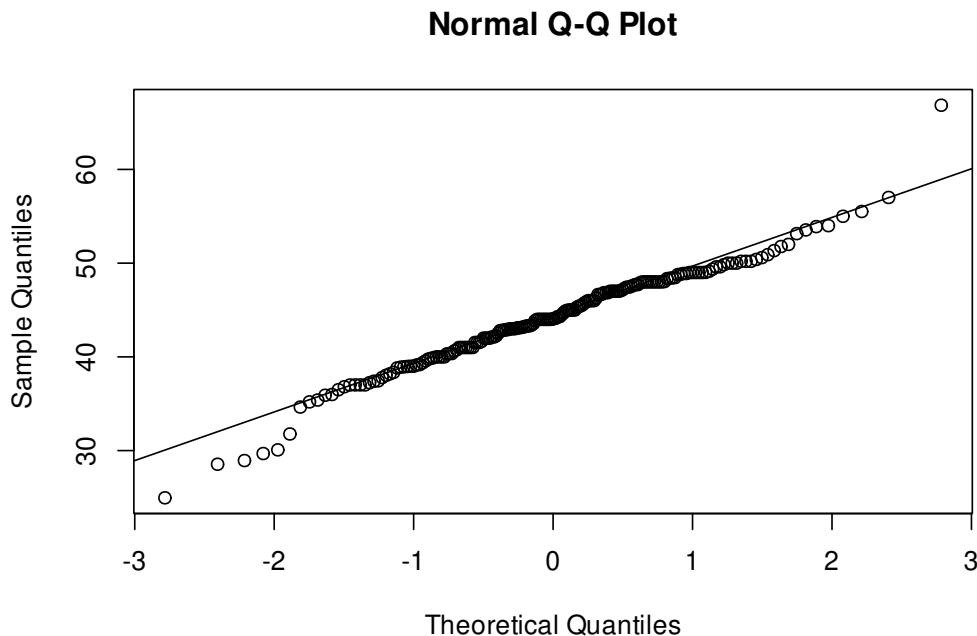
```
mygraph + facet_grid(year ~ sex)
```



Chaque panneau illustre la distribution pour un sexe cette année-là, et la courbe en rouge récurrente représente la distribution normale pour l'ensemble des données. Cette courbe peut servir à mieux évaluer visuellement les différences entre les panneaux. Une autre façon d'évaluer la normalité de données visuellement est de faire un QQ plot avec la paire de commandes `qqnorm()` et `qqline()`.

```
qqnorm(sturgeon$fklngth)
qqline(sturgeon$fklngth)
```





Des données parfaitement normales suivraient la ligne droite diagonale. Ici, il y a des déviations dans les queues de la distribution, et un peu à droite du centre. Comparez cette représentation à celle des deux graphiques précédents. Vous conviendrez sans doute avec moi qu'il est plus facile de visualiser comment la distribution dévie de la normalité sur les histogrammes et les graphiques de la densité empirique de probabilité que sur les QQ plots. Ceci dit, les QQ plots sont souvent utilisés et vous devriez être capable de les interpréter. De plus, on peut facilement éprouver statistiquement l'hypothèse que les données sont distribuées normalement avec R par la commande `shapiro.test()` qui calcule une statistique ( $W$ ) qui est une mesure de la tendance des points d'un QQ plot à former une ligne parfaite. Si oui, alors  $W=1$ . Si  $W$  s'éloigne de 1 (vers 0), alors les données s'éloignent de la normalité. Ici,

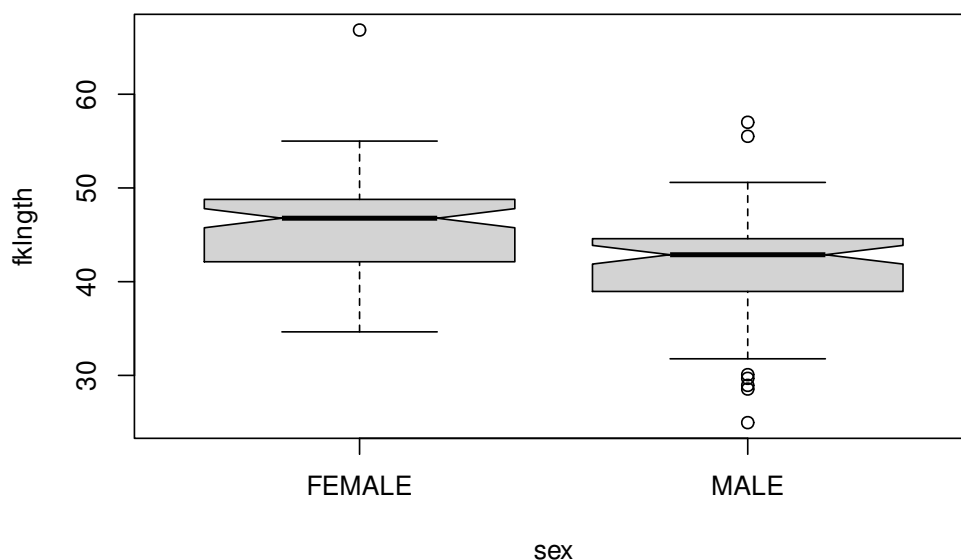
```
shapiro.test(sturgeon$fklnth)
```

```
##  
## Shapiro-Wilk normality test  
##
```

```
## data:  sturgeon$fklngh  
## W = 0.97225, p-value = 0.0009285
```

W n'est pas très loin de 1, mais suffisamment pour que la différence soit significative. L'examen visuel des grands échantillons est souvent compliqué par le fait que plusieurs points se superposent et qu'il devient plus difficile de bien visualiser la tendance centrale. Les boxplots avec "moustaches" (box and whiskers plots) offrent une alternative intéressante. La commande `boxplot()` peut produire un boxplot de `fklngh` pour chaque niveau de `sex`, et ajoute les coches.

```
boxplot(fklngh ~ sex, data = sturgeon, notch = TRUE)
```



La ligne un peu plus épaisse dans la boîte de la Fig.7 indique la médiane. La coche est proportionnelle à l'incertitude quant à la position de la médiane. On peut visuellement interpréter approximativement les différences entre médianes en examinant si il y a chevauchement entre les coches (ici, il n'y a pas chevauchement, et on conclurait provisoirement que la médiane de `fklngh` pour les femelles est supérieure à celle des mâles). Les boîtes s'étendent du premier au troisième quar-

tile (du 25<sup>ième</sup> au 75<sup>ième</sup> percentile si vous préférez), Les barres (moustaches ou whiskers) au-dessus et en dessous des boîtes s'étendent soit de la valeur minimum à la valeur maximum, ou, si il y a des valeurs extrêmes, de la plus petite à la plus grande valeur à l'intérieur de 1.5x la largeur de l'étendue interquartile . Enfin, les observations qui excèdent les limites des moustaches (donc à plus de 1.5x l'étendue interquartile de chaque côté de la médiane) sont indiquées par des symboles. Ce sont des valeurs qui pourraient être considérées comme extrêmes et possiblement aberrantes.

### 5.2.3 Diagrammes de dispersion bivariés

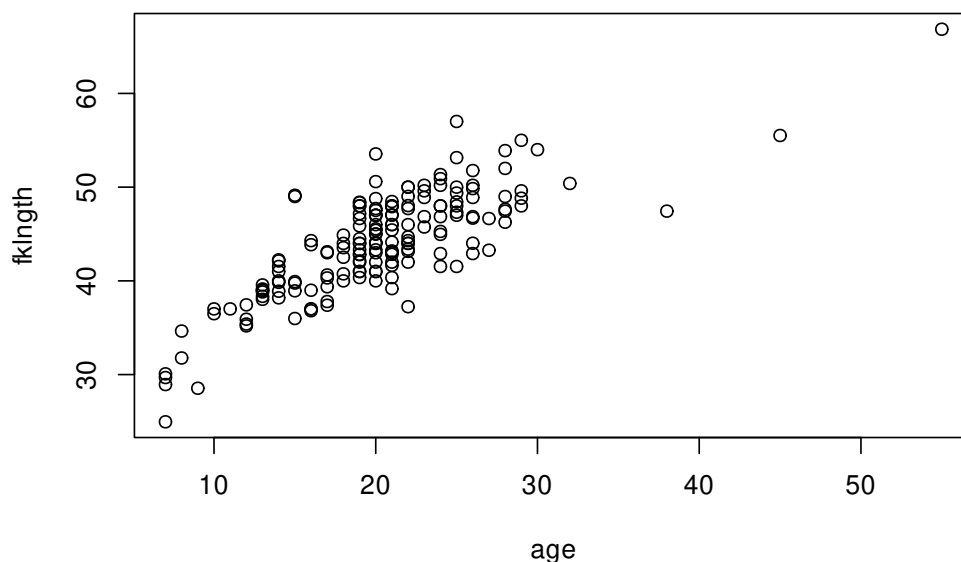
En plus des graphiques pour chacune des variables séparément, il est très souvent intéressant de jeter un coup d'oeil aux diagrammes de dispersion . La commande `plot(y~x)` permet de faire le graphique de y sur l'axe vertical (l'ordonnée) en fonction de x sur l'axe horizontal (l'abscisse).



Faites un graphique de `fklngh` en fonction de `age` avec la commande `plot`.

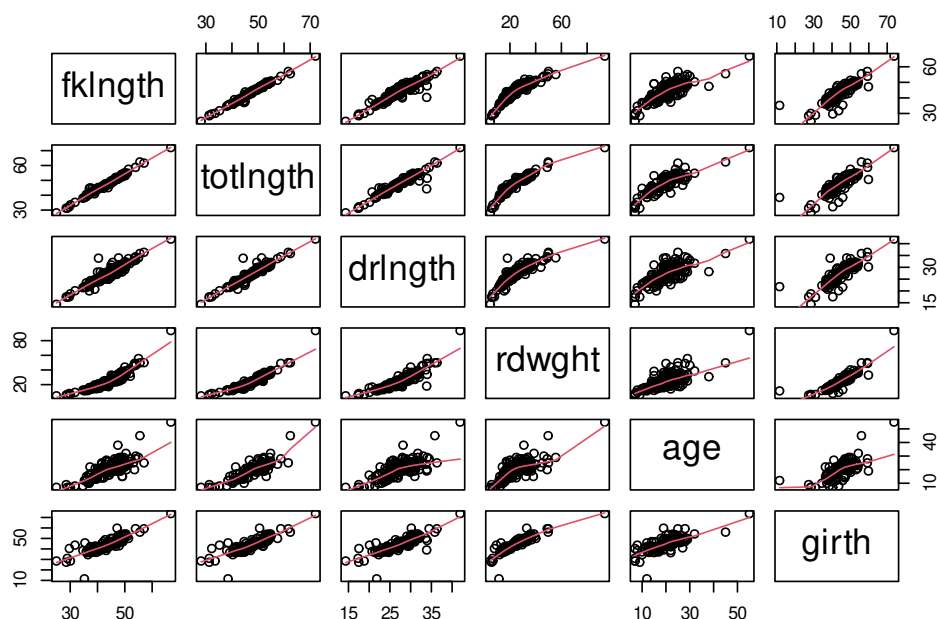
Vous devriez obtenir:

```
plot(fklngh ~ age, data = sturgeon)
```



R a une fonction qui permet la création des graphiques de dispersion de toutes les paires de variables (`pairs()`). Une des options de `~` est l'ajout d'une trace lowess qui indique la tendance de la relation entre les variables. Pour obtenir la matrice de ces graphiques avec la trace lowess pour toutes les variables dans `sturgeon`, entrer la commande `pairs(sturgeon[,1:6], panel=panel.smooth)` et vous devriez obtenir

```
pairs(sturgeon[,1:6], panel = panel.smooth)
```



### 5.3 Créer des sous-ensembles de cas

Il arrive fréquemment qu'une analyse se concentre sur un sous-ensemble des observations contenues dans un fichier de données. Les cas sont d'habitude sélectionnés selon un critère en particulier. Pour utiliser un sous-ensemble de vos données en créant un graphique ou en performant une analyse, on peut utiliser la commande `subset()`. Par exemple, pour créer un sous ensemble des données du tableau `sturgeon` qui ne contient que les femelles capturées en 1978, on peut écrire :

```
sturgeon.female.1978 <- subset(sturgeon, sex == "FEMALE" & year == "1978")
sturgeon.female.1978
```

```
##      fklngth totlngth drlngth rdwght age girth  sex  location year
## 2   50.19685 54.13386 31.49606   NA  24  53.5 FEMALE  THE_PAS 1978
## 4   50.19685 53.14961 32.28346   NA  23  52.5 FEMALE  THE_PAS 1978
## 6   49.60630 53.93701 31.10236 35.86  23  54.2 FEMALE  THE_PAS 1978
```

```
## 7 47.71654 51.37795 33.97638 33.88 20 48.0 FEMALE THE_PAS 1978
## 15 48.89764 53.93701 29.92126 35.86 23 52.5 FEMALE THE_PAS 1978
## 105 46.85039 NA 28.34646 23.90 24 NA FEMALE CUMBERLAND 1978
## 106 40.74803 NA 24.80315 17.50 18 NA FEMALE CUMBERLAND 1978
## 107 40.35433 NA 25.59055 20.90 21 NA FEMALE CUMBERLAND 1978
## 109 43.30709 NA 27.95276 24.10 19 NA FEMALE CUMBERLAND 1978
## 113 53.54331 NA 33.85827 48.90 20 NA FEMALE CUMBERLAND 1978
## 114 51.77165 NA 31.49606 35.30 26 NA FEMALE CUMBERLAND 1978
## 116 45.27559 NA 26.57480 23.70 24 NA FEMALE CUMBERLAND 1978
## 118 53.14961 NA 32.67717 45.30 25 NA FEMALE CUMBERLAND 1978
## 119 50.19685 NA 32.08661 33.90 26 NA FEMALE CUMBERLAND 1978
## 123 49.01575 NA 29.13386 37.50 22 NA FEMALE CUMBERLAND 1978
```



Dans ces comparaisons, il faut toujours utiliser `==` pour égal à. Dans ce contexte, si vous utilisez `=` seulement, vous n'obtiendrez pas ce que vous désirez. Dans le tableau qui suit se trouve une liste de commandes communes que vous allez probablement utiliser pour créer des expressions en R.

Opérateur	Explication	Opérateur	Explication
<code>==</code>	Égal à	<code>!=</code>	Pas égal à
<code>&gt;</code>	Plus que	<code>&lt;</code>	Moins que
<code>&gt;=</code>	Plus que ou égal à	<code>&lt;=</code>	Moins que ou égal à
<code>&amp;</code>	Et vectorisé	<code> </code>	Ou vectorisé
<code>&amp;&amp;</code>	Et contrôle	<code>  </code>	Ou contrôle
<code>!</code>	Pas		



En utilisant les commandes `subset()` et `hist()`, essayez de faire un histogramme pour le sous-ensemble de cas correspondant aux femelles capturées en 1979 et 1980 (donc `sex == "FEMALE" & (year == "1979" | year == "1980")`)

## 5.4 Transformations de données

Il est très fréquemment nécessaire d'effectuer des transformations mathématiques sur les données brutes pour mieux satisfaire aux conditions d'application de tests statistiques. R étant aussi un langage de programmation complet, il peut donc effectuer les transformations désirées. Les fonctions les plus fréquemment utilisées sont:

- `log()`
- `sqrt()`
- `ifelse()`

On peut employer ces fonctions directement dans les lignes de commandes, ou encore créer de nouvelles variables orphelines ou faisant partie d'un `data.frame`. Par exemple, pour faire un graphique du logarithme décimal de `fklngh` en fonction de l'âge, on peut écrire

```
plot(log(fklngh)~age, data = sturgeon)
```

Pour créer une variable orpheline (i.e. non incluse dans le `data.frame`) appelée `logfklngh` et contenant le logarithme décimal de `fklngh`, on peut écrire

```
logfklngh <- log10(sturgeon$fklngh)
```

Si on veut ajouter cette variable transformée à un tableau de données (`data.frame`), alors, on doit préfixer le nom de la variable par le nom du base de données et du symbole `$`, par exemple, pour ajouter une variable nommée `l fkl` contenant le `log10` de `fklngh` au tableau `sturgeon`, on peut écrire:

```
sturgeon$logfkl <- log10(sturgeonfklngh)
```

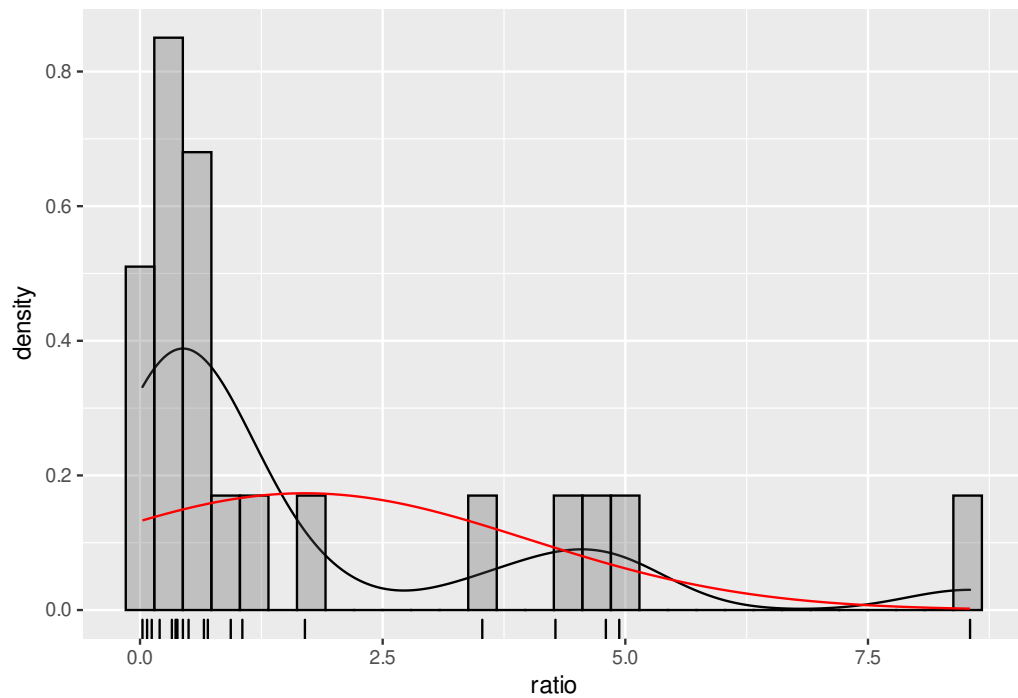
N'oubliez pas de sauvegarder ce tableau modifié si vous voulez avoir accès à cette nouvelle variable dans le futur. Pour les transformations conditionnelles, on peut utiliser la fonction `ifelse()`. Par exemple, pour créer une nouvelle variable appelée `dummy` qui sera égale à 1 pour les mâles et 0 pour les femelles, on peut écrire:

```
sturgeon$dummy <- ifelse(sturgeon$sex == "MALE", 1, 0)
```

## 5.5 Exercice sur R



Vous trouverez dans le fichier `salmonella`, des valeurs numériques du ratio pour deux milieux (IN VITRO et IN VIVO) pour trois souches. Examinez les données pour ratio et faites des graphiques pour évaluer la normalité de la distribution des ratios pour la souche SAUVAGE.





# **Part II**

## **Analyse de puissance**



## Chapter 6

# Analyse de puissance avec R et G\*Power

Après avoir complété cet exercice de laboratoire, vous devriez :

- Pouvoir calculer la puissance d'un test de t avec R et G\*Power
- Pouvoir calculer l'effectif requis pour obtenir la puissance désirée avec un test de t
- Pouvoir calculer la taille de l'effet détectable par un test de t étant donné l'effectif, la puissance et  $\alpha$
- Comprendre comment la puissance change lorsque l'effectif augmente, la taille de l'effet change, ou lorsque  $\alpha$  diminue
- Comprendre comment la puissance est affectée lorsque l'on passe d'un test bilatéral à un test unilatéral

### 6.1 La théorie

#### 6.1.1 Qu'est-ce que la puissance?

*La puissance est la probabilité de rejeter l'hypothèse nulle quand elle est fausse.*

### 6.1.2 Pourquoi faire une analyse de puissance?

#### Évaluer l'évidence

L'analyse de puissance effectuée après avoir accepté une hypothèse nulle permet de calculer la probabilité que l'hypothèse nulle soit rejetée si elle était fausse et que la taille de l'effet était d'une valeur donnée. Ce type d'analyse a posteriori est très commun.

#### Planifier de meilleures expériences

L'analyse de puissance effectuée avant de réaliser une expérience (le plus souvent après une expérience préliminaire cependant), permet de déterminer le nombre d'observations nécessaires pour détecter un effet d'une taille donnée à un niveau fixe de probabilité (la puissance). Ce type d'analyse a priori devrait être réalisé plus souvent.

#### Estimer la "limite de détection" statistique

L'effort d'échantillonnage est souvent déterminé à l'avance (par exemple lorsque vous héritez de données récoltées par quelqu'un d'autre), ou très sévèrement limité (lorsque les contraintes logistiques prévalent). Que ce soit a priori ou a posteriori l'analyse de puissance vous permet d'estimer, pour un effort d'échantillonnage donné et un niveau de puissance fixe, quelle est la taille minimale de l'effet qui peut être détecté (comme étant statistiquement significatif).

### 6.1.3 Facteurs qui affectent la puissance

Il y a 3 facteurs qui affectent la puissance d'un test statistique.

#### Le critère de décision

La puissance dépend de  $\alpha$ , le seuil de probabilité auquel on rejette l'hypothèse nulle. Si ce seuil est très strict (*i.e.* si  $\alpha$  est fixé à une valeur très basse, comme 0.1% ou  $p = 0.001$ ), alors la puissance sera plus faible que si le seuil était moins strict.

### La taille de l'échantillon

Plus l'échantillon est grand, plus la puissance est élevée. La capacité d'un test à détecter de petites différences comme étant statistiquement significatives augmente avec une augmentation du nombre d'observations.

### La taille de l'effet

Plus la taille de l'effet est grande, plus un test a de puissance. Pour un échantillon de taille fixe, la capacité d'un test à détecter un effet comme étant statistiquement significatif est plus élevée si l'effet est grand que s'il est petit. La taille de l'effet est en fait une mesure du degré de fausseté de l'hypothèse nulle.

## 6.2 Qu'est ce que G\*Power?

G\*Power est un programme gratuit, développé par des psychologues de l'Université de Dusseldorf en Allemagne. Le programme existe en version Mac et Windows. Il peut cependant être utilisé sous linux via Wine. G\*Power vous permettra d'effectuer une analyse de puissance pour la majorité des tests que nous verrons au cours de la session sans avoir à effectuer des calculs complexes ou farfouiller dans des tableaux ou des figures décrivant des distributions ou des courbes de puissance. Il est possible de faire tous les analyses de G\*power avec R, mais cela est nettement plus complexes, car il faut tous coder à la main. Dans les cas les plus simple le code R est aussi fourni. G\*power est vraiment un outil très utile que vous devrez maîtriser.



Téléchargez le programme **ici**<sup>1</sup> et installez-le sur votre ordi et votre station de travail au laboratoire (si ce n'est déjà fait).

## 6.3 Comment utiliser G\*Power

### 6.3.1 Principe général

L'utilisation de G\*Power implique généralement en trois étapes:

1. Choisir le test approprié
2. Choisir l'un des 5 types d'analyses de puissance disponibles

3. Inscrire les valeurs des paramètres requis et cliquer sur Calculate

### 6.3.2 Types d'analyses de puissance disponibles

#### A priori

Calcule l'effectif requis pour une valeur de  $\alpha$ ,  $\beta$  et de taille d'effet donnée. Ce type d'analyse est utile à l'étape de planification des expériences.

#### Compromis

Calcule  $\alpha$  et  $\beta$  pour un rapport  $\beta/\alpha$  donné, un effectif fixe, et une taille d'effet donnée. Ce type d'analyse est plus rarement utilisé (je ne l'ai jamais fait), mais peut être utile lorsque le rapport  $\beta/\alpha$  est d'intérêt, par exemple lorsque le coût d'une erreur de type I et de type II peut être quantifié.

#### Critère

Calcule  $\alpha$  pour  $\beta$ , effectif et taille d'effet donné. En pratique, je vois peu d'utilité pour ce type de calcul. Contactez-moi si vous en voyez une!

#### Post-hoc

Calcule la puissance ( $1 - \beta$ ) pour  $\alpha$ , une taille d'effet et un effectif donné. Très utilisée pour interpréter les résultats d'une analyse statistique non-significative, mais seulement si l'on utilise une taille d'effet biologiquement significative (et non la taille d'effet observée). Peu pertinente lorsque le test est significatif.

#### Sensitivité

Calcule la taille d'effet détectable pour une valeur d' $\alpha$ ,  $\beta$  et un effectif donné. Très utile également au stade de planification des expériences.

### 6.3.3 Comment calculer la taille de l'effet G\*Power permet de faire une analyse de puissance pour de nombreux tests statistiques

L'indice de la taille de l'effet qui est utilisé par G\*Power pour les calculs dépend du test. Notez que d'autres logiciels peuvent utiliser des indices différents et il est

important de vérifier que l'indice que l'on utilise est celui qui convient. G\*Power vous facilite la tâche et permet de calculer la taille de l'effet en inscrivant seulement les valeurs pertinentes dans la fenêtre de calcul. Le tableau suivant donne les indices utilisés par G\*Power pour les différents tests.

Test	Taille d'effet	Formule
test de t sur des moyennes	d	$d = \frac{ \mu_1 - \mu_2 }{\sqrt{(s_1^2 + s_2^2)/2}}$
test de t pour des corrélations	r	
autres tests de t	f	$f = \frac{\mu_1}{\sigma}$
test F (ANOVA)	f	$f = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^k (\mu_i - \mu)^2}}{\frac{k}{\sigma}}$
autres test F	$f^2$	$f^2 = \frac{R_p^2}{1 - R_p^2}$
		$R_p$ est le coefficient de corrélation partiel
test Chi-carré	w	$w = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{(p_{0i} - p_{1i})^2}{p_{0i}}}$
		$p_{0i}$ $p_{1i}$ sont les proportions de la catégorie i prédites par l'hypothèse nulle et alternative respectivement

## 6.4 Puissance pour un test de t comparant deux moyennes

L'objectif de cette séance de laboratoire est de vous familiariser avec G\*Power et de vous aider à comprendre comment les quatre paramètres des analyses de puissance ( $\alpha$ ,  $\beta$ , effectif et taille de l'effet) sont reliés entre eux. On examinera seulement un des nombreux tests, le test de t permettant de comparer deux moyennes

indépendantes. C'est le test le plus communément utilisé par les biologistes, vous l'avez tous déjà utilisé, et il conviendra très bien pour les besoins de la cause. Ce que vous apprendrez aujourd'hui s'appliquera à toutes les autres analyses de puissance que vous effectuerez à l'avenir.

Jaynie Stephenson a étudié la productivité des ruisseaux de la région d'Ottawa. Elle a, entre autres, quantifié la biomasse des poissons dans 18 ruisseaux sur le Bouclier Canadien d'une part, et dans 18 autres ruisseaux de la vallée de la rivière des Outaouais et de la rivière Rideau d'autre part. Elle a observé une biomasse plus faible dans les ruisseaux de la vallée ( $2.64 \text{ g/m}^2$ , écart-type=3.28) que dans ceux du Bouclier ( $3.31 \text{ g/m}^2$ , écart-type=2.79). En faisant un test de t pour éprouver l'hypothèse nulle que la biomasse des poissons est la même dans les deux régions, elle obtient:

Pooled-Variance Two-Sample t-Test  
 $t = -0.5746$ ,  $df = 34$ ,  $p\text{-value} = 0.5693$

Elle accepte l'hypothèse nulle (puisque p est plus élevé que 0.05) conclue donc que la biomasse moyenne des poissons est la même dans ces deux régions.

### 6.4.1 Analyse post-hoc

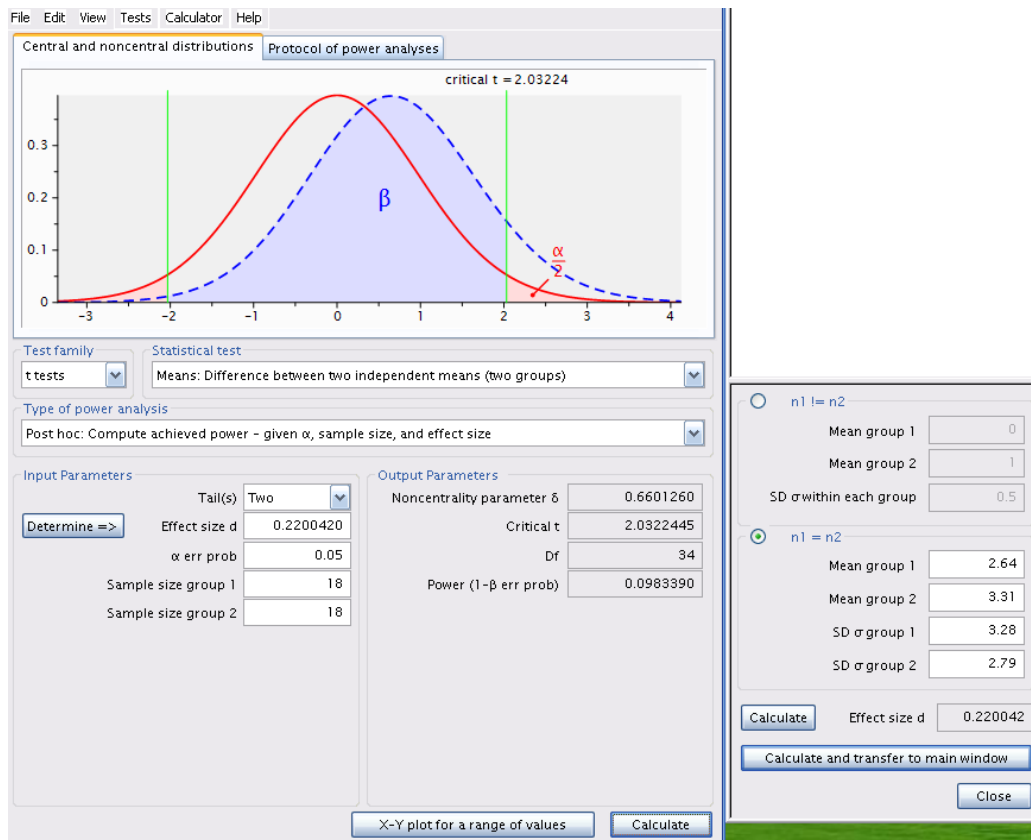
Compte tenu des valeurs des moyennes observées et de leur écart-type, on peut utiliser G\*Power pour calculer la puissance du test de t bilatéral pour deux moyennes indépendantes et pour la taille d'effet (i.e. la différence entre la biomasse entre les deux régions, pondérée par les écarts-type) à  $\alpha = 0.05$ .

Démarrer G\*Power.

1. À **Test family**, choisir: t tests
  2. À **Statistical test**, choisir: Means: Difference between two independent means (two groups)
  3. À **Type of power analysis**, choisir: Post hoc: Compute achieved power - given  $\alpha$ , sample size, and effect size
  4. Dans **Input Parameters**,
    - à la boîte **Tail(s)**, choisir: Two,
    - vérifier que  $\alpha$  **err prob** est égal à 0.05
    - inscrire 18 pour **Sample size group 1** et 2
    - pour calculer la taille d'effet (Effect size d), cliquer sur le bouton **Determine**
- =>



5. Dans la fenêtre qui s'ouvre à droite, sélectionner  **$n1 = n2$** 
  - entrer les moyennes (**Mean group 1** et 2)
  - entrer les écarts types (**SDs group 1** et 2)
  - cliquer sur le bouton **Calculate and transfer to main window**
6. Cliquer sur le bouton Calculate dans la fenêtre principale et vous devriez obtenir ceci:



**Figure 6.1:** Analyse post-hoc avec la taille d'effet estimée

Étudions un peu ce graphique.

- La courbe de gauche, en rouge, correspond à la distribution de la statistique  $t$  si  $H_0$  est vraie (i.e si les deux moyennes étaient égales) compte tenu de l'effectif (18 dans chaque région) et des écarts-types observés.

- Les lignes verticales vertes correspondent aux valeurs critiques de  $t$  pour une valeur  $\alpha = 0.05$  et un effectif total de 36 (2x18).
- Les régions ombrées en rose correspondent aux zones de rejet de  $H_0$ . Si Jaynie avait obtenu une valeur de  $t$  en dehors de l'intervalle délimité par les valeurs critiques allant de -2.03224 à 2.03224, alors elle aurait rejeté  $H_0$ , l'hypothèse nulle d'égalité des deux moyennes. En fait, elle a obtenu une valeur de  $t$  égale à -0.5746 et conclu que la biomasse est la même dans les deux régions.
- La courbe de droite, en bleu, correspond à la distribution de la statistique  $t$  si  $H_1$  est vraie (ici  $H_1$  correspond à une différence de biomasse entre les deux régions de  $3.33 - 2.64 = 0.69 \text{ g/m}^2$ , compte tenu des écarts-types observés). Cette distribution correspond à ce qu'on devrait s'attendre à observer si  $H_1$  était vraie et que l'on répétait un grand nombre de fois les mesures dans des échantillons aléatoires de 18 ruisseaux des deux régions en calculant la statistique  $t$  à chaque fois. En moyenne, on observerait une valeur de  $t$  d'environ 0.6.
- Notez que la distribution de droite chevauche considérablement celle de gauche, et une bonne partie de la surface sous la courbe de droite se retrouve à l'intérieur de l'intervalle d'acceptation de  $H_0$ , délimité par les deux lignes vertes et allant de -2.03224 à 2.03224. Cette proportion, correspondant à la partie ombrée en bleu sous la courbe de droite et dénoté par  $\beta$  correspond au risque d'erreur de type II qui est d'accepter  $H_0$  quand  $H_1$  est vraie.
- La puissance est simplement  $1 - \beta$ , et est ici de 0.098339. Donc, si la biomasse différait de  $0.69 \text{ g/m}^2$  entre les deux régions, Jaynie n'avait que 9.8% des chances d'être capable de détecter une différence statistiquement significative à  $\alpha = 5$  en échantillonnant 18 ruisseaux de chaque région.

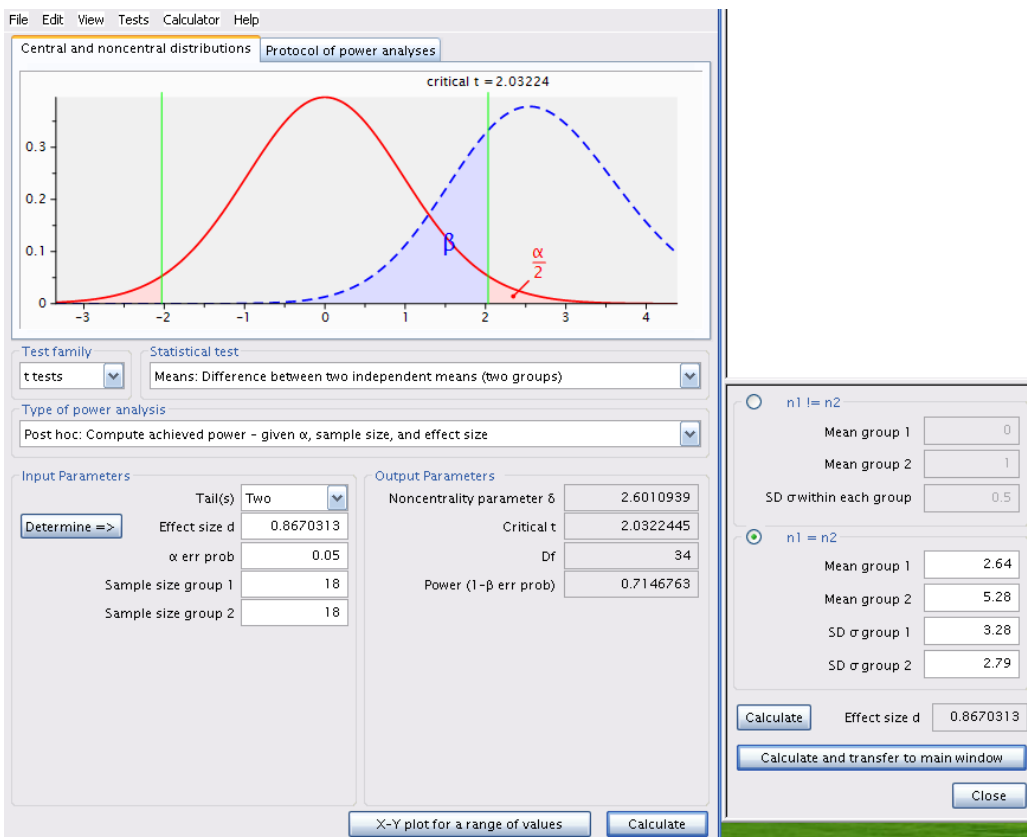
**Récapitulons:** La différence de biomasse entre les deux régions n'est pas statistiquement significative d'après le test de  $t$ . C'est donc que cette différence est relativement petite compte tenu de la précision des mesures. Il n'est donc pas très surprenant que la puissance, i.e. la probabilité de détecter une différence significative, soit faible. Toute cette analyse ne nous informe pas beaucoup.

**Une analyse de puissance post hoc avec la taille de l'effet observé n'est pas très utile.** On la fera plutôt pour une taille d'effet autre que celle observée quand  $H_0$  est acceptée. Quelle taille d'effet utiliser? C'est la biologie du système étudié qui peut nous guider. Par exemple, en ce qui concerne la biomasse des poissons, on pourrait s'attendre à ce qu'une différence de biomasse du simple au double (dis-

ons de  $2.64$  à  $5.28 \text{ g/m}^2$ ) ait des conséquences écologiques. On voudrait s'assurer que Jaynie avait de bonnes chances de détecter une différence aussi grande que celle-là avant d'accepter ses conclusions que la biomasse est la même entre les deux régions. Quelles étaient les chances de Jaynie de détecter une différence de  $2.64 \text{ g/m}^2$  entre les deux régions? G\*Power peut nous le dire.



Changer la moyenne du groupe 2 à 5.28, recalculer la taille d'effet, et cliquer sur Calculate pour obtenir (??).



**Figure 6.2:** Analyse post-hoc avec une taille d'effet différente

La puissance est de 0.71, donc Jaynie avait une chance raisonnable de détecter une différence du simple au double avec 18 ruisseaux dans chaque région.

Notez que cette analyse de puissance post hoc pour une taille d'effet jugée

biologiquement significative est bien plus informative que l'analyse précédente pour la taille d'effet observée (qui est celle effectuée par défaut par bien des néophytes et de trop nombreux logiciels qui essaient de penser pour nous). En effet, Jaynie n'a pu détecter de différences significatives entre les deux régions. Cela pourrait être pour deux raisons: soit qu'il n'y a pas de différences entre les régions, ou soit parce que la précision des mesures est si faible et l'effort d'échantillonnage était si limité qu'il était très peu probable de détecter même d'énormes différences. La deuxième analyse de puissance permet d'éliminer cette seconde possibilité puisque Jaynie avait 71% des chances de détecter une différence du simple au double.

### 6.4.2 Analyse à priori

Supposons qu'on puisse défendre la position qu'une différence de biomasse observée par Jaynie entre les deux régions,  $3.31 - 2.64 = 0.67g/m^2$ , soit écologiquement signifiante. On devrait donc planifier la prochaine saison d'échantillonnage de manière à avoir de bonnes chances de détecter une différence de cette taille. Combien de ruisseaux Jaynie devrait-elle échantillonner pour avoir 80% des chances de la détecter (compte tenu de la variabilité observée)?



Changer le type d'analyse de puissance dans G\*Power à **A priori: Compute sample size - given  $\alpha$ , power, and effect size**. Assurez-vous que les valeurs pour les moyennes et les écarts-type soient celles qu'a obtenu Jaynie, recalculez la taille de l'effet, et inscrivez 0.8 pour la puissance.

**Ouch!** Il faudrait échantillonner 326 ruisseaux dans chaque région! Cela coûterait une fortune et exigerait de nombreuses équipes de travail. Sans cela, on ne pourrait échantillonner que quelques dizaines de ruisseaux, et il serait peu probable que l'on puisse détecter une si faible différence de biomasse entre les deux régions. Ce serait vraisemblablement en vain et pourrait être considéré comme une perte de temps: pourquoi tant d'efforts et de dépenses si les chances de succès sont si faibles.

Si on refait le même calcul pour une puissance de 95%, on obtient 538 ruisseaux par région. Augmenter la puissance ça demande plus d'effort.

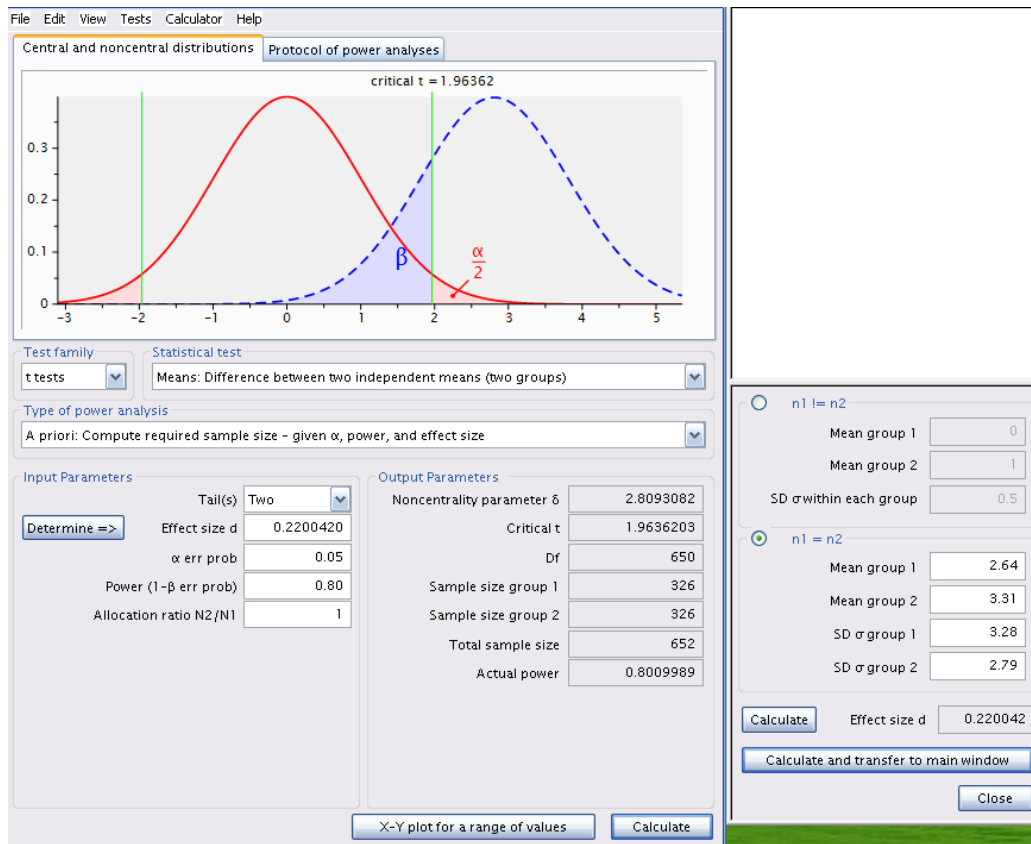


Figure 6.3: Analyse à priori

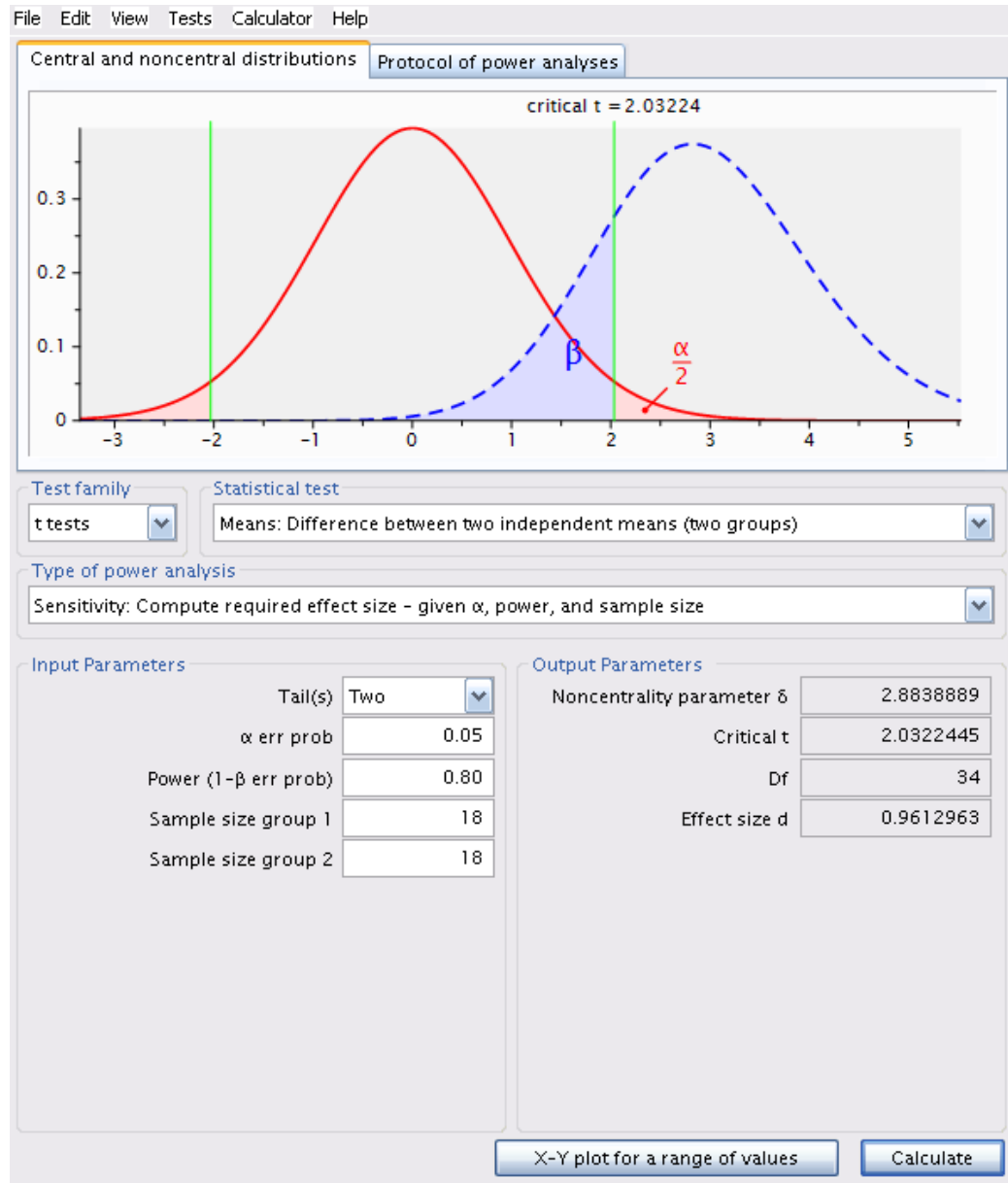
### 6.4.3 Analyse de sensibilité - Calculer la taille d'effet détectable

Compte tenu de la variabilité observée, d'un effort d'échantillonnage de 18 ruisseaux par région, et en conservant  $\alpha = 0.05$ , quelle est la taille d'effet que Jaynie pouvait détecter avec 80% de chances ( $\beta = 0.2$ )?



Changez le type d'analyse dans G\*Power à **Sensitivity: Compute required effect size - given  $\alpha$ , power, and sample size** et assurez-vous que la taille des échantillons est de 18 dans chaque région.

La taille d'effet détectable pour cette taille d'échantillon,  $\alpha = 0.05$  et  $\beta = 0.2$  (ou une puissance de 80%) est de 0.961296.



**Figure 6.4:** Analyse de sensibilité



cette valeur est l'indice  $d$  de la taille de l'effet et est pondérée par la variabilité des mesures.

Dans ce cas ci,  $d$  est approximativement égal à

$$d = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{2}}}$$

Pour convertir cette valeur de  $d$  sans unités en une valeur de différence de biomasse détectable (i.e.  $|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|$ ), il suffit de multiplier  $d$  par le dénominateur de l'équation.

$$|\bar{X}_1 - \bar{X}_2| = d * \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{2}}$$

Donc, avec 18 ruisseaux dans chaque région, pour  $\alpha = 0.05$  et  $\beta = 0.2$  (une puissance de 80%), Jaynie pouvait détecter une différence de biomasse de  $2.93g/m^2$  entre les régions, un peu plus que du simple au double.

## 6.5 Points à retenir

- L'analyse de puissance post hoc n'est pertinente que lorsque l'on a accepté l'hypothèse nulle. Il est en effet impossible de faire une erreur de type II quand on rejette  $H_0$ .
- Avec de très grands échantillons, on a une puissance quasi infinie et on peut détecter statistiquement de très petites différences qui ne sont pas nécessairement biologiquement significatives.
- En utilisant un critère de signification plus strict ( $\alpha < 0.05$ ) on diminue notre puissance.
- En voulant maximiser la puissance, on augmente l'effort requis, à moins d'utiliser une valeur critique plus libérale ( $\alpha > 0.05$ )
- Le choix de  $\beta$  est quelque peu arbitraire. On considère que  $\beta = 0.2$  (puissance de 80%) est relativement élevé.