

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

# Introduction à la programmation en S

Vincent Goulet

École d'actuariat  
Université Laval

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

1 Présentation du langage S

2 Bases du langage S

3 Opérateurs et fonctions

4 Exemples résolus

5 Fonctions définies par l'utilisateur

6 Concepts avancés

7 GNU Emacs et ESS : la base

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 1 Présentation du langage S

### ■ Le langage S

- Les moteurs S
- Interfaces pour S-Plus et R
- Installation de Emacs avec ESS
- Démarrer et quitter R
- Stratégies de travail
- Gestion des projets ou environnements de travail
- Consulter l'aide en ligne
- Où trouver de la documentation

# Un langage pour «programmer avec des données»

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Développé chez Bell Laboratories
- Langage de programmation complet et autonome
- Inspiré de plusieurs langages, dont l'APL et le Lisp :
  - interprété (et non compilé)
  - sans déclaration obligatoire des variables
  - basé sur la notion de vecteur
  - particulièrement puissant pour les applications mathématiques et statistiques (et donc actuarielles)

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 1 Présentation du langage S

- Le langage S

### ■ Les moteurs S

- Interfaces pour S-Plus et R

- Installation de Emacs avec ESS

- Démarrer et quitter R

- Stratégies de travail

- Gestion des projets ou environnements de travail

- Consulter l'aide en ligne

- Où trouver de la documentation

# Deux «moteurs» ou dialectes du langage S

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Jusqu'à récemment, le plus connu était S-PLUS de Insightful Corporation, maintenant S+ de Timbco Software
- Le leader est maintenant R, ou GNU S, est une version libre (*Open Source*) «*not unlike S*»
- Environnements intégrés de manipulation de données, de calcul et de préparation de graphiques

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 1 Présentation du langage S

- Le langage S
- Les moteurs S
- Interfaces pour S-Plus et R
- Installation de Emacs avec ESS
- Démarrer et quitter R
- Stratégies de travail
- Gestion des projets ou environnements de travail
- Consulter l'aide en ligne
- Où trouver de la documentation

# D'abord des applications en ligne de commande

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- S+ possède une interface graphique élaborée qui permet d'utiliser le logiciel sans trop connaître le langage de programmation
- R dispose également d'une interface graphique sous Windows et Mac OS
- L'édition sérieuse de code S bénéficie cependant grandement d'un bon éditeur de texte



- Question 6.2 de la foire aux questions (FAQ) de R : «Devrais-je utiliser R à l'intérieur de Emacs ?»
- Réponse : «Oui, tout à fait»
- Nous apprendrons à utiliser R à l'intérieur de GNU Emacs avec le mode ESS
- Plusieurs autres options disponibles : choisissez celle que vous préférez

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 1 Présentation du langage S

- Le langage S
- Les moteurs S
- Interfaces pour S-Plus et R
- **Installation de Emacs avec ESS**
- Démarrer et quitter R
- Stratégies de travail
- Gestion des projets ou environnements de travail
- Consulter l'aide en ligne
- Où trouver de la documentation

# Installation de Emacs avec ESS

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Pour une installation simplifiée de GNU Emacs et ESS, consulter le site Internet  
<http://vgoulet.act.ulaval.ca/emacs/>
- Voir l'annexe A du document d'accompagnement pour les plus importantes commandes

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 1 Présentation du langage S

- Le langage S
- Les moteurs S
- Interfaces pour S-Plus et R
- Installation de Emacs avec ESS
- **Démarrer et quitter R**
- Stratégies de travail
- Gestion des projets ou environnements de travail
- Consulter l'aide en ligne
- Où trouver de la documentation

# Démarrer et quitter R

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Pour démarrer R à l'intérieur de Emacs :  
M-x R RET  
puis spécifier un dossier de travail
- Une console R est ouverte dans un *buffer* nommé \*R\*
- Pour quitter, deux options :
  - 1 taper q ( ) à la ligne de commande
  - 2 dans Emacs, faire C-c C-q

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 1 Présentation du langage S

- Le langage S
- Les moteurs S
- Interfaces pour S-Plus et R
- Installation de Emacs avec ESS
- Démarrer et quitter R
- **Stratégies de travail**
- Gestion des projets ou environnements de travail
- Consulter l'aide en ligne
- Où trouver de la documentation

# Deux grandes façons de travailler avec R

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- 1 Le code est virtuel et les objets sont réels
- 2 Le code est réel et les objets sont virtuels

# Code virtuel, objets réels

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- C'est l'approche qu'encouragent les interfaces graphiques, mais aussi la moins pratique à long terme
- On entre des expressions directement à la ligne de commande pour les évaluer immédiatement
- Les objets créés au cours d'une session de travail sont sauvegardés
- Par contre, le code utilisé pour créer ces objets est perdu lorsque l'on quitte R, à moins de sauvegarder celui-ci dans des fichiers



# Code réel, objets virtuels

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- C'est l'approche que nous favoriserons
- Le travail se fait essentiellement dans des fichiers de script (de simples fichiers de texte) dans lesquels sont sauvegardées les expressions (parfois complexes !) et le code des fonctions personnelles
- Les objets sont créés au besoin en exécutant le code

# Emacs permet un travail efficace

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Démarrer un processus R et spécifier le dossier de travail
- Ouvrir un fichier de script avec C-x C-f (pour créer un nouveau fichier, ouvrir un fichier qui n'existe pas)
- Positionner le curseur sur une expression et faire C-c C-n pour l'évaluer
- Le résultat apparaît dans le *buffer* \*R\*

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 1 Présentation du langage S

- Le langage S
- Les moteurs S
- Interfaces pour S-Plus et R
- Installation de Emacs avec ESS
- Démarrer et quitter R
- Stratégies de travail
- **Gestion des projets ou environnements de travail**
- Consulter l'aide en ligne
- Où trouver de la documentation

# Gestion des projets ou environnements de travail

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- R travaille dans un dossier et non avec des fichiers individuels
- Dans R, les objets créés sont conservés en mémoire
  - sauvegardés en quittant l'application, ou
  - avec la commande `save.image()`
- L'environnement de travail (*workspace*) est sauvegardé dans le fichier `.RData` dans le dossier de travail

# Gestion des projets ou environnements de travail

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- R travaille dans un dossier et non avec des fichiers individuels
- Dans R, les objets créés sont conservés en mémoire
  - sauvegardés en quittant l'application, ou
  - avec la commande `save.image()`
- L'environnement de travail (*workspace*) est sauvegardé dans le fichier `.RData` dans le dossier de travail

# Gestion des projets ou environnements de travail

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- R travaille dans un dossier et non avec des fichiers individuels
- Dans R, les objets créés sont conservés en mémoire
  - sauvegardés en quittant l'application, ou
  - avec la commande `save.image()`
- L'environnement de travail (*workspace*) est sauvegardé dans le fichier `.RData` dans le dossier de travail

# Gestion des projets ou environnements de travail

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- R travaille dans un dossier et non avec des fichiers individuels
- Dans R, les objets créés sont conservés en mémoire
  - sauvegardés en quittant l'application, ou
  - avec la commande `save.image()`
- L'environnement de travail (*workspace*) est sauvegardé dans le fichier `.RData` dans le dossier de travail

# Gestion des projets ou environnements de travail

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- R travaille dans un dossier et non avec des fichiers individuels
- Dans R, les objets créés sont conservés en mémoire
  - sauvegardés en quittant l'application, ou
  - avec la commande `save.image()`
- L'environnement de travail (*workspace*) est sauvegardé dans le fichier `.RData` dans le dossier de travail



# Comment déterminer le dossier de travail

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Avec Emacs et ESS on doit spécifier le dossier de travail à chaque fois que l'on démarre un processus R
- Les interfaces graphiques permettent également de spécifier le dossier de travail au lancement de l'application

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 1 Présentation du langage S

- Le langage S
- Les moteurs S
- Interfaces pour S-Plus et R
- Installation de Emacs avec ESS
- Démarrer et quitter R
- Stratégies de travail
- Gestion des projets ou environnements de travail
- Consulter l'aide en ligne
- Où trouver de la documentation

# La première source d'aide

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Rubriques d'aide contiennent une foule d'informations ainsi que des exemples d'utilisation
- Leur consultation est tout à fait essentielle
- Pour consulter la rubrique d'aide de la fonction `foo`, on peut entrer à la ligne de commande  
`> ?foo`
- Dans Emacs, `C-c C-v foo RET` ouvrira la rubrique d'aide de la fonction `foo` dans un nouveau *buffer*

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 1 Présentation du langage S

- Le langage S
- Les moteurs S
- Interfaces pour S-Plus et R
- Installation de Emacs avec ESS
- Démarrer et quitter R
- Stratégies de travail
- Gestion des projets ou environnements de travail
- Consulter l'aide en ligne
- Où trouver de la documentation

# Plusieurs ressources disponibles

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- S+ est livré avec quatre livres, mais aucun ne s'avère vraiment utile pour apprendre le langage S
- Plusieurs livres — en versions papier ou électronique, gratuits ou non — ont été publiés sur S+ et/ou R
- Liste exhaustive dans le site du projet R

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- 1 Présentation du langage S
- 2 Bases du langage S
- 3 Opérateurs et fonctions
- 4 Exemples résolus
- 5 Fonctions définies par l'utilisateur
- 6 Concepts avancés
- 7 GNU Emacs et ESS : la base

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 2 Bases du langage S

### ■ Commandes S

- Conventions pour les noms d'objets
- Les objets S
- Vecteurs
- Matrices et tableaux
- Listes
- Data frames
- Indijage

# Affectations et expressions

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Toute commande S est soit une **affectation**, soit une **expression**
- Une expression est immédiatement évaluée et le résultat est affiché à l'écran :

```
> 2 + 3
```

```
[1] 5
```

```
> pi
```

```
[1] 3.141593
```

```
> cos(pi/4)
```

```
[1] 0.7071068
```



# Affectations et expressions

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Lors d'une affectation, une expression est évaluée, mais le résultat est stocké dans un objet (variable) et rien n'est affiché à l'écran
- Le symbole d'affectation est `<-` (ou `->`)

```
> a <- 5
```

```
> a
```

```
[1] 5
```

```
> b <- a
```

```
> b
```

```
[1] 5
```

- Éviter d'utiliser `=`

## Astuce

- Dans le mode ESS de Emacs, la touche `_` génère `_< - _`
- Appuyer deux fois pour obtenir le caractère `_`

## Astuce

- Pour affecter le résultat d'un calcul **et** voir le résultat, placer l'affectation entre parenthèses
- L'opération d'affectation devient alors une nouvelle expression :

```
> (a <- 2 + 3)
```

```
[1] 5
```

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 2 Bases du langage S

- Commandes S

- Conventions pour les noms d'objets

- Les objets S

- Vecteurs

- Matrices et tableaux

- Listes

- Data frames

- Indijage

# Caractères permis dans les noms d'objets

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Les lettres a–z, A–Z
- Les chiffres 0–9
- Le point «.»
- «\_» est maintenant permis dans R

# Règles pour les noms d'objets

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Les noms d'objets ne peuvent commencer par un chiffre
- Le S est sensible à la casse : `foo`, `Foo` et `F00` sont trois objets distincts
- Moyen simple d'éviter des erreurs liées à la casse : employer seulement des lettres minuscules

# Noms déjà utilisés et réservés

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Éviter d'utiliser les noms

`c, q, t, C, D, I, diff, length, mean, pi, range, var`

- Noms réservés :

`Inf, NA, NaN, NULL, TRUE, FALSE`  
`break, else, for, function, if, in, next,`  
`repeat, return, while`

# TRUE et FALSE

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Les variables `T` et `F` prennent par défaut les valeurs `TRUE` et `FALSE`, mais peuvent être réaffectées :

```
> T
```

```
[1] TRUE
```

```
> TRUE <- 3
```

Erreur dans `TRUE <- 3` : membre gauche de  
l'assignation (`do_set`) incorrect

```
> (T <- 3)
```

```
[1] 3
```



# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 2 Bases du langage S

- Commandes S
- Conventions pour les noms d'objets
- **Les objets S**
- Vecteurs
- Matrices et tableaux
- Listes
- Data frames
- Indixage

# Tout est un objet

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Tout dans le langage S est un objet, même les fonctions et les opérateurs
- Les objets possèdent au minimum un **mode** et une **longueur**
- Certains objets sont également dotés d'un ou plusieurs **attributs**

# Modes et types de données

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Prescrit ce qu'un objet peut contenir

- Obtenu avec la fonction `mode` :

```
> v <- c(1, 2, 5, 9)
```

```
> mode(v)
```

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

- Principaux modes :

---

numeric	nombres réels
complex	nombres complexes
logical	valeurs booléennes (vrai/faux)
character	chaînes de caractères
function	fonction
list	données quelconques
expression	expressions non évaluées

---

# Longueur

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Égale au nombre d'éléments que contient un objet
- Obtenue avec la fonction `length` :  

```
> length(v)
```

```
[1] 4
```

# Longueur (suite)

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Longueur d'une chaîne de caractères est toujours 1
- Un objet de mode character peut contenir plusieurs chaînes de caractères :

```
> v <- "actuariat"
```

```
> length(v)
```

```
[1] 1
```

```
> v <- c("a", "c", "t", "u", "a", "r",  
+       "i", "a", "t")
```

```
> length(v)
```

```
[1] 9
```

# Longueur (suite)

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- La longueur d'un objet peut être 0

- Contenant vide :

```
> v <- numeric(0)
```

```
> length(v)
```

```
[1] 0
```

# L'objet spécial NULL

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- NULL représente «rien», ou le vide
- Son mode est NULL
- Sa longueur est 0
- Différent d'un objet vide :
  - un objet de longueur 0 est un contenant vide
  - NULL est «pas de contenant»
- Fonction `is.null` pour tester si un objet est NULL

# L'objet spécial NA

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Utilisé pour représenter les données manquantes ou l'absence de données
- Son mode est `logical`
- **Toute** opération impliquant NA a comme résultat NA
- Certaines fonctions (par ex. `sum`, `mean`) peuvent éliminer les données manquantes avant de faire un calcul
- Fonction `is.na` pour tester si un objet est NA



# Valeurs spéciales IEEE 754

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- `Inf` :  $+\infty$
- `-Inf` :  $-\infty$
- `NaN` :  $\frac{0}{0}$ ,  $\infty - \infty$ , ...
- Fonctions `is.finite`, `is.infinite`, `is.nan`

# Attributs

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Éléments d'information liés à un objet
- Principaux attributs

---

<code>class</code>	affecte le comportement d'un objet
<code>dim</code>	dimensions des matrices et tableaux
<code>dimnames</code>	étiquettes des dimensions des matrices et tableaux
<code>names</code>	étiquettes des éléments d'un objet

---

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 2 Bases du langage S

- Commandes S
- Conventions pour les noms d'objets
- Les objets S
- **Vecteurs**
- Matrices et tableaux
- Listes
- Data frames
- Indixage

# En S, tout est un vecteur

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Dans un vecteur simple (*atomic*), tous les éléments sont du même mode
- Possible (et souvent souhaitable) de donner une étiquette aux éléments d'un vecteur :

```
> (v <- c(a = 1, b = 2, c = 5))
```

```
a b c
```

```
1 2 5
```

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

```
> names(v) <- c("a", "b", "c")
```

```
> v
```

```
a b c
```

```
1 2 5
```

# Fonctions de base pour créer des vecteurs

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- `c` (concaténation)
- `numeric` (vecteur de mode `numeric`)
- `logical` (vecteur de mode `logical`)
- `character` (vecteur de mode `character`).

# Indiçage

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la base

- Se fait avec [ ]
- Extraction d'un élément par
  - sa position
  - son étiquette (plus sûr)

```
> v[3]
```

```
c
```

```
5
```

```
> v["c"]
```

```
c
```

```
5
```

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 2 Bases du langage S

- Commandes S
- Conventions pour les noms d'objets
- Les objets S
- Vecteurs
- Matrices et tableaux
- Listes
- Data frames
- Indixage

# Une matrice est un vecteur

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Les matrices et tableaux sont des vecteurs dotés d'un attribut `dim`
- À l'interne, une matrice est donc stockée sous forme de vecteur
- Fonction de base pour créer des matrices est `matrix`
- Fonction de base pour créer des tableaux est `array`



# Remplissage d'une matrice

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- **Important** : les matrices et tableaux sont remplis en faisant d'abord varier la première dimension, puis la seconde, etc.

```
> matrix(1:6, nrow = 2, ncol = 3)
```

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	1	3	5
[2,]	2	4	6

# Remplissage des tableaux

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

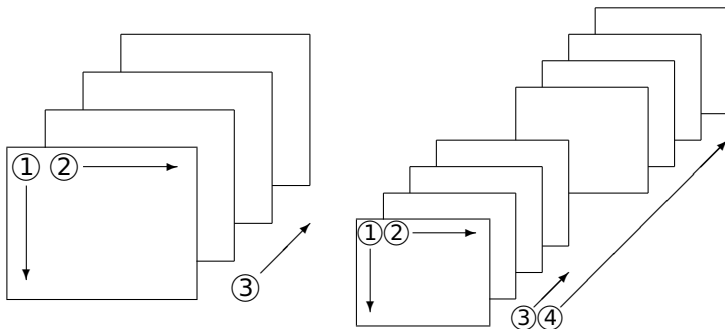
Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base



# Indiçage d'une matrice

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Extraction d'un élément par sa position (ligne, colonne) dans la matrice, ou encore par sa position dans le vecteur sous-jacent

```
> (m <- matrix(c(40, 80, 45, 21, 55, 32),  
+             nrow = 2))
```

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	40	45	55
[2,]	80	21	32

```
> m[1, 2]
```

```
[1] 45
```

```
> m[3]
```

```
[1] 45
```

# Fusion verticale de matrices

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Fonction `rbind` permet de fusionner verticalement deux matrices (ou plus) ayant le même nombre de colonnes

```
> n <- matrix(1:9, nrow = 3)
> rbind(m, n)
```

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	40	45	55
[2,]	80	21	32
[3,]	1	4	7
[4,]	2	5	8
[5,]	3	6	9

# Fusion horizontale de matrices

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Fonction `cbind` permet de fusionner horizontalement deux matrices (ou plus) ayant le même nombre de lignes

```
> n <- matrix(1:4, nrow = 2)
> cbind(m, n)
```

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	40	45	55	1	3
[2,]	80	21	32	2	4

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 2 Bases du langage S

- Commandes S
- Conventions pour les noms d'objets
- Les objets S
- Vecteurs
- Matrices et tableaux
- **Listes**
- Data frames
- Indixage

# Un vecteur très général

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Vecteur spécial dont les éléments peuvent être de n'importe quel mode
- Permet d'emboîter des listes  $\Rightarrow$  objet *récuratif*
- Fonction de base pour créer des listes est `list`
- Conseil : nommer les éléments d'une liste !

# Indiçage d'une liste

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Simples crochets [ ] retournent une liste
- Doubles crochets [[ ]] retournent l'élément seul
- Par l'étiquette avec liste\$element



# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 2 Bases du langage S

- Commandes S
- Conventions pour les noms d'objets
- Les objets S
- Vecteurs
- Matrices et tableaux
- Listes
- **Data frames**
- Indixage

# Un peu d'une liste et d'une matrice

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Liste de classe `data.frame` dont tous les éléments sont de la même longueur
- Visuellement identique à une matrice
- Plus général qu'une matrice : les colonnes peuvent être de modes différents
- Fonctions `data.frame` ou `as.data.frame`

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 2 Bases du langage S

- Commandes S
- Conventions pour les noms d'objets
- Les objets S
- Vecteurs
- Matrices et tableaux
- Listes
- Data frames
- **Indiçage**

# 1. Avec un vecteur d'entiers positifs

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Éléments se trouvant aux positions correspondant  
aux entiers sont extraits, dans l'ordre :

```
> letters[c(1:3, 22, 5)]
```

```
[1] "a" "b" "c" "v" "e"
```

## 2. Avec un vecteur d'entiers négatifs

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Éléments se trouvant aux positions correspondant  
aux entiers négatifs sont **éliminés** :

```
> letters[c(-(1:3), -5, -22)]
```

```
[1] "d" "f" "g" "h" "i" "j" "k" "l" "m"  
[10] "n" "o" "p" "q" "r" "s" "t" "u" "w"  
[19] "x" "y" "z"
```

### 3. Avec un vecteur booléen

- Vecteur d'indilage doit être de la même longueur que le vecteur indicé
- Éléments correspondant à TRUE sont **extraits**, ceux correspondant FALSE sont **éliminés** :

```
> letters > "f" & letters < "q"
```

```
[1] FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE  
[7] TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE  
[13] TRUE TRUE TRUE TRUE FALSE FALSE  
[19] FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE  
[25] FALSE FALSE
```

```
> letters[letters > "f" & letters < "q"]
```

```
[1] "g" "h" "i" "j" "k" "l" "m" "n" "o"  
[10] "p"
```

## 4. Avec une chaîne de caractères

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
■ À condition que les éléments soient nommés :  
> x <- c(Rouge = 2, Bleu = 4, Vert = 9,  
+ Jaune = -5)  
> x[c("Bleu", "Jaune")]  
Bleu Jaune  
4 -5
```

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

1 Présentation du langage S

2 Bases du langage S

3 Opérateurs et fonctions

4 Exemples résolus

5 Fonctions définies par l'utilisateur

6 Concepts avancés

7 GNU Emacs et ESS : la base



# Une liste non exhaustive

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Principaux opérateurs arithmétiques, fonctions mathématiques et structures de contrôles
- Consulter aussi la section See Also des rubriques d'aide

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- 3 Opérateurs et fonctions**
  - Opérations arithmétiques
  - Opérateurs
  - Appels de fonctions
  - Quelques fonctions utiles
  - Structures de contrôle

# L'unité de base est le vecteur

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Les opérations sur les vecteurs sont effectuées **élément par élément** :

```
> c(1, 2, 3) + c(4, 5, 6)
```

```
[1] 5 7 9
```

```
> 1:3 * 4:6
```

```
[1] 4 10 18
```

# Recyclage des vecteurs

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Si les vecteurs impliqués dans une expression arithmétique ne sont pas de la même longueur, les plus courts sont **recyclés**
- Particulièrement apparent avec les vecteurs de longueur 1 :

```
> 1:10 + 2
```

```
[1] 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
```

```
> 1:10 + rep(2, 10)
```

```
[1] 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12
```

# Longueur du plus long vecteur multiple de celle des autres vecteurs

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Les vecteurs les plus courts sont recyclés un nombre entier de fois :

```
> 1:10 + 1:5 + c(2, 4)
```

```
[1]  4  8  8 12 12 11 11 15 15 19
```

```
> 1:10 + rep(1:5, 2) + rep(c(2, 4), 5)
```

```
[1]  4  8  8 12 12 11 11 15 15 19
```

# Sinon...

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Recyclage un nombre fractionnaire de fois et un avertissement est affiché :

```
> 1:10 + c(2, 4, 6)
```

```
[1] 3 6 9 6 9 12 9 12 15 12
```

Message d'avis :

la longueur de l'objet le plus long n'est  
pas un multiple de la longueur de l'objet  
le plus court in: 1:10 + c(2, 4, 6)

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 3 Opérateurs et fonctions

- Opérations arithmétiques

- Opérateurs

- Appels de fonctions

- Quelques fonctions utiles

- Structures de contrôle

# Opérateurs mathématiques et logiques

Ordre décroissant de priorité des opérations.

$\wedge$ ou $**$	puissance
$-$	changement de signe
$*$ /	multiplication, division
$+$ -	addition, soustraction
$\%* \% \% \% \%/ \%$	produit matriciel, modulo, division entière
$< <= == >= > !=$	plus petit, plus petit ou égal, égal, plus grand ou égal, plus grand, différent de
$!$	négation logique
$\&  $	«et» logique, «ou» logique

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base



# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 3 Opérateurs et fonctions

- Opérations arithmétiques
- Opérateurs
- **Appels de fonctions**
- Quelques fonctions utiles
- Structures de contrôle

# Spécification des arguments d'une fonction

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Pas de limite pratique au nombre d'arguments
- Dans l'ordre établi dans la définition de la fonction
- Plus prudent et **fortement recommandé** de spécifier par le nom des arguments, surtout après les deux ou trois premiers
- Nécessaire de nommer les arguments s'ils ne sont pas appelés dans l'ordre
- Certains arguments ont une valeur par défaut qui sera utilisée si l'argument n'est pas spécifié

# Spécification des arguments d'une fonction

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Pas de limite pratique au nombre d'arguments
- Dans l'ordre établi dans la définition de la fonction
- Plus prudent et **fortement recommandé** de spécifier par le nom des arguments, surtout après les deux ou trois premiers
- Nécessaire de nommer les arguments s'ils ne sont pas appelés dans l'ordre
- Certains arguments ont une valeur par défaut qui sera utilisée si l'argument n'est pas spécifié

# Spécification des arguments d'une fonction

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Pas de limite pratique au nombre d'arguments
- Dans l'ordre établi dans la définition de la fonction
- Plus prudent et **fortement recommandé** de spécifier par le nom des arguments, surtout après les deux ou trois premiers
- Nécessaire de nommer les arguments s'ils ne sont pas appelés dans l'ordre
- Certains arguments ont une valeur par défaut qui sera utilisée si l'argument n'est pas spécifié

# Spécification des arguments d'une fonction

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Pas de limite pratique au nombre d'arguments
- Dans l'ordre établi dans la définition de la fonction
- Plus prudent et **fortement recommandé** de spécifier par le nom des arguments, surtout après les deux ou trois premiers
- Nécessaire de nommer les arguments s'ils ne sont pas appelés dans l'ordre
- Certains arguments ont une valeur par défaut qui sera utilisée si l'argument n'est pas spécifié

# Spécification des arguments d'une fonction

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Pas de limite pratique au nombre d'arguments
- Dans l'ordre établi dans la définition de la fonction
- Plus prudent et **fortement recommandé** de spécifier par le nom des arguments, surtout après les deux ou trois premiers
- Nécessaire de nommer les arguments s'ils ne sont pas appelés dans l'ordre
- Certains arguments ont une valeur par défaut qui sera utilisée si l'argument n'est pas spécifié

# Exemple

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Définition de la fonction `matrix` :

```
matrix(data = NA, nrow = 1, ncol = 1,  
        byrow = FALSE, dimnames = NULL)
```

- Chaque argument a une valeur par défaut (ce n'est pas toujours le cas)
- Un appel à `matrix` sans argument résulte en

```
> matrix()
```

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

# Exemple

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Définition de la fonction `matrix` :

```
matrix(data = NA, nrow = 1, ncol = 1,  
        byrow = FALSE, dimnames = NULL)
```

- Chaque argument a une valeur par défaut (ce n'est pas toujours le cas)
- Un appel à `matrix` sans argument résulte en

```
> matrix()
```

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



- Appel plus élaboré utilisant tous les arguments (le premier est rarement nommé) :

```
> matrix(1:6, nrow = 2, ncol = 3,  
+ byrow = TRUE,  
+ dimnames = list(c("Gauche", "Droit"),  
+ c("Rouge", "Vert", "Bleu")))
```

	Rouge	Vert	Bleu
Gauche	1	2	3
Droit	4	5	6

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- 3 Opérateurs et fonctions**
  - Opérations arithmétiques
  - Opérateurs
  - Appels de fonctions
  - Quelques fonctions utiles**
  - Structures de contrôle

# Système de classement des fonctions

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Dans R, un ensemble de fonctions est appelé un **package**
- Par défaut, R charge en mémoire quelques packages de la bibliothèque (*library*) seulement
- Cela économise l'espace mémoire et accélère le démarrage
- On charge de nouveaux packages en mémoire avec la fonction `library`

# Manipulation de vecteurs

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

seq	suites de nombres
rep	répétition de valeurs ou de vecteurs
sort	tri en ordre croissant ou décroissant
order	positions des valeurs en ordre croissant ou décroissant
rank	rang des éléments en ordre croissant ou décroissant
rev	renverser un vecteur
head	extraction des $n$ premières valeurs ou suppression des $n$ dernières
tail	extraction des $n$ dernières valeurs ou suppression des $n$ premières
unique	éléments différents

# Recherche d'éléments dans un vecteur

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

<code>which</code>	positions des valeurs TRUE dans un vecteur booléen
<code>which.min</code>	position du minimum
<code>which.max</code>	position du maximum
<code>match</code>	position de la première occurrence d'un élément
<code>%in%</code>	appartenance d'une ou plusieurs valeurs à un vecteur

# Arrondi

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

<code>round</code>	arrondi un nombre défini de décimales
<code>floor</code>	plus grand entier inférieur ou égal
<code>ceiling</code>	plus petit entier supérieur ou égal
<code>trunc</code>	troncature vers zéro ; différent de <code>floor</code> pour les nombres négatifs

# Sommaires et statistiques descriptives

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

sum, prod	somme, produit
diff	différences
mean	moyennes arithmétique et tronquée
var, sd	variance, écart type
min, max	minimum, maximum
range	minimum <b>et</b> maximum
median	médiane empirique
quantile	quantiles empiriques
summary	statistiques descriptives usuelles

# Sommaires cumulatifs et comparaisons élément par élément

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

`cumsum`, `cumprod`

somme cumulative, produit  
cumulatif

`cummin`, `cummax`

minimum et maximum cumulatif

`pmin`, `pmax`

minimum et maximum élément  
par élément (parallèle)



# Opérations sur les matrices

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

<code>t</code>	transposée
<code>solve</code>	inverse et résolution de systèmes d'équations linéaires
<code>diag</code>	extraction de la diagonale d'une matrice ; création d'une matrice diagonale ; création d'une matrice identité
<code>nrow, ncol</code>	nombre de lignes, de colonnes d'une matrice

# Opérations sur les matrices (suite)

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

`rowSums`, `colSums`

sommes par ligne, sommes  
par colonne

`rowMeans`, `colMeans`

moyennes par ligne,  
moyennes par colonne

# Produit extérieur

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Syntaxe : `outer(X, Y, FUN)`
- Applique la fonction FUN (prod par défaut) entre chacun des éléments de X et chacun des éléments de Y
- Dimension du résultat est `c(dim(X), dim(Y))`

■ Exemple :

```
> outer(c(1, 2, 5), c(2, 3, 6))
```

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	2	3	6
[2,]	4	6	12
[3,]	10	15	30

■ Raccourci : `X %o% Y`

# Produit extérieur

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Syntaxe : `outer(X, Y, FUN)`
- Applique la fonction FUN (prod par défaut) entre chacun des éléments de X et chacun des éléments de Y
- Dimension du résultat est `c(dim(X), dim(Y))`
- Exemple :

```
> outer(c(1, 2, 5), c(2, 3, 6))
```

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	2	3	6
[2,]	4	6	12
[3,]	10	15	30

- Raccourci : `X %o% Y`

# Produit extérieur

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Syntaxe : `outer(X, Y, FUN)`
- Applique la fonction FUN (prod par défaut) entre chacun des éléments de X et chacun des éléments de Y
- Dimension du résultat est `c(dim(X), dim(Y))`
- Exemple :

```
> outer(c(1, 2, 5), c(2, 3, 6))
```

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	2	3	6
[2,]	4	6	12
[3,]	10	15	30

- Raccourci : `X %o% Y`

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 3 Opérateurs et fonctions

- Opérations arithmétiques
- Opérateurs
- Appels de fonctions
- Quelques fonctions utiles
- Structures de contrôle

# Exécution conditionnelle

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
if (condition) branche.vrai else  
branche.faux
```

- Exécuter *branche.vrai* si *condition* est vraie et *branche.faux* sinon
- Lorsqu'une branche comporte plus d'une expression, les grouper dans des accolades { }

```
ifelse(vecteur.condition, vecteur.vrai,  
vecteur.faux)
```

- Fonction vectorisée
- Pour chaque TRUE de *vecteur.condition*, retourne l'élément correspondant de *vecteur.vrai* et pour chaque FALSE l'élément correspondant de *vecteur.faux*



# Boucles

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Les boucles sont et **doivent** être utilisées avec parcimonie en S car elles sont généralement inefficaces
- En général possible de vectoriser les calcul pour éviter les boucles explicites
- Utiliser aussi les fonctions `apply`, `lapply`, `sapply` et `mapply`

# Boucles de longueur déterminée

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
for (variable in suite) expression
```

- Exécuter *expression* pour chaque valeur de *variable* contenue dans *suite*
- Grouper les expressions dans des accolades { }
- *suite* n'a pas à être composée de nombres consécutifs, ni même de nombres

# Boucles de longueur indéterminée

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## `while` (*condition*) *expression*

- Exécuter *expression* tant que *condition* est vraie
- Si *condition* est fausse lors de l'entrée dans la boucle, celle-ci n'est pas exécutée
- `while` pas toujours exécutée

## `repeat` *expression*

- Répéter *expression*
- Nécessite un test d'arrêt avec un `break`
- `repeat` toujours exécutée au moins une fois

# Modification du déroulement d'une boucle

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## break

Sortie immédiate d'une boucle for, while ou repeat

## next

Passage immédiat à la prochaine itération d'une boucle for, while ou repeat

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- 1 Présentation du langage S
- 2 Bases du langage S
- 3 Opérateurs et fonctions
- 4 Exemples résolus**
- 5 Fonctions définies par l'utilisateur
- 6 Concepts avancés
- 7 GNU Emacs et ESS : la base

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 4 Exemples résolus

### ■ Calcul de valeurs présentes

- Fonctions de probabilité
- Fonction de répartition de la loi gamma
- Algorithme du point fixe

# Calcul de valeurs présentes

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## Énoncé

Un prêt est remboursé par une série de cinq paiements, le premier dans un an. Trouver le montant du prêt pour . .

- a) Paiement annuel de 1 000, taux d'intérêt de 6 % effectif annuellement
- b) Paiements annuels de 500, 800, 900, 750 et 1 000, taux d'intérêt de 6 % effectif annuellement
- c) Paiements annuels de 500, 800, 900, 750 et 1 000, taux d'intérêt de 5 %, 6 %, 5,5 %, 6,5 % et 7 % effectifs annuellement

# Solution

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Formule générale pour la valeur présente d'une série de paiements  $P_1, P_2, \dots, P_n$  à la fin des années  $1, 2, \dots, n$  :

$$\sum_{j=1}^n \prod_{k=1}^j (1 + i_k)^{-1} P_j$$



a) Un seul paiement annuel, un seul taux d'intérêt.

Cas spécial

$$P \sum_{j=1}^n (1+i)^{-j}$$

En S:

```
> 1000 * sum((1 + 0.06)^(-(1:5)))  
[1] 4212.364
```

a) Un seul paiement annuel, un seul taux d'intérêt.

Cas spécial

$$P \sum_{j=1}^n (1+i)^{-j}$$

En S:

```
> 1000 * sum((1 + 0.06)^(-(1:5)))  
[1] 4212.364
```

a) Un seul paiement annuel, un seul taux d'intérêt.

Cas spécial

$$P \sum_{j=1}^n (1 + i)^{-j}$$

En S:

```
> 1000 * sum((1 + 0.06)^(-(1:5)))  
[1] 4212.364
```

a) Un seul paiement annuel, un seul taux d'intérêt.

Cas spécial

$$P \sum_{j=1}^n (1+i)^{-j}$$

En S:

```
> 1000 * sum((1 + 0.06)^(-(1:5)))  
[1] 4212.364
```

a) Un seul paiement annuel, un seul taux d'intérêt.

Cas spécial

$$P \sum_{j=1}^n (1+i)^{-j}$$

En S:

```
> 1000 * sum((1 + 0.06)^(-(1:5)))  
[1] 4212.364
```



## b) Différents paiements annuels, un seul taux d'intérêt.

On a, cette fois,

$$\sum_{j=1}^n (1+i)^{-j} P_j$$

En S:

```
> sum(c(500, 800, 900, 750, 1000) *  
+      (1 + 0.06)^(-(1:5)))  
  
[1] 3280.681
```

## b) Différents paiements annuels, un seul taux d'intérêt.

On a, cette fois,

$$\sum_{j=1}^n (1+i)^{-j} P_j$$

En S:

```
> sum(c(500, 800, 900, 750, 1000) *  
+      (1 + 0.06)^(-(1:5)))
```

```
[1] 3280.681
```



## b) Différents paiements annuels, un seul taux d'intérêt.

On a, cette fois,

$$\sum_{j=1}^n (1+i)^{-j} P_j$$

En S:

```
> sum(c(500, 800, 900, 750, 1000) *  
+      (1 + 0.06)^(-(1:5)))
```

```
[1] 3280.681
```





## b) Différents paiements annuels, un seul taux d'intérêt.

On a, cette fois,

$$\sum_{j=1}^n (1+i)^{-j} P_j$$

En S:

```
> sum(c(500, 800, 900, 750, 1000) *  
+      (1 + 0.06)^(-(1:5)))
```

```
[1] 3280.681
```



## c) Différents paiements annuels, différents taux d'intérêt.

On doit utiliser la formule générale

$$\sum_{j=1}^n \prod_{k=1}^j (1 + i_k)^{-1} P_j$$

En S :

```
> sum(c(500, 800, 900, 750, 1000)/  
+ cumprod(c(1.05, 1.06, 1.055, 1.065, 1.07)))  
  
[1] 3308.521
```

## c) Différents paiements annuels, différents taux d'intérêt.

On doit utiliser la formule générale

$$\sum_{j=1}^n \prod_{k=1}^j (1 + i_k)^{-1} P_j$$

En S :

```
> sum(c(500, 800, 900, 750, 1000)/  
+ cumprod(c(1.05, 1.06, 1.055, 1.065, 1.07)))  
  
[1] 3308.521
```

## c) Différents paiements annuels, différents taux d'intérêt.

On doit utiliser la formule générale

$$\sum_{j=1}^n \prod_{k=1}^j (1 + i_k)^{-1} P_j$$

En S :

```
> sum(c(500, 800, 900, 750, 1000)/
+ cumprod(c(1.05, 1.06, 1.055, 1.065, 1.07)))
[1] 3308.521
```

## c) Différents paiements annuels, différents taux d'intérêt.

On doit utiliser la formule générale

$$\sum_{j=1}^n \prod_{k=1}^j (1 + i_k)^{-1} P_j$$

En S :

```
> sum(c(500, 800, 900, 750, 1000)/
+ cumprod(c(1.05, 1.06, 1.055, 1.065, 1.07)))

[1] 3308.521
```

## c) Différents paiements annuels, différents taux d'intérêt.

On doit utiliser la formule générale

$$\sum_{j=1}^n \prod_{k=1}^j (1 + i_k)^{-1} P_j$$

En S :

```
> sum(c(500, 800, 900, 750, 1000)/  
+ cumprod(c(1.05, 1.06, 1.055, 1.065, 1.07)))  
  
[1] 3308.521
```

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 4 Exemples résolus

- Calcul de valeurs présentes
- Fonctions de probabilité
- Fonction de répartition de la loi gamma
- Algorithme du point fixe

# Fonctions de probabilité

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## Énoncé

Calculer toutes ou la majeure partie des probabilités des deux lois de probabilité ci-dessous. Vérifier que la somme des probabilités est bien égale à 1.

a) Binomiale

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \quad x = 0, \dots, n$$

b) Poisson

$$f(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}, \quad x = 0, 1, \dots,$$

$$\text{où } x! = x(x-1) \cdots 2 \cdot 1$$



# Solution

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## a) Binomiale(10, 0,8).

```
> n <- 10
> p <- 0.8
> x <- 0:n
> choose(n, x) * p^x * (1 - p)^rev(x)

[1] 0.0000001024 0.0000040960 0.0000737280
[4] 0.0007864320 0.0055050240 0.0264241152
[7] 0.0880803840 0.2013265920 0.3019898880
[10] 0.2684354560 0.1073741824

> sum(choose(n, x) * p^x * (1 - p)^rev(x))

[1] 1
```

# Solution

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## a) Binomiale(10, 0,8).

```
> n <- 10
> p <- 0.8
> x <- 0:n
> choose(n, x) * p^x * (1 - p)^rev(x)

[1] 0.0000001024 0.0000040960 0.0000737280
[4] 0.0007864320 0.0055050240 0.0264241152
[7] 0.0880803840 0.2013265920 0.3019898880
[10] 0.2684354560 0.1073741824

> sum(choose(n, x) * p^x * (1 - p)^rev(x))

[1] 1
```



## b) Poisson(5).

On calcule les probabilités en  $x = 0, 1, \dots, 10$  seulement.

```
> lambda <- 5
> x <- 0:10
> exp(-lambda) * (lambda^x/factorial(x))

[1] 0.006737947 0.033689735 0.084224337
[4] 0.140373896 0.175467370 0.175467370
[7] 0.146222808 0.104444863 0.065278039
[10] 0.036265577 0.018132789
```

```
> x <- 0:200
> exp(-lambda) * sum((lambda^x/factorial(x)))

[1] 1
```

## b) Poisson(5).

On calcule les probabilités en  $x = 0, 1, \dots, 10$  seulement.

```
> lambda <- 5
> x <- 0:10
> exp(-lambda) * (lambda^x/factorial(x))
[1] 0.006737947 0.033689735 0.084224337
[4] 0.140373896 0.175467370 0.175467370
[7] 0.146222808 0.104444863 0.065278039
[10] 0.036265577 0.018132789

> x <- 0:200
> exp(-lambda) * sum((lambda^x/factorial(x)))
[1] 1
```

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 4 Exemples résolus

- Calcul de valeurs présentes
- Fonctions de probabilité
- **Fonction de répartition de la loi gamma**
- Algorithme du point fixe

# Fonction de répartition de la loi gamma

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Nous utilisons la paramétrisation où la fonction de densité de probabilité est

$$f(x) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\lambda x}, \quad x > 0,$$

où

$$\Gamma(n) = \int_0^\infty x^{n-1} e^{-x} dx = (n-1)\Gamma(n-1)$$

## Énoncé

Pour  $\alpha$  entier et  $\lambda = 1$  on a

$$F(x; \alpha, 1) = 1 - e^{-x} \sum_{j=0}^{\alpha-1} \frac{x^j}{j!}.$$

- a) Évaluer  $F(4; 5, 1)$
- b) Évaluer  $F(x; 5, 1)$  pour  $x = 2, 3, \dots, 10$  en une seule expression

# Solution

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

a) Une seule valeur de  $x$ , paramètre  $\alpha$  fixe.

```
> alpha <- 5  
> x <- 4  
> 1 - exp(-x) * sum(x^(0:(alpha - 1))/  
+ gamma(1:alpha))  
[1] 0.3711631
```

Vérification avec la fonction interne `pgamma` :

```
> pgamma(x, alpha)  
[1] 0.3711631
```





# Solution

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

a) Une seule valeur de  $x$ , paramètre  $\alpha$  fixe.

```
> alpha <- 5  
> x <- 4  
> 1 - exp(-x) * sum(x^(0:(alpha - 1))/  
+ gamma(1:alpha))  
[1] 0.3711631
```

Vérification avec la fonction interne `pgamma` :

```
> pgamma(x, alpha)  
[1] 0.3711631
```



## Astuce

On peut éviter de générer la même suite de  
nombres à deux reprises :

```
> 1 - exp(-x) * sum(x^(-1 + (j <- 1:alpha))/  
+ gamma(j))  
  
[1] 0.3711631
```

## b) Plusieurs valeurs de $x$ , paramètre $\alpha$ fixe.

C'est un travail pour la fonction `outer`.

```
> x <- 2:10  
> 1 - exp(-x) *  
+ colSums(  
+   t( outer(x, 0:(alpha - 1), "^") )  
+   /gamma(1:alpha)  
+ )  
  
[1] 0.05265302 0.18473676 0.37116306  
[4] 0.55950671 0.71494350 0.82700839  
[7] 0.90036760 0.94503636 0.97074731
```



# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 4 Exemples résolus

- Calcul de valeurs présentes
- Fonctions de probabilité
- Fonction de répartition de la loi gamma
- Algorithme du point fixe

# Algorithme du point fixe

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Problème classique : trouver la racine d'une fonction  $g$ , c'est-à-dire le point  $x$  où  $g(x) = 0$
- Souvent possible de reformuler le problème de façon à plutôt chercher le point  $x$  où  $f(x) = x$
- Solution appelée **point fixe**
- L'algorithme du calcul numérique du point fixe d'une fonction  $f(x)$  est très simple :

- 1 choisir une valeur de départ  $x_0$  ;=
- 2 calculer  $x_n = f(x_{n-1})$
- 3 répéter l'étape 2 jusqu'à ce que  $|x_n - x_{n-1}| < \varepsilon$   
ou  $|x_n - x_{n-1}| / |x_{n-1}| < \varepsilon$

# Algorithme du point fixe

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Problème classique : trouver la racine d'une fonction  $g$ , c'est-à-dire le point  $x$  où  $g(x) = 0$
- Souvent possible de reformuler le problème de façon à plutôt chercher le point  $x$  où  $f(x) = x$
- Solution appelée **point fixe**
- L'algorithme du calcul numérique du point fixe d'une fonction  $f(x)$  est très simple :
  - 1 choisir une valeur de départ  $x_0$  ;=
  - 2 calculer  $x_n = f(x_{n-1})$
  - 3 répéter l'étape 2 jusqu'à ce que  $|x_n - x_{n-1}| < \varepsilon$   
ou  $|x_n - x_{n-1}|/|x_{n-1}| < \varepsilon$

## Énoncé

Trouver, à l'aide de la méthode du point fixe, la valeur de  $i$  telle que

$$a_{\overline{10}} = \frac{1 - (1 + i)^{-10}}{i} = 8,21$$

# Solution

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## Quelques considérations.

- On doit résoudre

$$\frac{1 - (1 + i)^{-10}}{8,21} = i$$

- Nous ignorons combien de fois la procédure itérative devra être répétée
- Il faut exécuter la procédure au moins une fois
- La structure de contrôle à utiliser dans cette procédure itérative est donc **repeat**



# Solution

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## Quelques considérations.

- On doit résoudre

$$\frac{1 - (1 + i)^{-10}}{8,21} = i$$

- Nous ignorons combien de fois la procédure itérative devra être répétée
- Il faut exécuter la procédure au moins une fois
- La structure de contrôle à utiliser dans cette procédure itérative est donc **repeat**

# Solution

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## Quelques considérations.

- On doit résoudre

$$\frac{1 - (1 + i)^{-10}}{8,21} = i$$

- Nous ignorons combien de fois la procédure itérative devra être répétée
- Il faut exécuter la procédure au moins une fois
- La structure de contrôle à utiliser dans cette procédure itérative est donc **repeat**

# Solution

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## Quelques considérations.

- On doit résoudre

$$\frac{1 - (1 + i)^{-10}}{8,21} = i$$

- Nous ignorons combien de fois la procédure itérative devra être répétée
- Il faut exécuter la procédure au moins une fois
- La structure de contrôle à utiliser dans cette procédure itérative est donc **repeat**

## Le code.

```
> i <- 0.05
> repeat {
+   it <- i
+   i <- (1 - (1 + it)^(-10))/8.21
+   if (abs(i - it)/it < 1e-10)
+     break
+ }
> i

[1] 0.03756777

> (1 - (1 + i)^(-10))/i

[1] 8.21
```

## Le code.

```
> i <- 0.05
> repeat {
+   it <- i
+   i <- (1 - (1 + it)^(-10))/8.21
+   if (abs(i - it)/it < 1e-10)
+     break
+ }
> i

[1] 0.03756777
> (1 - (1 + i)^(-10))/i
[1] 8.21
```



# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- 1 Présentation du langage S
- 2 Bases du langage S
- 3 Opérateurs et fonctions
- 4 Exemples résolus
- 5 Fonctions définies par l'utilisateur**
- 6 Concepts avancés
- 7 GNU Emacs et ESS : la base

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 5 Fonctions définies par l'utilisateur

### ■ Définition d'une fonction

- Retourner des résultats
- Variables locales et globales
- Exemple de fonction
- Fonctions anonymes
- Débogage de fonctions
- Styles de codage

# Définition d'une fonction

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

On définit une fonction de la manière suivante :

```
fun <- function(arguments) expression
```

où

- *fun* est le nom de la fonction ;
- *arguments* est la liste des arguments, séparés par des virgules ;
- *expression* constitue le corps de la fonction, soit une liste d'expressions groupées entre accolades (nécessaires s'il y a plus d'une expression seulement).



# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 5 Fonctions définies par l'utilisateur

- Définition d'une fonction
- **Retourner des résultats**
- Variables locales et globales
- Exemple de fonction
- Fonctions anonymes
- Débogage de fonctions
- Styles de codage

# Retourner des résultats

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Une fonction retourne tout simplement le résultat de la **dernière expression** du corps de la fonction.
- Éviter que la dernière expression soit une affectation : la fonction ne retournera rien !
- Autre possibilité : utiliser explicitement la fonction **return**. Rarement nécessaire.
- Utiliser une liste nommée pour retourner plusieurs résultats.

# Retourner des résultats

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Une fonction retourne tout simplement le résultat de la **dernière expression** du corps de la fonction.
- Éviter que la dernière expression soit une affectation : la fonction ne retournera rien !
- Autre possibilité : utiliser explicitement la fonction **return**. Rarement nécessaire.
- Utiliser une liste nommée pour retourner plusieurs résultats.

# Retourner des résultats

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Une fonction retourne tout simplement le résultat de la **dernière expression** du corps de la fonction.
- Éviter que la dernière expression soit une affectation : la fonction ne retournera rien !
- Autre possibilité : utiliser explicitement la fonction **return**. Rarement nécessaire.
- Utiliser une liste nommée pour retourner plusieurs résultats.

# Retourner des résultats

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Une fonction retourne tout simplement le résultat de la **dernière expression** du corps de la fonction.
- Éviter que la dernière expression soit une affectation : la fonction ne retournera rien !
- Autre possibilité : utiliser explicitement la fonction **return**. Rarement nécessaire.
- Utiliser une liste nommée pour retourner plusieurs résultats.

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 5 Fonctions définies par l'utilisateur

- Définition d'une fonction
- Retourner des résultats
- **Variables locales et globales**
- Exemple de fonction
- Fonctions anonymes
- Débogage de fonctions
- Styles de codage

# Variables locales et globales

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Les concepts de variable locale et de variable globale existent aussi en S.

- Toute variable définie dans une fonction est locale à cette fonction, c'est-à-dire
  - qu'elle n'apparaît pas dans l'espace de travail ;
  - qu'elle n'écrase pas une variable du même nom dans l'espace de travail.
- On peut définir une variable dans l'espace de travail depuis une fonction avec l'opérateur `<< -`.
- Une fonction définie à l'intérieur d'une autre fonction sera locale à celle-ci. Pratique !

# Variables locales et globales

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Les concepts de variable locale et de variable globale existent aussi en S.

- Toute variable définie dans une fonction est locale à cette fonction, c'est-à-dire
  - qu'elle n'apparaît pas dans l'espace de travail ;
  - qu'elle n'écrase pas une variable du même nom dans l'espace de travail.
- On peut définir une variable dans l'espace de travail depuis une fonction avec l'opérateur `<< -`.
- Une fonction définie à l'intérieur d'une autre fonction sera locale à celle-ci. Pratique !



# Variables locales et globales

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Les concepts de variable locale et de variable globale existent aussi en S.

- Toute variable définie dans une fonction est locale à cette fonction, c'est-à-dire
  - qu'elle n'apparaît pas dans l'espace de travail ;
  - qu'elle n'écrase pas une variable du même nom dans l'espace de travail.
- On peut définir une variable dans l'espace de travail depuis une fonction avec l'opérateur `<< -`.
- Une fonction définie à l'intérieur d'une autre fonction sera locale à celle-ci. Pratique !

# Variables locales et globales

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Les concepts de variable locale et de variable globale existent aussi en S.

- Toute variable définie dans une fonction est locale à cette fonction, c'est-à-dire
  - qu'elle n'apparaît pas dans l'espace de travail ;
  - qu'elle n'écrase pas une variable du même nom dans l'espace de travail.
- On peut définir une variable dans l'espace de travail depuis une fonction avec l'opérateur `<< -`.
- Une fonction définie à l'intérieur d'une autre fonction sera locale à celle-ci. Pratique !

# Variables locales et globales

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Les concepts de variable locale et de variable globale existent aussi en S.

- Toute variable définie dans une fonction est locale à cette fonction, c'est-à-dire
  - qu'elle n'apparaît pas dans l'espace de travail ;
  - qu'elle n'écrase pas une variable du même nom dans l'espace de travail.
- ~~On peut définir une variable dans l'espace de travail depuis une fonction avec l'opérateur~~  
~~←←.~~
- Une fonction définie à l'intérieur d'une autre fonction sera locale à celle-ci. Pratique !

# Variables locales et globales

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Les concepts de variable locale et de variable globale existent aussi en S.

- Toute variable définie dans une fonction est locale à cette fonction, c'est-à-dire
  - qu'elle n'apparaît pas dans l'espace de travail ;
  - qu'elle n'écrase pas une variable du même nom dans l'espace de travail.
- ~~On peut définir une variable dans l'espace de travail depuis une fonction avec l'opérateur~~  
~~←←.~~
- Une fonction définie à l'intérieur d'une autre fonction sera locale à celle-ci. Pratique !

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 5 Fonctions définies par l'utilisateur

- Définition d'une fonction
- Retourner des résultats
- Variables locales et globales
- Exemple de fonction
- Fonctions anonymes
- Débogage de fonctions
- Styles de codage

# Fonction à partir du code de point fixe

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
fp <- function(k, n, start=0.05, TOL=1E-10)
{
  i <- start
  repeat
  {
    it <- i
    i <- (1 - (1 + it)^(-n))/k
    if (abs(i - it)/it < TOL)
      break
  }
  i # ou return(i)
}
```

# Fonction à partir du code de point fixe

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
fp <- function(k, n, start=0.05, TOL=1E-10)
{
  i <- start
  repeat
  {
    it <- i
    i <- (1 - (1 + it)^(-n))/k
    if (abs(i - it)/it < TOL)
      break
  }
  i # ou return(i)
}
```

# Fonction à partir du code de point fixe

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
fp <- function(k, n, start=0.05, TOL=1E-10)
{
  i <- start
  repeat
  {
    it <- i
    i <- (1 - (1 + it)^(-n))/k
    if (abs(i - it)/it < TOL)
      break
  }
  i # ou return(i)
}
```



# Fonction à partir du code de point fixe

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
fp <- function(k, n, start=0.05, TOL=1E-10)
{
  i <- start
  repeat
  {
    it <- i
    i <- (1 - (1 + it)^(-n))/k
    if (abs(i - it)/it < TOL)
      break
  }
  i # ou return(i)
}
```

# Fonction à partir du code de point fixe

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
fp <- function(k, n, start=0.05, TOL=1E-10)
{
  i <- start
  repeat
  {
    it <- i
    i <- (1 - (1 + it)^(-n))/k
    if (abs(i - it)/it < TOL)
      break
  }
  i # ou return(i)
}
```

# Fonction à partir du code de point fixe

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
fp <- function(k, n, start=0.05, TOL=1E-10)
{
  i <- start
  repeat
  {
    it <- i
    i <- (1 - (1 + it)^(-n))/k
    if (abs(i - it)/it < TOL)
      break
  }
  i # ou return(i)
}
```

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 5 Fonctions définies par l'utilisateur

- Définition d'une fonction
- Retourner des résultats
- Variables locales et globales
- Exemple de fonction
- **Fonctions anonymes**
- Débogage de fonctions
- Styles de codage

# Fonctions anonymes

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Parfois utile de définir une fonction sans lui attribuer un nom
- C'est une **fonction anonyme**.
- En général pour des fonctions courtes utilisées dans une autre fonction.

# Un exemple

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Calculer la valeur de  $xy^2$  pour toutes les combinaisons de  $x$  et  $y$  stockées dans des vecteurs du même nom

- Avec `outer` :

```
> x <- 1:3  
> y <- 4:6  
> f <- function(x, y) x * y^2  
> outer(x, y, f)
```

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	16	25	36
[2,]	32	50	72
[3,]	48	75	108

# Un exemple

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Calculer la valeur de  $xy^2$  pour toutes les combinaisons de  $x$  et  $y$  stockées dans des vecteurs du même nom

- Avec `outer` :

```
> x <- 1:3  
> y <- 4:6  
> f <- function(x, y) x * y^2  
> outer(x, y, f)
```

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	16	25	36
[2,]	32	50	72
[3,]	48	75	108

- La fonction `f` ne sert à rien ultérieurement.
- Utiliser simplement une fonction anonyme à l'intérieur de `outer` :

```
> outer(x, y, function(x, y) x * y^2)
```

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	16	25	36
[2,]	32	50	72
[3,]	48	75	108



- La fonction `f` ne sert à rien ultérieurement.
- Utiliser simplement une fonction anonyme à l'intérieur de `outer` :

```
> outer(x, y, function(x, y) x * y^2)
```

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	16	25	36
[2,]	32	50	72
[3,]	48	75	108

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 5 Fonctions définies par l'utilisateur

- Définition d'une fonction
- Retourner des résultats
- Variables locales et globales
- Exemple de fonction
- Fonctions anonymes
- **Débogage de fonctions**
- Styles de codage

# Techniques les plus simples et naïves

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Simples erreurs de syntaxe sont les plus fréquentes (en particulier l'oubli de virgules).
- Vérification de la syntaxe lors de la définition d'une fonction.
- Lorsqu'une fonction ne retourne pas le résultat attendu, placer des commandes `print` à l'intérieur de la fonction.
- Permet de déterminer les valeurs des variables dans le déroulement de la fonction.

# Techniques les plus simples et naïves

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Simples erreurs de syntaxe sont les plus fréquentes (en particulier l'oubli de virgules).
- Vérification de la syntaxe lors de la définition d'une fonction.
- Lorsqu'une fonction ne retourne pas le résultat attendu, placer des commandes `print` à l'intérieur de la fonction.
- Permet de déterminer les valeurs des variables dans le déroulement de la fonction.

# Techniques les plus simples et naïves

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Simples erreurs de syntaxe sont les plus fréquentes (en particulier l'oubli de virgules).
- Vérification de la syntaxe lors de la définition d'une fonction.
- Lorsqu'une fonction ne retourne pas le résultat attendu, placer des commandes **print** à l'intérieur de la fonction.
- Permet de déterminer les valeurs des variables dans le déroulement de la fonction.

# Techniques les plus simples et naïves

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Simples erreurs de syntaxe sont les plus fréquentes (en particulier l'oubli de virgules).
- Vérification de la syntaxe lors de la définition d'une fonction.
- Lorsqu'une fonction ne retourne pas le résultat attendu, placer des commandes `print` à l'intérieur de la fonction.
- Permet de déterminer les valeurs des variables dans le déroulement de la fonction.

## Exemple

Modification de la boucle du point fixe pour détecter une procédure divergente.

```
repeat
{
  it <- i
  i <- (1 - (1 + it)^(-n))/k
  print(i)
  if (abs((i - it)/it < TOL))
    break
}
```

# Avec Emacs et le mode ESS

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- S'assurer que toutes les variables passées en arguments à une fonction existent dans l'espace de travail.
- Exécuter successivement les lignes de la fonction avec C-c C-n.
- Impossible avec les interfaces graphiques car la fenêtre d'édition de fonctions bloque l'accès à l'interface de commande.



# Avec Emacs et le mode ESS

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- S'assurer que toutes les variables passées en arguments à une fonction existent dans l'espace de travail.
- Exécuter successivement les lignes de la fonction avec `C-c C-n`.
- Impossible avec les interfaces graphiques car la fenêtre d'édition de fonctions bloque l'accès à l'interface de commande.

# Avec Emacs et le mode ESS

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- S'assurer que toutes les variables passées en arguments à une fonction existent dans l'espace de travail.
- Exécuter successivement les lignes de la fonction avec `C-c C-n`.
- Impossible avec les interfaces graphiques car la fenêtre d'édition de fonctions bloque l'accès à l'interface de commande.

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 5 Fonctions définies par l'utilisateur

- Définition d'une fonction
- Retourner des résultats
- Variables locales et globales
- Exemple de fonction
- Fonctions anonymes
- Débogage de fonctions
- Styles de codage

# Styles reconnus par Emacs

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

C++/Stroustrup

```
for (i in 1:10)
{
    expression
}
```

K&R (1TBS)

```
for (i in 1:10){
    expression
}
```

Whitesmith

```
for (i in 1:10)
{
    expression
}
```

GNU

```
for (i in 1:10)
{
    expression
}
```

# Standard pour la programmation en S

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Style C++, avec les accolades sur leurs propres lignes.
- Une indentation de quatre (4) espaces.
- Pour utiliser ce style dans Emacs, faire  
`M-x ess-set-style RET C++ RET`  
une fois qu'un fichier de script est ouvert.

# Standard pour la programmation en S

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Style C++, avec les accolades sur leurs propres lignes.
- Une indentation de quatre (4) espaces.
- Pour utiliser ce style dans Emacs, faire  
M-x ess-set-style RET C++ RET  
une fois qu'un fichier de script est ouvert.

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- 1 Présentation du langage S
- 2 Bases du langage S
- 3 Opérateurs et fonctions
- 4 Exemples résolus
- 5 Fonctions définies par l'utilisateur
- 6 Concepts avancés**
- 7 GNU Emacs et ESS : la base

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 6 Concepts avancés

### ■ L'argument '...'

- Fonction apply
- Fonctions lapply et sapply
- Fonction mapply
- Fonction replicate
- Classes et fonctions génériques



# Pas un signe de paresse des rédacteurs

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- '...' est un argument formel dont '...' est le nom.
- Signifie qu'une fonction peut accepter un ou plusieurs autres arguments autres que ceux faisant partie de sa définition.
- Contenu de '...' n'est ni pris en compte, ni modifié par la fonction.
- Généralement simplement passé tel quel à une autre fonction.
- Voir les définitions des fonctions `apply`, `lapply` et `sapply` pour des exemples.

# Pas un signe de paresse des rédacteurs

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- '...' est un argument formel dont '...' est le nom.
- Signifie qu'une fonction peut accepter un ou plusieurs autres arguments autres que ceux faisant partie de sa définition.
- Contenu de '...' n'est ni pris en compte, ni modifié par la fonction.
- Généralement simplement passé tel quel à une autre fonction.
- Voir les définitions des fonctions `apply`, `lapply` et `sapply` pour des exemples.

# Pas un signe de paresse des rédacteurs

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- '...' est un argument formel dont '...' est le nom.
- Signifie qu'une fonction peut accepter un ou plusieurs autres arguments autres que ceux faisant partie de sa définition.
- Contenu de '...' n'est ni pris en compte, ni modifié par la fonction.
- Généralement simplement passé tel quel à une autre fonction.
- Voir les définitions des fonctions `apply`, `lapply` et `sapply` pour des exemples.

# Pas un signe de paresse des rédacteurs

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- '...' est un argument formel dont '...' est le nom.
- Signifie qu'une fonction peut accepter un ou plusieurs autres arguments autres que ceux faisant partie de sa définition.
- Contenu de '...' n'est ni pris en compte, ni modifié par la fonction.
- Généralement simplement passé tel quel à une autre fonction.
- Voir les définitions des fonctions `apply`, `lapply` et `sapply` pour des exemples.

# Pas un signe de paresse des rédacteurs

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- '...' est un argument formel dont '...' est le nom.
- Signifie qu'une fonction peut accepter un ou plusieurs autres arguments autres que ceux faisant partie de sa définition.
- Contenu de '...' n'est ni pris en compte, ni modifié par la fonction.
- Généralement simplement passé tel quel à une autre fonction.
- Voir les définitions des fonctions `apply`, `lapply` et `sapply` pour des exemples.

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 6 Concepts avancés

- L'argument '...'

- **Fonction apply**

- Fonctions lapply et sapply

- Fonction mapply

- Fonction replicate

- Classes et fonctions génériques

# Sommaires généraux pour matrices et tableaux

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

La fonction `apply` sert à appliquer une fonction quelconque sur une partie d'une matrice ou, plus généralement, d'un tableau.

```
apply(X, MARGIN, FUN, ...),
```

où

- X est une matrice ou un tableau ;
- MARGIN est un vecteur d'entiers contenant la ou les dimensions de la matrice ou du tableau sur lesquelles la fonction doit s'appliquer ;
- FUN est la fonction à appliquer ;
- '...' est un ensemble d'arguments supplémentaires, séparés par des virgules, à passer à la fonction FUN.

# Sommaires généraux pour matrices et tableaux

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

La fonction `apply` sert à appliquer une fonction quelconque sur une partie d'une matrice ou, plus généralement, d'un tableau.

```
apply(X, MARGIN, FUN, ...),
```

où

- X est une matrice ou un tableau ;
- MARGIN est un vecteur d'entiers contenant la ou les dimensions de la matrice ou du tableau sur lesquelles la fonction doit s'appliquer ;
- FUN est la fonction à appliquer ;
- '...' est un ensemble d'arguments supplémentaires, séparés par des virgules, à passer à la fonction FUN.



- Principalement pour calculer des sommaires par ligne (dimension 1) ou par colonne (dimension 2) autres que la somme et la moyenne.
- Utiliser la fonction `apply` plutôt que des boucles puisque celle-ci est plus efficace.

- Principalement pour calculer des sommaires par ligne (dimension 1) ou par colonne (dimension 2) autres que la somme et la moyenne.
- Utiliser la fonction `apply` plutôt que des boucles puisque celle-ci est plus efficace.

# Exemples avec une matrice

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
> m
```

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]
[1,]	54	33	30	17
[2,]	3	46	95	83
[3,]	47	6	56	58
[4,]	18	22	50	36
[5,]	41	41	77	31

```
> apply(m, 1, var)
```

```
[1] 235.0000 1718.9167 590.9167 211.6667  
[5] 409.0000
```

```
> apply(m, 2, min)
```

```
[1] 3 6 30 17
```

```
> apply(m, 1, mean, trim = 0.2)
```

```
[1] 33.50 56.75 41.75 31.50 47.50
```

# Exemples avec une matrice

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
> m
```

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]
[1,]	54	33	30	17
[2,]	3	46	95	83
[3,]	47	6	56	58
[4,]	18	22	50	36
[5,]	41	41	77	31

```
> apply(m, 1, var)
```

```
[1] 235.0000 1718.9167 590.9167 211.6667  
[5] 409.0000
```

```
> apply(m, 2, min)
```

```
[1] 3 6 30 17
```

```
> apply(m, 1, mean, trim = 0.2)
```

```
[1] 33.50 56.75 41.75 31.50 47.50
```

# Exemples avec une matrice

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
> m
```

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]
[1,]	54	33	30	17
[2,]	3	46	95	83
[3,]	47	6	56	58
[4,]	18	22	50	36
[5,]	41	41	77	31

```
> apply(m, 1, var)
```

```
[1] 235.0000 1718.9167 590.9167 211.6667  
[5] 409.0000
```

```
> apply(m, 2, min)
```

```
[1] 3 6 30 17
```

```
> apply(m, 1, mean, trim = 0.2)
```

```
[1] 33.50 56.75 41.75 31.50 47.50
```

# Exemples avec une matrice

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
> m
```

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]
[1,]	54	33	30	17
[2,]	3	46	95	83
[3,]	47	6	56	58
[4,]	18	22	50	36
[5,]	41	41	77	31

```
> apply(m, 1, var)
```

```
[1] 235.0000 1718.9167 590.9167 211.6667  
[5] 409.0000
```

```
> apply(m, 2, min)
```

```
[1] 3 6 30 17
```

```
> apply(m, 1, mean, trim = 0.2)
```

```
[1] 33.50 56.75 41.75 31.50 47.50
```

# Exemple avec un tableau

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Si  $X$  est un tableau de plus de deux dimensions, alors l'argument passé à FUN peut être une matrice ou un tableau.

```
> dim(arr)
```

```
[1] 4 4 5
```

```
> apply(arr, 3, det)
```

```
[1] 1178800 16153716 14298240 20093933
```

```
[5] 6934743
```

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 6 Concepts avancés

- L'argument '...'
- Fonction apply
- Fonctions lapply et sapply
- Fonction mapply
- Fonction replicate
- Classes et fonctions génériques



# Les apply des vecteurs et des listes

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Les fonctions `lapply` et `sapply` permettent d'appliquer une fonction aux éléments d'un vecteur ou d'une liste.
- Syntaxe similaire :

```
lapply(X, FUN, ...)
```

```
sapply(X, FUN, ...)
```

# Des fonctions très utiles

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- `lapply` applique une fonction FUN à tous les éléments d'un vecteur ou d'une liste X et retourne le résultat sous forme de liste.
- `sapply` est similaire, sauf que le résultat est retourné sous forme de vecteur, si possible.
- Si le résultat de chaque application de la fonction est un vecteur, `sapply` retourne une matrice, remplie comme toujours par colonne.
- Dans un grand nombre de cas, il est possible de remplacer les boucles `for` par l'utilisation de `lapply` ou `sapply`.

# Des fonctions très utiles

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- `lapply` applique une fonction FUN à tous les éléments d'un vecteur ou d'une liste X et retourne le résultat sous forme de liste.
- `sapply` est similaire, sauf que le résultat est retourné sous forme de vecteur, si possible.
- Si le résultat de chaque application de la fonction est un vecteur, `sapply` retourne une matrice, remplie comme toujours par colonne.
- Dans un grand nombre de cas, il est possible de remplacer les boucles `for` par l'utilisation de `lapply` ou `sapply`.

# Des fonctions très utiles

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- `lapply` applique une fonction FUN à tous les éléments d'un vecteur ou d'une liste X et retourne le résultat sous forme de liste.
- `sapply` est similaire, sauf que le résultat est retourné sous forme de vecteur, si possible.
- Si le résultat de chaque application de la fonction est un vecteur, `sapply` retourne une matrice, remplie comme toujours par colonne.
- Dans un grand nombre de cas, il est possible de remplacer les boucles `for` par l'utilisation de `lapply` ou `sapply`.

# Des fonctions très utiles

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- `lapply` applique une fonction FUN à tous les éléments d'un vecteur ou d'une liste X et retourne le résultat sous forme de liste.
- `sapply` est similaire, sauf que le résultat est retourné sous forme de vecteur, si possible.
- Si le résultat de chaque application de la fonction est un vecteur, `sapply` retourne une matrice, remplie comme toujours par colonne.
- Dans un grand nombre de cas, il est possible de remplacer les boucles `for` par l'utilisation de `lapply` ou `sapply`.

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 6 Concepts avancés

- L'argument '...'
- Fonction apply
- Fonctions lapply et sapply
- **Fonction mapply**
- Fonction replicate
- Classes et fonctions génériques

# Version multidimensionnelle de `sapply`

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## ■ Syntaxe :

`mapply(FUN, ...)`

- Le résultat est l'application de FUN aux premiers éléments de tous les arguments contenus dans '...', puis à tous les seconds éléments, et ainsi de suite.

- Ainsi, si *v* et *w* sont des vecteurs,

`mapply(FUN, v, w)`

retourne `FUN(v[1], w[1]), FUN(v[2], w[2]),`  
etc.

# Version multidimensionnelle de `sapply`

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## ■ Syntaxe :

```
mapply(FUN, ...)
```

- Le résultat est l'application de FUN aux premiers éléments de tous les arguments contenus dans '...', puis à tous les seconds éléments, et ainsi de suite.

- Ainsi, si *v* et *w* sont des vecteurs,

```
mapply(FUN, v, w)
```

retourne FUN(*v*[1], *w*[1]), FUN(*v*[2], *w*[2]),  
etc.



# Version multidimensionnelle de `sapply`

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## ■ Syntaxe :

```
mapply(FUN, ...)
```

- Le résultat est l'application de FUN aux premiers éléments de tous les arguments contenus dans '...', puis à tous les seconds éléments, et ainsi de suite.

- Ainsi, si *v* et *w* sont des vecteurs,

```
mapply(FUN, v, w)
```

retourne FUN(*v*[1], *w*[1]), FUN(*v*[2], *w*[2]),  
etc.

# Exemple

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
> mapply(rep, 1:4, 4:1)
```

```
[[1]]
```

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

```
[[2]]
```

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

```
[[3]]
```

```
[1] 3 3
```

```
[[4]]
```

```
[1] 4
```

# Exemple

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
> mapply(rep, 1:4, 4:1)
```

```
[[1]]
```

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

```
[[2]]
```

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

```
[[3]]
```

```
[1] 3 3
```

```
[[4]]
```

```
[1] 4
```

# Les éléments de '...' sont recyclés au besoin

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

```
> mapply(seq, 1:6, 6:8)
```

```
[[1]]
```

```
[1] 1 2 3 4 5 6
```

```
[[2]]
```

```
[1] 2 3 4 5 6 7
```

```
[[3]]
```

```
[1] 3 4 5 6 7 8
```

```
[[4]]
```

```
[1] 4 5 6
```

```
[[5]]
```

```
[1] 5 6 7
```

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 6 Concepts avancés

- L'argument '...'
- Fonction apply
- Fonctions lapply et sapply
- Fonction mapply
- **Fonction replicate**
- Classes et fonctions génériques

# Une fonction pour la simulation

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- **Fonction enveloppante de `sapply` propre à R.**
- Simplifie la syntaxe pour l'exécution répétée d'une expression.
- Usage particulièrement indiqué pour les simulations.
- Si la fonction `fun` fait tous les calculs d'une simulation, on obtient les résultats pour 10 000 simulations avec

```
> replicate(10000, fun(...))
```
- Voir l'annexe D du document d'accompagnement.

# Une fonction pour la simulation

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Fonction enveloppante de `sapply` propre à R.
- Simplifie la syntaxe pour l'exécution répétée d'une expression.
- Usage particulièrement indiqué pour les simulations.
- Si la fonction `fun` fait tous les calculs d'une simulation, on obtient les résultats pour 10 000 simulations avec

```
> replicate(10000, fun(...))
```
- Voir l'annexe D du document d'accompagnement.

# Une fonction pour la simulation

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Fonction enveloppante de `sapply` propre à R.
- Simplifie la syntaxe pour l'exécution répétée d'une expression.
- Usage particulièrement indiqué pour les simulations.
- Si la fonction `fun` fait tous les calculs d'une simulation, on obtient les résultats pour 10 000 simulations avec

```
> replicate(10000, fun(...))
```
- Voir l'annexe D du document d'accompagnement.



# Une fonction pour la simulation

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Fonction enveloppante de `sapply` propre à R.
- Simplifie la syntaxe pour l'exécution répétée d'une expression.
- Usage particulièrement indiqué pour les simulations.
- Si la fonction `fun` fait tous les calculs d'une simulation, on obtient les résultats pour 10 000 simulations avec

```
> replicate(10000, fun(...))
```
- Voir l'annexe D du document d'accompagnement.

# Une fonction pour la simulation

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Fonction enveloppante de `sapply` propre à R.
- Simplifie la syntaxe pour l'exécution répétée d'une expression.
- Usage particulièrement indiqué pour les simulations.
- Si la fonction `fun` fait tous les calculs d'une simulation, on obtient les résultats pour 10 000 simulations avec

```
> replicate(10000, fun(...))
```
- Voir l'annexe D du document d'accompagnement.

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 6 Concepts avancés

- L'argument '...'
- Fonction apply
- Fonctions lapply et sapply
- Fonction mapply
- Fonction replicate
- Classes et fonctions génériques

# Quelques notions de programmation OO

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Tous les objets dans le langage S ont une classe.
- La classe est parfois implicite ou dérivée du mode de l'objet (consulter la rubrique d'aide de `class` pour de plus amples détails).
- Certaines fonctions **génériques** se comportent différemment selon la classe de l'objet donné en argument.
- Les fonctions génériques les plus fréquemment employées sont `print`, `plot` et `summary`.
- Une fonction générique possède une **méthode** correspondant à chaque classe qu'elle reconnaît.
- Sinon, une méthode `default` pour les autres objets.

# Quelques notions de programmation OO

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Tous les objets dans le langage S ont une classe.
- La classe est parfois implicite ou dérivée du mode de l'objet (consulter la rubrique d'aide de `class` pour de plus amples détails).
- Certaines fonctions **génériques** se comportent différemment selon la classe de l'objet donné en argument.
- Les fonctions génériques les plus fréquemment employées sont `print`, `plot` et `summary`.
- Une fonction générique possède une **méthode** correspondant à chaque classe qu'elle reconnaît.
- Sinon, une méthode `default` pour les autres objets.

# Quelques notions de programmation OO

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Tous les objets dans le langage S ont une classe.
- La classe est parfois implicite ou dérivée du mode de l'objet (consulter la rubrique d'aide de `class` pour de plus amples détails).
- Certaines fonctions **génériques** se comportent différemment selon la classe de l'objet donné en argument.
- Les fonctions génériques les plus fréquemment employées sont `print`, `plot` et `summary`.
- Une fonction générique possède une **méthode** correspondant à chaque classe qu'elle reconnaît.
- Sinon, une méthode `default` pour les autres objets.

# Quelques notions de programmation OO

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Tous les objets dans le langage S ont une classe.
- La classe est parfois implicite ou dérivée du mode de l'objet (consulter la rubrique d'aide de `class` pour de plus amples détails).
- Certaines fonctions **génériques** se comportent différemment selon la classe de l'objet donné en argument.
- Les fonctions génériques les plus fréquemment employées sont `print`, `plot` et `summary`.
- Une fonction générique possède une **méthode** correspondant à chaque classe qu'elle reconnaît.
- Sinon, une méthode `default` pour les autres objets.

# Quelques notions de programmation OO

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Tous les objets dans le langage S ont une classe.
- La classe est parfois implicite ou dérivée du mode de l'objet (consulter la rubrique d'aide de `class` pour de plus amples détails).
- Certaines fonctions **génériques** se comportent différemment selon la classe de l'objet donné en argument.
- Les fonctions génériques les plus fréquemment employées sont `print`, `plot` et `summary`.
- Une fonction générique possède une **méthode** correspondant à chaque classe qu'elle reconnaît.
- Sinon, une méthode `default` pour les autres objets.



# Quelques notions de programmation OO

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Tous les objets dans le langage S ont une classe.
- La classe est parfois implicite ou dérivée du mode de l'objet (consulter la rubrique d'aide de `class` pour de plus amples détails).
- Certaines fonctions **génériques** se comportent différemment selon la classe de l'objet donné en argument.
- Les fonctions génériques les plus fréquemment employées sont `print`, `plot` et `summary`.
- Une fonction générique possède une **méthode** correspondant à chaque classe qu'elle reconnaît.
- Sinon, une méthode `default` pour les autres objets.

- La liste des méthodes existant pour une fonction générique s'obtient avec `methods` :

```
> methods(plot)
```

```
[1] plot.acf*           plot.data.frame*
[3] plot.Date*          plot.decomposed.ts*
[5] plot.default        plot.dendrogram*
[7] plot.density         plot.ecdf
[9] plot.factor*        plot.formula*
[11] plot.hclust*         plot.histogram*
```

```
[...]
```

Non-visible functions are asterisked

- À chaque méthode `methode` d'une fonction générique `fun` correspond une fonction `fun.methode`.
- Consulter cette rubrique d'aide et non celle de la fonction générique, qui contient en général peu d'informations.

## Astuce

Lorsque l'on tape le nom d'un objet à la ligne de commande pour voir son contenu, c'est la fonction générique `print` qui est appelée.

On peut donc complètement modifier la représentation à l'écran du contenu d'un objet en créant une nouvelle classe et une nouvelle méthode pour la fonction `print`.

# Sommaire

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- 1 Présentation du langage S
- 2 Bases du langage S
- 3 Opérateurs et fonctions
- 4 Exemples résolus
- 5 Fonctions définies par l'utilisateur
- 6 Concepts avancés
- 7 GNU Emacs et ESS : la base**

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 7 GNU Emacs et ESS : la base

- GNU Emacs

- Mode ESS

# Qu'est-ce que Emacs ?

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Emacs est l'Éditeur de texte des éditeurs de texte
- Éditeur pour programmeurs avec des modes spéciaux pour une multitude de langages différents
- Environnement idéal pour travailler sur des documents  $\text{\LaTeX}$ , interagir avec R, S+, SAS ou SQL, ou même pour lire son courrier électronique

# Mise en contexte

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Logiciel phare du projet GNU («*GNU is not Unix*»), dont le principal commanditaire est la *Free Software Foundation*
- Distribué sous la GNU *General Public License* (GPL), donc gratuit, ou «libre»
- Nom provient de «*Editing MACroS*»
- Première version écrite par Richard M. Stallman, président de la FSF



# Configuration de l'éditeur

Introduction  
à la pro-  
grammation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Emacs est configurable à l'envi
- Configuration relativement aisée depuis le menu Customize
- Configuration personnelle dans le fichier .emacs

# Emacs-ismes et Unix-ismes

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Un **buffer** contient un fichier ouvert («*visited*»)
- Le **minibuffer** est la région au bas de la fenêtre où l'on entre des commandes et reçoit de l'information de Emacs
- La ligne de mode («**mode line**») est le séparateur horizontal contenant diverses informations sur le fichier ouvert et l'état de Emacs

# Commandes

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Toutes les fonctionnalités de Emacs correspondent à une commande pouvant être tapée dans le *minibuffer*
- M-x démarre l'interpréteur (ou invite) de commandes
- Dans les définitions de raccourcis claviers :
  - C est Ctrl (Control)
  - M est Meta (Alt sur un PC, option ou commande sur un Mac)
  - ESC est Échap et est équivalente à Meta
  - SPC est la barre d'espace
  - RET est la touche Entrée

- Caractère ~ représente le dossier \$HOME (Unix) ou %HOME% (Windows)
- Barre oblique (/) utilisée pour séparer les dossiers dans les chemins d'accès aux fichiers
- En général possible d'appuyer sur TAB dans le *minibuffer* pour compléter les noms de fichiers ou de commandes

# Commandes d'édition de base

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Lire le tutoriel de Emacs, que l'on démarre avec  
C-h t
- Voir aussi la *GNU Emacs Reference Card* à  
l'adresse  
<http://refcards.com/refcards/gnu-emacs/>

- Pour créer un nouveau fichier, ouvrir un fichier qui n'existe pas
- Principales commandes d'édition :
  - C-x C-f ouvrir un fichier
  - C-x C-s sauvegarder
  - C-x C-w sauvegarder sous
  - C-x k fermer un fichier
  - C-x C-c quitter Emacs

C - g	bouton de panique : quitter !
C - _	annuler (pratiquement illimité) ; aussi C - x u
C - s	recherche incrémentale avant
C - r	Recherche incrémentale arrière
M - %	rechercher et remplacer

- C-x b     changer de *buffer*
- C-x 2     séparer l'écran en deux fenêtres
- C-x 1     conserver uniquement la fenêtre courante
- C-x 0     fermer la fenêtre courante
- C-x o     aller vers une autre fenêtre lorsqu'il y en a plus d'une



# Sélection de texte

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Raccourcis clavier standards sous Emacs :
  - C-SPC débute la sélection
  - C-w couper la sélection
  - M-w copier la sélection
  - C-y coller
  - M-y remplacer le dernier texte collé par la sélection précédente
- Des extensions permettent d'utiliser les raccourcis usuels (C-c, C-x, C-v)

# Sommaire

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

## 7 GNU Emacs et ESS : la base

- GNU Emacs

- Mode ESS

# Emacs Speaks Statistics

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- Voir

<http://ess.r-project.org/>  
pour la documentation complète

- Deux modes mineurs : ESS pour les fichiers de script (code source) et iESS pour l'invite de commande
- Le mode mineur ESS s'active automatiquement en éditant des fichiers .S ou .R

# Démarrer un processus S

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

Pour démarrer un processus R à l'intérieur de  
Emacs :

M-x R RET

# Raccourcis clavier les plus utiles à la ligne de commande (mode iESS)

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

C-c C-e replacer la dernière ligne au bas de la fenêtre

M-h sélectionner le résultat de la dernière commande

C-c C-o effacer le résultat de la dernière commande

C-c C-v aide sur une commande S

C-c C-q terminer le processus S

# Raccourcis clavier les plus utiles lors de l'édition d'un fichier de script (mode ESS)

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- C-c C-n évaluer la ligne sous le curseur dans le processus S, puis déplacer le curseur à la prochaine ligne de commande
- C-c C-r évaluer la région sélectionnée dans le processus S
- C-c C-f évaluer le code de la fonction courante dans le processus S
- C-c C-l évaluer le code du fichier courant dans le processus S
- C-c C-v aide sur une commande S
- C-c C-s changer de processus (utile si l'on a plus d'un processus S actif)

# Raccourcis clavier utiles lors de la consultation des rubriques d'aide

Introduction  
à la programmation  
en S

Vincent  
Goulet

Présentation  
du langage  
S

Bases du  
langage S

Opérateurs  
et fonctions

Exemples  
résolus

Fonctions  
définies par  
l'utilisateur

Concepts  
avancés

GNU Emacs  
et ESS : la  
base

- h ouvrir une nouvelle rubrique d'aide, par défaut pour le mot se trouvant sous le curseur
- n, p aller à la section suivante (n) ou précédente (p) de la rubrique
- l évaluer la ligne sous le curseur ; pratique pour exécuter les exemples
- r évaluer la région sélectionnée
- q retourner au processus ESS en laissant la rubrique d'aide visible
- x fermer la rubrique d'aide et retourner au processus ESS