

Suivi sonore de la reproduction des chênes

P^r Jean R. LOBRY

Analyse des données d'une expérience préliminaire visant à tester la faisabilité de la géolocalisation de la chute de glands de chênes via un suivi audio.

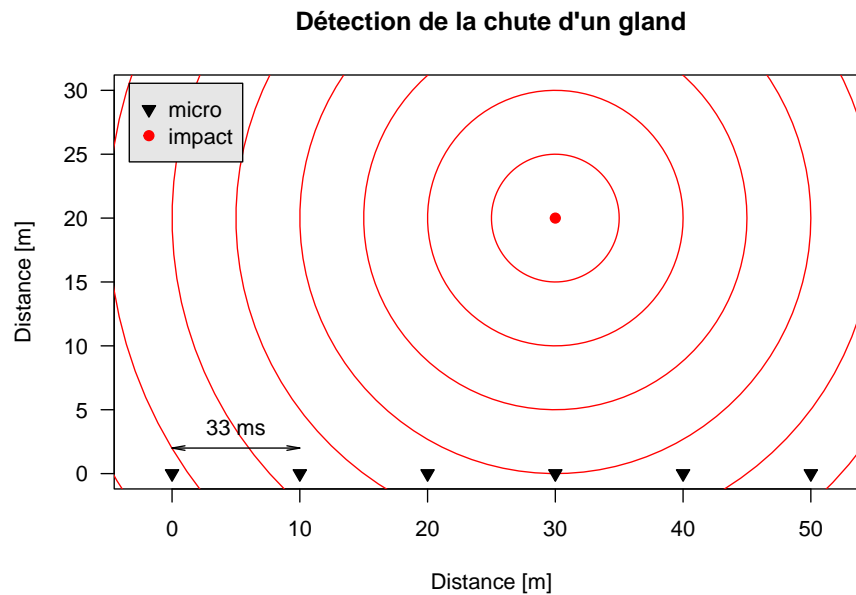
Table des matières

1	Introduction	2
2	Matériel et méthodes	2
2.1	Captation audio	2
2.2	Expériences avec un clap	3
2.3	Expériences avec des glands de chênes	4
2.4	Données	6
3	Résultats	6
3.1	Comparaison des deux micros	6
3.2	Expériences avec un clap	8
3.3	Expériences avec des glands de chênes	9
3.4	Extrapolation	11
4	Conclusion	11
5	Annexes	13
5.1	<code>circle()</code>	13
5.2	<code>calibration()</code>	13
5.3	<code>plotangle()</code>	13
5.4	Extrapolation	14
	Références	14

1 Introduction

LES données analysées ici sont issues des expériences conçues et réalisées¹ par Bérénice BARETJE, Lucas GOUBY, Charlotte MIÑANA et Corentin VINCENT dans le cadre du projet tutoré de M1 BEE « Biodiversité, Écologie, Évolution » à Lyon pendant l'année universitaire 2022-2023. L'encadrement était assuré par Jean LOBRY, Marie-Claude VENNER et Samuel VENNER.

CONSIDÉRONS le dispositif expérimental hypothétique suivant constitué d'une rangée de microphones espacés les uns des autres de 10 mètres.



LORS de la chute d'un gland au sol il va y avoir production d'une onde sonore se propageant autour du point d'impact [1]. Pour localiser ce point d'impact à partir des enregistrements sonores issus de la rangée de microphones on peut envisager d'exploiter deux phénomènes : soit le décalage temporel entre les microphones soit la différence d'intensité du signal selon les directions. C'est cette deuxième piste qui a été explorée ici.

2 Matériel et méthodes

2.1 Captation audio

UN enregistreur numérique (figure 1 page 3) réglé pour capter un signal en stéréophonie a été utilisé avec la résolution maximale (96 kHz). Un exemple d'enregistrement fait le 2022-09-27 dans la forêt domaniale de SEILLON est disponible à titre d'illustration². Une heure d'enregistrement au format WAV pèse environ 2 Gio. Les données ont été analysées avec le logiciel Audacity³ pour

¹Une copie du poster réalisé à l'issue de cette étude est disponible à <https://pbil.univ-lyon1.fr/R/donnees/zoom/poster.pdf>

²<https://pbil.univ-lyon1.fr/R/donnees/zoom/ZOOM0002.WAV>

³<https://www.audacityteam.org/>

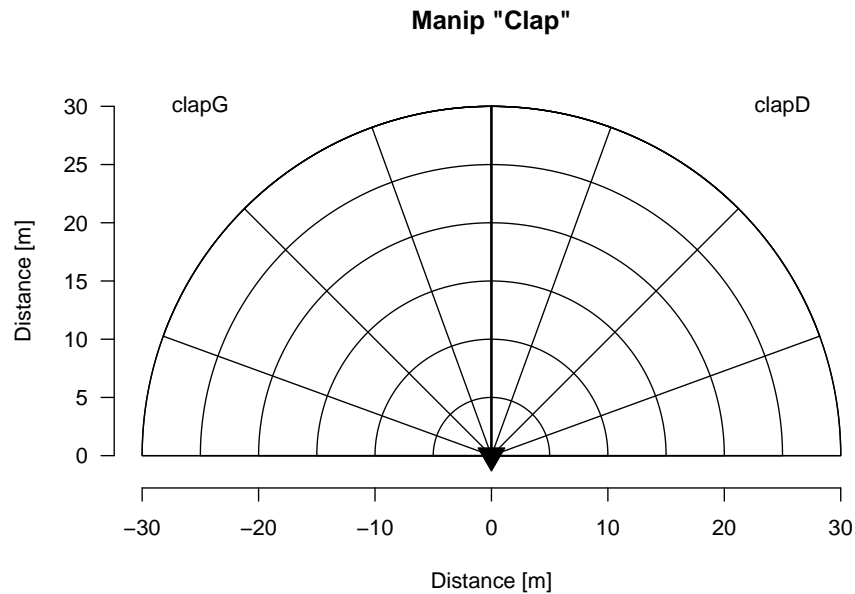


FIGURE 1 : L'enregistreur numérique ZOOM utilisé pour les captations audio.

recupérer l'intensité sonore de chaque canal.

2.2 Expériences avec un clap

POUR disposer d'un signal sonore bref et de bonne intensité une première série d'expériences a été conduite en utilisant un clap de cinéma en faisant varier la distance (6 valeurs testées) et les angles (9 valeurs testées) selon le schéma suivant :



2.3 Expériences avec des glands de chênes

POUR disposer d'un signal sonore représentatif de la chute des glands en forêt une seconde série d'expérience a été réalisée en faisant chuter des glands de chênes à partir d'une passerelle (figure 2 page 5). La distance (4 valeurs testées) et les angles (9 valeurs testées) ont varié selon le schéma suivant :

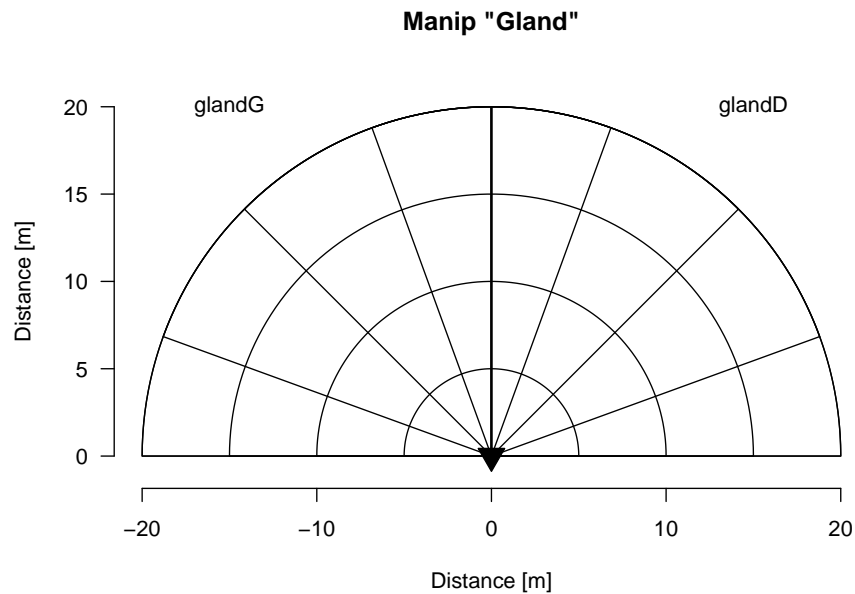




FIGURE 2 : Pour l'expérience avec les glands, une passerelle du parc naturel urbain de la FEYSSINE à VILLEURBANNE a été utilisée pour les faire chuter d'une hauteur donnée.

2.4 Données

LES données sont disponibles dans les tableaux `clapG`, `clapD`, `glandG` et `glandD` tels que représentés dans les figures précédentes. On peut les importer dans `R` de la façon suivante :

```
load(url("https://pbil.univ-lyon1.fr/R/donnees/zoom/zoom.Rda"))
head(clapG)
  distance angle dB.gauche dB.droite
1         5     0    -10.52    -10.26
2         5     0    -15.31    -15.88
3         5     0    -11.48    -11.47
4         5    20     -9.19     -9.37
5         5    20     -8.25     -8.50
6         5    20     -8.88     -9.29
```

LES intensité sonores sont exprimées en décibel. Le décibel, de symbole dB, est une unité définie comme dix fois le logarithme décimal du rapport entre deux puissances. Soient deux puissances P_0 et P_1 , leur valeur relative en décibels vaut :

$$X_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_0}$$

ICI P_1 correspond à la valeur de l'intensité maximale enregistrable, donc toutes les valeurs sont négatives. On parle de dB FS pour *decibels relative to Full Scale*. Une intensité de -40 dB FS correspond donc ici à une intensité de 10^{-4} fois l'intensité maximale enregistrable.

DANS le cas particulier d'un angle de zéro degré, donc dans l'axe du micro, les données sont présentes dans les fichiers de gauche et de droite. On peut vérifier qu'il s'agit bien des mêmes valeurs :

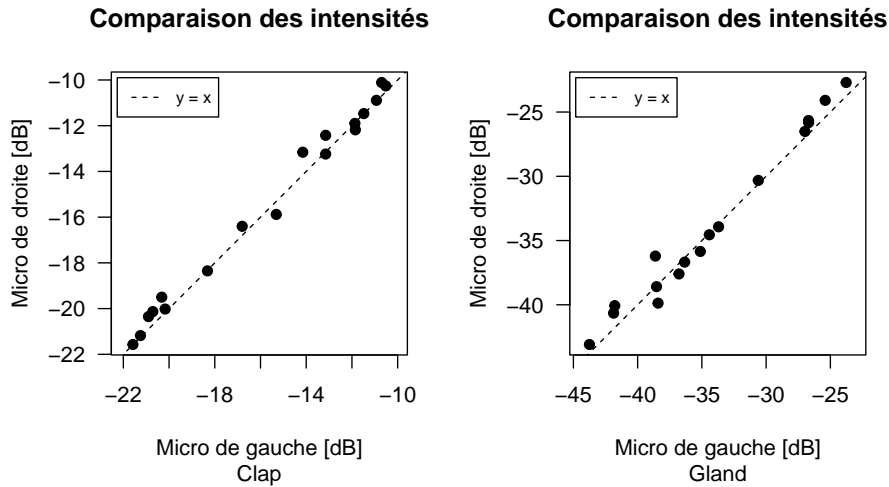
```
all.equal(subset(clapG, angle == 0), subset(clapD, angle == 0))
[1] TRUE
all.equal(subset(glandG, angle == 0), subset(glandD, angle == 0))
[1] TRUE
```

3 Résultats

3.1 Comparaison des deux micros

ON sélectionne les expériences qui se sont faites dans l'axe de l'enregistreur, on s'attend donc à avoir la même intensité sur le micro de droite et celui de gauche. Voyons si cette attente est raisonnable.

```
clapOrtho <- subset(clapG, angle == 0)
glandOrtho <- subset(glandG, angle == 0)
plotOrtho <- function(dta, ...){
  plot(dta$dB.gauche, dta$dB.droite, pch = 19, las = 1, asp = 1,
       main = "Comparaison des intensités",
       xlab = "Micro de gauche [dB]",
       ylab = "Micro de droite [dB]", ...)
  abline(c(0, 1), lty = 2)
  legend("topleft", inset = 0.02, legend = "y = x", lty = 2, cex = 0.75)
}
par(mfrow = c(1, 2))
plotOrtho(clapOrtho, sub = "Clap")
plotOrtho(glandOrtho, sub = "Gland")
```

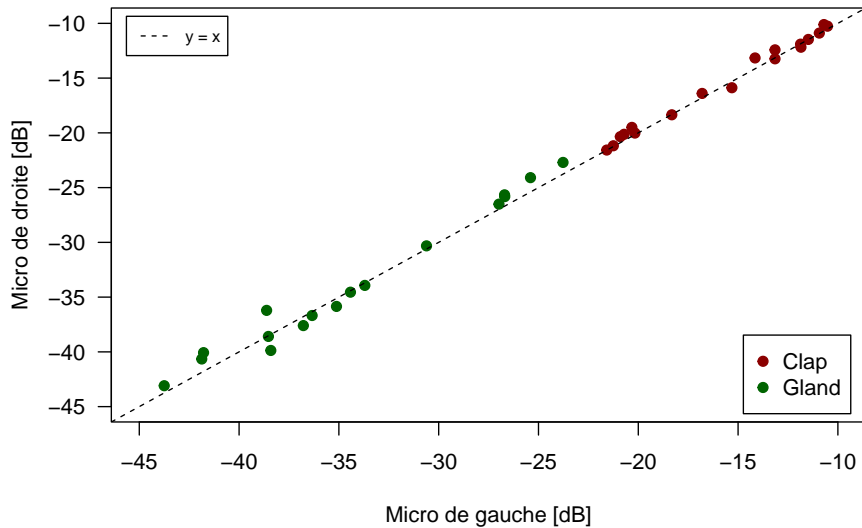


QUE ce soit pour l'expérience avec le clap ou bien celle avec les glands, on a une très bonne corrélation entre l'intensité sonore mesurée sur le micro droit et gauche. Avec le clap on couvre une gamme allant de -22 dB à -10 dB et avec les glands de -45 dB -25 dB. On peut regrouper toutes les données disponibles pour mettre en évidence la bonne corrélation sur l'ensemble de la gamme d'intensité disponible.

```

lims <- c(-45, -10)
plot.new() ; plot.window(xlim = lims, ylim = lims)
with(clapOrtho, points(dB.gauche, dB.droite, pch = 19, col = "darkred"))
with(glandOrtho, points(dB.gauche, dB.droite, pch = 19, col = "darkgreen"))
abline(c(0, 1), lty = 2)
legend("topleft", inset = 0.02, legend = "y = x", lty = 2, cex = 0.75)
legend("bottomright", inset = 0.02, legend = c("Clap", "Gland"), pch = 19,
      col = c("darkred", "darkgreen"))
axis(1) ; axis(2, las = 1) ; box()
title(main = "Comparaison des intensités",
      xlab = "Micro de gauche [dB]",
      ylab = "Micro de droite [dB]")
    
```

Comparaison des intensités

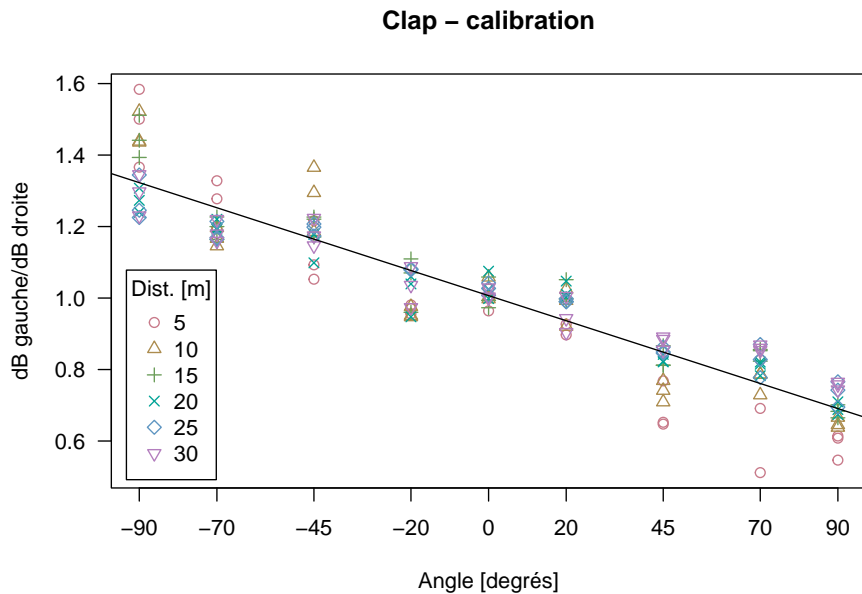


CE qui est important ici c'est que n'avons pas mis en évidence de différence flagrante de sensibilité entre les deux microphones, il y aura donc du sens à vouloir exploiter les différences d'intensité entre les deux pour inférer l'orientation de la source du signal. Pour ce qui est de la précision on voit qu'elle est de l'ordre de 1 dB.

3.2 Expériences avec un clap

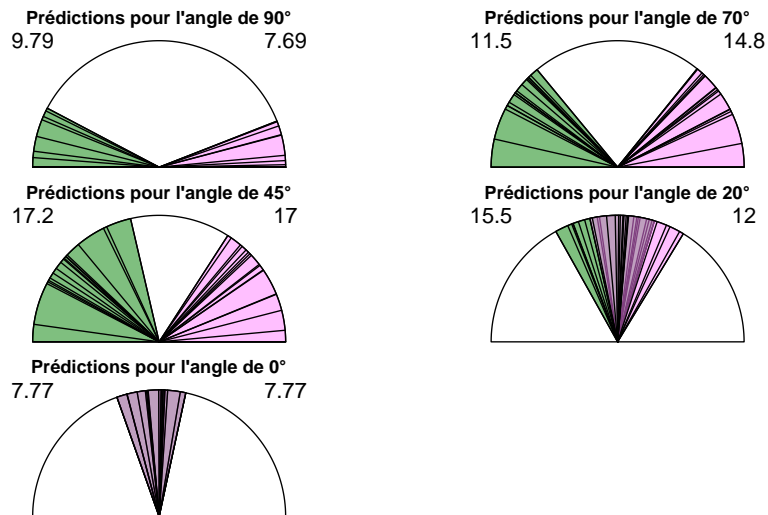
ON représente avec la fonction `calibration()` (code section 5.2 page 13) le rapport de l'intensité du canal de gauche sur celle du canal de droite en fonction des angles. Les angles négatifs correspondant à un signal à gauche le rapport est supérieur à 1 et pour les angles positifs correspondant à un signal à droite le rapport est inférieur à 1. On a donc globalement une relation décroissante.

```
calclap <- calibration(clapG, clapD, main = "Clap - calibration")
```

ON a utilisé ici la droite de régression linéaire pour résumer la relation entre le rapport des intensités (variable prédite) et l'angle (variable contrôlée). En utilisant la fonction réciproque de cette relation on peut se faire une idée de la précision de la prédiction de l'angle en fonction du rapport des intensités :

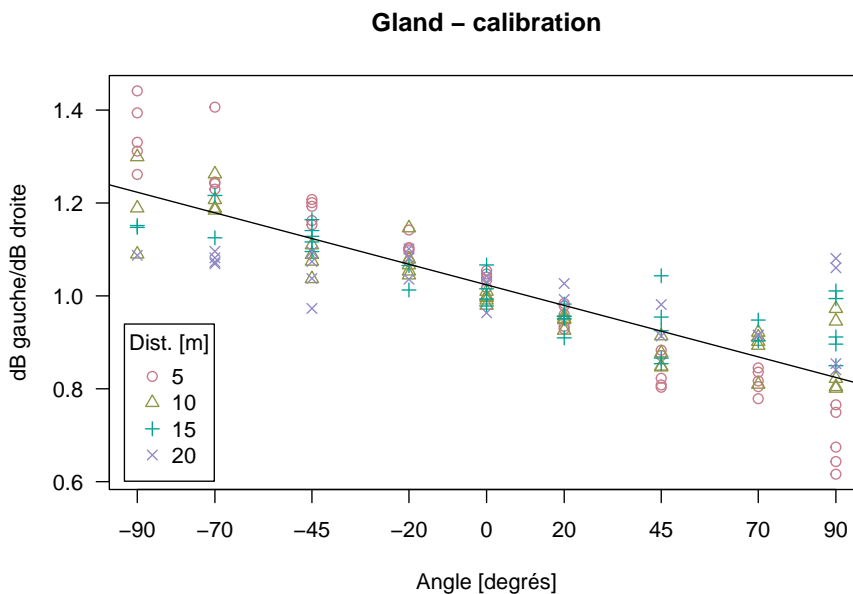
```
par(mfrow = c(3, 2))
for(i in c(90, 70, 45, 20, 0)) plotangle(calclap, i)
```



La précision de la prédiction de l'angle est variable en fonction de la valeur de celui-ci, elle varie de ± 5 à ± 20 degrés, avec une meilleure précision pour les valeurs extrêmes.

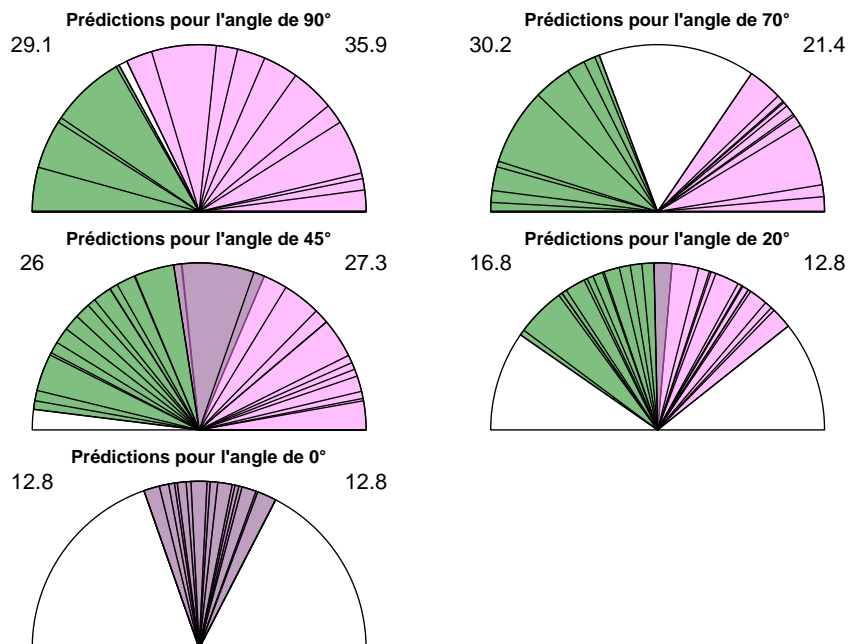
3.3 Expériences avec des glands de chênes

```
calgland <- calibration(glandG, glandD, main = "Gland - calibration")
```



ON retrouve le même type de relation qu'avec l'expérience avec le clap mais les données sont beaucoup plus bruitée. Ceci va conduire logiquement à une baisse de la précision des prédictions des angles.

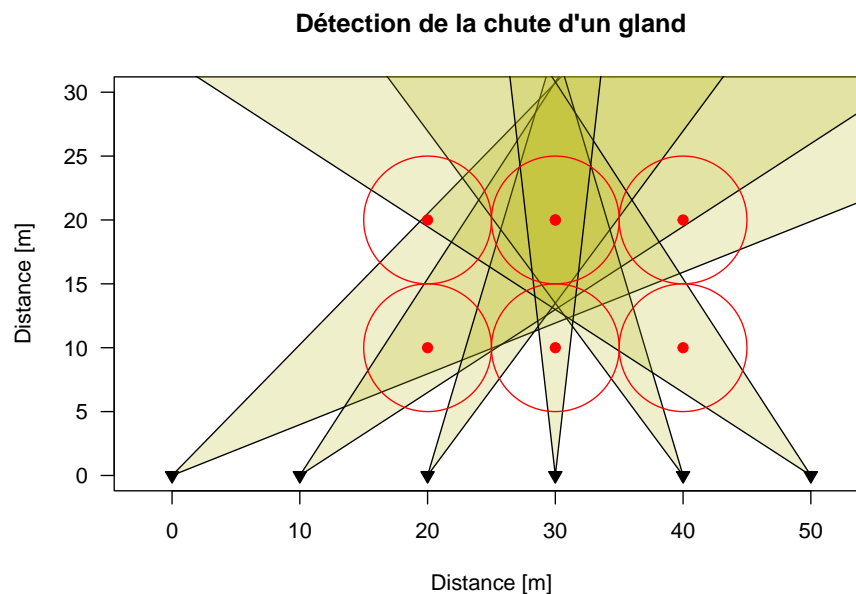
```
par(mfrow = c(3, 2))
for(i in c(90, 70, 45, 20, 0)) plotangle(calgland, i)
```



La précision de la prédiction de l'angle est variable en fonction de la valeur de celui-ci, elle varie de ± 10 à ± 30 degrés, avec une meilleure précision pour les valeurs faibles dans l'absolu.

3.4 Extrapolation

On reprend l'expérience hypothétique évoquée dans l'introduction avec une rangée de 6 détecteurs espacés de 10 mètres les un des autres. En supposant que nous sommes dans une forêt où les arbres sont également espacés de 10 mètres en moyenne, on voit qu'en recoupant les prédictions issues des différents microphones il n'est pas déraisonnable de penser pouvoir géolocaliser la chute d'un gland avec une précision suffisante pour pouvoir l'attribuer à un arbre donné.



4 Conclusion

Ces résultats montrent qu'il n'est pas complètement illusoire que de vouloir géolocaliser la chute de glands de chênes en exploitant les différences d'intensité d'enregistrements stéréophoniques. Il y aurait néanmoins plusieurs problèmes à étudier avant d'envisager un déploiement sur le terrain :

- 1° avec des piles neuves l'autonomie de l'enregistreur utilisé est de 14 heures alors que l'on vise un suivi continu de 2 mois, soit deux ordres de grandeur de plus ;
- 2° les fichiers audio sont très volumineux, il faudrait un espace de stockage de l'ordre de 3 Tio par campagne et par enregistreur ce qui est trop lourd, il faudrait envisager un traitement du signal *in situ* pour ne stocker que les données utiles (angles prédits) ;

- 3° l'exploitation du décalage temporel pourrait améliorer grandement la précision des prédictions, mais il faudrait une batterie de microphones reliés à un même enregistreur pour garantir une synchronicité parfaite des enregistrements, et ce n'est plus du matériel standard.

5 Annexes

5.1 circle()

```
circle <- function(x = 0, y = 0, r = 1, theta = c(0, 360), n = 100, ...)  
{  
  a <- seq(theta[1], theta[2], length = n)  
  xx <- x + r * cos(a * 2 * pi/360)  
  yy <- y + r * sin(a * 2 * pi/360)  
  if (!identical(theta, c(0, 360))) {  
    xx <- c(xx, x)  
    yy <- c(yy, y)  
  }  
  polygon(xx, yy, ...)  
}
```

5.2 calibration()

```
calibration <- function(dfG, dfD, main){  
  dfD$ori <- "D" ; dfG$ori <- "G"  
  dta <- rbind(dfD, subset(dfG, angle != 0))  
  dta$distance <- ordered(dta$distance)  
  ndists <- length(levels(dta$distance))  
  mycols <- hcl.colors(ndists, "Dark 2")  
  dta$col <- mycols[as.integer(dta$distance)]  
  mypch <- 1:ndists ; dta$pch <- mypch[as.integer(dta$distance)]  
  dta$ratio <- with(dta, dB.gauche/dB.droite)  
  dta$angle <- with(dta, ifelse(ori == "D", angle, -angle))  
  x <- dta$angle ; y <- dta$ratio  
  plot(x, y, pch = dta$pch, col = dta$col, las = 1, xlab = "Angle [degrés]",  
       ylab = "dB gauche/dB droite", main = main,  
       xaxt = "n")  
  axis(1, at = unique(dta$angle))  
  abline(lm1 <- lm(y~x))  
  legend("bottomleft", inset = 0.02, legend = levels(dta$distance),  
        pch = mypch,  
        col = mycols, title = "Dist. [m]")  
  return(list(lm1 = lm1, dta = dta))  
}
```

5.3 plotangle()

```
predlm <- function(x, lm){  
  res <- 1/lm$coef[2]*x -lm$coef[1]/lm$coef[2]  
  res[res < -90] <- -90  
  res[res > +90] <- +90  
  return(res)  
}  
plotangle <- function(cal, qui = 90){  
  dta <- cal$dta  
  ratio <- dta$dB.gauche/dta$dB.droite  
  dta$predangle <- predlm(ratio, cal$lm1)  
  par(mar = c(0, 1, 2, 1) + 0.1)  
  plot.new() ; plot.window(xlim = c(-1, 1), ylim = c(0, 1), asp = 1)  
  circle(theta = c(0, 180))  
  title(main = paste0("Prédictions pour l'angle de ", qui, "°"))  
  for(sign in c(-1L, +1L)){  
    tmp <- subset(dta, angle == sign*qui)$predangle  
    tmp <- tmp[!is.na(tmp)]  
    z <- (sign + 1)/2  
    col <- rgb(z, 0.5, z, 0.5)  
    circle(theta = c(90 - min(tmp), 90 - max(tmp)), col = col)  
    for(i in seq_len(length(tmp))) circle(theta = c(90 - tmp[i], c(90 - tmp[i])))  
    pm <- 1.96*sd(tmp)/sqrt(length(tmp))  
    text(sign, 1, signif(2*pm, 3), cex = 1.5, xpd = NA)  
  }  
}
```

5.4 Extrapolation

```
plot.new() ; plot.window(xlim = c(0,50), ylim = c(0,30), asp = 1)
box() ; axis(1) ; axis(2, las = 1)
points(seq(0, 50, by = 10), rep(0, 6), pch = 25, bg = "black")
title(xlab = "Distance [m]", ylab = "Distance [m]")
title(main = "Détection de la chute d'un gland")
col <- rgb(0.7, 0.7, 0, 0.2)
tmp <- 180*atan(30/20)/pi
circle(0, 0, r = 100, theta = c(90 - tmp - 12, 90 - tmp + 12), col = col)
tmp <- 180*atan(20/20)/pi
circle(10, 0, r = 100, theta = c(90 - tmp - 12, 90 - tmp + 12), col = col)
tmp <- 180*atan(10/20)/pi
circle(20, 0, r = 100, theta = c(90 - tmp - 10, 90 - tmp + 10), col = col)
tmp <- -180*atan(10/20)/pi
circle(40, 0, r = 100, theta = c(90 - tmp - 10, 90 - tmp + 10), col = col)
tmp <- -180*atan(20/20)/pi
circle(50, 0, r = 100, theta = c(90 - tmp - 12, 90 - tmp + 12), col = col)
circle(30, 0, r = 100, theta = c(90 - 6.5, 90 + 6.5), col = col)
points(30, 20, pch = 19, col = "red")
for(x in seq(20, 40, by = 10))
  for(y in seq(10, 20, by = 10)){
    points(x, y, pch = 19, col = "red")
    circle(x, y, r = 5, border = "red")
  }
```

Références

- [1] I.R. Jones and E. Allen. Detection of large woody debris accumulation in old-growth forests using sonic wave collection. *Transactions of the Important Tree Scientists*, 120 :201209, 2002.