

Package Forestree

Max Bruciamacchie

mars 2018

Ce package R a été construit dans le cadre de la formation des ingénieurs forestiers (FIF) d'AgroParisTech. Il contient des fonctions permettant de faciliter le travail des gestionnaires forestiers dans des domaines variés tels que la dendrométrie, la gestion foncière, la cartographie, l'évaluation économique, l'estimation forestière ou de la gestion des risques.

Table des matières

1 Dendrométrie	3
1.1 Tarifs de cubage classiques à une entrée	3
1.1.1 Tarifs Schaeffer	3
1.1.2 Trouver un tarif Schaeffer	3
1.1.3 Calcul d'erreur avec un tarif Schaeffer	4
1.2 Tarifs de cubage à deux entrées	4
1.2.1 Tarifs Chaudé	4
1.2.2 Tarifs Schaeffer à 2 entrées	6
1.3 Données IFN	7
1.3.1 Constitution base IFN	7
1.3.2 Accroissement sur le diamètre	7
1.3.3 Variables dendrométriques	7
2 Milieux	8
2.1 Données climatiques	8
2.1.1 Diagramme ombrothermique	8
2.1.2 Rayonnement	9
2.1.3 Course du soleil	9
2.2 Recherche statuts de protection	9
2.3 Topographie	10
2.3.1 MNT	10
2.3.2 Indicateurs dérivés du MNT	11
2.3.3 Fonction Countour2Line	12
3 Gestion du foncier	13
3.1 Conversion de matrices cadastrales en fichier Excel	13
3.2 Extraction des parcelles cadastrales	13
3.3 Correspondance parcellaire forestier et cadastral	14
3.3.1 La fonction CadCorFor	14
3.3.2 La fonction CadPar	15
4 Données numériques	16
4.1 Découpes territoriales de la France	16
4.1.1 Régions naturelles	16
4.2 MNS ou MNH	17
4.2.1 Harmonisation	17
4.2.2 Calcul du MNH	18
4.2.3 Détection des arbres	19
4.2.4 Calibration	19
4.2.5 Carte de la surface terrière de gros bois	20

5 Estimation forestière	21
5.1 Indicateurs économiques	21
5.1.1 Pouvoir d'achat	21
5.1.2 Prix de vente des forêts	21
5.1.3 taux interne de rentabilité	22
5.2 Rentabilité de projets	22
6 Gestion des risques	22

1 Dendrométrie

1.1 Tarifs de cubage classiques à une entrée

Lorsqu'ils sont utilisés pour de petits lots d'arbres, ils reposent sur l'hypothèse que pour une station donnée, des arbres de même essence et même diamètre ont sensiblement même hauteur, même forme et donc même volume. Utilisés pour des lots d'arbres de plus d'une centaine de tiges, ils ont le mérite d'être plus rapides à utiliser que des tarifs à 2 entrées, et suffisamment précis à partir du moment où leur numéro est choisi correctement (voir paragraphes 1.1.2 et 1.1.3).

1.1.1 Tarifs Schaeffer

La fonction `TarifSch` renvoie le volume calculé avec un tarif Schaeffer à une entrée, que ce soit un tarif rapide (`SchR`), intermédiaire (`SchI`), lent (`SchL`) ou très lent (`SchTL`). Le résultat est exprimé en m^3 , les diamètres doivent être saisis en cm.

```
Types = c("SchR", "SchR", "SchL", "SchTL")
Nums = c(9,8,9,8)
Diams = c(45,45,50,50)
TarifSch(Types, Nums, Diams)

FALSE [1] 1.700000 1.600000 2.125000 1.975309
```

En cas d'erreur sur le type de tarif, la fonction renvoie NA.

```
Types2 = c("SchR", "Sch", "SchL", "SchTL") # erreur dans type tarif
TarifSch(Types2, Nums, Diams)

FALSE [1] 1.700000      NA 2.125000 1.975309
```

1.1.2 Trouver un tarif Schaeffer

La fonction `TarifFindSch` permet de trouver parmi les tarifs Schaeffer, ceux qui sont le plus adaptés au cubage d'un échantillon d'arbres. La fonction nécessite en entrée un tableau contenant au moins 3 colonnes : Essence, Diam et Vol.

```
data("Vol") # donnée présente dans le package Forestree
if (sum(c("Essence", "Vol", "Diam") %in% names(Vol)) == 3) {
  res <- TarifFindSch(Vol)
} else {print("Le fichier doit au moins contenir les 3 colonnes Essence, Vol et Diam")}
```

Le résultat de la fonction `TariffFindSch` peut être stocké dans un objet dénommé "res" (le nom peut évidemment être changé). Cela permet de visualiser ses 2 composantes : "tab" et "graph".

Tableau

```
print(xtable(res$tab,
  caption = "Numéros des tarifs Schaeffer et coefficients de variation associés.",
  digits=c(0,0,rep(1,4),rep(2,4)),label = "FindSch", caption.placement = "top",
  include.rownames=F, size="\small")
```

Essence	SchR	SchI	SchL	SchTL	SchRcv	SchIcv	SchLcv	SchTlcv
Chêne	4.2	4.3	4.3	4.4	0.40	0.32	0.31	0.31
Hêtre	7.8	7.3	6.9	6.6	0.17	0.14	0.18	0.23

Tableau 1 – Numéros des tarifs Schaeffer et coefficients de variation associés.

Graphique

```
res$graph
```

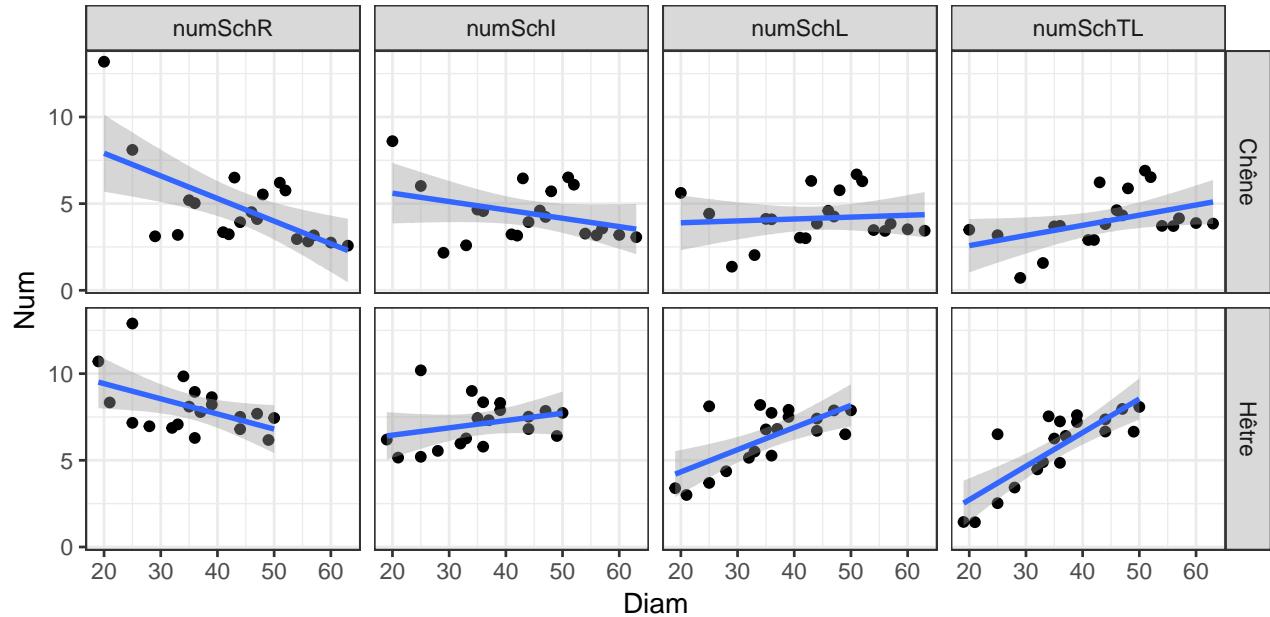


Figure 1 – Choix d'un tarif Schaeffer.

Le tableau n°1 et la figure n°1 montrent que pour cette application numérique, dans le cas du chêne il faudra utiliser un SchL n° 4.3 et un SchI n°7.3 pour le hêtre (numéros et types correspondants aux plus faibles coefficients de variation).

1.1.3 Calcul d'erreur avec un tarif Schaeffer

La fonction `TarifErreurSch` calcule l'erreur liée à l'estimation du volume d'un lot par utilisation d'un tarif Schaeffer. A titre d'application numérique, le tableau 2 contient dans ses 2 premières colonnes l'échantillon d'arbres qui permet de trouver la moyenne des numéros et leur variance pour les 4 types de tarif Schaeffer, les 2 dernières colonnes correspondant au lot à cuber. Les données utilisées dans l'application numérique ci-après sont fournies avec le package `Forestree`.

```
data(Echan)
data(Lot)
tab <- TarifErreurSch(Echan,Lot)
```

A titre d'exemple la fonction `TarifErreurSch` renvoie le tableau n°3 qui fournit par type de tarif Schaeffer rapide, intermédiaire, lent ou très lent le numéro à utiliser, le volume du lot accompagné de son erreur d'estimation. Dans le cas de l'application numérique, c'est un tarif Schaeffer lent n° 4.2 qui conduira à l'erreur d'estimation la plus faible.

1.2 Tarifs de cubage à deux entrées

1.2.1 Tarifs Chaudé

Ils nécessitent la connaissance du diamètre à 1,3 m et de la hauteur découpé. Ils sont basés sur la formule suivante :

$$V(D, H, \delta) = \frac{\pi}{40000} * [D - \delta * (\frac{H}{2} - 1,3)]^2 * H$$

Diam	Volume	Diam	Nombre
47	1.344	20	1
43	1.299	25	3
51	1.914	30	5
52	1.940	35	6
35	0.707	40	2
29	0.362	45	2
46	1.319	50	1
54	1.687		
42	0.950		
25	0.345		
63	2.322		
60	2.112		
48	1.579		
57	1.950		
56	1.813		
41	0.905		
36	0.750		
44	1.130		
33	0.515		
20	0.227		

Tableau 2 – Données utilisées pour le calcul d’erreur avec un tarif Schaeffer.

Type	Num	Volume	Erreur
SchI	4.4	13.6	0.093
SchL	4.2	13.8	0.081
SchR	4.8	13.4	0.139
SchTL	4.0	14.1	0.088

Tableau 3 – Volume estimé d’un lot d’arbres avec erreur associée.

où D est exprimé et cm, H en m et δ en cm par mètre. Il existe 20 tarifs Chaudé classiques numérotés de 1 à 20 caractérisés par une décroissance métrique sur le diamètre variable selon la classe de diamètre. Le choix d’un numéro revient à choisir la fonction de décroissance métrique (voir tableau n°4).

La fonction **TarifChaudé** renvoie le volume calculé avec un tarif Chaudé à deux entrées. Le résultat est exprimé en m³. Le diamètre doit être exprimé en cm, la hauteur en m.

```
Hauts <- c(13,14,14)
Diams = c(45,45,50)
TarifChaudé(13, Diams, Hauts) # cas d'un Chaudé n°13

FALSE [1] 1.412925 1.460875 1.837552
```

Diam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	1.9	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	
15	2.2	1.9	1.6	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	
20	2.5	2.2	1.9	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3	
25	2.7	2.5	2.2	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	
30	2.9	2.7	2.4	2.1	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	
35	3.2	2.9	2.6	2.3	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	
40	3.4	3.1	2.8	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	0.7	
45	3.5	3.2	2.9	2.6	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	
50	3.6	3.3	3.0	2.7	2.5	2.4	2.2	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0	0.9	
55	3.7	3.4	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	
60	3.8	3.5	3.2	3.0	2.7	2.6	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	
65	4.0	3.6	3.3	3.1	2.8	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1	
70	4.1	3.7	3.4	3.2	2.9	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	
75	4.2	3.8	3.5	3.3	3.0	2.7	2.6	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.2	
80	4.4	3.9	3.6	3.4	3.1	2.8	2.7	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	
85	4.5	4.1	3.8	3.5	3.2	2.9	2.8	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	
90	4.6	4.3	3.9	3.5	3.3	3.1	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	
95	4.7	4.5	4.1	3.8	3.5	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	
100	4.7	4.5	4.1	3.8	3.5	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	

Tableau 4 – Décroissance métrique sur le diamètre (en cm/m) en fonction du diamètre pour les 20 tarifs classiques Chaudé.

1.2.2 Tarifs Schaeffer à 2 entrées

Ils sont moins connus que les tarifs de même nom à une entrée. Ils sont basés sur le coefficient de décroissance ($k = D_m/D$). Ils se calculent à l'aide de la formule

$$V = \frac{\pi}{40000} * D_m^2 * H = \frac{\pi}{40000} * k^2 * D^2 * H$$

Pour les tarifs Schaeffer à 2 entrées, le coefficient de décroissance est fourni par la formule suivante.

$$k = \frac{a - b * H - k' C}{100}$$

où,

- a , b et k' sont des paramètres que l'utilisateur va devoir choisir parmi ceux proposés au tableau 5 ;
- H correspond à la hauteur découpée ;
- C à la circonférence exprimée en cm.

Num	a	b	k'	Essences	Commentaires
1	100	1,1		Toutes	Très grosse découpe
2	97	1		Chêne, hêtre	Massifs clairs, hauteurs corrigées
3	98	1,5		Bouleau	Peuplement clair
4.1	100	1,8		Peupliers	Bien élagués découpe de 60 à 120 cm au dessous de 12m
4.2	86,8	0,7		Peupliers	Bien élagués découpe de 60 à 120 cm au dessus de 12m
5.1	96	1,8		Peupliers	Mal élagués découpe de 60 à 120 cm au dessous de 12m
5.2	82,8	0,7		Peupliers	Mal élagués découpe de 60 à 120 cm au dessus de 12m
6	93	0,5	0,03	Sapins	Arbres élancés, découpe relativement forte
7	92	0,5	0,05	Epicéas	Arbres à empattement marqué, découpe fine
8.1	93	1,6		Ep, Mél, Pins	Plantation claire, inférieure à 10 m
8.2	82	0,5		Ep, Mél, Pins	Plantation claire, supérieure à 10 m
9	80	0,25		Pin sylvestre	Peuplements naturels Auvergne, découpe 10 cm
10	92	1,5		Pin sylvestre	Plantation claire

Tableau 5 – Paramètres des tarifs Schaeffer à 2 entrées

```

Hauts <- c(13,14,14)
Diams = c(45,45,50)
TarifSch2(2, Diams, Hauts) # cas d'un Schaeffer2 n°2

FALSE [1] 1.458871 1.533907 1.893713

```

1.3 Données IFN

1.3.1 Constitution base IFN

La fonction IFNdata permet de télécharger les données brutes de l'IFN à partir du site

<http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/IMG/zip/>

et de les enregistrer sous forme d'une archive Rdata contenant deux tables, IFNarbres et IFNplacettes. La ligne de code ci-après permet de créer une archive entre les années 2011 et 2016.

```
IFNdata(20011,2016)
```

1.3.2 Accroissement sur le diamètre

La fonction IFNacctD renvoie les accroissements sur le diamètre par essence et classe de diamètre en utilisant la base de données arbres de l'IFN. La fonction nécessite en entrée un shape correspondant au périmètre retenu : forêt, massif, sylvoécorégion, etc. La fonction renvoie un tableau des accroissements sur le diamètre par essence et classe de diamètre. Elle intègre les coefficients d'écorce, les accroissements sont donc sur écorce.

La fonction IFNacctD possède les arguments suivants :

- file : nom du fichier au format shp. Si non renseigné ouverture d'une boîte de dialogue.
- TailleBuffer : Taille du buffer en mètre. Par défaut elle est égale à 3000 m.
- SeuilCircf : seuil minimal de circonférence en cm en dessous duquel l'arbre n'est pas retenu pour le calcul du tarif. Par défaut ce seuil est fixé à 50 cm.
- SeuilNb : seuil minimal du nombre d'arbres dans la base IFN pour qu'une essence soit retenue. Par défaut ce seuil est fixé à 10 tiges.
- res : résolution (par défaut = 1000 m)
- UseSer : argument permettant de choisir si le calcul des numéros de tarif doit se faire au sein d'une même sylvoécorégion. Par défaut, UseSer=TRUE.
- enreg : argument permettant de choisir l'enregistrement ou pas du tableau au format .xlsx. Par défaut enreg=FALSE.

Attention : cette fonction utilise les archives de l'IFN qui doivent être créées au préalable avec la fonction IFNdata.

```

data(perim)
load("IFNdata.Rdata")
res <- IFNacctD(file=perim, TailleBuffer=1000)
# ----- Visualisation des résultats
res$tab
res$Effectif
res$Graph

```

1.3.3 Variables dendrométriques

La fonction IFNdendro fournit une estimation de la surface terrière sur un périmètre choisi par l'opérateur :

- des principales essences ;
 - de la structure en PER, PB, BM, GB ;
 - de l'importance en BM + GB des deux essences contribuant le plus à la surface terrière totale.
- Toutes ces informations sont accompagnées de leur coefficient de variation. Les calculs sont faits en supposant

que toutes les placettes ont le même poids.

La fonction nécessite en entrée un shape correspondant au périmètre retenu : forêt, massif, sylvoécorégion, etc. Si le périmètre n'est pas indiqué, une boîte de dialogue permet de la choisir.

```
data(perim)
load("IFNdata.Rdata")
res <- IFNdendro(perim)
# Résultats détaillés
res$tab      # Répartition de la surface terrière
res$Nb        # nombre de placettes IFN
res$perimetre # périmètre retenu
res$placettes # placettes IFN
```

2 Milieux

2.1 Données climatiques

2.1.1 Diagramme ombrothermique

La fonction `ClimatOmbro` permet l'édition d'un diagramme ombrothermique à partir d'informations mensuelles sur les températures et les précipitations. La figure 2 présente un exemple.

```
Precipitation = c(62,52,40,34,19,8,11,15,26,38,66,65)
Temperature = c(6.4,7.6,9.6,11.6,15.4,18.3,20.8,20.9,18.1,14.2,9.4,7.3)
ClimatOmbro(Temperature, Precipitation)
```

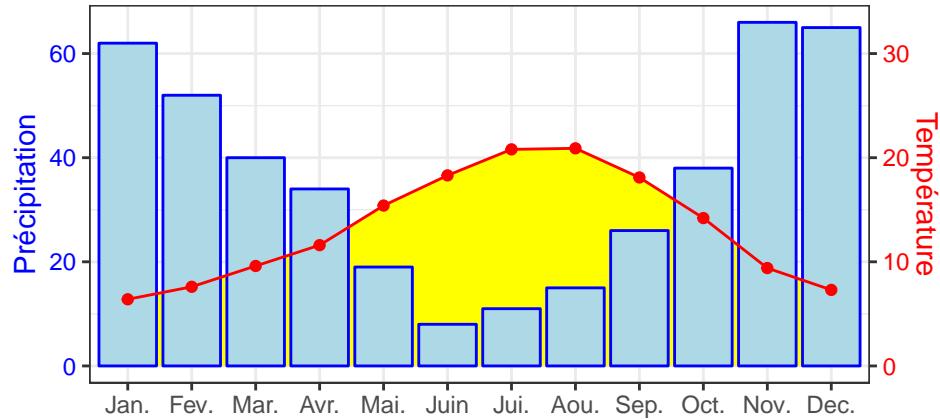


Figure 2 – Exemple de diagramme ombrothermique

La fonction `ClimatOmbroMF` permet également l'édition d'un diagramme ombrothermique mais cette fois-ci à partir d'un tableau contenant les informations classiques de météoFrance : Station, Année, Mois, RR (Précipitations), TN (température minimale) et TX (température maximale). Si le tableau en entrée contient plusieurs stations, une boîte de dialogue permet de n'en sélectionner qu'une.

```
##### Données
data("DataMeteo")
##### Visualisation
head(DataMeteo)
##### Utilisation fonction
ClimatOmbroMF(DataMeteo)
```

2.1.2 Rayonnement

La quantité de rayonnement solaire conditionne le besoin en eau des plantes. La fonction **Rayonnement** nécessite en entrée le périmètre du territoire sous forme d'objet sf ainsi que son MNT. Elle renvoie un raster des écarts par rapport au rayonnement moyen.

```
library(sf)
library(tidyverse)
library(raster)
library(insol)

data(razel)
r <- SiteMnt(razel)
rad <- Rayonnement(razel, r)

plot(rad, axes=F, box=F)
plot(st_geometry(razel), add=T)
# writeRaster(rad, "Rad.tif", format="GTiff", overwrite=TRUE)
```

2.1.3 Course du soleil

La fonction **CourseSoleil** renvoie la hauteur du soleil exprimée en degré au premier jour du printemps (20 mars) et de l'été (20 juin). Elle peut être utilisée pour calculer des masques solaires.

```
library(tidyverse)
library(suncalc)

res <- CourseSoleil(Lat = 50.1, Lon = 1.83)
res$graph
```

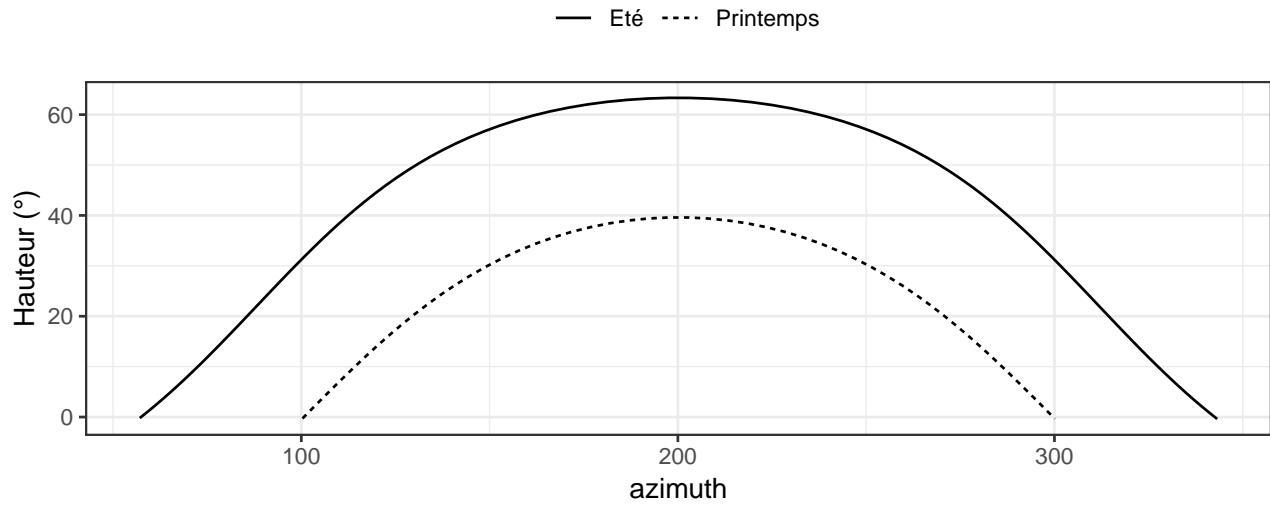


Figure 3 – Hauteur du soleil en degré à l'équinoxe de printemps et au solstice d'été.

2.2 Recherche statuts de protection

La fonction **NetProtectData** recherche sur internet les statuts de protection applicables sur un territoire donné. La fonction nécessite en entrée un fichier géoréférencé des limites du territoire au format sf ou shp. Si le fichier en entrée est au format shp, la fonction le transforme au format sf.

Le tableau n°6 fournit la liste des liens internet recherchés

Theme	Lien
Znieff1	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/znieff1.zip
Znieff2	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/znieff2.zip
Zico	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/zico.zip
Sic	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/sic.zip
Zps	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/zps.zip
Apb	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/apb.zip
Aspim	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/aspim.zip
Bpm	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/bpm.zip
Pn	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/pn.zip
Ripn	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/ripn.zip
Pnr	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/pnr.zip
Rb	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/rb.zip
Bios	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/bios.zip
Rn	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/rnn.zip
Rncfs	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/rncfs.zip
Rnr	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/rnr.zip
Cen	https://inpn.mnhn.fr/docs/Shape/cen.zip

Tableau 6 – Statuts de protection : liens internet.

La fonction `NetProtectData` va rechercher sur internet les fichiers géoréférencés des statuts de protection listés dans le tableau 6, fait une intersection avec les limites du territoire choisi et si le territoire est concerné par certains des statuts, crée un dossier dénommé `StatutProtect` contenant les shapes des intersections avec un buffer paramétrable (paramètre `width` de la fonction).

Nom	Date de modification	Taille	Type
► Apb	aujourd'hui à 10:48	20,6 Mo	Dossier
► Aspim	aujourd'hui à 10:48	833 Ko	Dossier
► Bios	aujourd'hui à 10:49	10,1 Mo	Dossier
► Bpm	aujourd'hui à 10:48	178 Ko	Dossier
► Cen	aujourd'hui à 10:49	15 Ko	Dossier
► Pn	aujourd'hui à 10:48	4,1 Mo	Dossier
► Pnr	aujourd'hui à 10:49	11,6 Mo	Dossier
► Rb	aujourd'hui à 10:49	1,4 Mo	Dossier
► Ripn	aujourd'hui à 10:48	59 Ko	Dossier
► Rn	aujourd'hui à 10:49	1,6 Mo	Dossier
► Rncfs	aujourd'hui à 10:49	530 Ko	Dossier
► Rnr	aujourd'hui à 10:49	1,4 Mo	Dossier
► Sic	aujourd'hui à 10:48	205 Ko	Dossier
► Zico	aujourd'hui à 10:47	1,3 Mo	Dossier
► Znieff1	aujourd'hui à 10:46	1,1 Mo	Dossier
► Znieff2	aujourd'hui à 10:47	97 Ko	Dossier
► Zps	aujourd'hui à 10:48	38 Ko	Dossier

Figure 4 – Résultat de la recherche des statuts de protection applicables sur un territoire donné.

2.3 Topographie

2.3.1 MNT

La topographie joue un rôle important dans la définition des stations et dans leur organisation spatiale. De nombreux indicateurs topographiques peuvent être calculés dès que l'on possède un modèle numérique de terrain. En France l'IGN met à disposition gratuitement un MNT à la résolution de 75 m. Il est possible, d'acheter auprès de l'IGN, des MNT au pas de 5 m. La NASA met à disposition des MNT (DEM en anglais) à la résolution de 30 m.

Le package `elevatr` offre une alternative intéressante. Il permet de récupérer un MNT à partir d'une zone d'extension qui est calculée par le biais d'un polygone fourni en entrée. Avant janvier 2018 la recherche de MNT pouvait être faite sur 2 sources. Depuis une seule source est disponible, l'Amazon Web Services (aws).

```
library(elevatr)
data(razel)
```

```

# perim = st_read(dsn="/Users/bruciamacchiemax/Dropbox/Projets PSG/2018",
#                  layer="Perim_Veyton")
# r <- SiteMnt(perim)
r <- SiteMnt(razel)
par(mar=c(0,0,0,0))
plot(r, axes=F, box=F)
# plot(st_geometry(razel), add=T)
plot(st_geometry(razel), add=T)

```

La fonction `SiteMnt` est basée sur la fonction `get_elev_raster` du package `elevatr` qui va rechercher sur le serveur de l'Amazon Web Services le raster correspondant à l'extension du spatialPolygon fourni en entrée. Le paramètre `zoom` doit être un entier. Il permet de choisir la résolution du raster en sortie. Sa valeur par défaut a été fixée à 14. Dans ce cas la résolution sera égale à environ 3,2 m. Si `zoom` est égal à 1 la résolution est de 7600 m, c'est pourquoi la fonction `SiteMnt` ramène automatiquement le zoom à 10 (résolution d'environ 51 m) si le zoom choisi par l'opérateur est inférieur à 10.

La figure 5 permet de comparer le MNT de l'IGN vendu à une résolution de 5 m avec celui issu du serveur d'Amazon fourni avec une résolution annoncée légèrement supérieure à 3 m. La forêt retenue pour cette comparaison est située sur la commune d'Allevard en Isère, avec des altitudes comprises entre 500 et 2700 m. Cette figure montre que la résolution réelle d'Amazon est supérieure à 5m et que le mnt fourni par le serveur AWS a tendance à lisser le mnt réel. En utilisant les points géodésiques de l'IGN comme référence les écarts entre le mnt issu du serveur AWS et celui de l'IGN sont en moyenne comparable. Le principal intérêt du mnt issu du serveur AWS est que l'information est gratuite, disponible sur l'ensemble de la planète et de résolution largement suffisante pour de nombreux emplois en forêt.

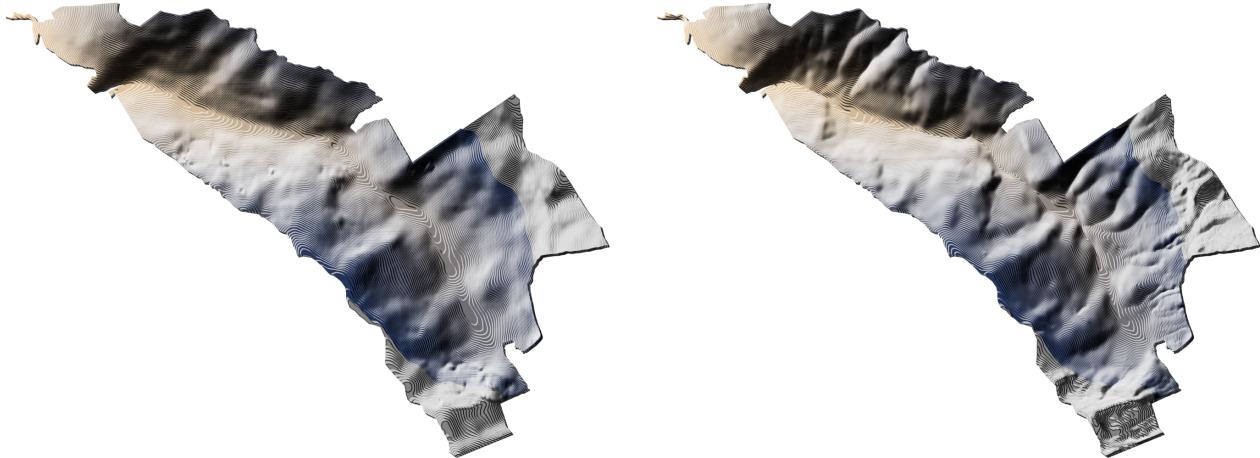


Figure 5 – Comparaison des résolutions entre le MNT de l'IGN (à droite) avec celui d'Amazon (à gauche)

2.3.2 Indicateurs dérivés du MNT

La fonction `SiteTopo` permet de calculer des indicateurs topographiques sur un périmètre donné. Elle renvoie trois indicateurs topographiques : pente, classes de pente par exposition et direction de la ligne de plus grande pente.

```

library(raster)
library(sf)
library(tidyverse)
library(scales)

res <- SiteTopo(perim, mnt)
res$Pente

```

```
res$ExpoPente  
res$Ecoul
```

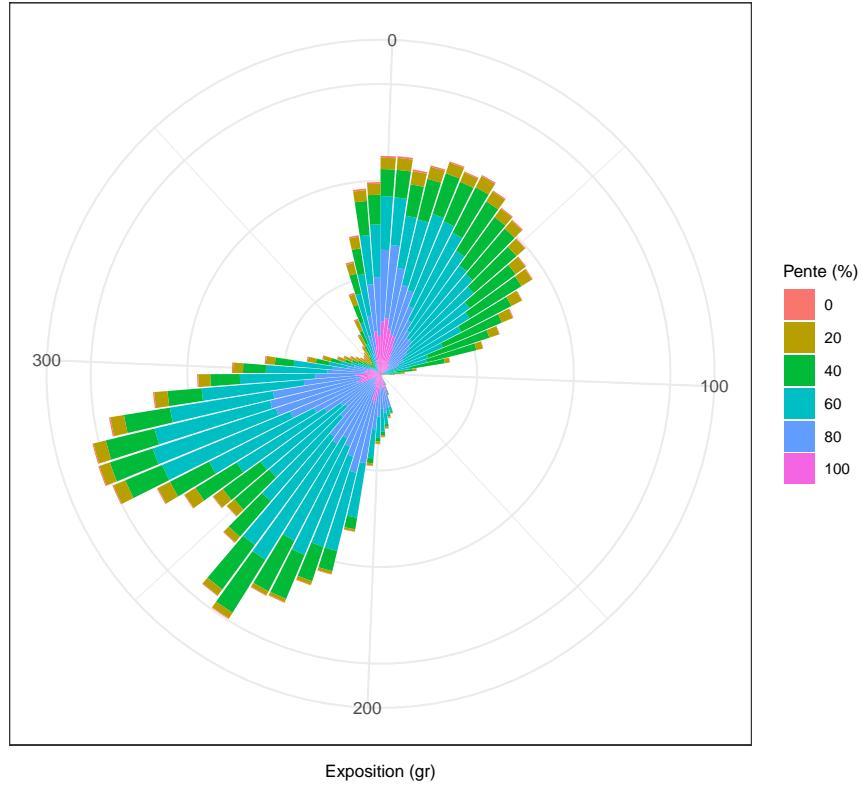


Figure 6 – Exemple de répartition des pentes par exposition.

2.3.3 Fonction Contour2Line

```
library(sf, quietly =T, warn.conflicts =F)  
library(Forestree)  
data(razel)  
mmt = SiteMnt(razel)  
res <- Contour2Line(razel, mmt, valline="430")  
courbes <- res$courbes  
Ligne <- res$ligne  
  
plot(st_geometry(razel))  
plot(st_geometry(courbes), add=T, col='orange', lwd=0.5)  
plot(st_geometry(Ligne), add=T, col='red')
```

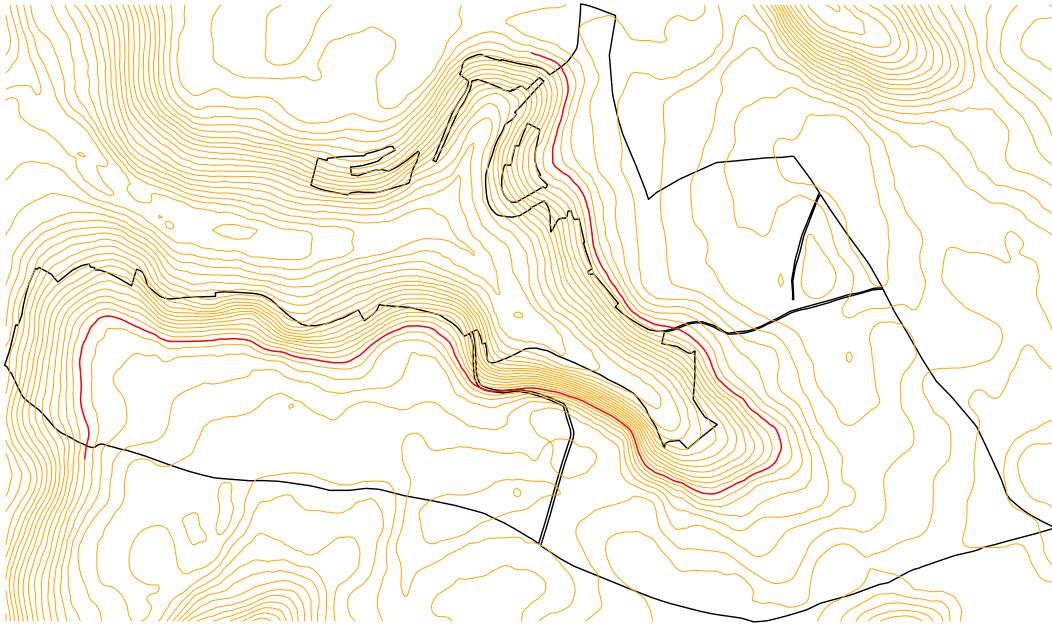


Figure 7 – Transformation d'un raster en courbes de niveau.

3 Gestion du foncier

3.1 Conversion de matrices cadastrales en fichier Excel

La fonction `CadHtml2csv` permet la lecture de matrices cadastrales au format html contenues dans un dossier et renvoie un tableau contenant les informations suivantes : code et nom de la commune, nom et coordonnées du ou des propriétaires, identifiants des parcelles cadastrales, occupation du sol, revenu et surface cadastrals. Ces informations sont réparties dans les colonnes suivantes : COM_CODE, COM_NOM, PROP, ADRESSE, IDU, PREFIXE, SECTION, N_PARCA, LIEUDIT, OCCUP_SOL, REV_CA, SURF_CA.

```
tab <- CadHtml2csv(enrg=TRUE)
```

3.2 Extraction des parcelles cadastrales

La fonction `CadPar` sélectionne dans un fichier .shp les parcelles cadastrales figurant dans des extraits de matrice cadastrale d'un ou de plusieurs propriétaires. Elle nécessite deux informations :

- un tableau contenant la liste des parcelles cadastrales de la propriété. Il doit contenir une colonne nommée "idu" ou "IDU" ;
- un fichier géoréférencé des parcelles cadastrales. Sa table attributaire doit contenir une colonne nommée "idu" ou "IDU".

```
data("MatriceCad")
data("Parcellaire")
cadastre <- CadPar(MatriceCad, Parcellaire)
plot(st_geometry(cadastre), lwd=1.5, border='blue')
```

3.3 Correspondance parcellaire forestier et cadastral

3.3.1 La fonction CadCorFor

La fonction `CadCorFor` recherche la correspondance entre parcellaire forestier et cadastral. Elle fait en sorte que la somme des surfaces des parcelles forestières soit égale à la surface officielle cadastrale. Cette recherche est faite en évitant de trop agrégérer les parcelles. Elle calcule un coefficient par parcelle permettant de passer de la surface SIG à la surface cadastrale.

La fonction nécessite en entrée 2 fichiers géoréférencés au format sf : parcellaire cadastral et forestier. Si les fichiers en entrée sont au format shp, la fonction `st_as_sf` permet de les transformer au format sf (voir exemple ci-après).

La table attributaire du parcellaire cadastral doit contenir au moins les champs suivants : Commune, Section, Num et Surface. Si la table attributaire du parcellaire forestier contient plusieurs colonnes, une boîte de dialogue permet de choisir le champ qui correspond au numéro de parcelle forestière.

```
library(sf)
library(Forestree)
```

Données initiales

Dans la figure 8 les parcelles forestières sont en bleu, les parcelles cadastrales en rouge.

```
##### Données
data("parCadast")
data("parFor")
##### Conversion du format shp au format sf
parCadast <- st_as_sf(parCadast)
parFor <- st_as_sf(parFor)
##### Visualisation
par(mar=c(0,0,0,0))
plot(st_geometry(parFor), lwd=2.5, border='blue')
plot(st_geometry(parCadast), add=TRUE, border='red')
```

Utilisation de la fonction

```
res <- CadCorFor(parCadast, parFor)
```

Table de correspondance

Le tableau n°7 fournit la correspondance entre parcelles cadastrales et forestières.

Commune	Section	Num	NumFor
Domats	E	63	1
Vernoy	E	26	2
Domats	E	60	3
Domats	E	63	4
Domats	E	63	5
Domats	E	63	6
Vernoy	E	71	7
Domats	E	64	7
Vernoy	E	72	8
Domats	E	61	8
Domats	E	61	9
Domats	E	60	10
Domats	E	61	10

Tableau 7 – Table de correspondance entre parcelles cadastrales et forestières.

Surface

Le tableau n°8 fournit la surface cadastrale des parcelles forestières.

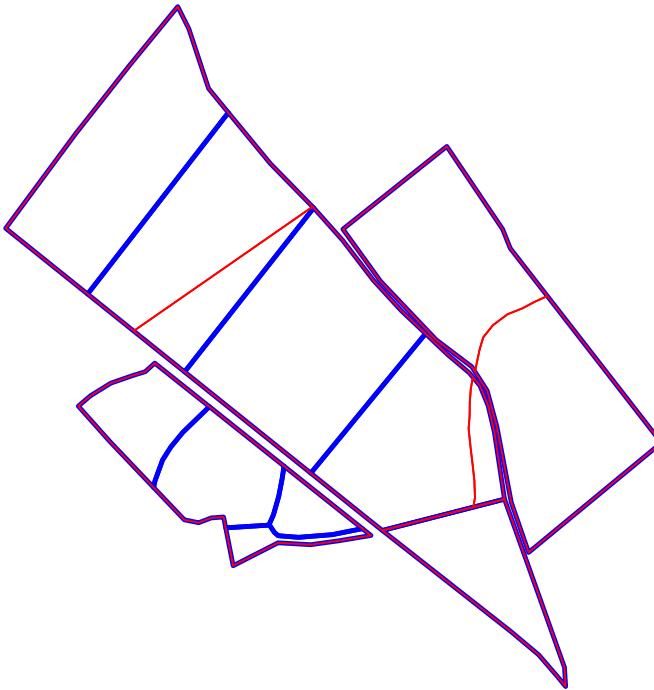


Figure 8 – Parcellaire cadastral et forestier.

NumFor	Surf
1	1.2189
2	1.9134
3	4.4094
4	1.6206
5	0.5290
6	0.3174
7	7.5900
8	3.6639
9	5.1844
10	4.4649

Tableau 8 – Surface cadastrale des parcelles forestières.

3.3.2 La fonction CadPar

La fonction permet de produire un shapefile polygone contenant l'ensemble des parcelles cadastrales d'un ou plusieurs propriétaires. La fonction sélectionne dans un fichier .shp les parcelles cadastrales figurant dans des extraits de matrice cadastrale.

```

data("MatriceCad")
data("Parcellaire")
shp <- CadPar(MatriceCad, Parcellaire)

FALSE [1] "Identifiant unique détecté"
FALSE Deleting layer `ParCad' using driver `ESRI Shapefile'
FALSE Updating layer `ParCad' to data source `/Users/maxbruciamacchie/Dropbox/Packages/Forestry/vignettes' using d
FALSE features:      7
FALSE fields:       12
FALSE geometry type: Polygon

par(mar=c(0,0,0,0))
plot(st_geometry(Parcellaire), border='blue', lwd=0.5)
plot(st_geometry(shp), border='red', add=T)

```

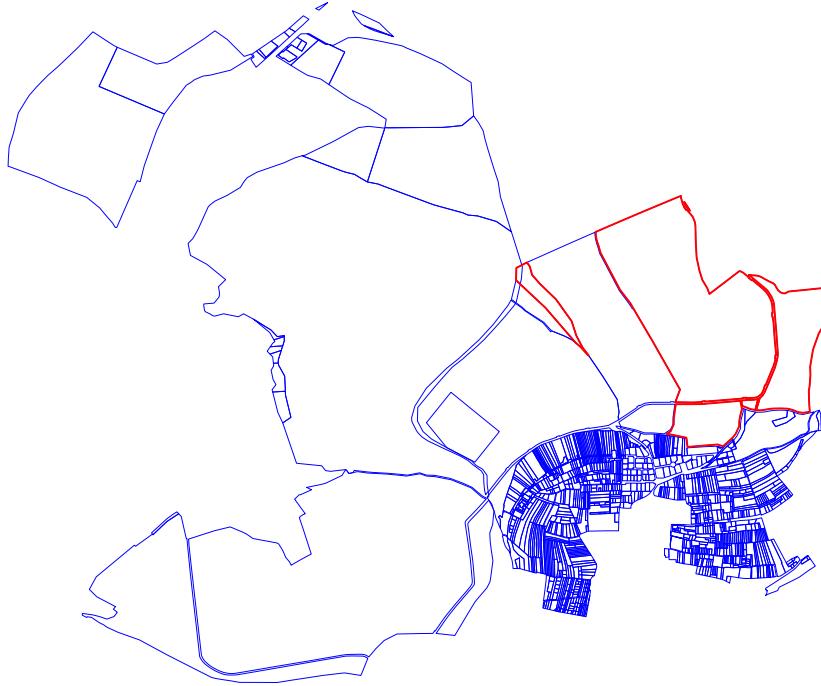


Figure 9 – Exemple de visualisation des parcelles cadastrales d'une propriété.

4 Données numériques

De plus en plus d'organismes mettent à disposition des données numériques. C'est le cas par exemple de l'IGN, du muséum d'histoire naturelles. Les données les plus anciennes sont en général gratuites, les données plus récentes et plus précises étant payantes. Des régions ou des départements ont créé des coopératives de données pour faciliter leur mise à disposition. C'est le cas de la région Grand-Est par le biais de son service CIGAL.

4.1 Découpages territoriales de la France

4.1.1 Régions naturelles

La fonction `DecoupRN` met à disposition le découpage de la France en régions naturelles détaillées ou non par département, ainsi que le découpage en sylvoécorégions.

```
# anciennes régions naturelles
# rn <- DecoupRN(formatSf = F, dept = F)
# class(rn)
# Compare anciennes régions naturelles et sylvoécorégions
rn <- DecoupRN(formatSf = T, dept = F)
data(ser)
par(mar=c(0,0,0,0))
plot(st_geometry(rn), border='blue', lwd=0.5)
plot(st_geometry(ser), border='red', lwd=1.2, add=T)
```

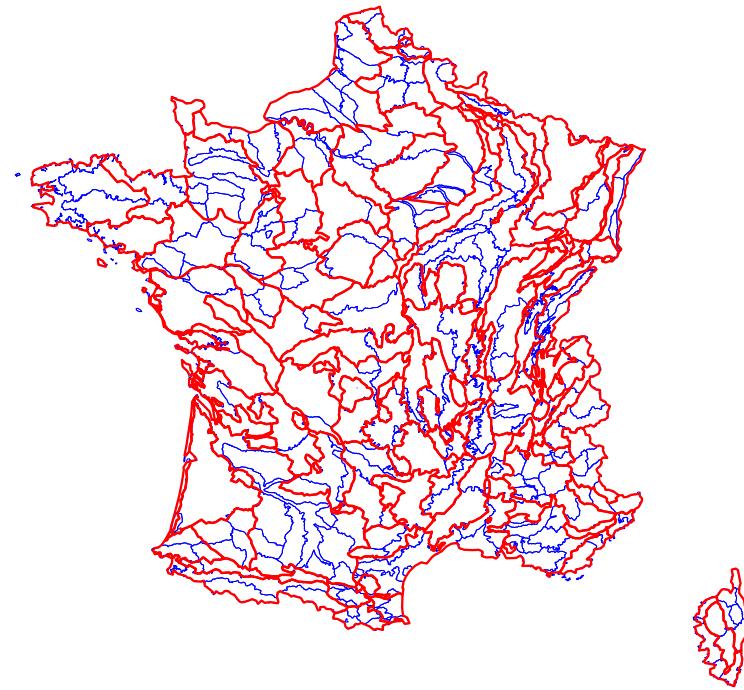


Figure 10 – Comparaison entre anciennes régions naturelles (en bleu) et nouvelles sylvoécorégions (en rouge).

4.2 MNS ou MNH

Certaines collectivités territoriales mettent à disposition des gestionnaires de l'espace des données du type Modèle Numérique de Surface (MNS) issues d'un traitement LIDAR ou photogrammétrique. A titre d'exemple la figure 11 fournit les informations nécessaires pour se connecter au serveur FTP du CIGAL^a.

Ayant récupéré le MNS auprès du CIGAL et à condition de posséder un Modèle Numérique de Terrain (MNT) suffisamment précis (celui à une résolution de 5 convient parfaitement), il est possible de calculer par différence un Modèle Numérique de Hauteur (MNH = MNS - MNT). Ces modèles MNH peuvent être utilisés pour extrapoler des informations dendrométriques obtenues à partir d'inventaires en plein ou par placettes, aux espaces environnants (voir paragraphe 4.2.5).

^a. Crée à l'origine par la région Alsace, les deux départements et les trois principales communautés urbaines, le CIGAL rassemble et met à disposition des données numériques pour l'ensemble de la nouvelle région Grand-Est

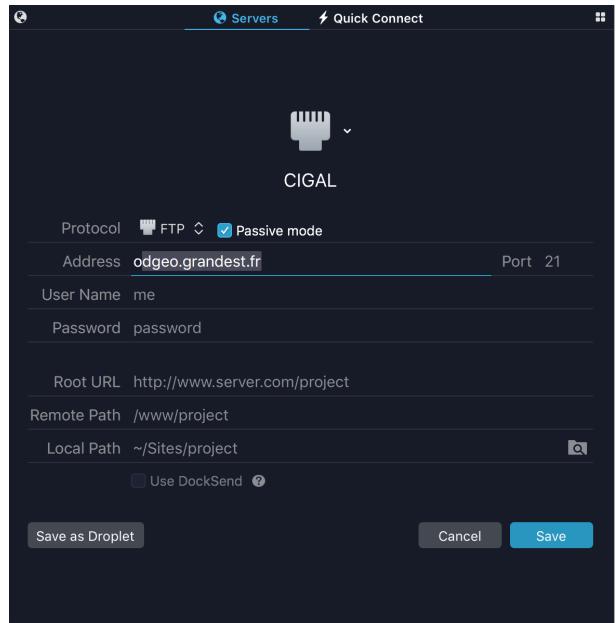


Figure 11 – Informations permettant de se connecter au serveur FTP du CIGAL.

4.2.1 Harmonisation

Lorsque l'on souhaite utiliser ces données (MNS, MNT) qui se présentent généralement sous forme de rasters, la première difficulté à surmonter est de les harmoniser car en général elles n'ont pas même résolution, point

d'origine ou zone d'extension. C'est l'objectif de la fonction `HarmoniseRaster`.

```
data(mns)
data(mnt)
s <- HarmoniseRaster(mns, mnt)
names(s) <- c("MNS", "MNT")
# plot(s, axes=F, box=F)
```

La fonction `HarmoniseRaster` renvoie un objet de la classe "RasterStack".

4.2.2 Calcul du MNH

Les MNS et MNT harmonisés grâce à la fonction `HarmoniseRaster` (voir paragraphe 4.2.1) permettent par simple différence de calculer des Modèles Numériques de Hauteur (MNH).

A titre d'exemple, la figure 12 permet de visualiser le MNH du dispositif n°17 (Belval) de l'AFI. L'échelle à droite est celle des hauteurs.

```
mns <- s$MNS
mnt <- s$MNT
mnh <- mns - mnt
mnh[mnh<0] <- 0

par(mar = rep(0.5, 4))
plot(mnh, axes=F, box=F)
plot(st_geometry(Parcelle), add=T)
```

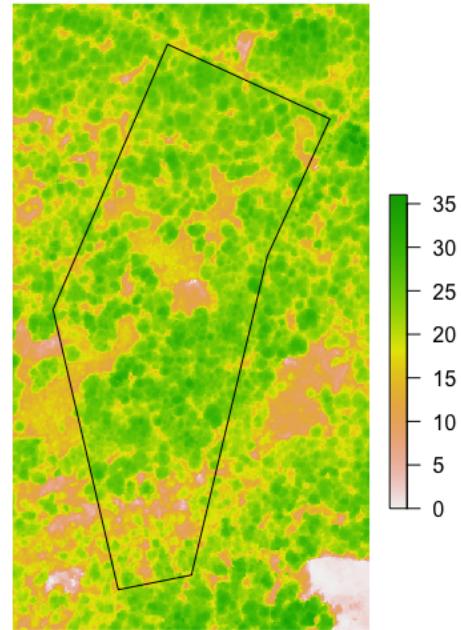


Figure 12 – Modèle Numérique de Hauteurs (MNH) - dispositif AFI n°17 (Belval).

4.2.3 Détection des arbres

Le package `ForestTools` contient des fonctions permettant d'automatiser la détection à partir de MNH d'arbres (`TreeTopFinder`) ou de houppiers (`SegmentCrowns`). La recherche d'arbres est basée sur la détection des apex (points hauts).

```
lin <- function(x){-3 + 0.2*x}
ttops <- vwf(CHM = mnch,
             winFun = lin,
             minHeight = 20,
             maxWinDiameter = 30)
crownsPoly <- mcws(treetops = ttops,
                     CHM = mnch,
                     format = "polygons",
                     minHeight = 20,
                     verbose = F)
par(mar = rep(0.5, 4))
plot(mnch, axes=F, box=F)
plot(st_geometry(Parcelle), add=T)
plot(crownsPoly, border = "blue", lwd = 0.2,
     add = TRUE)
plot(ttops, add=T, pch=19, col='blue', cex=0.2)
```

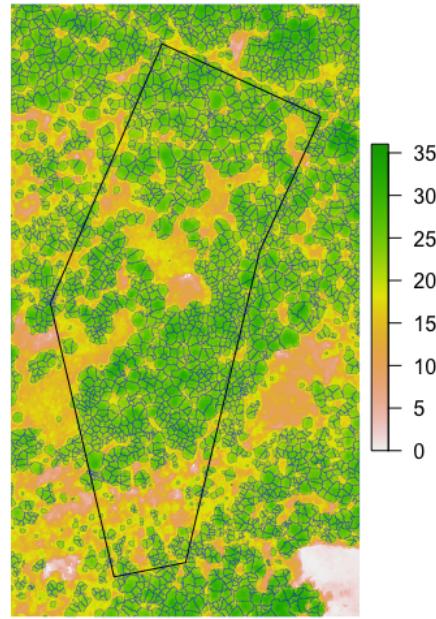


Figure 13 – Détection automatique des houppiers des arbres pour le dispositif AFI n°17 (Belval).

A titre d'exemple, la figure 13 illustre le résultat de la détection automatique des houppiers dans le cas du dispositif n°17 (Belval) de l'AFI. Dans le script ci-dessus la fonction `lin` définit le rayon minimum de recherche du prochain apex. Elle a été établie à partir des mesures de houppiers effectuées à l'AFI. Ne sont recherchés que les arbres dont la hauteur est supérieure au paramètre à 20 mètres (paramètre `minHeight`), valeur seuil également définie à partir des mesures de l'AFI.

4.2.4 Calibration

La détection des arbres à partir de MNH présentée au paragraphe 4.2.3 n'est souvent qu'une première étape en vue d'estimer la ressource en volume. Elle nécessite d'établir des relations d'estimation du volume d'un arbre à partir de la surface de son houppier et de sa hauteur.

Une autre approche consiste à établir une relation entre la distribution locale des hauteurs et une variable dendrométrique. A titre d'exemple la variable à prédire sera la surface terrière des gros bois. Cette seconde approche ne nécessite pas l'étape de la détection des arbres et de leur houppier.

Un réseau de placettes permanentes va servir à calibrer une relation entre la distribution des hauteurs à partir du MNH, sur les cercles de 10m et de 30m, et la surface terrière des gros bois mesurée sur les placettes permanentes.

```
data(mnh)
data(Parcelle)
data(Placettes)
plot(mnh, axes=F, box=F)
plot(st_geometry(Parcelle), add=T)
plot(st_geometry(Placettes), add=T)
```

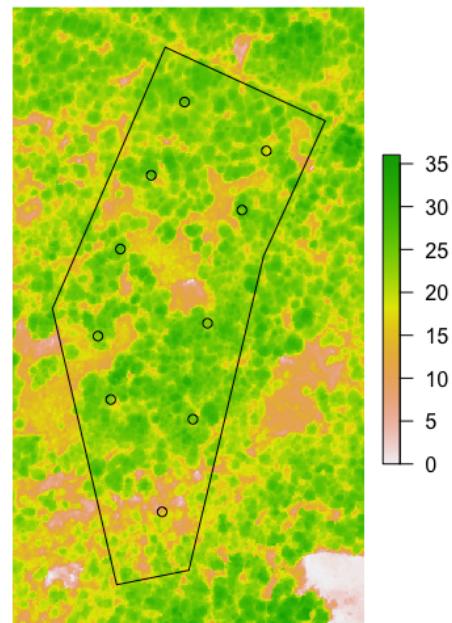


Figure 14 – Localisation des placettes permanentes - dispositif AFI n°17 (Belval).

4.2.5 Carte de la surface terrière de gros bois

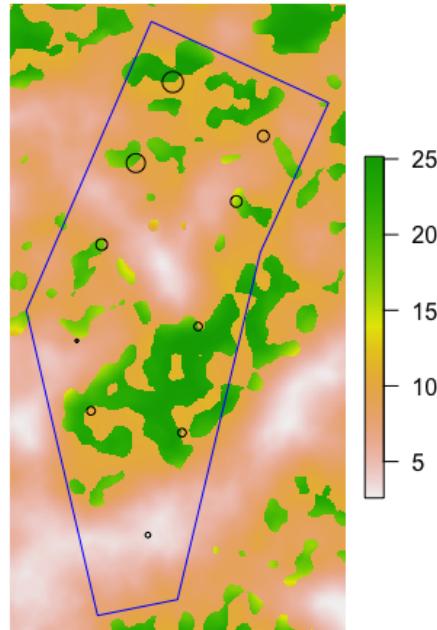


Figure 15 – Carte de la surface terrière de gros bois - dispositif AFI n°17 (Belval).

5 Estimation forestière

5.1 Indicateurs économiques

5.1.1 Pouvoir d'achat

```
library(Forestree)
library(dplyr)
Coeft <- PouvoirAchat(2018)
# ----- Exemple
Flux <- data.frame(Année = c(1995, 1999, 2003, 1995:2003),
                     Nature = c("Investissement", "Chasse", "Bois", rep("Frais fixe", 9)),
                     Montant = c(-15000, 6000, 7000, rep(-50, 9))) %>%
  arrange(Année) %>%
  left_join(Coeft, by = "Année") %>%
  mutate(MontantEuroCons = Montant * Coefft)
sum(Flux$MontantEuroCons)
```

5.1.2 Prix de vente des forêts

Par décret n° 2018-1350 du 28 décembre 2018, le gouvernement français s'est engagé à mettre en open data les informations portant sur les valeurs foncières déclarées à l'occasion des mutations immobilières. La base de donnée DVF (demandes de valeurs foncières), publiée et produite par la direction générale des finances publiques est donc accessible sur le serveur *data.gouv.fr*. En pratique les informations se présentent sous la forme d'un fichier par année. Une ligne de chaque fichier représente un bien (appartement, parcelle cadastrale, etc.) présent dans une transaction. Les fichiers font l'objet d'une mise à jour semestrielle, en avril et en octobre. Les deux départements d'Alsace ainsi que la Moselle ne figurent pas dans la base de données.

La base de donnée DVF n'est pas facilement manipulable car très volumineuse et mal organisée. La fonction *ValeurVenale* en facilite l'exploration. Elle ne retient que les ventes qui ne concernent que des parcelles cadastrales boisées (pas de bâti, de champ, etc.). Les DOM-TOM ont été volontairement retirés de l'analyse.

Le script ci-après fournit un exemple d'utilisation. La figure ?? présente une des sorties possibles. Elle doit être interprétée en sachant que la nature de bois indiqué par le cadastre peut être assez éloignée de la réalité. Malgré cette réserve La figure ??

```
library(tidyverse)

Evol <- data.frame()
Detail <- data.frame()
for (i in c(2018:2016)) {
  res <- ValeurVenale(i)
  Evol <- rbind(Evol, as.data.frame(res$tab))
  Detail <- rbind(Detail, as.data.frame(res$Detail))
}

textes <- Evol %>% filter(Année == 2018)
ggplot(Evol, aes(x=Nature, y=Prix, color=factor(Année))) +
  geom_point() + geom_text(data=textes, aes(label=round(Prix,0)), size=4, hjust=1.2) +
  theme_bw() + labs(color="")

ggplot(Detail, aes(x=Nature, y=Prix, fill=factor(Année), color=factor(Année))) +
  geom_point(position = position_jitterdodge()) +
  geom_boxplot(alpha=0.4) +
  geom_text(data=textes, aes(label=round(Prix,0)), size=3, hjust=-1.5) +
  theme_bw() + labs(fill="", color="", y="Prix (euro/ha)")
```

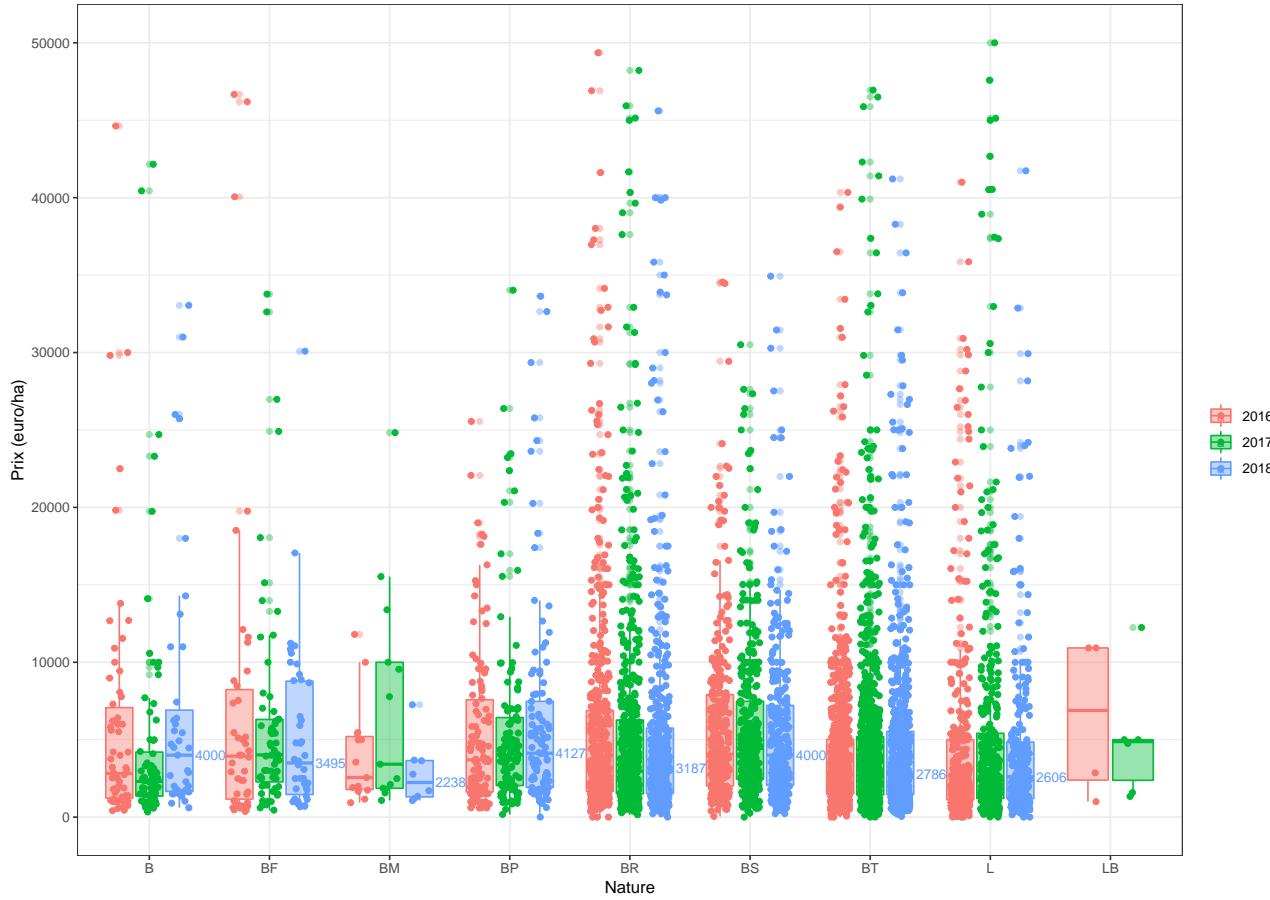


Figure 16 – Valeurs des forêts selon leur nature (codification cadastrale)

5.1.3 taux interne de rentabilité

```
df <- data.frame(Année = c(2, 4, 6, 30),
                  Montant = c(-0.6, -0.9, -1.5, 9))
EcoTIR(df$Année, df$Montant)
```

5.2 Rentabilité de projets

6 Gestion des risques