

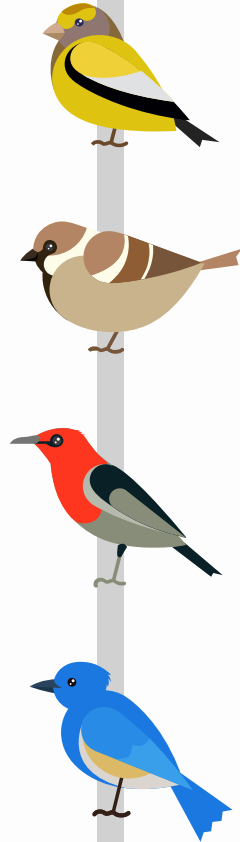


# Tester les limites de l' éco-acoustique pour mesurer la présence d'espèces (cas du projet Darksound)

**Étudiants :** Victoria Bancel-Legendre, Marie Joigneau & Armelle Lajeunesse

**Encadrants :** Marie-Pierre Etienne en collaboration avec Sylvain Hauptert

# Sommaire



1

L'éco-acoustique pour étudier la diversité aviaire dans la réserve naturelle des Nouragues (Guyane)

2

Une approche basée sur le modèle d'occupancy

3

Une approche par simulations pour tester le modèle d'occupancy

4

Conclusion de l'étude



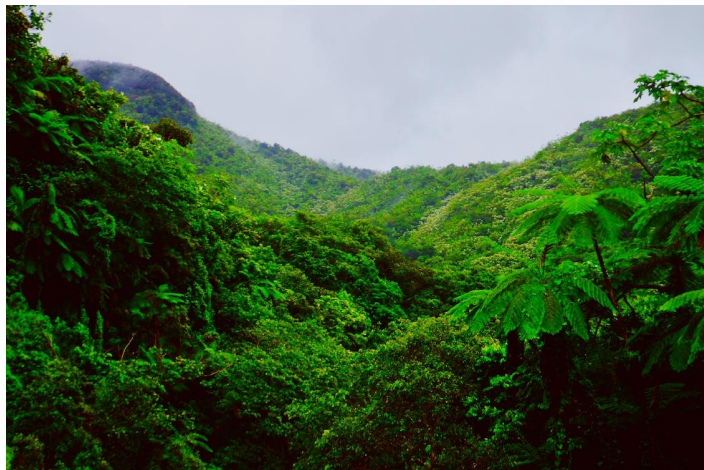
# L'éco-acoustique pour étudier la diversité aviaire dans la réserve naturelle des Nouragues (Guyane)



# Contexte

L'Amazonie, une forêt tropicale humide avec une diversité spécifique riche :

- De 40 000 espèces végétales
- 2.5 millions d'espèces d'insectes
- 3 000 espèces de poissons
- 1 000 espèces de grenouilles
- 550 espèces de reptiles
- 500 espèces de mammifères
- **1700 espèces d'oiseaux**



Importance de conserver la biodiversité, et donc de la caractériser par des méthodes non invasives.



# L'éco-acoustique

Popularisée par l'artiste américain Bernie Krause et formalisée en 2010 par Jérôme Sueur maître de conférence au Muséum National d'histoire naturelle.  
Le terme d'éco-acoustique apparaît dans *Sueur & Farina 2015*.

## Définition :

- Ecouter des sons du vivant de manière non invasive
- Observer des paysages sonores sur de longues durées



D'un son



A l'étude d'un comportement (bio-acoustique)

A la détermination de la présence et de densité d'espèce (éco-acoustique)

Exemple du crapaud pluie (*Leptodactylus pentadactylus*) en forêt tropicale



# Projet Darksound (EAR)

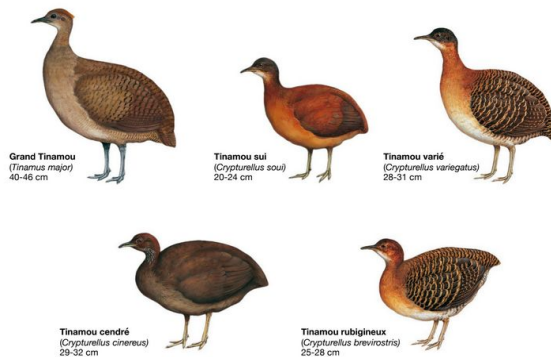
Etude de la réserve naturelle des Nouragues (Guyane)

Objectif de l'étude: caractériser la présence d'espèces sentinelles et parapluies de la réserve naturelle des Nouragues (Guyane) à l'aide de l'éco-acoustique



**Défi**: espèces rares, crépusculaires et nocturnes donc **peu de données et difficile à suivre**.

## TINAMOUS



## CHOUETTES & HIBOUX

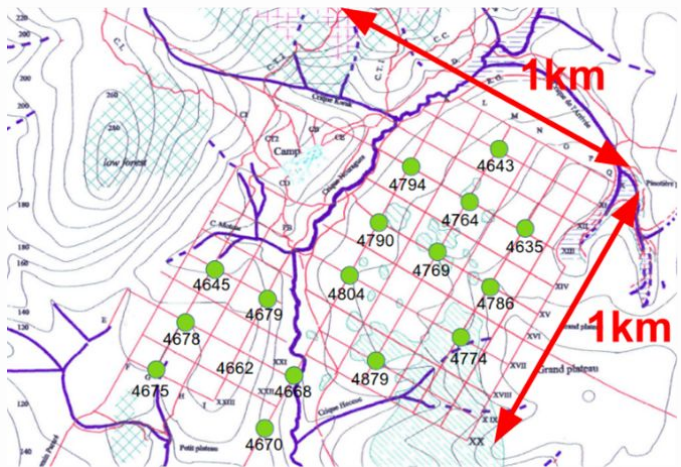






# Projet Darksound (EAR)

16 micros sur une surface de 1km<sup>2</sup>



Des séances d'écoute d'**1h**, au lever et au coucher du soleil



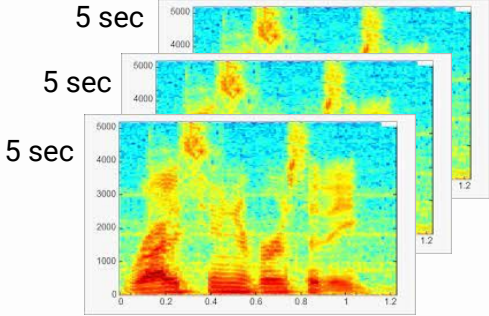
1h

30 min

30 min



D'un enregistrement sonore  
(Darksound, Nouragues, 2022-12-08 @5h34)



Deep-Learning

A des données de détection (1 intervalle = 5sec)

Espèce 1	Intervalle 1	Intervalle 2	Intervalle 3	...	Intervalle 720
Heure d'étude 1	1	1	0	...	1
Heure d'étude 2	0	1	0	...	1
Heure d'étude 3	0	0	0	...	0





# Une approche basée sur le modèle d'occupancy



# Le modèle d'occupancy *MacKenzie et al. (2002)*

## Principe

- Détection d'une espèce par un processus d'observation  $\Rightarrow$  Imparfait
- Probabilité de détection d'une espèce au cours d'une enquête est souvent  $< 1$   
 $\Rightarrow$  Estimer la présence d'une espèce en prenant en compte cette détection imparfaite

## Modèle mathématique

Pour une occasion  $o$  au site  $s$  et à la matinée  $m$  :

$z_s^{\text{ind}} \sim \text{Bernouilli}(\Psi)$

$Y_{o,s,m} / z_s^{\text{ind}} \sim \text{Bernouilli}(p_{o,s,m} z_s)$

$Y_{o,s,m}$  : détection ou pas de l'oiseau (0 ou 1)

$p_{o,s,m}$  : probabilité de détection : probabilité de trouver une espèce à une occasion  $o$  si elle est présente au site  $s$  à la matinée  $m$

$\Psi$  : probabilité d'occupancy : probabilité de présence d'une espèce

$z_s$  : réel présence ou absence de l'espèce au site  $s$  (0 ou 1)



# ***Le modèle d'occupancy*** *MacKenzie et al. (2002)*

## **Hypothèses**

- Indépendance des sites et des occasions
- Les caractéristiques des sites restent constants
- Les sites sont fermés au changement d'occupation

## **Utilisations**

- Estimer la distribution d'une espèce
- Comprendre les liens entre caractéristiques du site et occurrence de l'espèce
- Prendre en compte une détection imparfaite



# Le modèle d'occupancy *MacKenzie et al. (2002)*

## Utilisation classique dans R

### Package:

Unmarked

### Fonctions:

-**unmarkedFrameOccu()**

Input: tableau de détection et covariables

-**occu()**

Ajuste le modèle d'occupancy

-**predict()**

Prédiction des résultats avec le modèle ajusté

unmarkedFrameOccu

Tableau de détection → Objet de classe unmarkedFrameOccu

Espèce 1	Occasion 1	Occasion 2	Occasion 3	Occasion 4	Altitude (en m)
Site 1	1	1	0	0	100
Site 1	0	1	0	1	100
...	0	0	0	1	80
Site 10	0	1	0	0	110

occu

unmarkedFitOccu

predict

Prédictions par le modèle:  $p_{o,s,m}$  et  $\psi_s$



# Une approche par simulations pour tester le modèle d'occupancy



# La démarche pour tester la pertinence du modèle

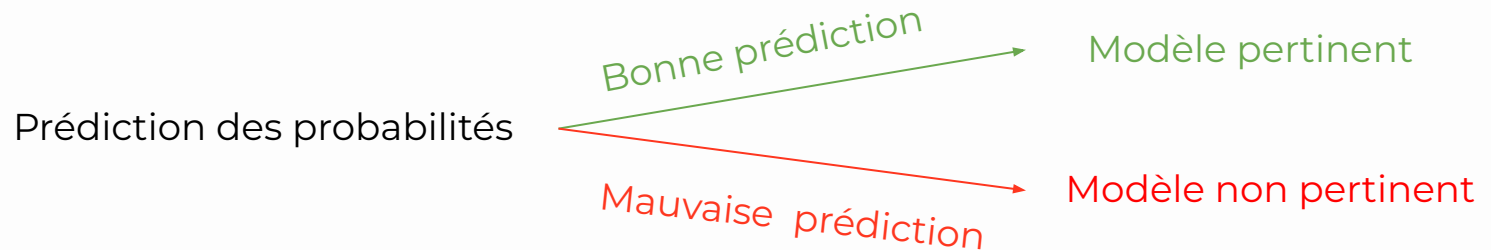
## 01 - Simuler des données de détection

Avec les conditions biologiques les plus proches de la réalité en forêt des Nouragues :

- Des espèces rares
- Des conditions de détection difficiles
- Une dépendance temporelle du chant des oiseaux

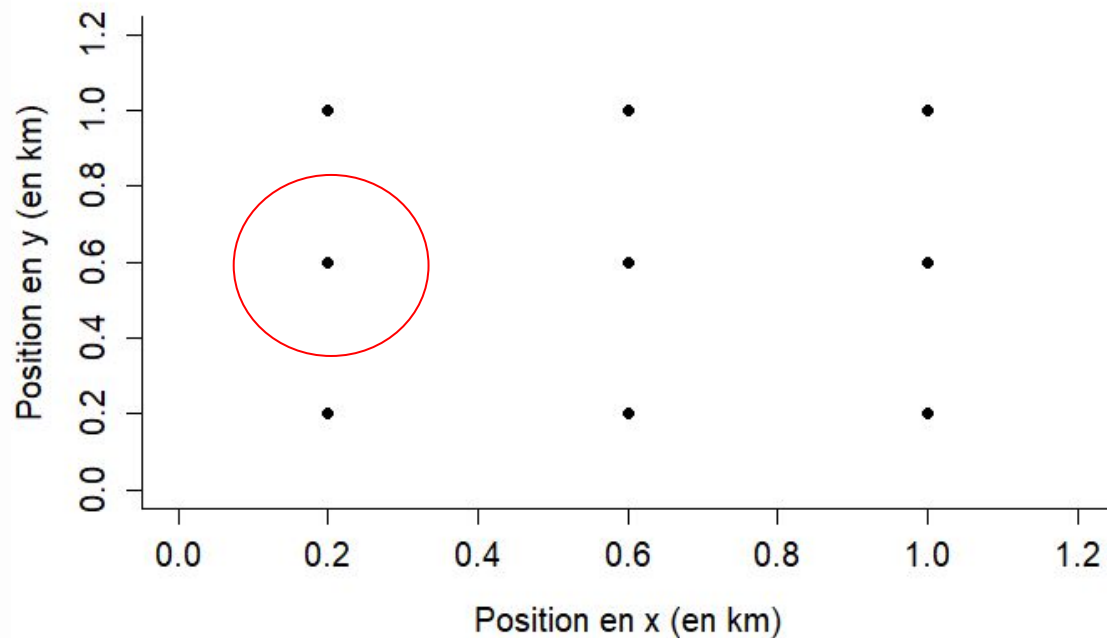
## 02 - Estimer les paramètres du modèle d'occupancy

Comparer les probabilités estimées aux probabilités simulées






# Disposition des micros



**9** micros sur **1,4km<sup>2</sup>**

Zone de détection : rayon de **200m**

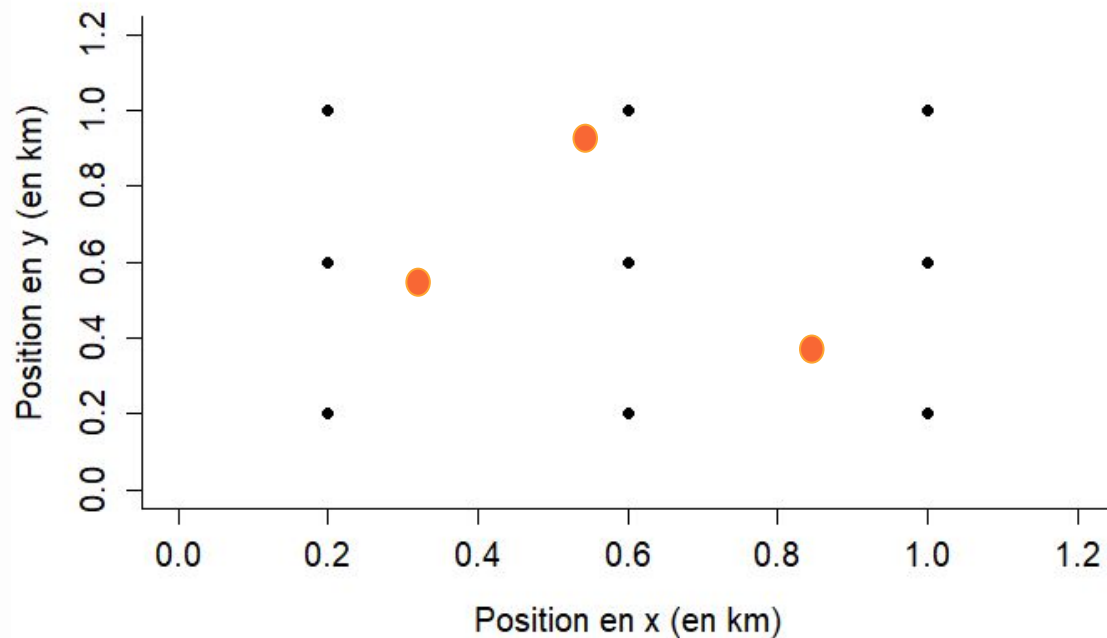
 Zone de detection du micro 2





# Répartition aléatoire et homogène des oiseaux


*Processus de Poisson spatial*



Nombre d'oiseaux  
moyen dans la zone::

3, 1 et 0.5

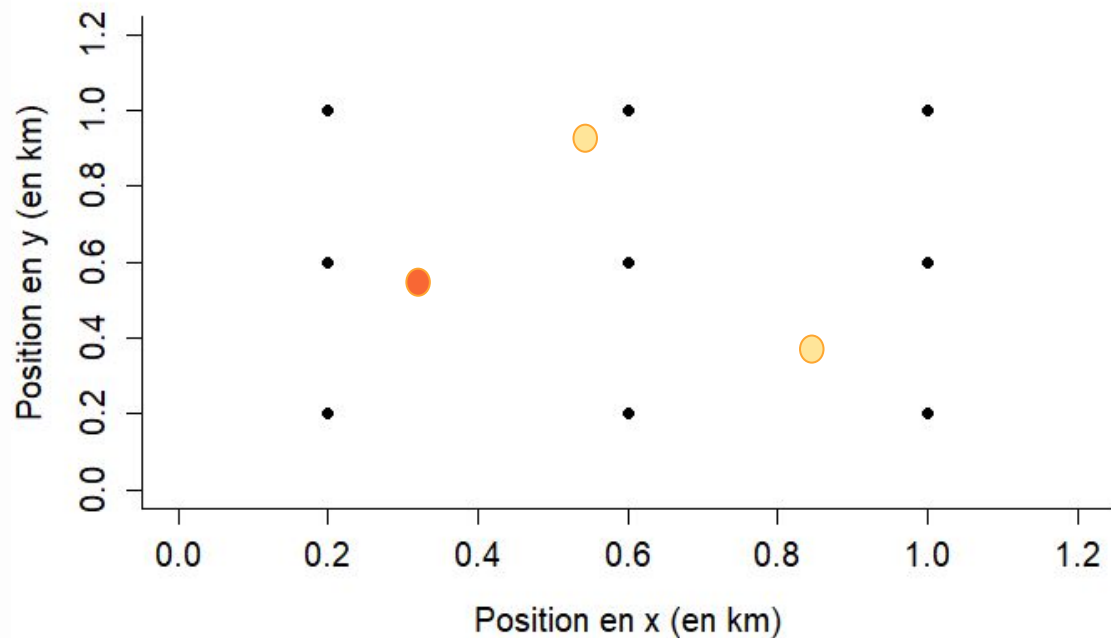
Répartis de façon  
**homogène** et  
**aléatoire.**

 Position d'un  
oiseau



# Répartition aléatoire et homogène des oiseaux

*Processus de Poisson spatial*



Nombre d'oiseaux  
moyen dans la zone  
dans nos simulations:

3, 2, 1 et 0.5

Répartis de façon  
**homogène** et  
**aléatoire.**

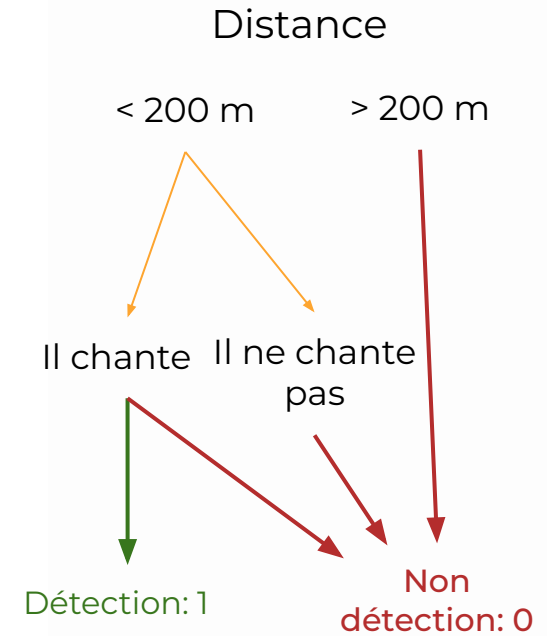
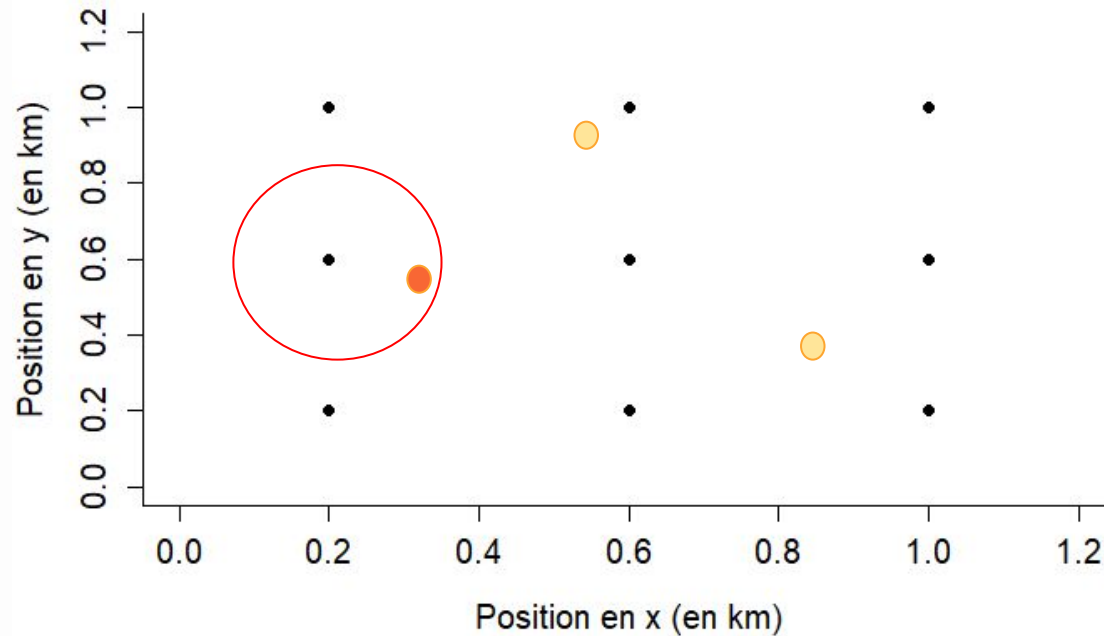
● Chante

● Chante pas



# Détection ou non détection

Pour 1 micro, pour 1 temps t





## ***Simulation pour la matinée $i$ , au temps $t$ et pour le micro $k$***

Détection

Espèce 1	Temps $t$
Matinée $i$ micro $k$	1

OU

Non détection

Espèce 1	Temps $t$
Matinée $i$ micro $k$	0



## ***Simulation pour la matinée $i$ et pour le micro $k$***

Espèce 1	Temps $t$
Matinée $i$ micro $k$	1 OU 0

Répétée 720 fois pour une durée totale de 1h



Espèce 1	Temps 1	Temps 2	...	Temps 719	Temps 720
Matinée $i$ micro $k$	1	1	...	0	1



## *Simulation pour la matinée $i$*

Espèce 1	Temps 1	Temps 2	...	Temps 719	Temps 720
Matinée $i$ micro $k$	1	1	...	0	1

Répétée pour 9 micros



Espèce 1	Temps 1	Temps 2	...	Temps 719	Temps 720
Matinée $i$ micro 1	1	1	...	0	1
...	0	1	...	1	1
Matinée $i$ micro 9	0	0	...	1	0



# Une simulation complète

Espèce 1	Temps 1	Temps 2	...	Temps 719	Temps 720
<b>Matinée i</b> micro 1	1	1	...	0	1
...	0	1	...	1	1
<b>Matinée i</b> micro 9	0	0	...	1	0

Répétée pour 30  
matinées



Espèce 1	Temps 1	Temps 2	...	Temps 719	Temps 720
<b>Matinée 1</b> micro 1	1	1	...	0	1
...	0	1	...	1	1
<b>Matinée 1</b> micro 9	0	0	...	1	0
...	...	...	...	...	...
<b>Matinée 30</b> micro 9	1	0	...	1	0





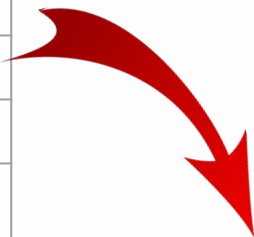
# Adaptation du modèle d'occupancy à notre projet

Lien avec notre situation :

- 1 site = 1 matinée
- 1 micro = 1 observateur
- 1 occasion = 1 intervalle de temps

+ des espèces rares:  
on aura essentiellement des 0

Espèce 1	Occasion 1	Occasion 2	Occasion 3	Occasion 4	Altitude (en m)
Site 1 observateur 1	1	1	0	0	100
Site 1 observateur 2	0	1	0	1	100
...	...	...	...	...	...
Site 10 observateur 9	0	1	0	0	110



Espèce 1	Temps 1	Temps 2	...	Temps 719	Temps 720
Matinée 1 micro 1	1	1	...	0	1
...	0	1	...	0	1
Matinée 1 micro 9	0	0	...	1	0
...	...	...	...	...	...
Matinée 30 micro 9	0	1		0	1

**30 matinées** indépendantes  
auxquelles seront associées la  
même probabilité de présence

**9 micros** indépendants  
⇒ un site, détection sur  
l'ensemble zone 1.44km<sup>2</sup>

**1 micro**  
Détection cercle  
200m



# Scénario 1 : respect des hypothèses du modèle

Les oiseaux sont **statiques**

Ils chantent de manière **aléatoire**

On teste différentes probabilités de chants :

$P_c = 1, 0.5, \text{ et } 0.1$

On teste différentes densité d'oiseaux dans la zone :

Nombre oiseaux moyens = 3, 1 et 0.5

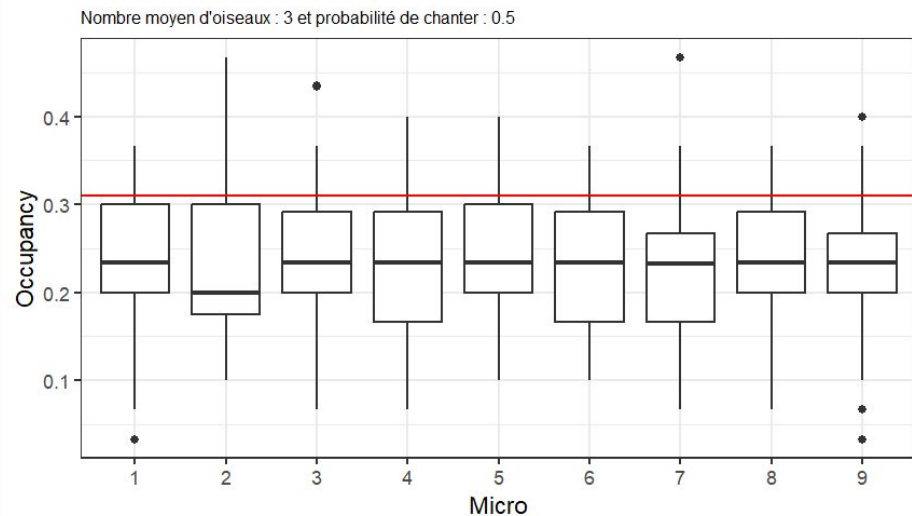
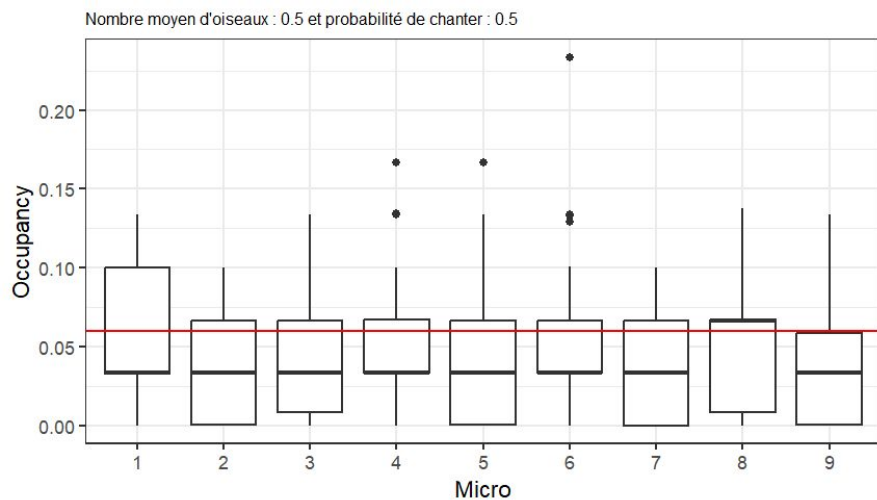
⇒ On prédit la probabilité de présence sur la zone du **micro**.



# Scénario 1 : résultats (occupancy) pour 9 micros

*Les oiseaux sont statiques*

*Ils chantent de manière aléatoire*



Probabilités à retrouver




# Scénario 1 : résultats (occupancy) pour 9 micros

Les oiseaux sont statiques

Ils chantent de manière aléatoire

On a **détection** si **au moins 1 des micros** détecte.

Espèce 1	Temps 1	Temps 2	...	Temps 719	Temps 720
Matinée 1 micro 1	0	1	...	0	1
...	0	1	...	1	1
Matinée 1 micro 9	0	0	...	1	0
...	...	...	...	...	...
Matinée 30 micro 9	0	1		0	1



Espèce 1	Temps 1	Temps 2	...	Temps 719	Temps 720
Matinée 1	0	1	...	1	1
Matinée 2	1	1	...	1	1
...	...	...	...	...	...
Matinée 30	0	1	...	0	1

On va chercher à estimer la probabilité de présence sur la **zone de 1,44km<sup>2</sup>**



# Scénario 1 : résultats (occupancy) sur l'ensemble de la zone

Les oiseaux sont statiques

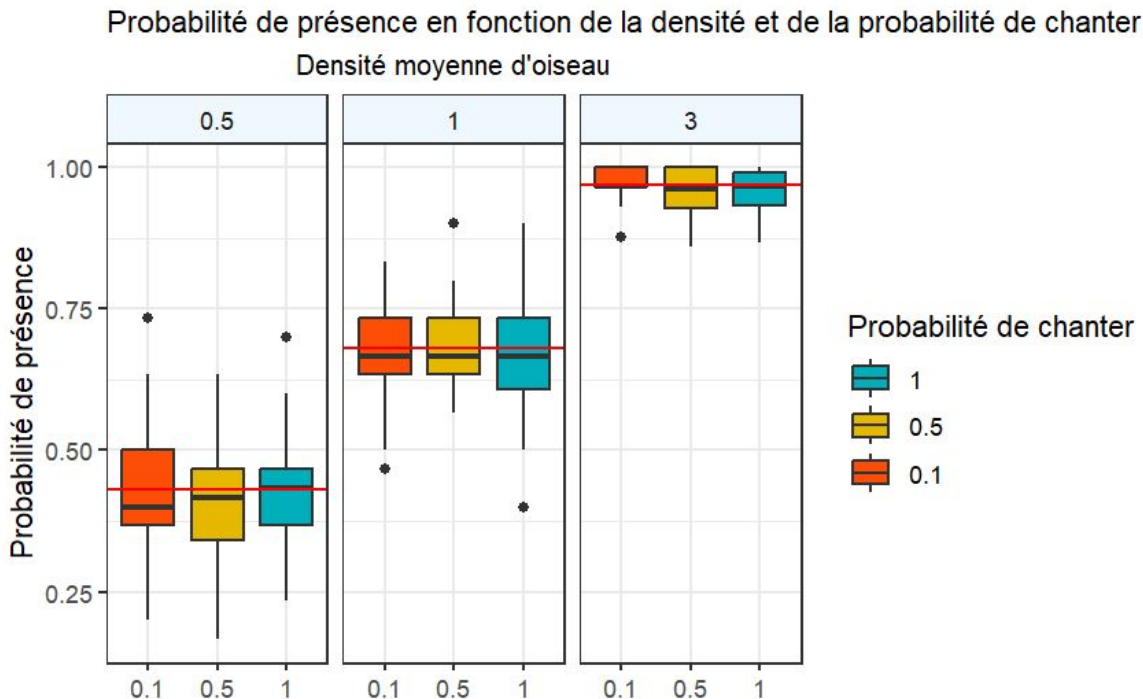
Ils chantent de manière aléatoire

Probabilités de **présences théoriques** en fonction des densités moyennes:

0.5  $P_{\text{occupancy}} = 0.43$

1  $P_{\text{occupancy}} = 0.68$

3  $P_{\text{occupancy}} = 0.967$





# Scénario 1 : résultats (détection) sur l'ensemble de la zone

Les oiseaux sont statiques

Ils chantent de manière aléatoire

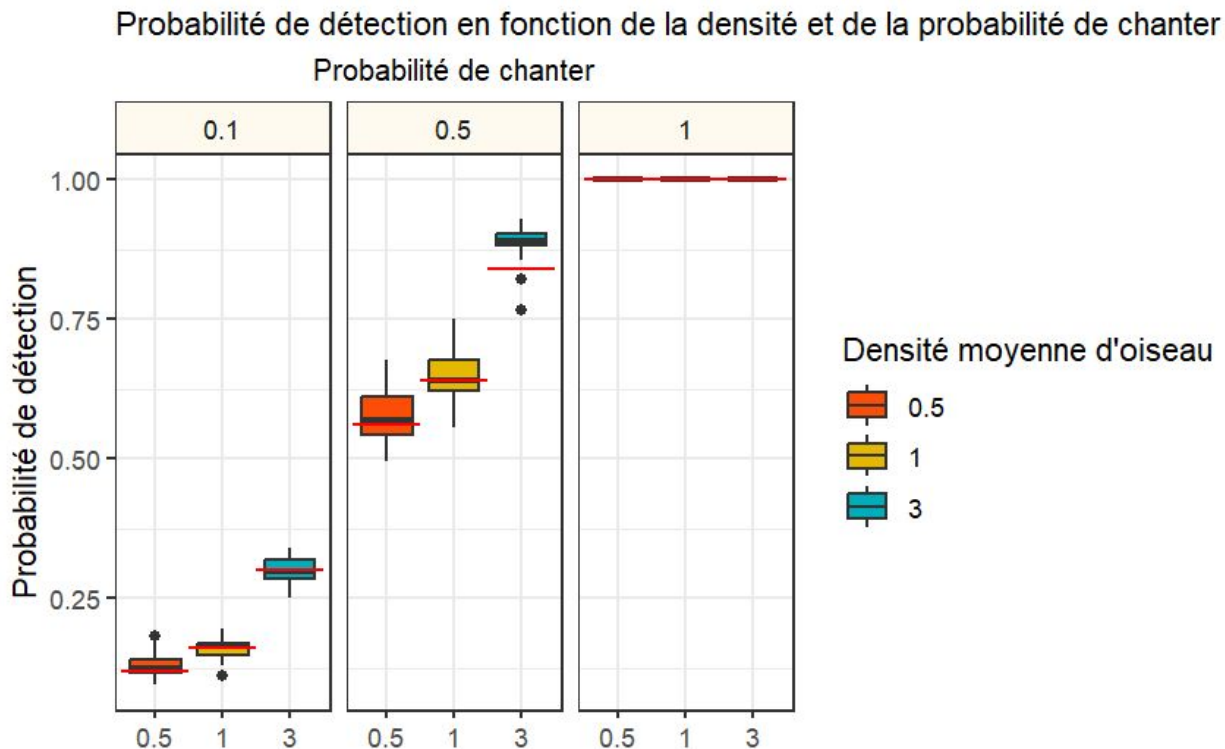
Probabilités de **détections empiriques**  
en fonction des probabilités de chant:

0.5   1   3

0.1  $P_{\text{détection}} = 0.12 / 0.16 / 0.30$

0.5  $P_{\text{détection}} = 0.56 / 0.64 / 0.84$

1  $P_{\text{détection}} = 1 / 1 / 1$





## **Scénario 2 : ajout de cohérence temporelle dans les chants**

Les oiseaux sont **statiques**

+ Leur chant est **dépendant du temps** (Utilisation chaîne de Markov)

Hypothèse non respectée :

Indépendance des occasions

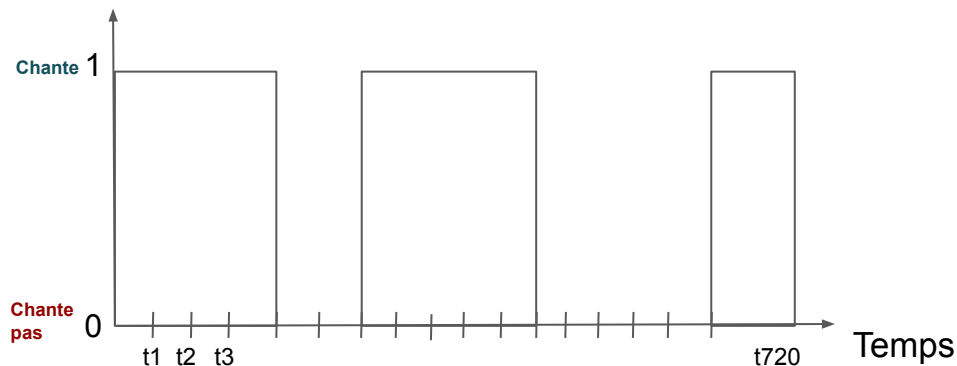




# Simulation du chant d'un oiseau $i$ au temps $t$

La chaîne de Markov appliquée à notre cas

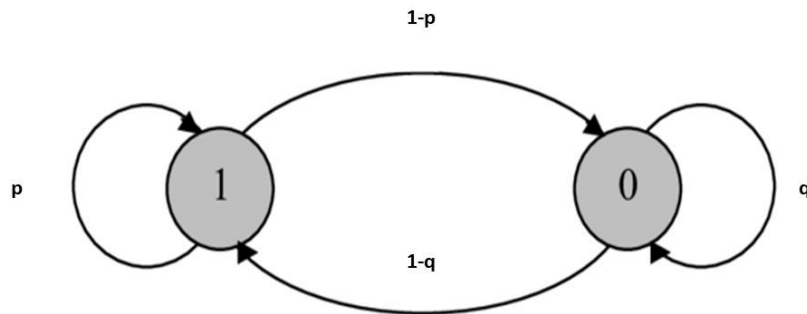
$t \backslash t+1$	L'oiseau chante au temps $t+1$	L'oiseau ne chante pas au temps $t+1$
L'oiseau chante au temps $t$	$p$	$1-p$
L'oiseau ne chante pas au temps $t$	$1-q$	$q$



Chaîne de Markov

Etat 1 : l'oiseau chante

Etat 0 : l'oiseau ne chante pas





# Simulation du chant d'un oiseau $i$ au temps $t$

Choix des probabilités  $p$  et  $q$

$t \setminus t+1$	L'oiseau chante au temps $t+1$	L'oiseau ne chante pas au temps $t+1$
L'oiseau chante au temps $t$	$p$	$1-p$
L'oiseau ne chante pas au temps $t$	$1-q$	$q$

Chaîne de Markov

Etat 1 : l'oiseau chante

Etat 0 : l'oiseau ne chante pas

Loi géométriques  $X1 \sim G(1-p)$  et  $X2 \sim G(1-q)$

$E(X) = 1/(1-p)$  et  $E(X) = 1/(1-q)$

Nos choix :

1.

$p = 0.3$

$q = 0.99$

Temps de chant  
moyen = 7,14 secondes

Temps sans chant  
moyen = 8,34 minutes

2.

$p = 0.4$

$q = 0.8$

Temps de chant  
moyen = 8,3 secondes

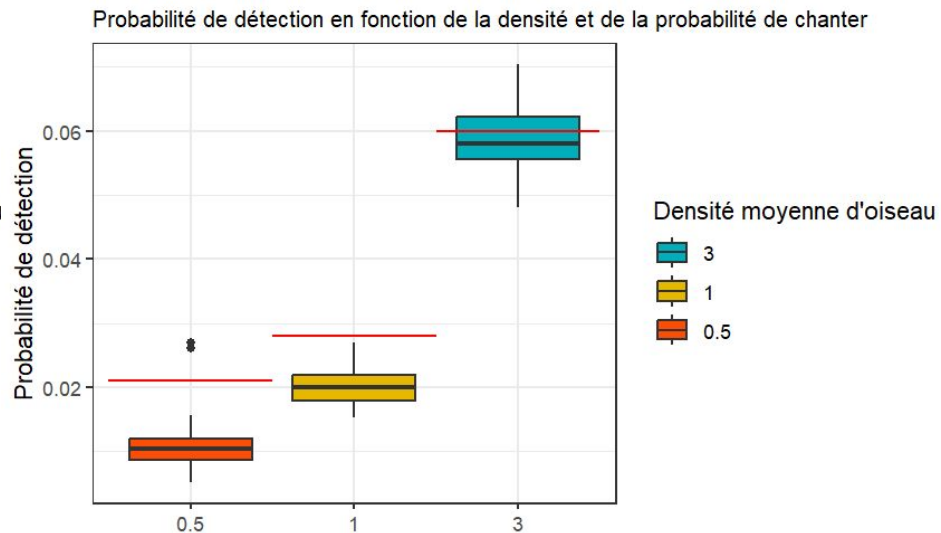
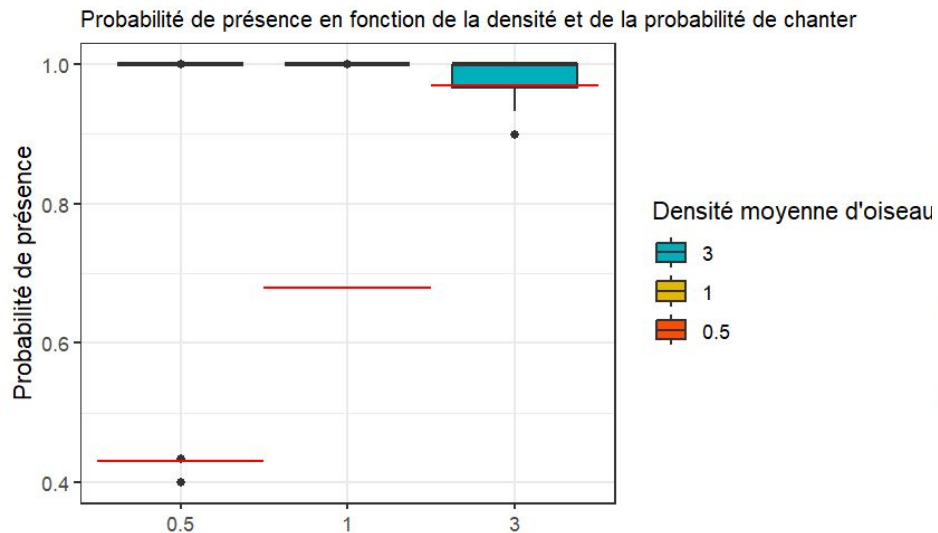
Temps sans chant  
moyen = 25 secondes



## Scénario 2 : résultats ( $p : 0.3$ et $q : 0.99$ )

*Les oiseaux sont statiques*

*Leur chant est dépendant du temps*

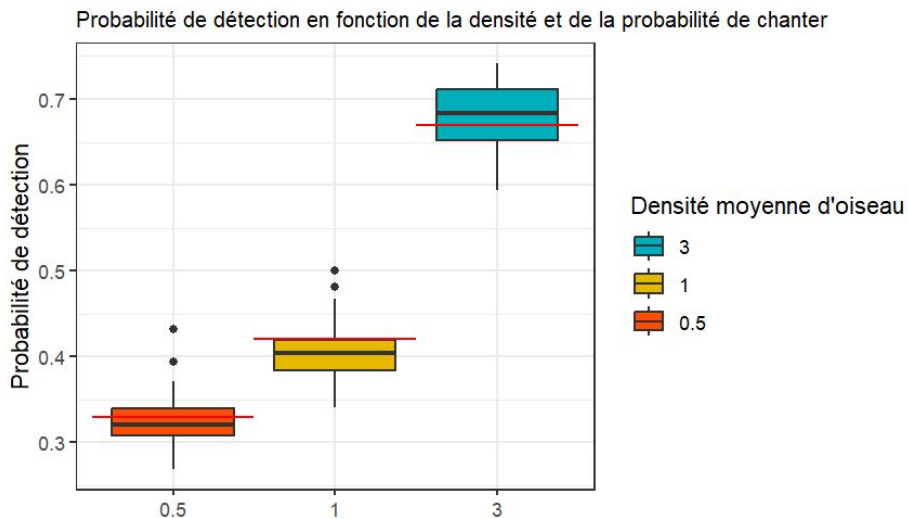
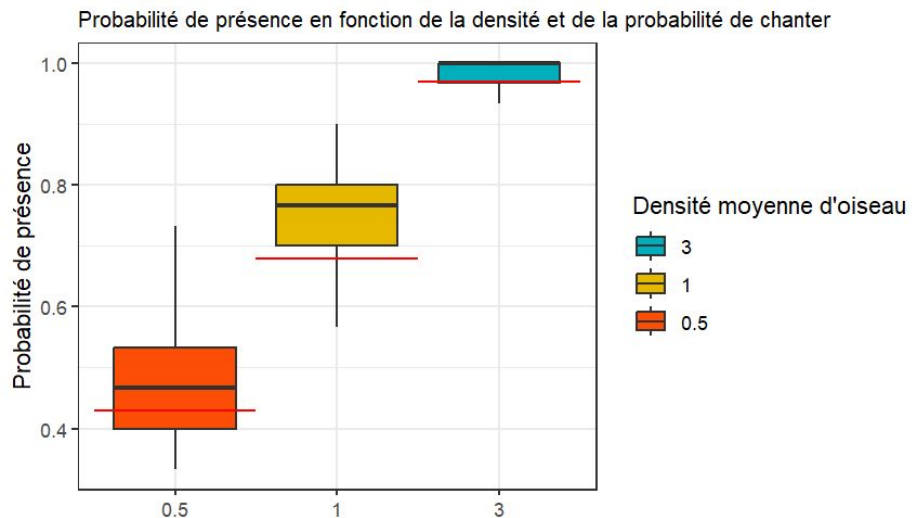




## Scénario 2 : résultats ( $p : 0.4$ et $q : 0.8$ )

*Les oiseaux sont statiques*

*Leur chant est dépendant du temps*





## **Scénario 3 : prendre en compte la position des oiseaux dans la probabilité de détection**

Les oiseaux sont **statiques**

Leur chant est **dépendant du temps** (Utilisation chaîne de Markov)

+ La probabilité de les détecter s'**atténue avec la distance**

Pour le calcul de la probabilité de détection du chant:

Fonction d'atténuation avec la distance

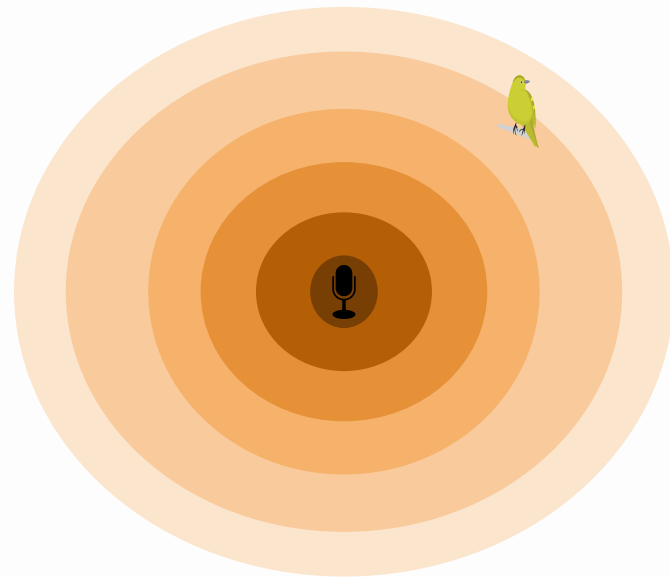
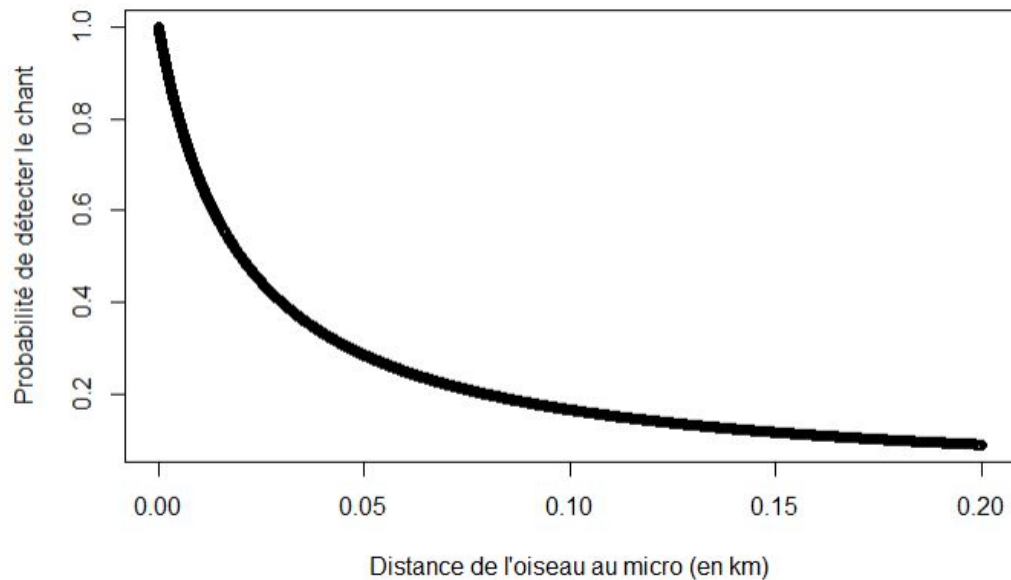
Hypothèse non respectée :

Indépendance des occasions



## ***Simulation de l'atténuation du chant d'un oiseau $i$ au temps $t$***

Plus les oiseaux sont éloignés plus les micros ont du mal à détecter le chant



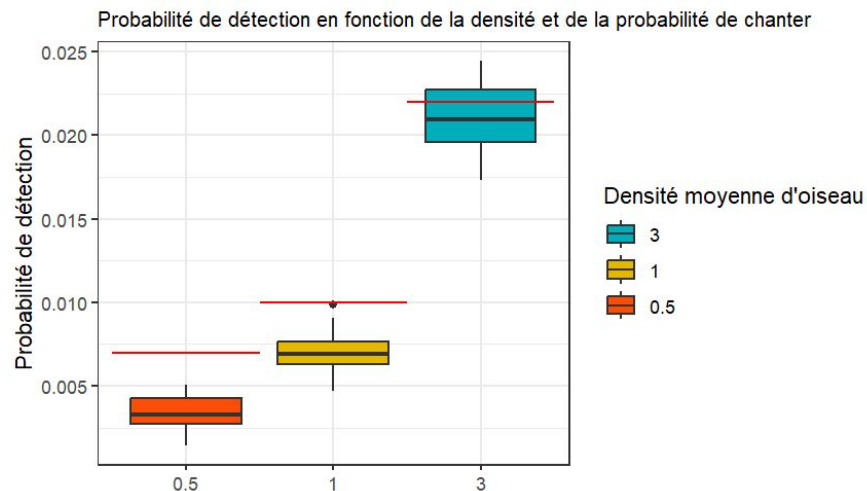
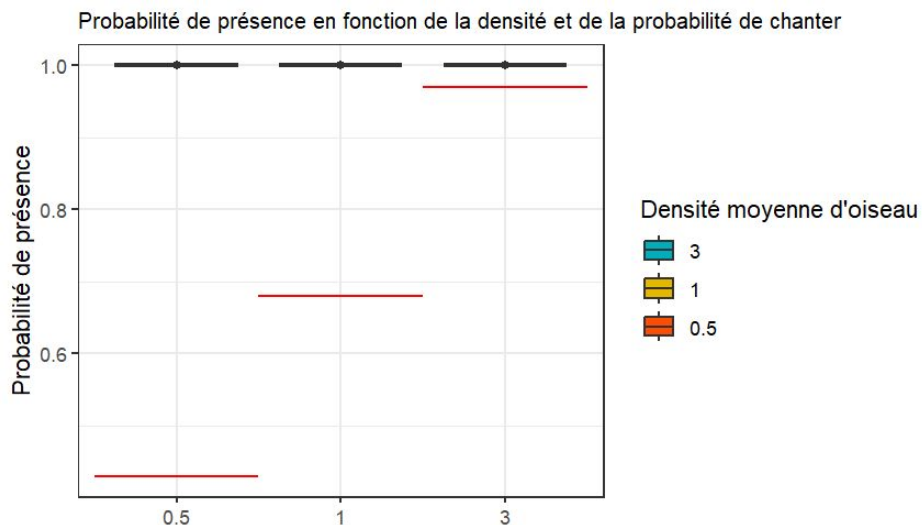


## Scénario 3 : résultats ( $p : 0.3$ et $q : 0.99$ )

*Les oiseaux sont statiques*

*Leur chant est dépendant du temps*

*La probabilité de les détecter s'atténue avec la distance*





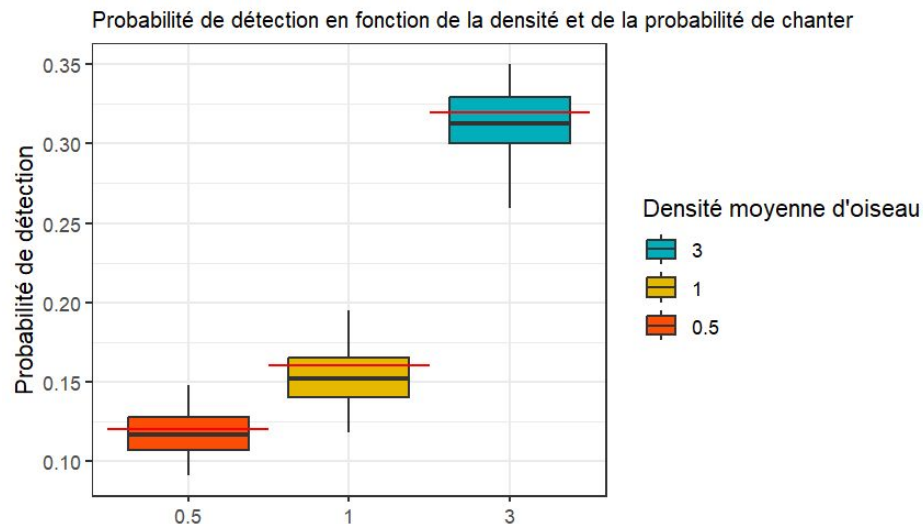
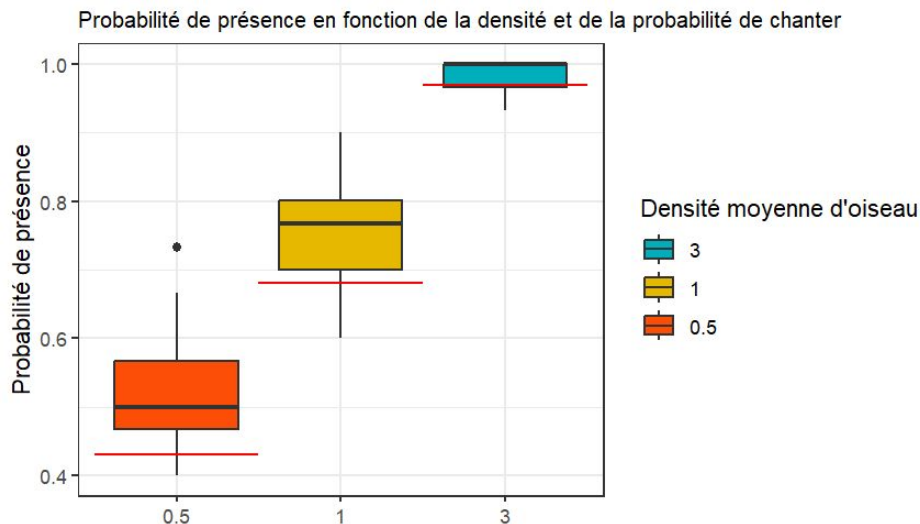


## Scénario 3 : résultats ( $p : 0.4$ et $q : 0.8$ )

*Les oiseaux sont statiques*

*Leur chant est dépendant du temps*

*La probabilité de les détecter s'atténue avec la distance*





# Conclusion de l'étude



# ***Limites dans le cadre du projet Darksound***

## **Rareté des espèces :**

- Modèle d'occupancy
- Deep-learning

**Conditions non favorables dans la forêt des Nouragues mais le modèle peut-être utilisé dans des situations où la densité est plus importante**

⇒ Projet d'éco-acoustique de l'équipe du Museum national d'Histoire Naturelle dans la région du Jura



# ***Les avantages de notre étude***

**Mise en place d'un cadre de simulation facilement adaptable pour l'ajout de conditions supplémentaires :**

- Répartition non-homogène des individus (Processus de poisson spatial non-homogène)
- Intensité de chant
- Chevauchement des aires de détection des micros

**Illustrer l'importance de la simulation de données pour tester la pertinence des analyses envisagées**



# ***Bibliographie***

MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Lachman, G.B., Droege, S., Andrew Royle, J. & Langtimm, C.A. (2002). Estimating Site Occupancy Rates When Detection Probabilities Are Less Than One. *Ecology*, 83, 2248–2255.

Sueur, J. & Farina, A. (2015). Ecoacoustics: the ecological investigation and interpretation of environmental sound. *Biosemiotics*, 8, 493–502.

Fiske I, Chandler R (2011). “unmarked: An R Package for Fitting Hierarchical Models of Wildlife Occurrence and Abundance.” *Journal of Statistical Software*, 43(10), 1–23. <https://www.jstatsoft.org/v43/i10/>.



# Remerciement



Sylvain Hauptert



Marie-Pierre Etienne

