

Projet apprentissage statistique

Ndongo Seye;

2022-08-19

1 Chargement et préparation de données réelles

Nous nommerons le jeu de données de cancer du sein METABRIC téléchargé depuis [kaggle](#) par *datacancer* dans ce projet.

1.1 Chargement, description et préparation du jeu de données:

Le jeu de données compte 1904 observations et 693 variables.

On voit que les patientes décédées du cancer ou non sont codées dans une variable catégorielle *death_from_cancer* à 3 niveaux:

- *Living*: si la patiente est en vie,
- *Died of Disease*: si la patiente est morte du cancer du sein,
- *Died of Other Causes*: si la patiente est morte d'une cause différente du cancer du sein

Pour chaque patiente, on attribue un identifiant unique *patient_id*. On donne l'âge de la patiente au moment où elle a été diagnostiquée porteuse du cancer (*age_at_dignosis*), si elle suit une chimiothérapie ou pas (*chemotherapy*), le diagnostic du nombre de mutation du cancer (*mutation_count*), la taille de la tumeur (*tumor_size*) et son état de développement (*tumor_stage*).

Nous allons coder la variable *death from cancer* en binaire où le niveau *Died of Disease*=1 et 0 pour les autres en:

- a. créant une variable Y binaire qui vaut 1 pour les patientes décédées du cancer et 0 pour les autres,
- b. ne gardant que les variables *age_at_dignosis*, *tumor_size*, *mutation_count*, *death_from_cancer* et celles allant de la colonne 32 à 693,

```
datacancer <- datacancer %>%
  select( age_at_diagnosis, tumor_size, mutation_count, Y=death_from_cancer, all_of(32:
  mutate( Y= if_else(Y=="Died of Disease",1,0) ) # pour le recodage en binaire
```

Le jeu de données compte maintenant 1904 observations et 666 colonnes.

- c. modifiant les données de mutations en variables binaires: 1 pour chaque mutation, quelque soit le code qui la décrive.

Les données de mutations se terminent par `_mut`. Elles vont de la colonne 494 à la fin du tableau.

```
datacancer[494:666] <- if_else(datacancer[494:666]==0,0,1) # si pas mutation: 0 sinon 1

datacancer %>%
  filter(is.na(mutation_count) | is.na(tumor_size))# 65 données manquantes pour l'ensem

datacancer <- datacancer %>%
  drop_na(tumor_size,mutation_count)
any(is.na(datacancer)) # pour vérifier qu'il ne reste rien de données manquantes
```

Le jeu de données *datacancer* est en fin préparée pour les parties 2 et 3. J'ai préféré supprimer les données manquantes puisqu'il n'y a qu'en tout 65 au total.

2 Prédiction

2.1 Choisir trois méthodes de prédiction vues en cours

- Méthodes de prédiction avec forêt aléatoire:

Tout d'abord un arbre de décision est un organigramme qui permet de classer des données d'entrées ou de prédire la valeur de sortie de ces données. Il est facile à interpréter et à visualiser et est préféré des méthodes à noyau [1]. En particulier, les forêts aléatoires sont robustes et pratiques en apprentissage et impliquent plusieurs arbres de décision et assemblent leurs sorties [1]. Ils permettent aussi de diminuer le risque de sur-apprentissage.

- Méthode de prédiction SVM:

Elle est simple à utiliser car nécessitant peu de paramètres. SVM est un algorithme de classification qui fonctionne en trouvant des «frontières de décision» séparant deux classes.

- Méthode de prédiction avec pénalité:

La régression pénalisée permet de gérer les corrélations entre covariables ou encore la sélection des variables. Deux types de pénalités: Lasso pour la sélection de variable et Ridge pour la corrélation entre variables. La pénalité Elastic-net est un bon compromis entre les deux autres types de pénalités.

a. aucune réduction de dimension

1. Méthodes de prédiction avec forêt aléatoire

- Séparation du jeu d'apprentissage et mise en facteur la variable Y

```
# On met la variable Y en facteur labellisée en (0="no" for Others cases) et ( 1="yes"
datacancer <- datacancer %>%
  mutate(Y=as.factor(if_else(Y==0,"no","yes") ) )

# Séparation du jeu de données en jeu de test et d'apprentissage
inTrain <- createDataPartition(
  y <- datacancer$Y,
  p=.75,
  list = FALSE
)

# jeu d'apprentissage
cancerTraining <- datacancer %>%
  slice(n=inTrain)
# jeu de test
cancerTest <- datacancer %>%
  slice(n=-inTrain)

# ctrl est un paramètre de contrôle avec validation croisée qu'on utilisera dans train
ctrl <- trainControl(
  #method = "boot",
  method="repeatedcv",
  number=10,
  repeats = 3,
  classProbs = TRUE,
  summaryFunction = twoClassSummary
)

# Ajustement
rfFit <- train(
  Y ~.,
  data = cancerTraining,
```

```

method = "rf",
tuneLength = 13,
trControl = ctrl,
metric = "ROC"
)

```

```
knitr::include_graphics("pictures/ROC_cross_validation.png", auto_pdf = T)
```

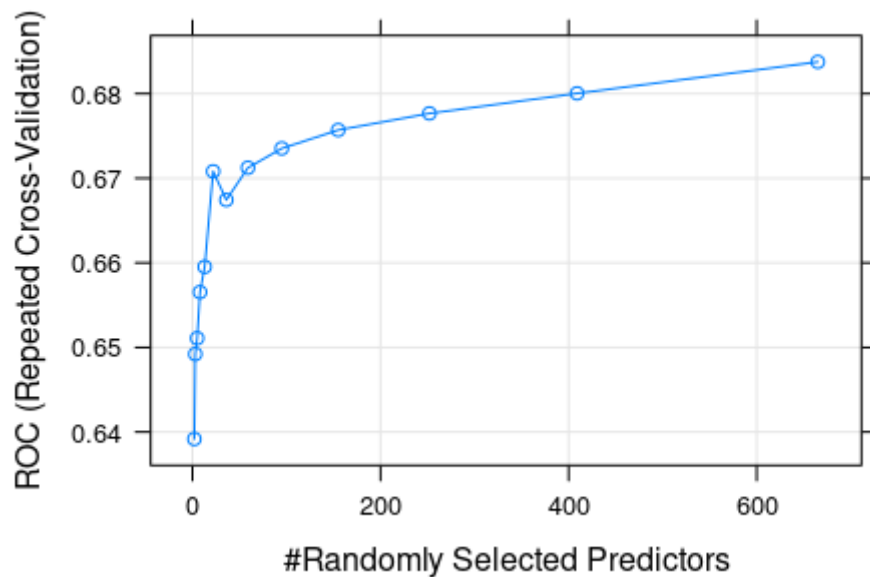


Figure 1: Courbe ROC avec validation croisée

Le modèle ayant la meilleure prédiction par validation croisée est alors le modèle final en sortie. On regardera ensuite les performances de l'arbre appris sur le jeu test

```

decision <- rfFit$finalModel

# Prédiction du modèle
prediction <- predict(decision, cancerTest)
# la matrice de confusion
confMat <- confusionMatrix(prediction, cancerTest$Y)
save(confMat, file = "data/confMat.RData")

```

```

load("data/confMat.RData")
confMat

```

l'Accuracy indique la proportion de bien classé (le pourcentage de nombres d'individus bien classés sur le jeu test). Il indique 70%. la sensibilité qui indique la proportion de vraies décelées du cancer est de 96%. On a 7% qui sont survécues ou qont mortes d'une autre façon différente non causée par le cancer du sein.

2. Méthode de prédiction SVM

- Sur le jeu d'apprentissage créé précédemment, on applique les deux méthodes de SVM: linéaire et à noyaux.

```
linearsvm <- svm(formula = Y~.,
                 data = cancerTraining,
                 type = 'C-classification',
                 kernel = 'linear'
                 )

gaussiansvm <- svm(formula = Y~.,
                  data = cancerTraining,
                  type = 'C-classification',
                  kernel = 'radial'
                  )
```

- Prédiction sur le jeu test

```
linearpred <- predict(linearsvm, newdata = cancerTest)
gaussianpred <- predict(gaussiansvm, newdata = cancerTest)

confMatSVM_lin <- confusionMatrix(data=linearpred,cancerTest$Y)
confMatSVM_gau <- confusionMatrix(data=gaussianpred,cancerTest$Y)
save(confMatSVM_lin,file="data/confMatSVM_lin.RData")
save(confMatSVM_gau,file="data/confMatSVM_gau.RData")
```

```
load(file="data/confMatSVM_lin.RData")
load(file="data/confMatSVM_gau.RData")
print(confMatSVM_lin)
```

```
## $positive
## [1] "no"
##
## $table
##           Reference
## Prediction  no yes
```

```

##      no  213  89
##      yes  94  63
##
## $overall
##      Accuracy      Kappa  AccuracyLower  AccuracyUpper  AccuracyNull
##      0.6013072      0.1073930      0.5548900      0.6464103      0.6688453
## AccuracyPValue  McNemarPValue
##      0.9989714      0.7674680
##
## $byClass
##      Sensitivity      Specificity      Pos Pred Value
##      0.6938111      0.4144737      0.7052980
##      Neg Pred Value      Precision      Recall
##      0.4012739      0.7052980      0.6938111
##      F1      Prevalence      Detection Rate
##      0.6995074      0.6688453      0.4640523
## Detection Prevalence      Balanced Accuracy
##      0.6579521      0.5541424
##
## $mode
## [1] "sens_spec"
##
## $dots
## list()
##
## attr("class")
## [1] "confusionMatrix"

```

```
print(confMatSVM_gau)
```

```

## $positive
## [1] "no"
##
## $table
##      Reference
## Prediction  no  yes
##      no  287 129
##      yes  20  23
##
## $overall
##      Accuracy      Kappa  AccuracyLower  AccuracyUpper  AccuracyNull
##      6.753813e-01  1.052163e-01  6.304286e-01  7.180558e-01  6.688453e-01
## AccuracyPValue  McNemarPValue
##      4.041379e-01  8.933764e-19

```

```
##
## $byClass
##      Sensitivity      Specificity      Pos Pred Value
##      0.9348534      0.1513158      0.6899038
##      Neg Pred Value      Precision      Recall
##      0.5348837      0.6899038      0.9348534
##      F1      Prevalence      Detection Rate
##      0.7939142      0.6688453      0.6252723
## Detection Prevalence      Balanced Accuracy
##      0.9063181      0.5430846
##
## $mode
## [1] "sens_spec"
##
## $dots
## list()
##
## attr(,"class")
## [1] "confusionMatrix"
```

3. Méthode de prédiction avec pénalité

Nous disposons de trois méthodes pour la régression pénalisée: Lasso, Ridge et Elastic

```
#jeu d'apprentissage
y.train <- cancerTraining %>%
  select(Y) %>%
  as.matrix()
y.test <- cancerTest %>%
  select(Y) %>%
  as.matrix()

x.train <- cancerTraining %>%
  select(-Y) %>%
  as.matrix()

x.test <- cancerTest %>%
  select(-Y) %>%
  as.matrix()
```

- Pénalité Ridge

```
model.ridge <- glmnet(x.train,y.train,family = "binomial",alpha=0)
plot(model.ridge)
```

```
knitr::include_graphics("pictures/ridge.png")
```

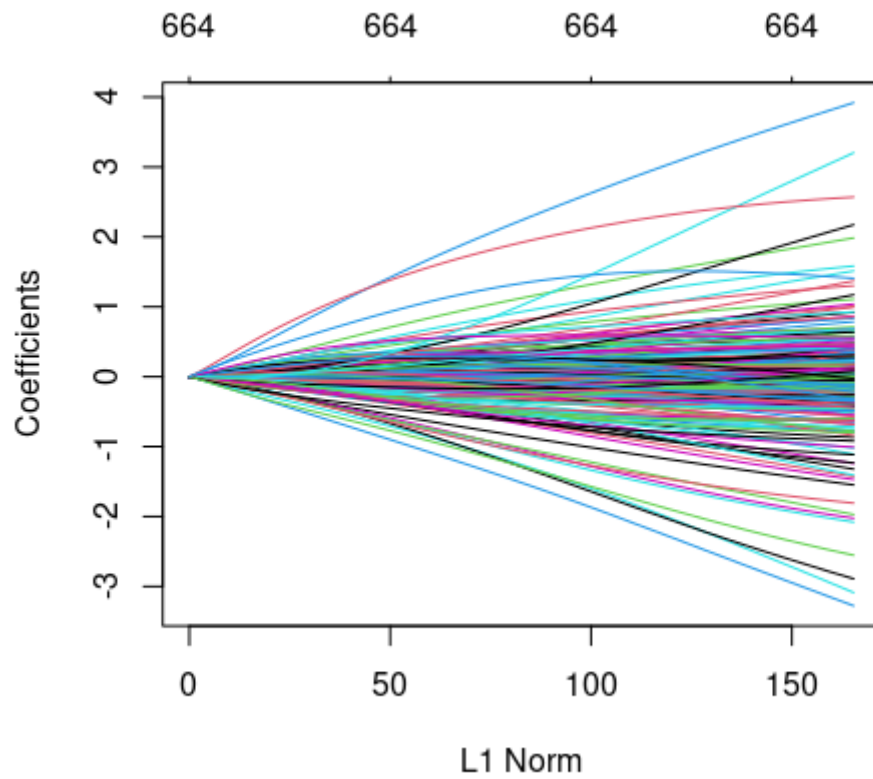


Figure 2: Modèle ridge

- Lasso

```
model.lasso <- glmnet(x.train,y.train,family = "binomial",alpha=1)
```

```
knitr::include_graphics("pictures/lasso.png")
```

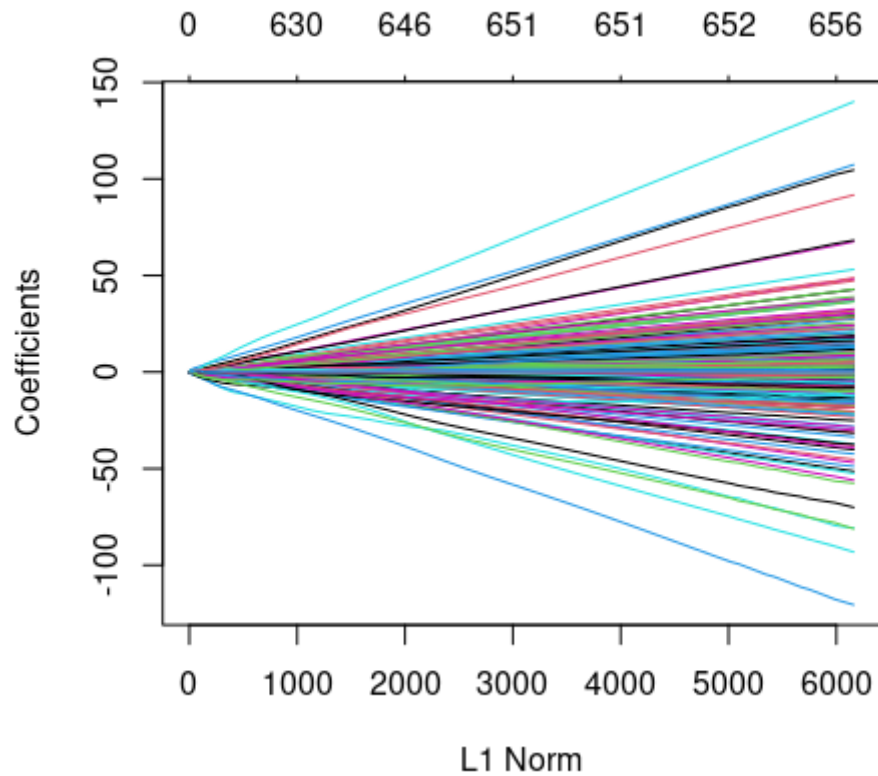


Figure 3: Modèle Lasso

- Elastic net

```
model.elastic_net <- glmnet(x.train,y.train,family = "binomial",alpha=.5)
```

```
knitr::include_graphics("pictures/elastic_net.png")
```

Nous choisirons la méthode *elastic net* en procédant par validation croisée. Car c'est un bon compromis entre les deux.

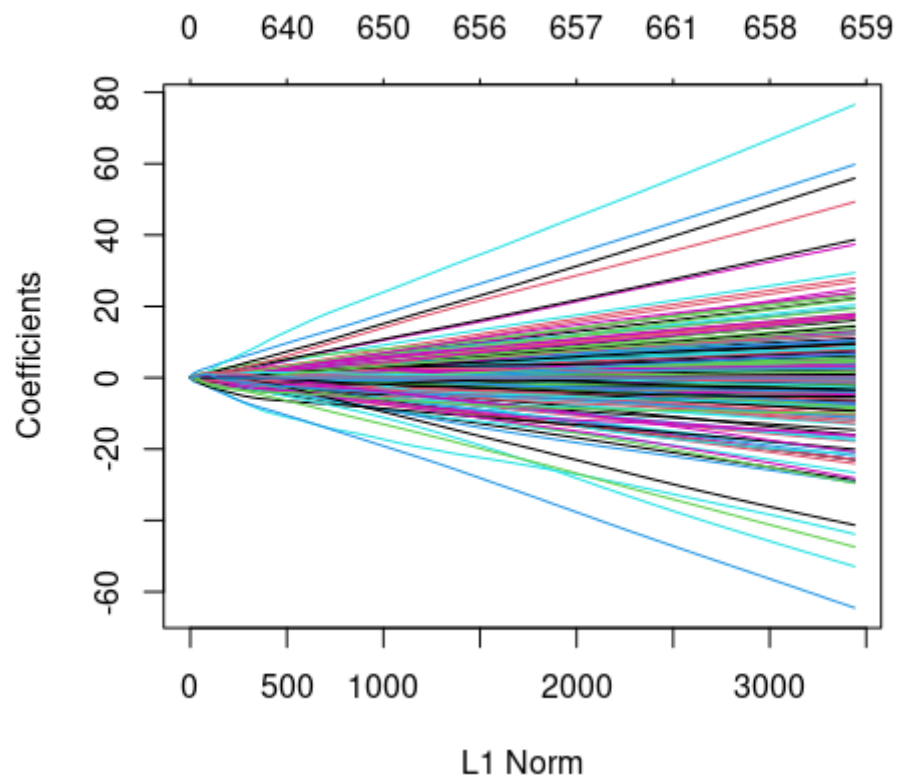


Figure 4: Modèle Elastic net

```
cancer.cv <- cv.glmnet(x.train,y.train,nfolds=20,family="binomial")
cancer.cv$lambda.min
model.EN.cv <- glmnet(x.train,y.train,family="binomial",alpha=0.5,nlambda=1,lambda=cancer
```

- Prédiction du modèle sur le jeu test

```
cancerpredict.EN.cv <- predict(model.EN.cv,x.train,type="response",family="binomial")
results <- tibble(proba=cancerpredict.EN.cv,y.pred=round(cancerpredict.EN.cv),y.truth=(y
results
cfMat.EN <- confusionMatrix(data = as_factor(results$y.pred),as_factor(results$y.truth))
save(cfMat.EN,file = "pictures/cfMat_acp.RData")
```

```
load(file = "pictures/cfMat_acp.RData")
cfMat.EN
```

La matrice de confusion donne un bon taux de classement (78%) sur le jeu test avec une bonne sensibilité de 93% et une spécificité assez faible de 47.4%.

b. par ACP

- Réduction de dimension par ACP

```
acp <- datacancer %>%
  select(-Y) %>% as.matrix() %>%
  prcomp()

# selection des variables avec 70%
nvar <- which(cumsum(acp[["sdev"]])/sum(acp[["sdev"]])>.7)

cancerTraining_ACP <- as_tibble(acp$x[,1:nvar]) %>%
  mutate(Y=datacancer$Y,
         .before="PC1"
        ) %>%
  slice(n=inTrain)

cancerTest_ACP <- as_tibble(acp$x[,1:nvar]) %>%
  mutate(Y=datacancer$Y,
         .before="PC1"
        ) %>%
  slice(n=-inTrain)
```

On a une diminution de nombre de variable de 244.

1. Méthodes de prédiction avec forêt aléatoire

```
rfFit_ACP <- train(  
  Y ~ .,  
  data = cancerTraining_ACP,  
  method = "rf",  
  tuneLength = 13, #donne le nombre de valeurs à essayer pour chaque paramètre à faire  
  trControl = ctrl,  
  metric = "ROC"  
)  
plot(rfit)
```

```
knitr::include_graphics("pictures/ROC_cross_validation_acp.png", auto_pdf = TRUE)
```

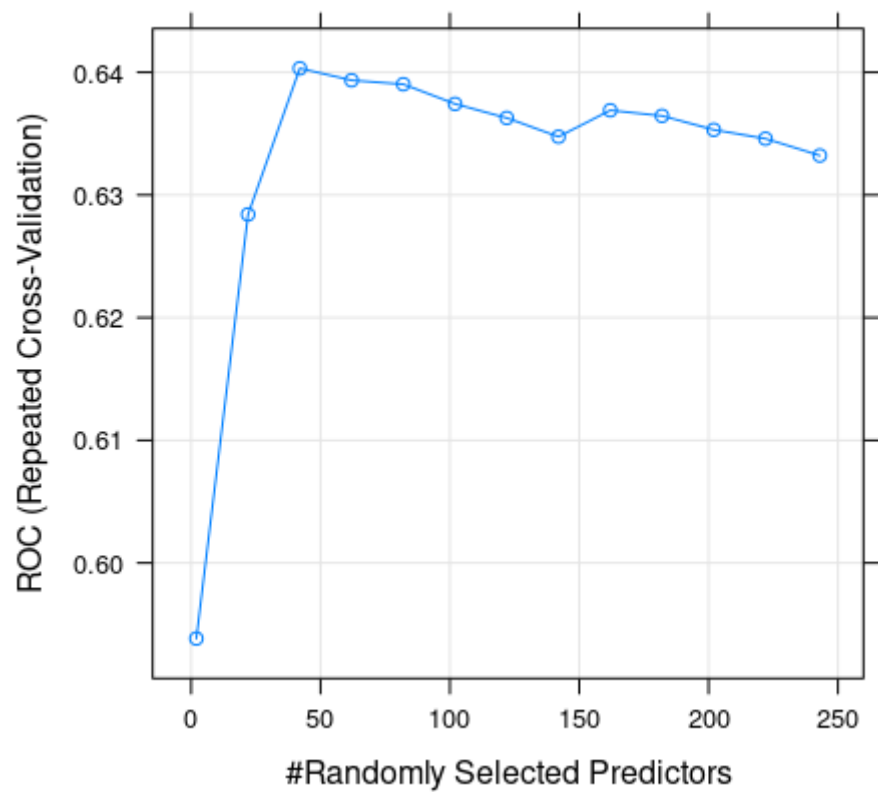


Figure 5: Courbe ROC par validation croisée/Avec réduction de dimension

```
load("data/confMat_ACP.RData")  
confMat_ACP
```

```

## $positive
## [1] "no"
##
## $table
##           Reference
## Prediction  no  yes
##           no 297 146
##           yes 10   6
##
## $overall
##           Accuracy           Kappa  AccuracyLower  AccuracyUpper  AccuracyNull
## 6.601307e-01 8.913742e-03 6.147833e-01 7.033988e-01 6.688453e-01
## AccuracyPValue  McNemarPValue
## 6.738991e-01 3.132446e-27
##
## $byClass
##           Sensitivity           Specificity           Pos Pred Value
##           0.96742671           0.03947368           0.67042889
##           Neg Pred Value           Precision           Recall
##           0.37500000           0.67042889           0.96742671
##           F1           Prevalence           Detection Rate
##           0.79200000           0.66884532           0.64705882
## Detection Prevalence  Balanced Accuracy
##           0.96514161           0.50345020
##
## $mode
## [1] "sens_spec"
##
## $dots
## list()
##
## attr(,"class")
## [1] "confusionMatrix"

```

66% des individus sont bien classés selon cette méthode avec un bon taux du nombre de patientes décédées (97%). Cependant la spécificité est très faible (4%)

2. Méthode de prédiction SVM

- On réutilise les jeux d'apprentissage et de test précédemment dans cette dsection (*cancderTraining_ACP* et *cancceerTest_ACP*).

```

linearsvm_acp <- svm(formula = Y~.,
                     data = cancerTraining_ACP,
                     type = 'C-classification',
                     kernel = 'linear')

gaussiansvm_acp <- svm(formula = Y~.,
                      data = cancerTraining_ACP,
                      type = 'C-classification',
                      kernel = 'radial')

```

- Prédiction sur le jeu test et matrice de confusion

```

linearpred_acp      <- predict(linearsvm_acp, newdata = cancerTest_ACP)
gaussianpred_acp    <- predict(gaussiansvm_acp, newdata = cancerTest_ACP)
confMat_svm_acp_lin <- confusionMatrix(data=linearpred_acp,cancerTest_ACP$Y)
confMat_svm_acp_gau <- confusionMatrix(data=gaussianpred_acp,cancerTest_ACP$Y)

save(confMat_svm_acp_lin, file = "data/confMat_svm_acp_lin.RData")
save(confMat_svm_acp_gau,file = "data/confMat_svm_acp_gau.RData")

```

```

load("data/confMat_svm_acp_lin.RData")
load("data/confMat_svm_acp_gau.RData")

```

```
confMat_svm_acp_lin
```

```

## $positive
## [1] "no"
##
## $table
##           Reference
## Prediction  no  yes
##           no 240 110
##           yes  67  42
##
## $overall
##           Accuracy      Kappa  AccuracyLower  AccuracyUpper  AccuracyNull
## 0.614379085 0.062541108 0.568139669 0.659134549 0.668845316
## AccuracyPValue  McNemarPValue
## 0.993830902 0.001594487
##
## $byClass
##           Sensitivity      Specificity      Pos Pred Value
##           0.7817590      0.2763158      0.6857143

```

```
##      Neg Pred Value      Precision      Recall
##      0.3853211      0.6857143      0.7817590
##      F1      Prevalence      Detection Rate
##      0.7305936      0.6688453      0.5228758
## Detection Prevalence      Balanced Accuracy
##      0.7625272      0.5290374
##
## $mode
## [1] "sens_spec"
##
## $dots
## list()
##
## attr(,"class")
## [1] "confusionMatrix"
```

```
confMat_svm_acp_gau
```

```
## $positive
## [1] "no"
##
## $table
##      Reference
## Prediction  no yes
##      no  305 145
##      yes   2   7
##
## $overall
##      Accuracy      Kappa      AccuracyLower      AccuracyUpper      AccuracyNull
## 6.797386e-01 5.185279e-02 6.349081e-01 7.222341e-01 6.688453e-01
## AccuracyPValue      McNemarPValue
## 3.293343e-01 1.106874e-31
##
## $byClass
##      Sensitivity      Specificity      Pos Pred Value
## 0.99348534 0.04605263 0.67777778
##      Neg Pred Value      Precision      Recall
## 0.77777778 0.67777778 0.99348534
##      F1      Prevalence      Detection Rate
## 0.80581242 0.66884532 0.66448802
## Detection Prevalence      Balanced Accuracy
## 0.98039216 0.51976899
##
## $mode
```

```
## [1] "sens_spec"
##
## $dots
## list()
##
## attr("class")
## [1] "confusionMatrix"
```

3. Méthode de prédiction avec pénalité

```
#jeu d'apprentissage
y.train_acp <- cancerTraining_ACP %>%
  select(Y) %>%
  as.matrix()

x.train_acp <- cancerTraining_ACP %>%
  select(-Y) %>%
  as.matrix()
```

- Pénalité Ridge

```
model.ridge_acp <- glmnet(x.train_acp,y.train_acp,family = "binomial" ,alpha=0)
plot(model.ridge_acp)
```

```
knitr::include_graphics("pictures/ridge_acp.png", auto_pdf = TRUE)
```

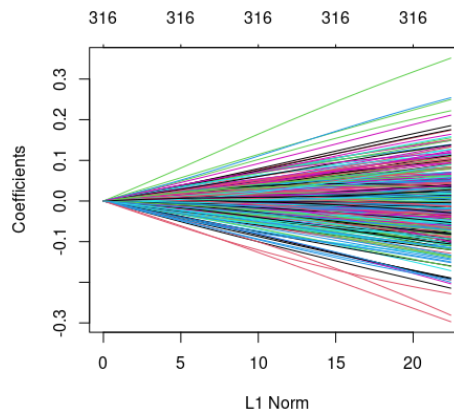


Figure 6: Méthde de Ridge

- Pénalité Lasso


```
model.lasso_acp <- glmnet(x.train_acp,y.train_acp,family = "binomial" , alpha=1)
plot(model.lasso_acp)
```

```
knitr::include_graphics("pictures/lasso_acp.png", auto_pdf = TRUE)
```

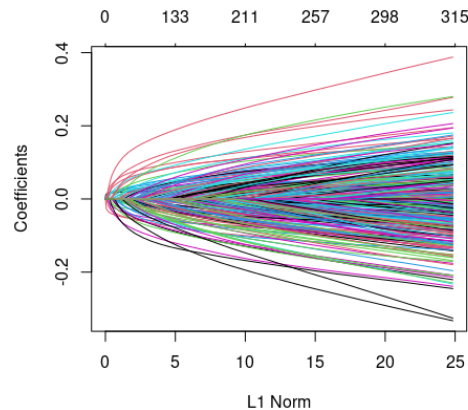


Figure 7: Pénalité Lasso

- Pénalité Elastic net

```
model.elastic_net_acp <- glmnet(x.train_acp,y.train_acp,family = "binomial" , alpha=.5)
plot(model.elastic_net_acp)
```

```
knitr::include_graphics("pictures/elastic_net_acp.png", auto_pdf = TRUE)
```

- Prédiction avec elastic net

```
cancer.cv_acp <- cv.glmnet(x.train_acp,y.train_acp,nfolds=10,family="binomial" )
cancer.cv_acp$lambda.min
model.EN.cv_acp <- glmnet(x.train_acp,y.train_acp,family="binomial" ,alpha=0.5,nlambda=1000)

cancerpredict.EN.cv_acp <- predict(model.EN.cv_acp,x.train_acp,type="response", family="binomial")
results_acp <- tibble(proba=cancerpredict.EN.cv_acp,pred=round(cancerpredict.EN.cv_acp),
                      results_acp)
confMat_EN_acp <- confusionMatrix(data=as_factor(results_acp$pred),as_factor(results_acp$results_acp))
save(confMat_EN_acp,file = "data/confMat_EN_acp.RData")
```

- Matrice de confusion

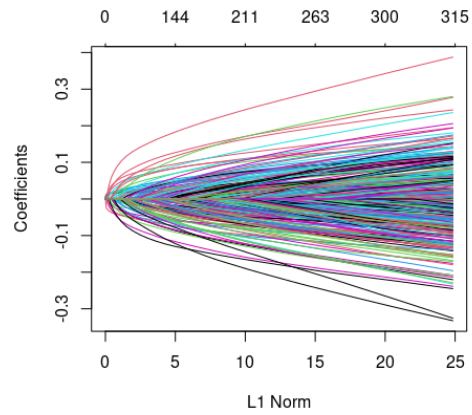


Figure 8: Elastic net

```
load(file = "data/confMat_EN_acp.RData")
confMat_EN_acp
```

On a 74% d'individus bien classés mais avec un mauvais taux de vrai négatif (seulement 31,4% des individus non décédés du cancer sont détectés). Par contre on a une sensibilité de 95%.

c. par auto-encodeur

Nous utiliserons le package *keras* et/ou *tensorflow* pour cette partie auto-encodeur et considérons le jeu d'apprentissage *cancerTraining*

- Préparation des données

```
y <- cancerTraining %>%
  mutate(Y=if_else(Y=="no",0,1)) %>%
  select(Y) %>%
  as.matrix()
y <- to_categorical(y)

y.test <- cancerTest %>%
  mutate(Y=if_else(Y=="no",0,1)) %>%
  select(Y) %>%
  as.matrix()
y.test <- to_categorical(y.test)

x <- cancerTraining %>%
  select(-Y) %>%
  as.matrix()
x <- array_reshape(x,dim(x))

x.test <- cancerTest %>%
  select(-Y) %>%
  as.matrix()
x.test <- array_reshape(x.test,dim(x.test))
```

- Apprentissage

```
model <- keras_model_sequential( input_shape = c(665))
model %>%
  layer_dense(units = 64, activation = "relu") %>%
  layer_dense(units = 32, activation = "sigmoid") %>%
  layer_dense(units = 2, activation = "softmax")

model

model$weights
```

```

# compile
model %>% compile(
  #loss = 'binary_crossentropy',
  loss = 'mean_squared_error',
  optimizer = 'adam',
  metrics = c('accuracy')
)

# Validation

# Nous utilisons l'argument validation_data pour apprendre sur le jeu de données test
# les erreurs quadratiques ainsi que la proportion d'individus classée
history <- model %>% fit(
  x, y,
  epoch=100,
  batch_size = 128,
  validation_data=list(x.test,y.test)
  #validation_split = 0.2,
  #verbose=FALSE
)

str(history$metrics)
str(history$params)

history$metrics$val_accuracy[100]
history$metrics$val_loss[100]

plot(history)

```

Avec keras, on a une précision de 61% sur 100 itération et une erreur quadratique moyenne de 0.302 .

- Prédiction

```

y.pred <- model %>%
  predict(x.test, type = "response") %>%
  apply(1,which.max)-1

y.test_test <- y.test %>%
  apply(1,which.max)-1

head(predictions, 10)

```

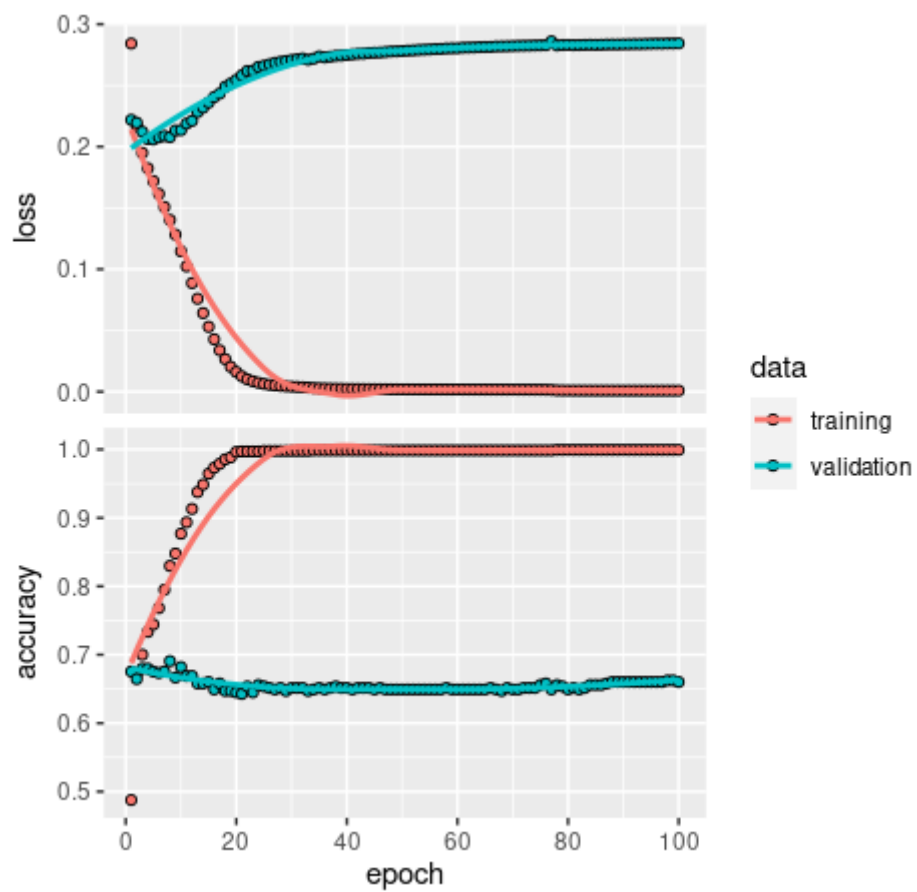


Figure 9: Erreur moyenne quadratique et prédiction

```

datapred <- data.frame(x1=predictions[,1],x2=predictions[,2],y=y.pred)

# Affichage de la s gmentation du plan
# predviz <- datapred %>%
#   ggplot() +
#   geom_point(mapping=aes(x=x1, y=x2,color=y))
# predviz

confusionMatrix(as_factor(y.pred), as_factor(y.test_test))

```

On a une sensibilité de 76% et une spécificité de 32%.

2.2 Discussion sur leurs avantages et inconvénients

- forêt aléatoire
 - Avantages: permet d viter le surapprentissage, paramètre facile à déterminer.
 - Inconvénients: computationnellement lourd à réaliser quand le nombre d'arbres est grand
- Méthode SVM
 - Avantages: précision sur la prédiction, fonctionne bien sur de petits jeux de données
 - Inconvénients: ne convient pas aux jeux de données trop volumineux, Difficulté d'interprétations
- Régression pénalisée
 - Avantages: en utilisant elastic-net permet de conserver les avantages de Lasso et de Ridge
 - Inconvénients: il y a un nouveau paramètres à définir par cross-validation

Comme nous avons un jeu de données volumineux (1839x666), la réduction de dimension a été utile, réduisant le nombre de variables à 244.

3 Sélection

Proposons une manière d'effectuer une selection à l'aide d'une selection par stabilité et mettons la en oeuvre. On lance B bootstraps et on apprend sur chacun d'eux un modèle de pénalité Ridge ($\alpha = 0$) sans aucune réduction de dimension et on garde les ARN/mutations les plus souvent selectionnés.

```

# on réactualise le jeu d'apprentissage x.train en haut partie 'aucune réduction de di
B=2000 # nombre de bootstraps
ncandidats <- dim(x.train)[1]
selected <- rep(0,dim(x.train)[2])
for (b in 1:B){
  #echantillon bootstrap
  bootsample <- sample(1:ncandidats,ncandidats,replace=TRUE)
  x.boot <- x.train[bootsample,]
  y.boot <- y.train[bootsample,]
  #apprentissage
  model.ridge.boot <- glmnet(x.boot,y.boot,family="binomial",alpha=0,nlambdas=1,lambda=.5)
  selectedmutations <- model.ridge.boot$beta@i
  for (i in selectedmutations){
    selected[i] <- selected[i] +1
  }
}

```

```

#restriction du jeu d'apprentissage aux mutations étant sélectionnés au moins 1/2 du t
selection <- which(selected>B/2)

```

```

cancerTrain.stab <- data.frame(Y=y.train,x.train[,selection]) %>%
  as_tibble() %>%
  mutate(Y=if_else(Y=="no",0,1))

x.test <- data.frame(x.test) %>%
  as_tibble()

```

```

# apprentissage suivant un modèle linéaire classique

```

```

model <- glm(Y~.,cancerTrain.stab,family = binomial(link = "logit"))

```

```

predictions <- predict(model,newdata = x.test,type="response")

```

```

confMat_selection <- confusionMatrix(data=as_factor(round(predictions)),as_factor((y.train))
save(confMat_selection, file="data/confMat_selection.RData")

```

```

## $positive
## [1] "0"
##
## $table
##           Reference
## Prediction    0    1
##           0 196  89
##           1 111  63

```

```
##
## $overall
##      Accuracy      Kappa  AccuracyLower  AccuracyUpper  AccuracyNull
##      0.56427015    0.05104509    0.51752715    0.61017978    0.66884532
## AccuracyPValue  McNemarPValue
##      0.99999877    0.13756389
##
## $byClass
##      Sensitivity      Specificity      Pos Pred Value
##      0.6384365      0.4144737      0.6877193
##      Neg Pred Value      Precision      Recall
##      0.3620690      0.6877193      0.6384365
##      F1      Prevalence      Detection Rate
##      0.6621622      0.6688453      0.4270153
## Detection Prevalence      Balanced Accuracy
##      0.6209150      0.5264551
##
## $mode
## [1] "sens_spec"
##
## $dots
## list()
##
## attr(,"class")
## [1] "confusionMatrix"
```

Références

- [1] CHOLLET F., KALINOWSKI T., ALLAIRE J. J. Second Edition.[s.l.] : MANNING, 2022.