

Statistique des assurances - Projet

Isabelle Ajtay (41010932) Smail Chabane (38012939) Yuxuan Zhang (38019811)

25 février 2023

Table des matières

1. Description des données	1
1.1 Analyses univariées	2
1.2 Analyses bivariées	12
1.3 Dépendances entre les variables	18
2. Modélisation des sinistres et des primes pures	18
2.1 Problème d'endogénéité dans les variables	18
2.2 Modélisation de Sinistre0	25
2.3 Modélisation de Sinistre 1 ou 2 ou 3 (au moins un)	25
2.4 Modèle pour le prix de Police 1 ou 2 ou 3 (au moins un)	25
2.5 Modèle retenu au final	25
IV regressions	25
3. Modélisation du nombre de sinistres et tarification des nouveaux arrivants	25
3.1 Modèle pour le nombre de sinistres, NSin	25
3.2 Méthode de tarification pour les nouveaux arrivants	25
4. Estimation des durées	25
4.1 Estimateur de Kaplan-Meier	25
4.2 Modèle de Cox	25

L'objectif du présent projet: on se place dans le contexte d'une entreprise d'assurance non-vie, qui dispose d'un jeu de données historiques et souhaite modéliser les sinistres (4 types distincts), les prix des polices d'assurance précédemment vendues, ainsi que la durée de vie d'un contrat d'assurance. Nous allons utiliser la validation croisée, une des meilleures méthodes d'estimation de l'erreur des modèles.

La mtd train du package caret fait de la cv + boot, et permet d'ajuster des centaines de modèles prédictifs différents, spécifiés facilement avec l'argument method. VerboseIter donne un log du progress, pe masura ce le modèle est ajusté.

1. Description des données

Import des données

La procédure pour lire ligne par ligne ces données est longue. Donc nous les avons exportées dans un fichier .txt pour aller plus vite.

```
cat("\f") # clears the console, by sending Ctrl + L
```

```
data = read.table("data.txt", sep = " ", header=T, encoding = "UTF-8")
#data = read.table("assurance_complete_corrige.R") #, sep = "", header=T)
```

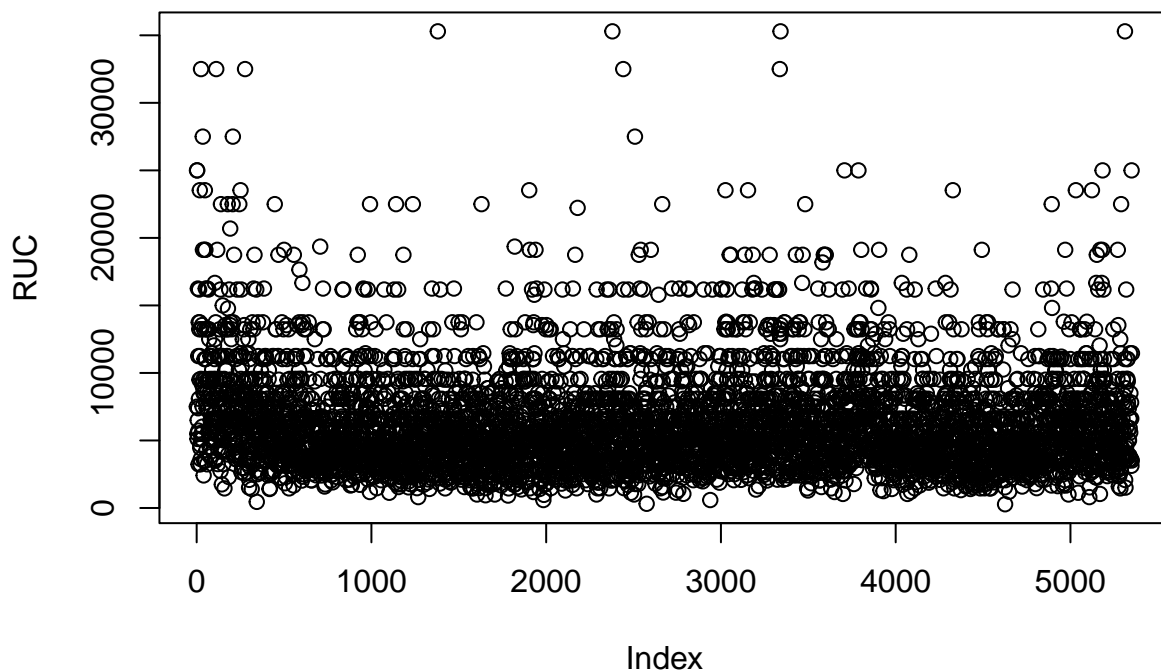
1.1 Analyses univariées

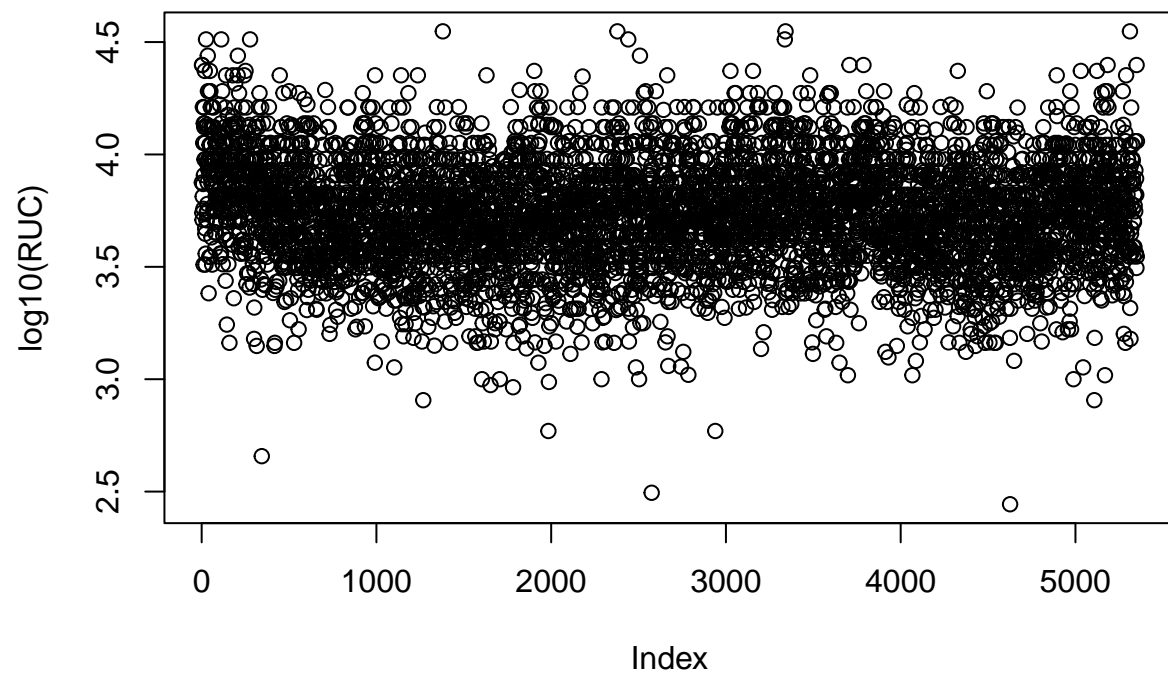
On a utilisé `str` pour afficher les informations simples concernant les variables, et `summary` pour afficher les données statistiques pour chaque variable.

Voici les variables: [1] pcs 2 RUC 3 cs 4 revs 5 crevpp 6 region 7 habi 8 Ahabi 9 Atyph 10 agecat 11 Acompm 12 nbpers 13 enfants 14 Anat 15 Bauto 16 "Nbadulte" 17 Sinistre1 18 Sinistre2 19 Sinistre3 20 Police1 21 "Police2" 22 "Police3" 23 "durPolice1" 24 Durée 25 NSin 26 censure 27 Sinistre0

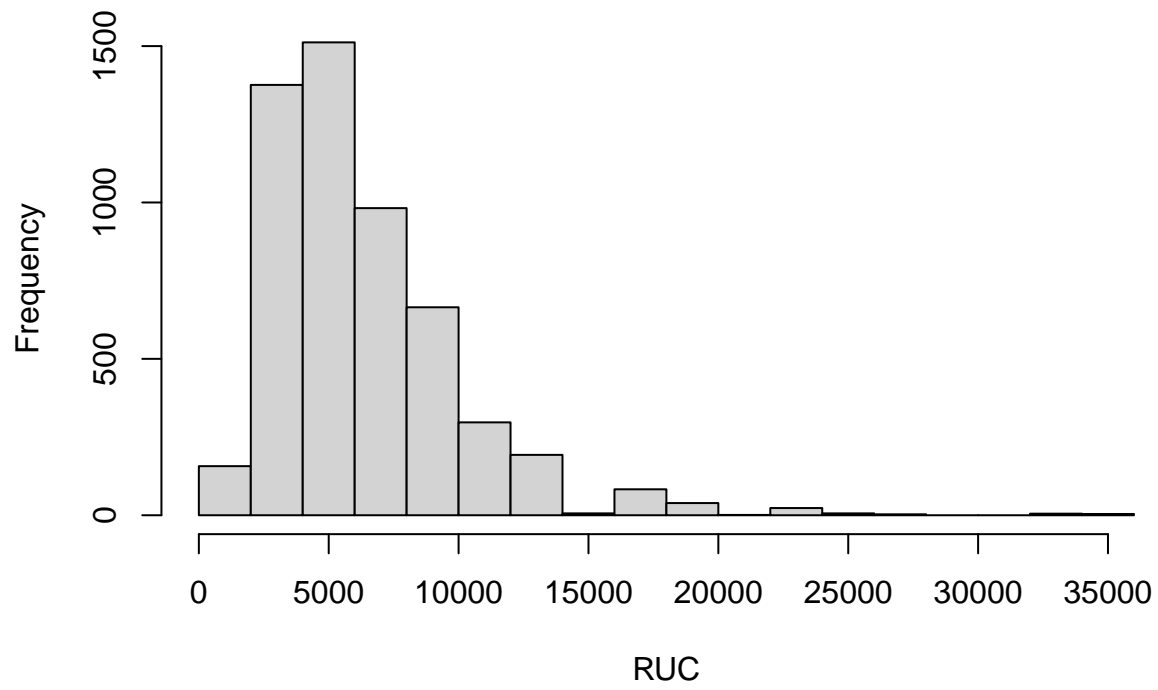
On observe que les variables *pcs*, *cs*, *region*, *crevpp*, *agecat* et *habi* sont qualitatives, malgré leur apparence numérique; on les convertit en facteurs

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

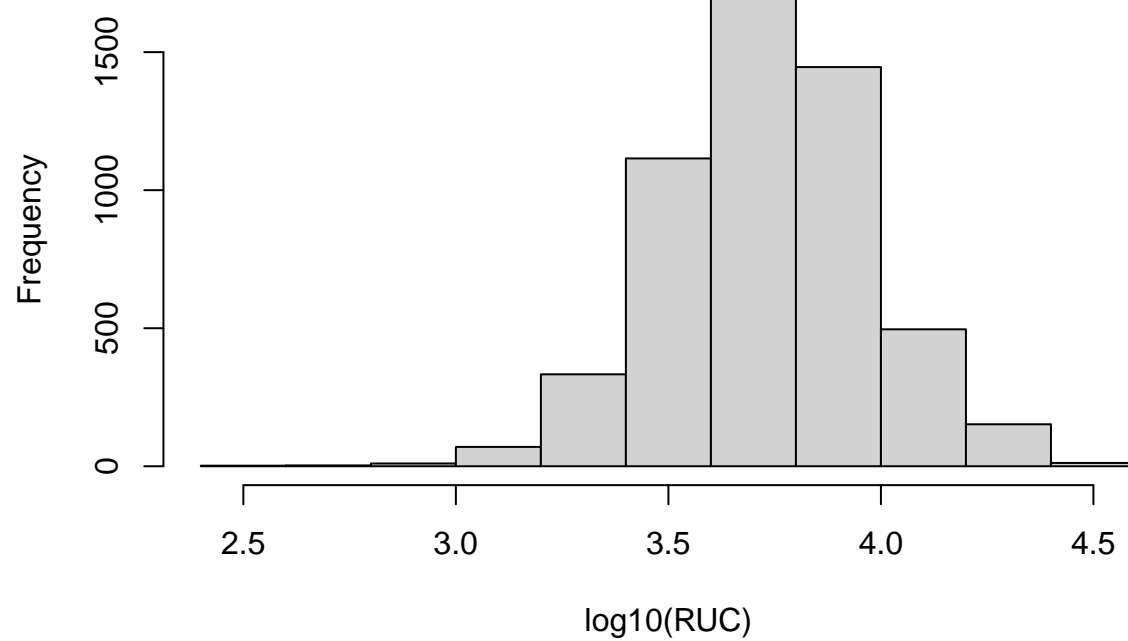




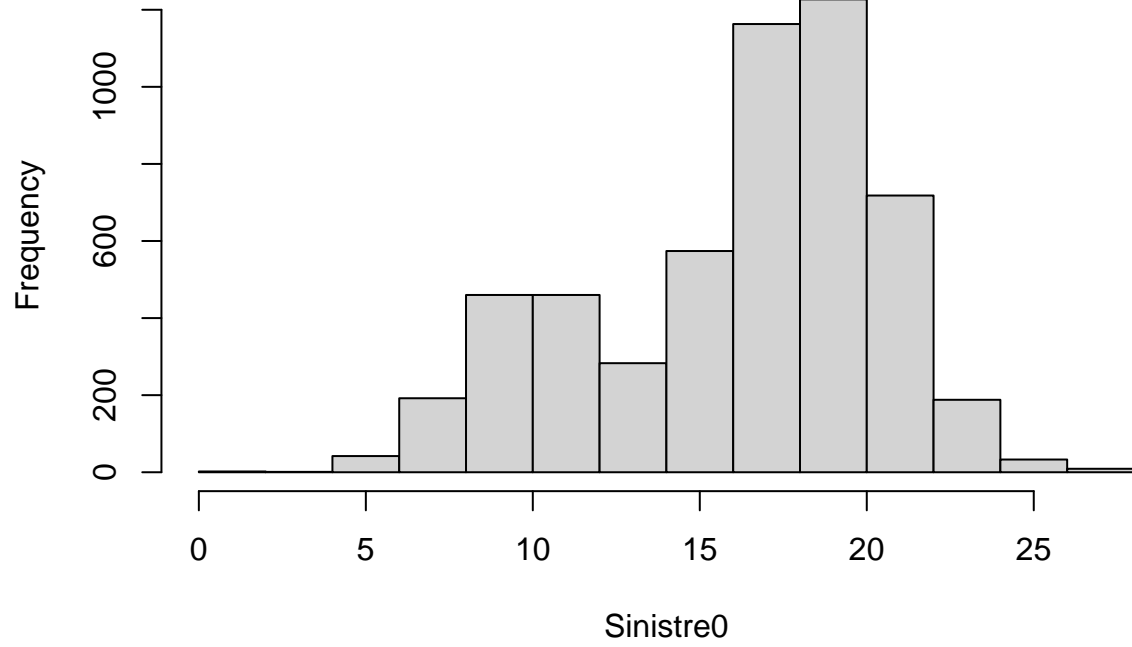
Histogram of RUC



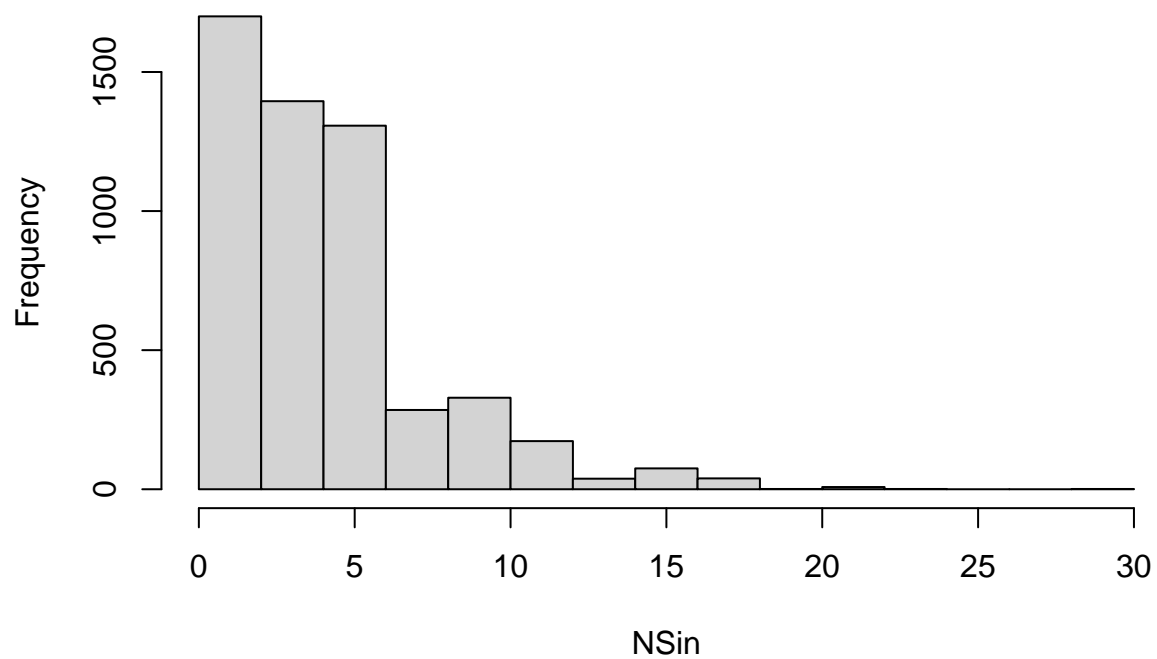
Histogram of $\log_{10}(\text{RUC})$

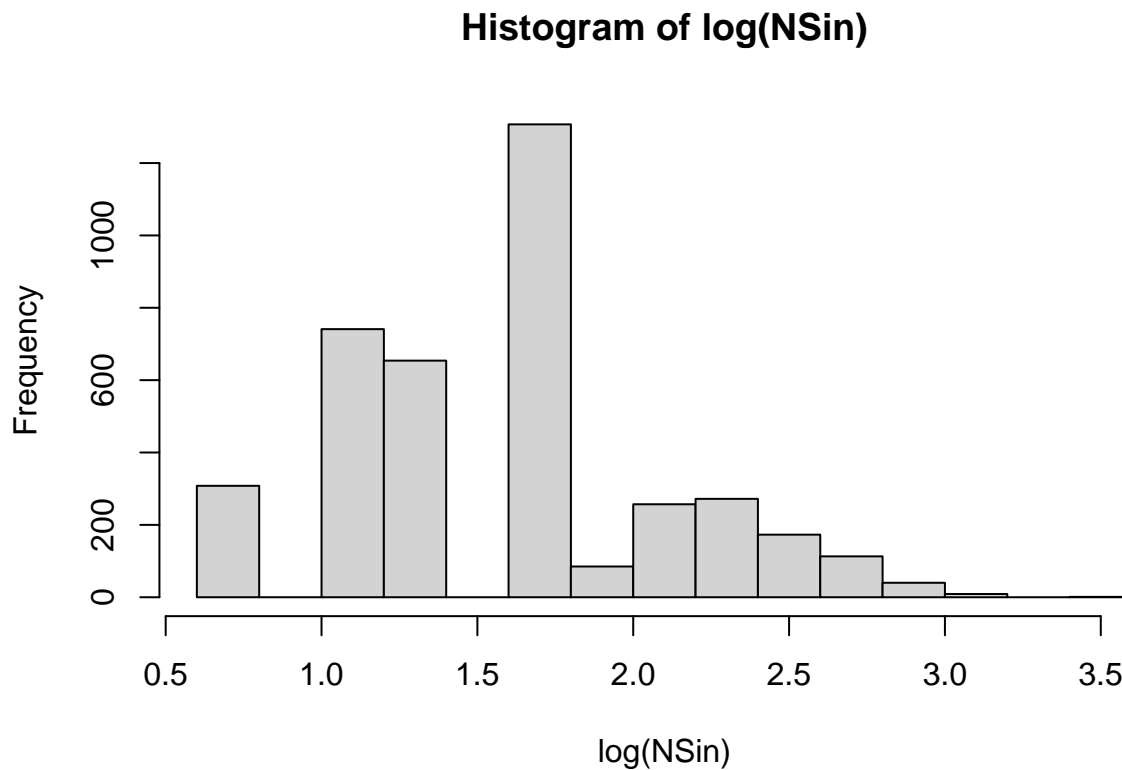


Histogram of Sinistre0



Histogram of NSin





```
## Le chargement a nécessité le package : Hmisc
## Le chargement a nécessité le package : lattice
## Le chargement a nécessité le package : Formula
##
## Attachement du package : 'Hmisc'
## L'objet suivant est masqué depuis 'package:psych':
##
##     describe
## Les objets suivants sont masqués depuis 'package:questionr':
##
##     describe, wtd.mean, wtd.table, wtd.var
## Les objets suivants sont masqués depuis 'package:dplyr':
##
##     src, summarize
## Les objets suivants sont masqués depuis 'package:base':
##
##     format.pval, units
## funModeling v.1.9.4 :)
## Examples and tutorials at livebook.datascienceheroes.com
## / Now in Spanish: librovivodecienciadedatos.ai
##
## Attachement du package : 'funModeling'
```


L'objet suivant est masqué depuis 'package:questionr':

##

freq

##	variable	q_zeros	p_zeros	q_na	p_na	q_inf	p_inf	type	unique
## 1	pcs	0	0.00	0	0	0	0	factor	8
## 2	RUC	0	0.00	0	0	0	0	numeric	249
## 3	cs	0	0.00	0	0	0	0	factor	4
## 4	reves	0	0.00	0	0	0	0	integer	24
## 5	crevpp	0	0.00	0	0	0	0	factor	4
## 6	region	0	0.00	0	0	0	0	factor	8
## 7	habi	1352	25.26	0	0	0	0	factor	9
## 8	Ahabi	0	0.00	0	0	0	0	factor	5
## 9	Atyph	0	0.00	0	0	0	0	factor	3
## 10	agecat	0	0.00	0	0	0	0	factor	4
## 11	Acompm	0	0.00	0	0	0	0	factor	4
## 12	nbpers	0	0.00	0	0	0	0	integer	10
## 13	enfants	0	0.00	0	0	0	0	factor	2
## 14	Anat	0	0.00	0	0	0	0	factor	3
## 15	Bauto	443	8.28	0	0	0	0	numeric	2
## 16	Nbadulte	0	0.00	0	0	0	0	integer	8
## 17	Sinistre1	4085	76.33	0	0	0	0	numeric	298
## 18	Sinistre2	4797	89.63	0	0	0	0	numeric	112
## 19	Sinistre3	1780	33.26	0	0	0	0	numeric	818
## 20	Police1	773	14.44	0	0	0	0	numeric	1894
## 21	Police2	102	1.91	0	0	0	0	numeric	3740
## 22	Police3	412	7.70	0	0	0	0	numeric	1863
## 23	durPolice1	773	14.44	0	0	0	0	numeric	1296
## 24	Durée	23	0.43	0	0	0	0	integer	454
## 25	NSin	1392	26.01	0	0	0	0	integer	20
## 26	censure	2045	38.21	0	0	0	0	integer	2
## 27	Sinistre0	0	0.00	0	0	0	0	numeric	5352

##	variable	mean	std_dev	variation_coef	p_01	p_05
## 1	RUC	6.277521e+03	3.709063e+03	0.5908484	1451.613000	2291.667000
## 2	reves	1.487995e+04	7.460939e+04	5.0140883	3500.000000	4500.000000
## 3	nbpers	3.038303e+00	1.409790e+00	0.4640055	1.000000	1.000000
## 4	Bauto	9.172272e-01	2.755642e-01	0.3004318	0.000000	0.000000
## 5	Nbadulte	2.388453e+00	1.049460e+00	0.4393889	1.000000	1.000000
## 6	Sinistre1	1.242663e+00	9.060978e+00	7.2915835	0.000000	0.000000
## 7	Sinistre2	1.615049e-01	1.150240e+00	7.1220173	0.000000	0.000000
## 8	Sinistre3	1.837128e+00	2.733674e+00	1.4880148	0.000000	0.000000
## 9	Police1	3.750700e+00	5.020503e+00	1.3385510	0.000000	0.000000
## 10	Police2	1.301746e+01	1.326108e+01	1.0187154	0.000000	0.642750
## 11	Police3	2.110487e+00	2.422230e+00	1.1477112	0.000000	0.000000
## 12	durPolice1	5.190665e+08	3.797352e+10	73.1573447	0.000000	0.000000
## 13	Durée	2.491054e+02	6.299362e+02	2.5287941	1.000000	4.000000
## 14	NSin	4.249253e+00	3.811811e+00	0.8970544	0.000000	0.000000
## 15	censure	6.178999e-01	4.859462e-01	0.7864482	0.000000	0.000000
## 16	Sinistre0	1.617321e+01	4.295643e+00	0.2656023	6.266625	8.219549

##	p_25	p_50	p_75	p_95	p_99	skewness
## 1	3.823529e+03	5.500000e+03	7812.500000	13235.29000	19117.65000	2.1021792
## 2	8.500000e+03	1.125000e+04	16250.000000	27500.00000	40000.00000	42.4537837
## 3	2.000000e+00	3.000000e+00	4.000000	5.00000	6.00000	0.4071934
## 4	1.000000e+00	1.000000e+00	1.000000	1.00000	1.00000	-3.0284495

```
## 5 2.000000e+00 2.000000e+00 3.000000 4.00000 5.00000 1.0696991
## 6 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000 3.90000 25.89800 19.4471373
## 7 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000 0.65000 3.09800 16.4665539
## 8 0.000000e+00 7.050000e-01 2.560000 7.29900 12.33215 2.8096043
## 9 5.375000e-01 1.950000e+00 5.017000 13.45450 23.08685 2.8813781
## 10 3.828750e+00 9.060000e+00 17.950000 39.27640 60.74648 2.1722796
## 11 5.200000e-01 1.420000e+00 2.832750 6.63580 11.69000 2.9798673
## 12 7.254295e-02 4.387771e-01 2.327894 10.82940 40.35390 73.1368593
## 13 2.300000e+01 4.250000e+01 233.000000 1073.00000 2944.00000 7.0239595
## 14 0.000000e+00 4.000000e+00 6.000000 12.00000 16.00000 1.1551963
## 15 0.000000e+00 1.000000e+00 1.000000 1.00000 1.00000 -0.4852836
## 16 1.327694e+01 1.725581e+01 19.271757 21.77459 23.64269 -0.6010396
##      kurtosis      iqr      range_98
## 1      10.998320 3988.971000      [1451.613, 19117.65]
## 2     1848.653446 7750.000000      [3500, 40000]
## 3        2.739259  2.000000      [1, 6]
## 4       10.171507  0.000000      [0, 1]
## 5        4.563682  1.000000      [1, 5]
## 6       553.060764  0.000000      [0, 25.898]
## 7       342.795883  0.000000      [0, 3.097999999999996]
## 8       17.255933  2.560000      [0, 12.33215]
## 9       15.749212  4.479500      [0, 23.08685]
## 10      10.342418 14.121250      [0, 60.74647999999999]
## 11      19.228753  2.312750      [0, 11.69]
## 12     5350.000187  2.255351      [0, 40.3538973725331]
## 13       71.130104 210.000000      [1, 2944]
## 14        4.912461  6.000000      [0, 16]
## 15        1.235500  1.000000      [0, 1]
## 16        2.532559  5.994818 [6.26662546758083, 23.6426937685246]
##      range_80
## 1      [2741.936, 11029.41]
## 2      [6500, 22500]
## 3      [1, 5]
## 4      [1, 1]
## 5      [1, 4]
## 6      [0, 1.25]
## 7      [0, 0.23]
## 8      [0, 5.29]
## 9      [0, 9.6745]
## 10     [1.3805, 30.05]
## 11     [0.1, 4.854000000000001]
## 12     [0, 7.05746495927491]
## 13     [7, 639]
## 14     [0, 10]
## 15     [0, 1]
## 16 [9.39437980247863, 20.9060359215896]

##      0%      25%      50%      75%      100%
## 277.7778 3823.5290 5500.0000 7812.5000 35294.1200
```

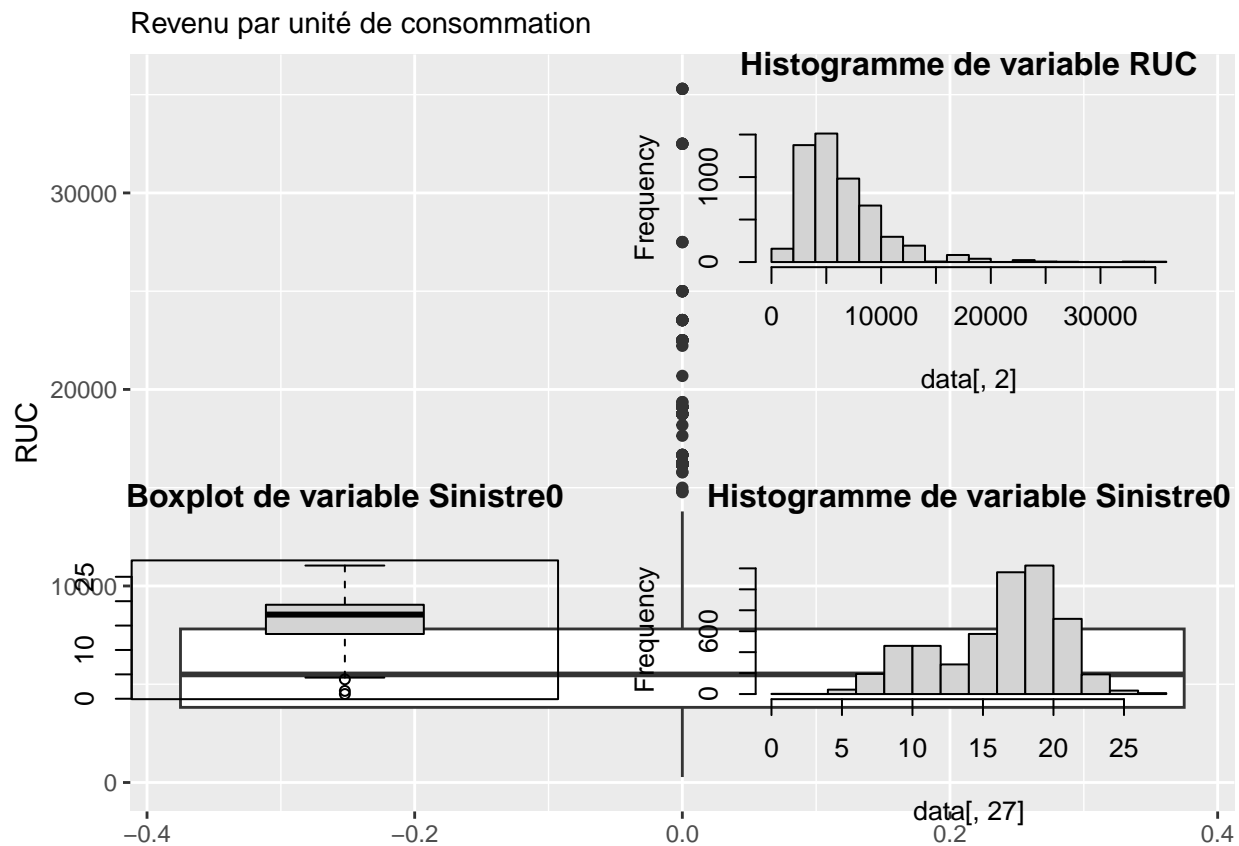
On a représenté les boxplots des variables RUC et Sinistre0. Pour écraser les grandes valeurs, on utilise la fonction log.

```
par(mfrow=c(2,2))
boxplot(log(data[,2]),main="Boxplot de variable RUC")
```

```
ggplot(data, aes(y=RUC, fill=Durée)) + geom_boxplot(orientation = "x") + labs(subtitle = "Revenu par un")
```

```
## Warning: The following aesthetics were dropped during statistical transformation: fill
## i This can happen when ggplot fails to infer the correct grouping structure in
## the data.
## i Did you forget to specify a `group` aesthetic or to convert a numerical
## variable into a factor?
```

```
hist(data[,2],main="Histogramme de variable RUC")
# erreur ici chez Eva : stat_density requires an x or y aesthetic ggplot(data = data.frame(data[,2]))
boxplot(data[,27],main="Boxplot de variable Sinistre0")
hist(data[,27],main="Histogramme de variable Sinistre0")
```

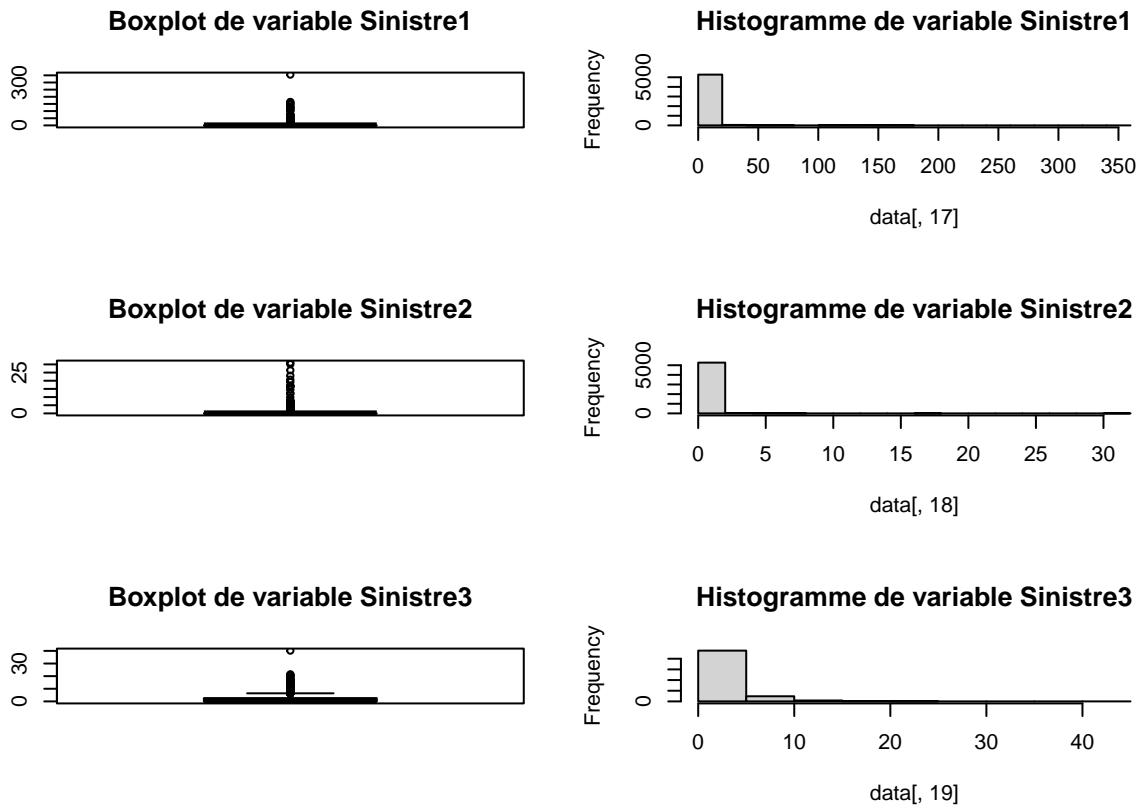


```
density(data[,27])
```

```
##
## Call:
## density.default(x = data[, 27])
##
## Data: data[, 27] (5352 obs.); Bandwidth 'bw' = 0.6943
##
##      x          y
## Min.   :-1.118   Min.   :1.270e-06
## 1st Qu.: 6.509   1st Qu.:8.995e-04
## Median :14.136   Median :2.309e-02
## Mean   :14.136   Mean   :3.275e-02
## 3rd Qu.:21.763   3rd Qu.:4.731e-02
```

```
## Max. :29.390 Max. :1.226e-01
```

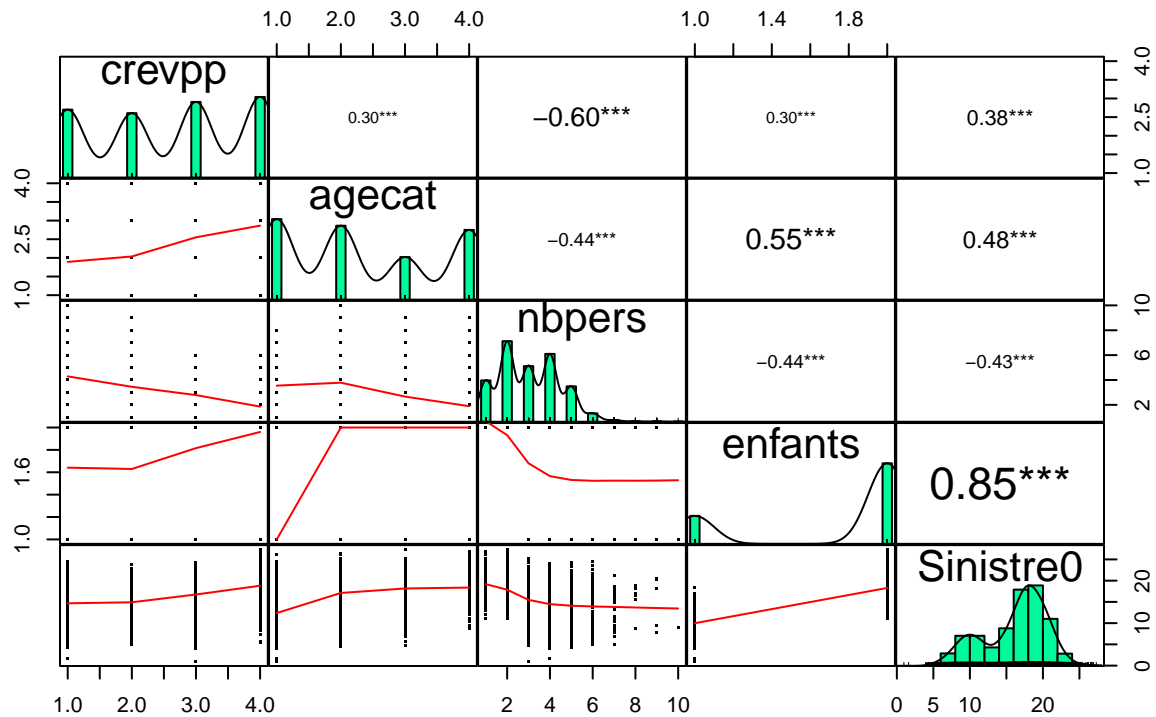
```
par(mfrow=c(3,2))
boxplot(data[,17],main="Boxplot de variable Sinistre1")
hist(data[,17],main="Histogramme de variable Sinistre1")
boxplot(data[,18],main="Boxplot de variable Sinistre2")
hist(data[,18],main="Histogramme de variable Sinistre2")
boxplot(data[,19],main="Boxplot de variable Sinistre3")
hist(data[,19],main="Histogramme de variable Sinistre3")
```



1.2 Analyses bivariées

A travers un graphique des variables numériques deux à deux, nous regardons comment évoluent les variables ensemble, et s'il y a des "tendances" reconnaissables. Par exemple, sur le graphique ci-dessous, qui contient les analyses bivariées complètes, on voit une tendance linéaire croissante (et corrélation positive significative) entre *pib* et *recc*. (fonction trouvée à ref. 7: analyse bi + corrélations).

Correlations les plus significatives de Sinistre0 (variables 2 par 2)



On peut constater que les variabilités des Sinistres des 3 types sont toutes grandes.

```
aggregate(data[,c(17,18,19,27)],list(data[,1]),mean)
```

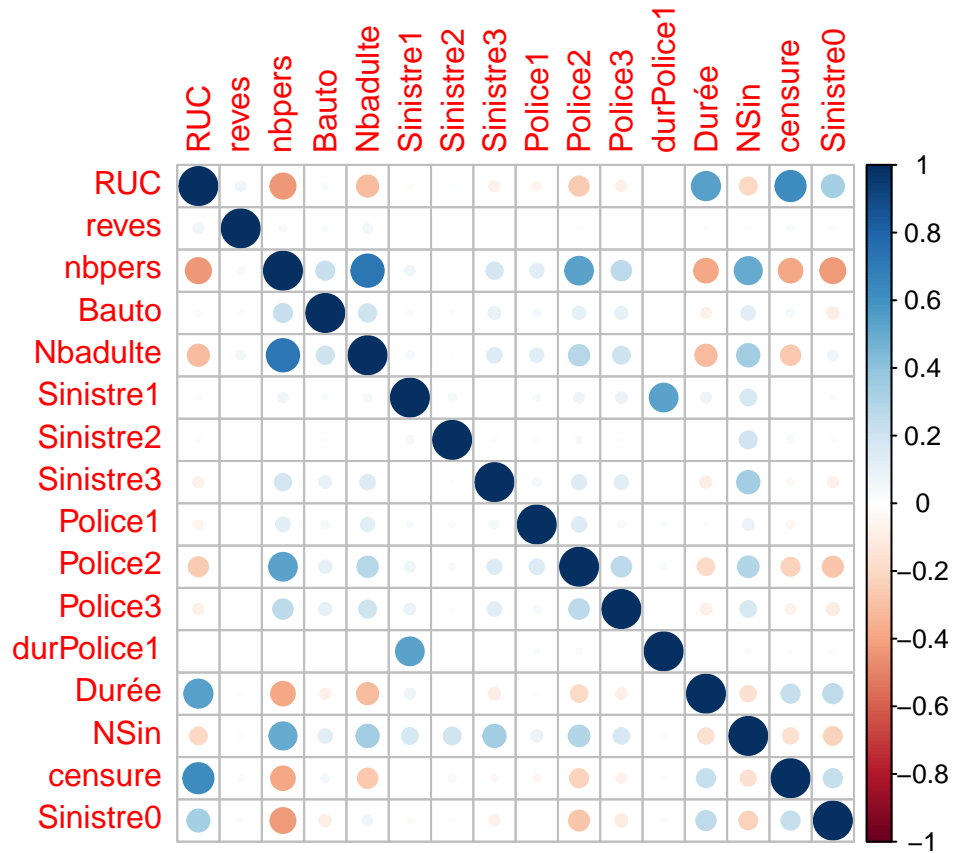
```
##              Group.1 Sinistre1 Sinistre2 Sinistre3
## 1      Agr. exploitants 0.4860776 0.009051724 2.983017
## 2    Artisans, comm., chefs d'ent. 0.3559116 0.097458564 1.836381
## 3  Autres pers. sans activite prof. 1.4143169 0.107540984 1.761721
## 4 Cadres et prof. intellectuelles sup. 1.6937083 0.184058333 2.249010
## 5      Employes 1.2392184 0.159409429 1.771824
## 6      Ouvriers 1.6113979 0.128146194 1.841745
## 7  Professions intermediaires 1.7689008 0.207553551 2.214859
## 8      Retraites 0.5480867 0.185876093 1.395999
## Sinistre0
## 1 15.01849
## 2 16.12462
## 3 17.41922
## 4 16.83139
## 5 15.57469
## 6 14.30565
## 7 15.66231
## 8 18.36901
```

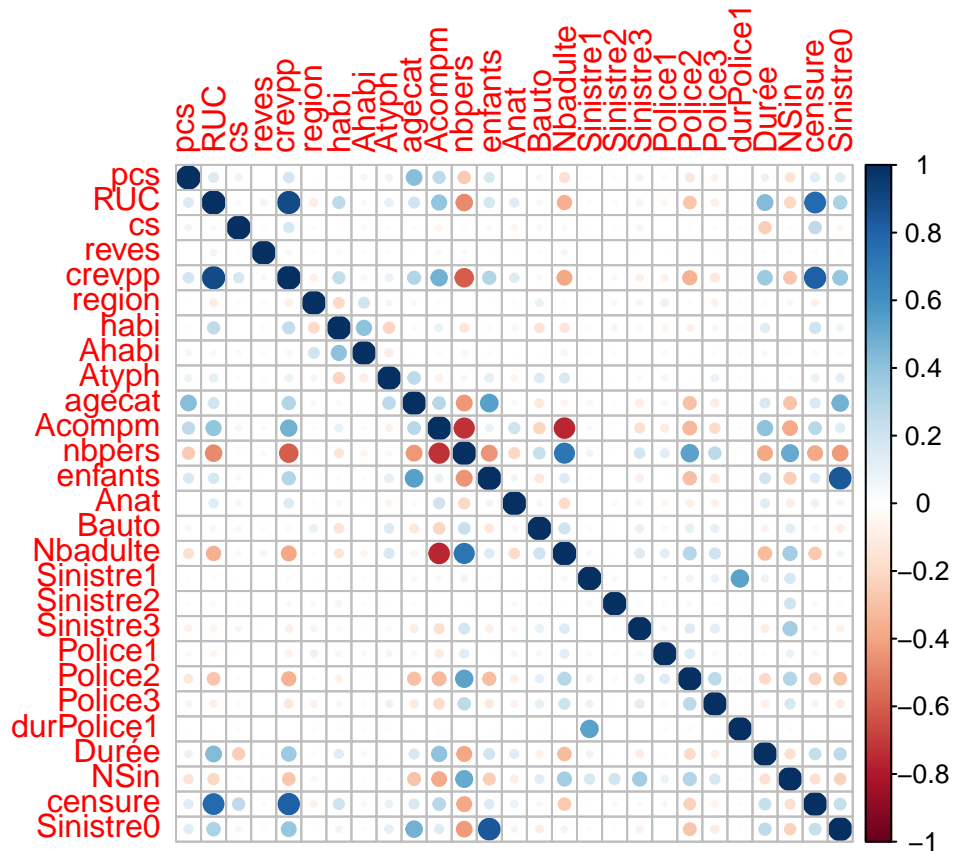
#Representation des correlations

```
variables_quantitatives = data %>% select_if(is.numeric) %>% cor()
kable(variables_quantitatives, digits=3)
```

	RUC	reves	nbpers	Bauto	Nbadulte	Sinistre1	Sinistre2	Sinistre3	Police1	Police2	Police3	durPolice	Durée	NSin	censur	Sinistre0
RUC	1.000	0.066	-	0.028	-	-	0.017	-	-	-	-	0.005	0.549	-	0.628	0.338
reves			0.436	0.311	0.018		0.075	0.051	0.256	0.080			0.201			
nbpers						0.001	0.001	0.002								
Bauto																
Nbadulte																
Sinistre1																
Sinistre2																
Sinistre3																
Police1																
Police2																
Police3																
durPolice																
Durée																
NSin																
censur																
Sinistre0																

```
corrplot(variables_quantitatives)
```





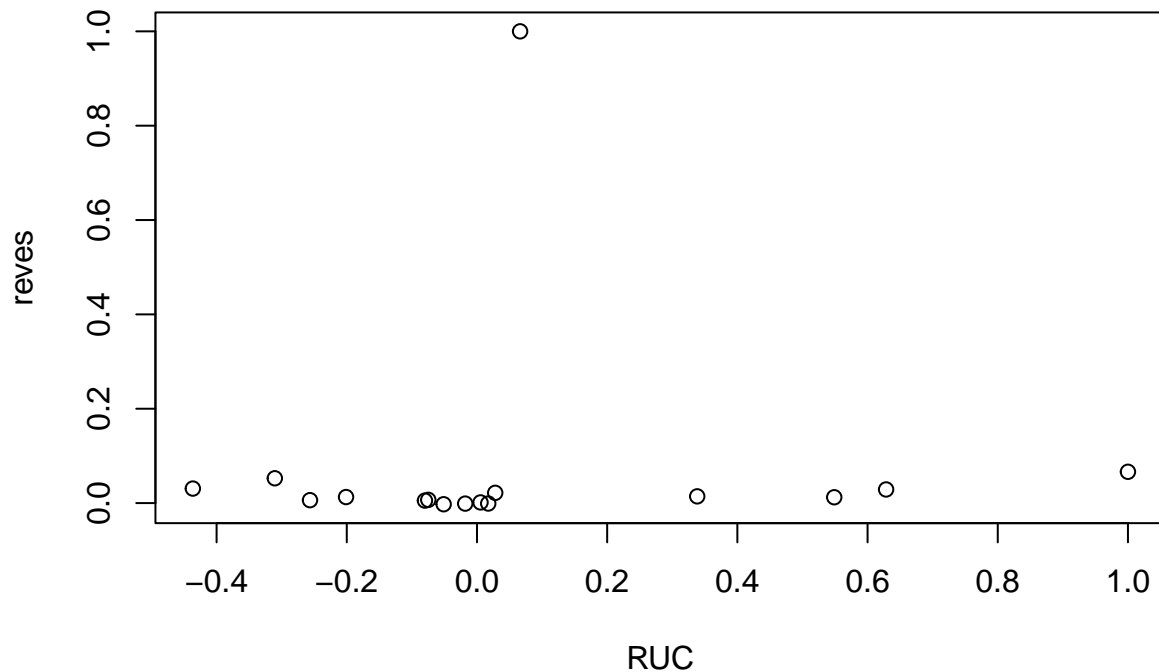
```
# Boξplot
# boxplot(data$column_name, main = "Boξplot of column_name", xlab = "Column name", ylab = "Values")

# Histogram
# hist(data$column_name, main = "Histogram of column_name", xlab = "Values", ylab = "Frequency", col =

# Estimateurs de la densit  
# density_plot <- density(data$column_name, main = "Density Plot of column_name", xlab = "Values", ylab
# lines(density_plot, col = "red")

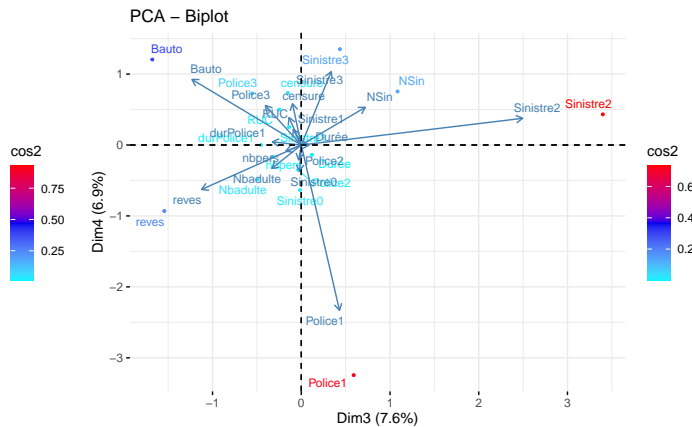
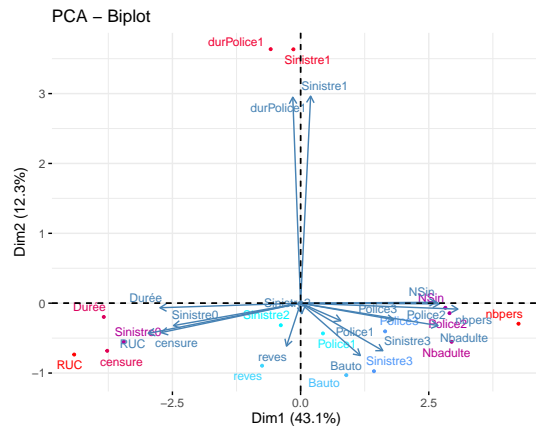
# Statistiques basiques
# summary(data$column_name)

plot(variables_quantitatives)
```

```
## **Results for the Principal Component Analysis (PCA)**
## The analysis was performed on 16 individuals, described by 16 variables
## *The results are available in the following objects:
##
##   name                description
## 1  "$eig"              "eigenvalues"
## 2  "$var"              "results for the variables"
## 3  "$var$coord"        "coord. for the variables"
## 4  "$var$cor"          "correlations variables - dimensions"
## 5  "$var$cos2"         "cos2 for the variables"
## 6  "$var$contrib"      "contributions of the variables"
## 7  "$ind"              "results for the individuals"
## 8  "$ind$coord"        "coord. for the individuals"
## 9  "$ind$cos2"         "cos2 for the individuals"
## 10 "$ind$contrib"      "contributions of the individuals"
## 11 "$call"             "summary statistics"
## 12 "$call$centre"      "mean of the variables"
## 13 "$call$ecart.type"  "standard error of the variables"
## 14 "$call$row.w"       "weights for the individuals"
## 15 "$call$col.w"       "weights for the variables"
##
##   eigenvalue percentage of variance cumulative percentage of variance
## comp 1      6.90                43.11                43.11
## comp 2      1.97                12.28                55.39
## comp 3      1.21                 7.59                62.98
## comp 4      1.10                 6.88                69.87
## comp 5      1.08                 6.73                76.59
```

## comp 6	0.86	5.35	81.94
## comp 7	0.81	5.03	86.98
## comp 8	0.69	4.30	91.28
## comp 9	0.42	2.65	93.93
## comp 10	0.33	2.08	96.02
## comp 11	0.29	1.80	97.82
## comp 12	0.17	1.04	98.86
## comp 13	0.12	0.78	99.64
## comp 14	0.04	0.26	99.90
## comp 15	0.02	0.10	100.00



1.3 Dépendances entre les variables

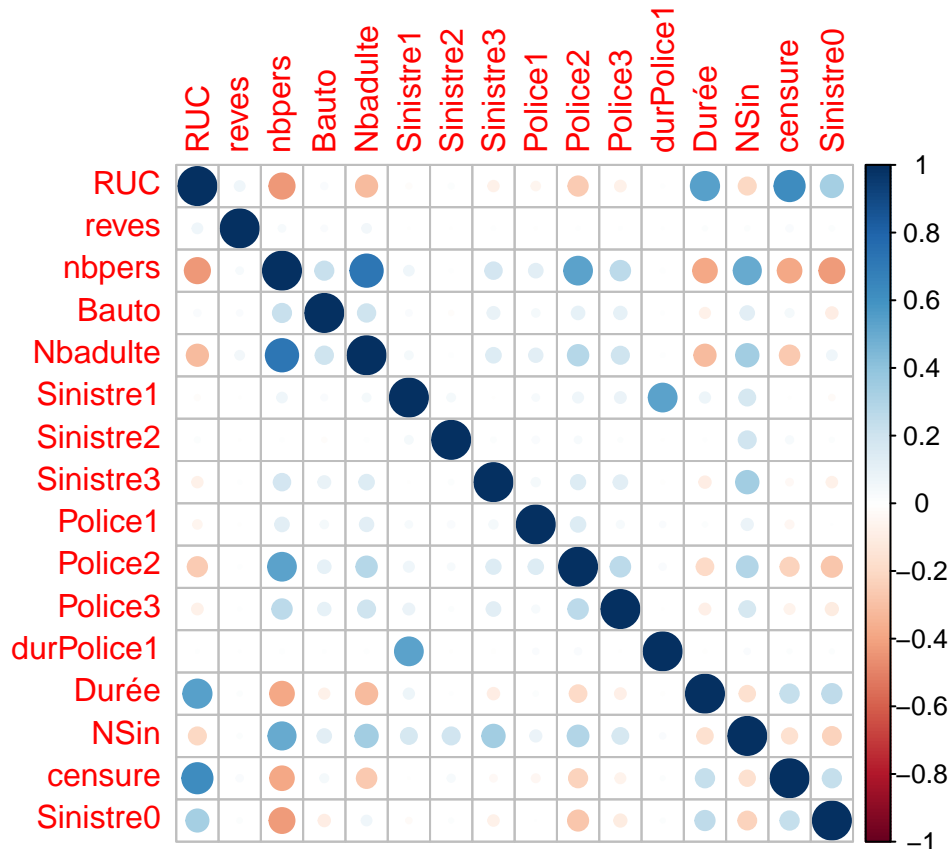
Si les variables explicatives sont fortement corrélées entre elles, cela peut rendre l'interprétation du coefficient de corrélation plus difficile. Nous allons vérifier la corrélation entre les variables explicatives en utilisant le coefficient V de Cramér. On peut utiliser la fonction `assocstats` pour calculer les coefficients V de Cramér pour toutes les paires de variables et stocker les résultats dans une matrice, puis créer une heatmap à partir de cette matrice en utilisant la fonction `heatmap` :

2. Modélisation des sinistres et des primes pures

2.1 Problème d'endogénéité dans les variables

```
# Selection des variables quantitatives
quant_vars <- sapply(data, is.numeric)

# Matrice de corrélation
cor_matrix <- cor(data[, quant_vars])
corrplot(cor_matrix)
```



```
# Tests de causalité de Granger pour toutes les paires de variables
# la fonction grangertest() permet de tester si une variable X est un prédicteur significatif d'une aut
quant_vars <- as.matrix(quant_vars)
d = data[, quant_vars]
for(i in 1:(ncol(d) - 1)){
  for(j in (i + 1):ncol(d)){

    result <- grangertest(d[,i], d[,j], order = 2)

    print(paste("Granger causality test entre ", colnames(d)[i],
                " et ", colnames(d)[j], ":", result[2,4]))
  }
}
```

```
## [1] "Granger causality test entre RUC et reves : 0.0923837756616444"
## [1] "Granger causality test entre RUC et nbpers : 0.00124220485708754"
## [1] "Granger causality test entre RUC et Bauto : 0.000242581095264626"
## [1] "Granger causality test entre RUC et Nbadulte : 0.0172836315703496"
## [1] "Granger causality test entre RUC et Sinistre1 : 0.709483878283177"
## [1] "Granger causality test entre RUC et Sinistre2 : 0.0951611194510821"
## [1] "Granger causality test entre RUC et Sinistre3 : 0.0981000677158548"
## [1] "Granger causality test entre RUC et Police1 : 0.737522698532588"
## [1] "Granger causality test entre RUC et Police2 : 0.0123843096814322"
## [1] "Granger causality test entre RUC et Police3 : 0.912874664962623"
## [1] "Granger causality test entre RUC et durPolice1 : 0.234660821645245"
## [1] "Granger causality test entre RUC et Durée : 0.00278908899804597"
## [1] "Granger causality test entre RUC et NSin : 0.283574612045495"
```

```

## [1] "Granger causality test entre RUC et censure : 5.81376380854141e-09"
## [1] "Granger causality test entre RUC et Sinistre0 : 0.00736870516547412"
## [1] "Granger causality test entre reves et nbpers : 0.18968408454619"
## [1] "Granger causality test entre reves et Bauto : 0.00138772460027939"
## [1] "Granger causality test entre reves et Nbadulte : 0.36176438407316"
## [1] "Granger causality test entre reves et Sinistre1 : 0.970631057503471"
## [1] "Granger causality test entre reves et Sinistre2 : 0.934632216327838"
## [1] "Granger causality test entre reves et Sinistre3 : 0.87081127385712"
## [1] "Granger causality test entre reves et Police1 : 0.465186907224791"
## [1] "Granger causality test entre reves et Police2 : 0.366262300097807"
## [1] "Granger causality test entre reves et Police3 : 0.38259062929957"
## [1] "Granger causality test entre reves et durPolice1 : 0.99606824048349"
## [1] "Granger causality test entre reves et Durée : 0.89938550170445"
## [1] "Granger causality test entre reves et NSin : 0.956546525314893"
## [1] "Granger causality test entre reves et censure : 0.45554355536769"
## [1] "Granger causality test entre reves et Sinistre0 : 0.365219373654749"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et Bauto : 0.212820782315102"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et Nbadulte : 0.193083295586577"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et Sinistre1 : 0.558110531140403"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et Sinistre2 : 0.49305523182955"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et Sinistre3 : 0.944191036071153"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et Police1 : 0.0381762395658839"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et Police2 : 0.38758443522889"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et Police3 : 0.79937810796575"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et durPolice1 : 0.272894547109501"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et Durée : 0.0905118575346298"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et NSin : 0.0480562871228446"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et censure : 0.00455159012190975"
## [1] "Granger causality test entre nbpers et Sinistre0 : 0.362139149025635"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et Nbadulte : 0.210225721893678"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et Sinistre1 : 0.999921147172683"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et Sinistre2 : 0.73890292789447"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et Sinistre3 : 0.993727606162102"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et Police1 : 0.246862506387724"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et Police2 : 0.210858520434915"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et Police3 : 0.247303227505292"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et durPolice1 : 0.916976635532682"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et Durée : 0.189726004205516"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et NSin : 0.507864976570639"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et censure : 0.00198971669715613"
## [1] "Granger causality test entre Bauto et Sinistre0 : 0.124812334872418"
## [1] "Granger causality test entre Nbadulte et Sinistre1 : 0.358541171759482"
## [1] "Granger causality test entre Nbadulte et Sinistre2 : 0.683643172870649"
## [1] "Granger causality test entre Nbadulte et Sinistre3 : 0.954146981569278"
## [1] "Granger causality test entre Nbadulte et Police1 : 0.130836636428486"
## [1] "Granger causality test entre Nbadulte et Police2 : 0.659774129946827"
## [1] "Granger causality test entre Nbadulte et Police3 : 0.50444501848523"
## [1] "Granger causality test entre Nbadulte et durPolice1 : 0.275432907148821"
## [1] "Granger causality test entre Nbadulte et Durée : 0.0210922967848045"
## [1] "Granger causality test entre Nbadulte et NSin : 0.381605011258915"
## [1] "Granger causality test entre Nbadulte et censure : 0.00262936227638448"
## [1] "Granger causality test entre Nbadulte et Sinistre0 : 0.348576217380067"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre1 et Sinistre2 : 0.827711518387258"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre1 et Sinistre3 : 0.570989882925704"

```

```

## [1] "Granger causality test entre Sinistre1 et Police1 : 0.736836059511227"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre1 et Police2 : 0.288643457072958"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre1 et Police3 : 0.6554707617976"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre1 et durPolice1 : 0.976563675926668"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre1 et Durée : 0.473758676644474"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre1 et NSin : 0.36196682034159"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre1 et censure : 0.38432432846914"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre1 et Sinistre0 : 0.134747038950314"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre2 et Sinistre3 : 0.300524713276513"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre2 et Police1 : 0.10246562700862"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre2 et Police2 : 0.158801981749613"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre2 et Police3 : 0.370757787884079"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre2 et durPolice1 : 0.98055544905637"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre2 et Durée : 0.520300685937179"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre2 et NSin : 0.498259153148845"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre2 et censure : 0.652951329078083"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre2 et Sinistre0 : 0.355856344901385"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre3 et Police1 : 0.201632295337263"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre3 et Police2 : 0.0553060810276148"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre3 et Police3 : 0.688841817622712"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre3 et durPolice1 : 0.820036164981182"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre3 et Durée : 0.0979144699157492"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre3 et NSin : 0.0590920136482579"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre3 et censure : 0.420641926037821"
## [1] "Granger causality test entre Sinistre3 et Sinistre0 : 0.541651999430448"
## [1] "Granger causality test entre Police1 et Police2 : 0.667133611759315"
## [1] "Granger causality test entre Police1 et Police3 : 0.00354879403230157"
## [1] "Granger causality test entre Police1 et durPolice1 : 0.785179474093198"
## [1] "Granger causality test entre Police1 et Durée : 0.132813120000447"
## [1] "Granger causality test entre Police1 et NSin : 0.0203246545252461"
## [1] "Granger causality test entre Police1 et censure : 0.204917633529259"
## [1] "Granger causality test entre Police1 et Sinistre0 : 0.846171264937825"
## [1] "Granger causality test entre Police2 et Police3 : 0.310224237087878"
## [1] "Granger causality test entre Police2 et durPolice1 : 0.055655850228255"
## [1] "Granger causality test entre Police2 et Durée : 0.277199668621766"
## [1] "Granger causality test entre Police2 et NSin : 0.0239566356380064"
## [1] "Granger causality test entre Police2 et censure : 0.0692500258718777"
## [1] "Granger causality test entre Police2 et Sinistre0 : 0.269125934485199"
## [1] "Granger causality test entre Police3 et durPolice1 : 0.653405172596898"
## [1] "Granger causality test entre Police3 et Durée : 0.0113542062495392"
## [1] "Granger causality test entre Police3 et NSin : 0.000464286639831717"
## [1] "Granger causality test entre Police3 et censure : 3.1569081679773e-05"
## [1] "Granger causality test entre Police3 et Sinistre0 : 0.0436598567098487"
## [1] "Granger causality test entre durPolice1 et Durée : 0.961630268620227"
## [1] "Granger causality test entre durPolice1 et NSin : 0.939390629133645"
## [1] "Granger causality test entre durPolice1 et censure : 0.567426085872365"
## [1] "Granger causality test entre durPolice1 et Sinistre0 : 0.0396821681991153"
## [1] "Granger causality test entre Durée et NSin : 0.572377359207435"
## [1] "Granger causality test entre Durée et censure : 0.000658970825685853"
## [1] "Granger causality test entre Durée et Sinistre0 : 0.0983144988858764"
## [1] "Granger causality test entre NSin et censure : 0.774359173306188"
## [1] "Granger causality test entre NSin et Sinistre0 : 0.647017398450364"
## [1] "Granger causality test entre censure et Sinistre0 : 0.151342377417034"

```

Si on fixe $\alpha = 0.05$, alors il y a une causalité entre Sinistre0 et les variables suivantes : RUC/durPolice1. La méthode des MCO donne l'estimateur le plus efficient s'il n'y a pas d'endogénéité.

S'il y a de l'endogénéité, OLS (MCO) va donner des résultats inconsistants. L'estimateur des variables instrumentales va être consistant, mais inefficent.

```
# Régression linéaire multiple
modell1 <- lm(Sinistre0 ~ ., data = data)

# Afficher le résumé du modèle
summary(modell1)

##
## Call:
## lm(formula = Sinistre0 ~ ., data = data)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -9.5038 -1.4182 -0.0375  1.4986  8.0183
##
## Coefficients: (5 not defined because of singularities)
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)    1.722e+01  5.198e-01  33.135  <2e-16
## pcsArtisans, comm., chefs d'ent.    1.050e-01  2.608e-01   0.403  0.6873
## pcsAutres pers. sans activite prof.    3.288e-02  2.660e-01   0.124  0.9016
## pcsCadres et prof. intellectuelles sup.    7.633e-02  2.369e-01   0.322  0.7473
## pcsEmployes    -6.494e-02  2.232e-01  -0.291  0.7711
## pcsOuvriers    -1.258e-01  2.145e-01  -0.587  0.5575
## pcsProfessions intermediaires    -1.499e-01  2.227e-01  -0.673  0.5009
## pcsRetraites    -3.271e-02  2.485e-01  -0.132  0.8953
## RUC              2.154e-04  2.187e-05   9.849  <2e-16
## csModeste        6.520e-02  2.566e-01   0.254  0.7995
## csMoyenne Inf     1.390e-01  2.043e-01   0.680  0.4963
## csMoyenne Sup     1.672e-01  1.570e-01   1.065  0.2868
## reves            -3.535e-07  3.969e-07  -0.891  0.3731
## crevpp2eme quartile    -5.961e-02  1.399e-01  -0.426  0.6701
## crevpp3eme quartile    -1.857e-01  1.962e-01  -0.946  0.3440
## crevpp4eme quartile    -2.174e-01  2.445e-01  -0.889  0.3741
## region2           -3.011e-01  2.113e-01  -1.425  0.1542
## region3           -2.570e-01  2.304e-01  -1.116  0.2646
## region4           -2.103e-01  2.198e-01  -0.957  0.3388
## region5           -1.379e-01  2.136e-01  -0.645  0.5187
## region7            7.066e-02  2.208e-01   0.320  0.7490
## region8           -2.338e-01  2.167e-01  -1.079  0.2807
## region9           -1.347e-01  2.222e-01  -0.606  0.5443
## habi1              4.859e-02  1.266e-01   0.384  0.7011
## habi2              9.944e-02  1.435e-01   0.693  0.4885
## habi3             -1.135e-01  1.439e-01  -0.789  0.4304
## habi4             -1.486e-01  1.289e-01  -1.153  0.2488
## habi5             -9.448e-02  1.280e-01  -0.738  0.4603
## habi6             -9.277e-03  1.207e-01  -0.077  0.9387
## habi7              5.967e-02  9.343e-02   0.639  0.5231
## habi8             -1.180e-01  2.221e-01  -0.531  0.5954
## AhabiParis + Agglomeration          NA          NA          NA          NA
## AhabiUn. urb. de 10 000 a 99 999 hab.    NA          NA          NA          NA
```

## AhabiUn. urb. de 100 000 hab. et +	NA	NA	NA	NA
## AhabiUn. urb. de 2 000 a 9 999 hab.	NA	NA	NA	NA
## AtyphNon declare	1.006e-01	2.579e-01	0.390	0.6964
## AtyphProprietaire	-1.998e-02	6.863e-02	-0.291	0.7710
## agecat41-50	2.780e-03	9.272e-02	0.030	0.9761
## agecat51-60	-7.727e-02	1.126e-01	-0.686	0.4925
## agecat61-96	-1.032e-01	1.668e-01	-0.619	0.5362
## AcompmCouple avec enfant(s)	-8.070e+00	1.256e-01	-64.245	<2e-16
## AcompmCouple sans enfant	1.130e-01	1.127e-01	1.002	0.3162
## AcompmPersonne seule	1.101e-01	1.628e-01	0.676	0.4988
## nbpers	1.817e-02	6.336e-02	0.287	0.7743
## enfantsPas d'enfants	NA	NA	NA	NA
## AnatMenage francais	-2.970e-01	2.053e-01	-1.447	0.1481
## AnatNon declare	-4.437e-01	2.357e-01	-1.882	0.0599
## Bauto	1.930e-02	1.198e-01	0.161	0.8720
## Nbadulte	-2.155e-02	6.865e-02	-0.314	0.7536
## Sinistre1	-5.460e-03	3.989e-03	-1.369	0.1711
## Sinistre2	2.712e-02	2.643e-02	1.026	0.3049
## Sinistre3	5.726e-03	1.178e-02	0.486	0.6269
## Police1	8.886e-03	6.099e-03	1.457	0.1452
## Police2	2.874e-03	2.730e-03	1.053	0.2924
## Police3	6.160e-03	1.321e-02	0.466	0.6411
## durPolice1	1.137e-12	9.263e-13	1.227	0.2197
## Durée	2.832e-05	6.300e-05	0.450	0.6531
## NSin	1.200e-02	9.962e-03	1.205	0.2284
## censure	9.184e-02	1.205e-01	0.762	0.4459
##				
## (Intercept)	***			
## pcsArtisans, comm., chefs d'ent.				
## pcsAutres pers. sans activite prof.				
## pcsCadres et prof. intellectuelles sup.				
## pcsEmployes				
## pcsOuvriers				
## pcsProfessions intermediaires				
## pcsRetraites				
## RUC	***			
## csModeste				
## csMoyenne Inf				
## csMoyenne Sup				
## reve				
## crevpp2eme quartile				
## crevpp3eme quartile				
## crevpp4eme quartile				
## region2				
## region3				
## region4				
## region5				
## region7				
## region8				
## region9				
## habi1				
## habi2				
## habi3				
## habi4				

```

## habi5
## habi6
## habi7
## habi8
## AhabiParis + Agglomeration
## AhabiUn. urb. de 10 000 a 99 999 hab.
## AhabiUn. urb. de 100 000 hab. et +
## AhabiUn. urb. de 2 000 a 9 999 hab.
## AtyphNon declare
## AtyphProprietaire
## agecat41-50
## agecat51-60
## agecat61-96
## AcompmCouple avec enfant(s)          ***
## AcompmCouple sans enfant
## AcompmPersonne seule
## nbpers
## enfantsPas d'enfants
## AnatMenage francais
## AnatNon declare                      .
## Bauto
## Nbadulte
## Sinistre1
## Sinistre2
## Sinistre3
## Police1
## Police2
## Police3
## durPolice1
## Durée
## NSin
## censure
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.148 on 5298 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.7524, Adjusted R-squared:  0.7499
## F-statistic: 303.8 on 53 and 5298 DF, p-value: < 2.2e-16
summary(selectionAIC)

##
## Call:
## lm(formula = Sinistre0 ~ RUC + Acompm + Police1 + NSin, data = data)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -9.4423 -1.4309 -0.0272  1.4871  7.8258
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)    1.682e+01  8.389e-02  200.442  <2e-16 ***
## RUC             2.081e-04  8.701e-06   23.923  <2e-16 ***
## AcompmCouple avec enfant(s) -8.009e+00  7.598e-02 -105.410  <2e-16 ***
## AcompmCouple sans enfant    3.721e-02  8.351e-02    0.446   0.6560

```



```
## AcompmPersonne seule      -1.015e-02  1.025e-01  -0.099  0.9211
## Police1                   1.050e-02  5.889e-03   1.782  0.0748 .
## NSin                      1.602e-02  8.531e-03   1.878  0.0604 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.146 on 5345 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.7507, Adjusted R-squared:  0.7504
## F-statistic: 2682 on 6 and 5345 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

2.2 Modélisation de Sinistre0

2.3 Modélisation de Sinistre 1 ou 2 ou 3 (au moins un)

notamment pour Sinistre1 à 3 on choisira entre modèle gamma combiné à probit/logit, tobit, tobit généralisé ou double hurdle pour des variables bien choisies

2.4 Modèle pour le prix de Police 1 ou 2 ou 3 (au moins un)

2.5 Modèle retenu au final

Le choix du modèle retenu au final et les critères choisis devront être justifiés.

IV regressions

The four kinds of variables in IV

- Y = outcome variables
- X = endogenous, causal variable(s)
- Z = instrument(s): doivent être exogenes, càd leur influence sur Y se fait seulement via leur influence sur X, la var endogene
- W = any exogenous variables not including instruments

3. Modélisation du nombre de sinistres et tarification des nouveaux arrivants

3.1 Modèle pour le nombre de sinistres, NSin

3.2 Méthode de tarification pour les nouveaux arrivants

4. Estimation des durées

4.1 Estimateur de Kaplan-Meier

4.2 Modèle de Cox