Modéliser les déplacements d'animaux: quelques problématiques de recensement et étude du comportement

Geoffroy Berthelot, Vincent Bansaye

INSEP
Institut National du Sport

Office National
de la Chasse
et de la Faune Sauvage

ÉCOLE
POLYTECHNIQUE

Objectifs

- Modéliser les déplacements des animaux
  - **Simulation numérique** / modèle mathématique
- Tester le comportement
- Etablir un modèle de recensement de la population d’une espèce

Données (1)

13 individus, 3 espèces:

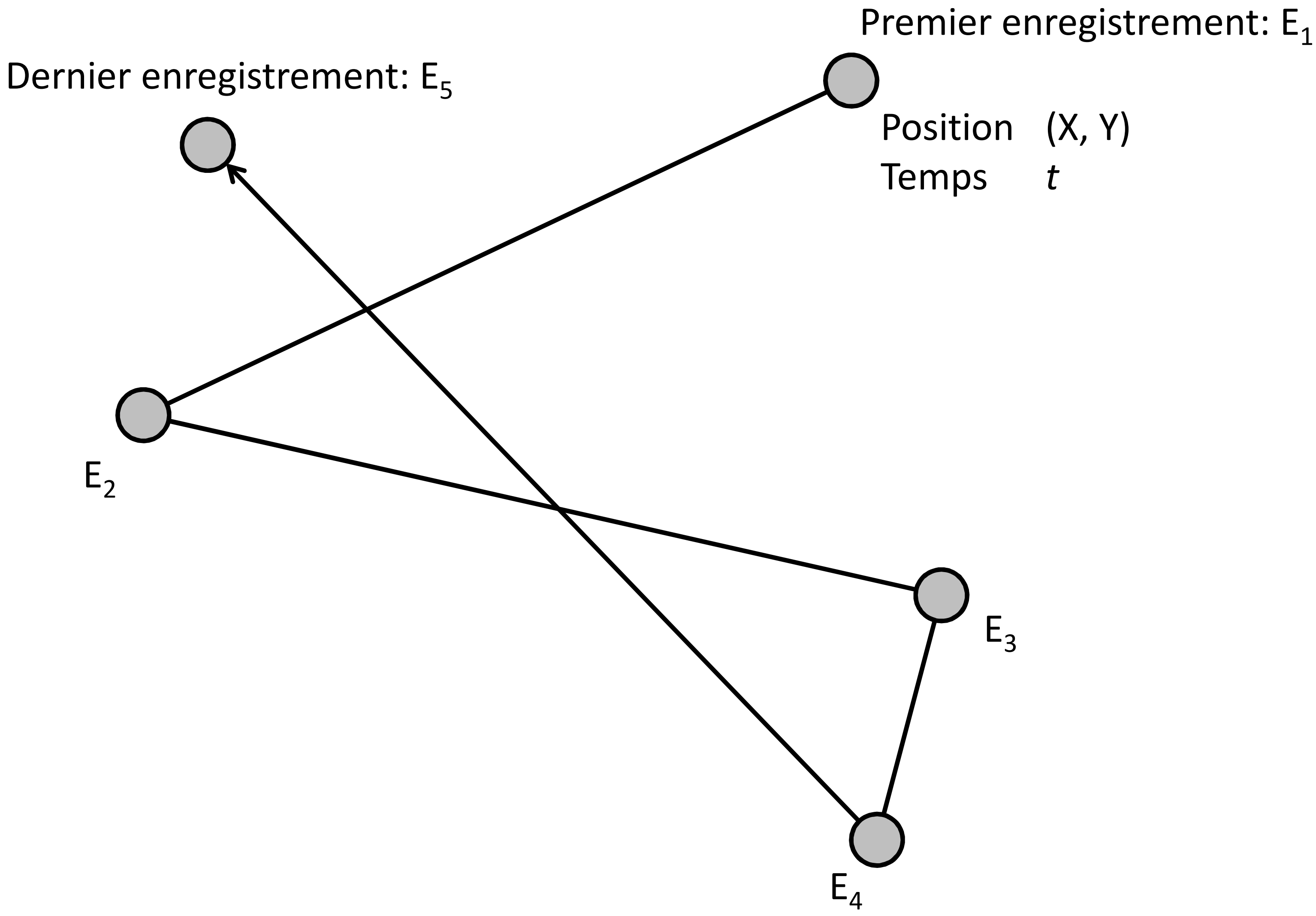
	Nb	Période de recueil	*n*	Δ*
BICHES	5	6 – 7 mois	> 20 000	~ 10 min.
MOUFLONS	3	14 - 15 mois	> 5 000	~ 2h.
OURS	5	12 – 14 mois	200 < n < 900	~ 11h.

Δ*: delta temps moyen entre deux enregistrements GPS

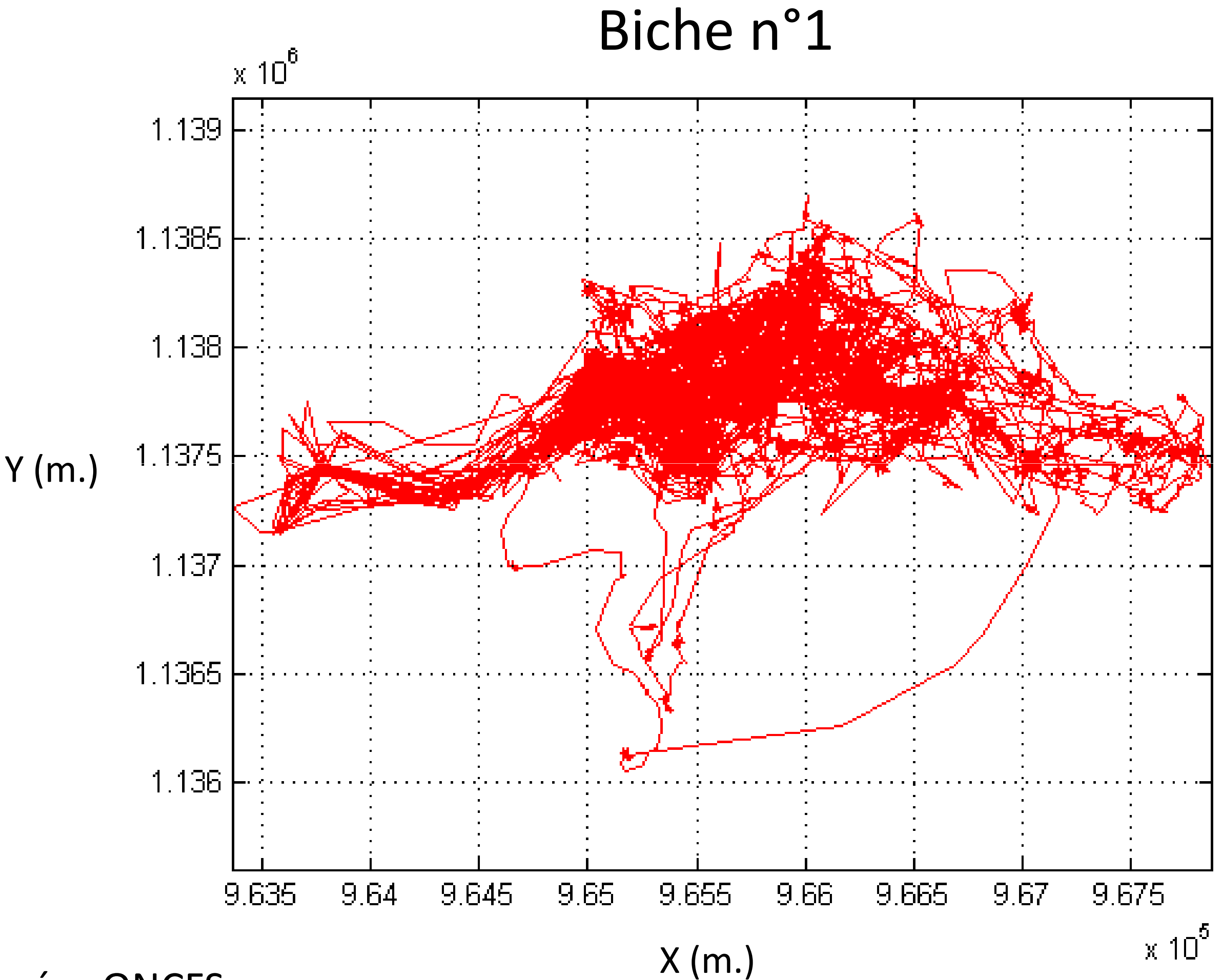
Convention avec l'ONCFS

PS: on cherche des données d'enregistrements en simultanées

Données (2) – Exemple fictif



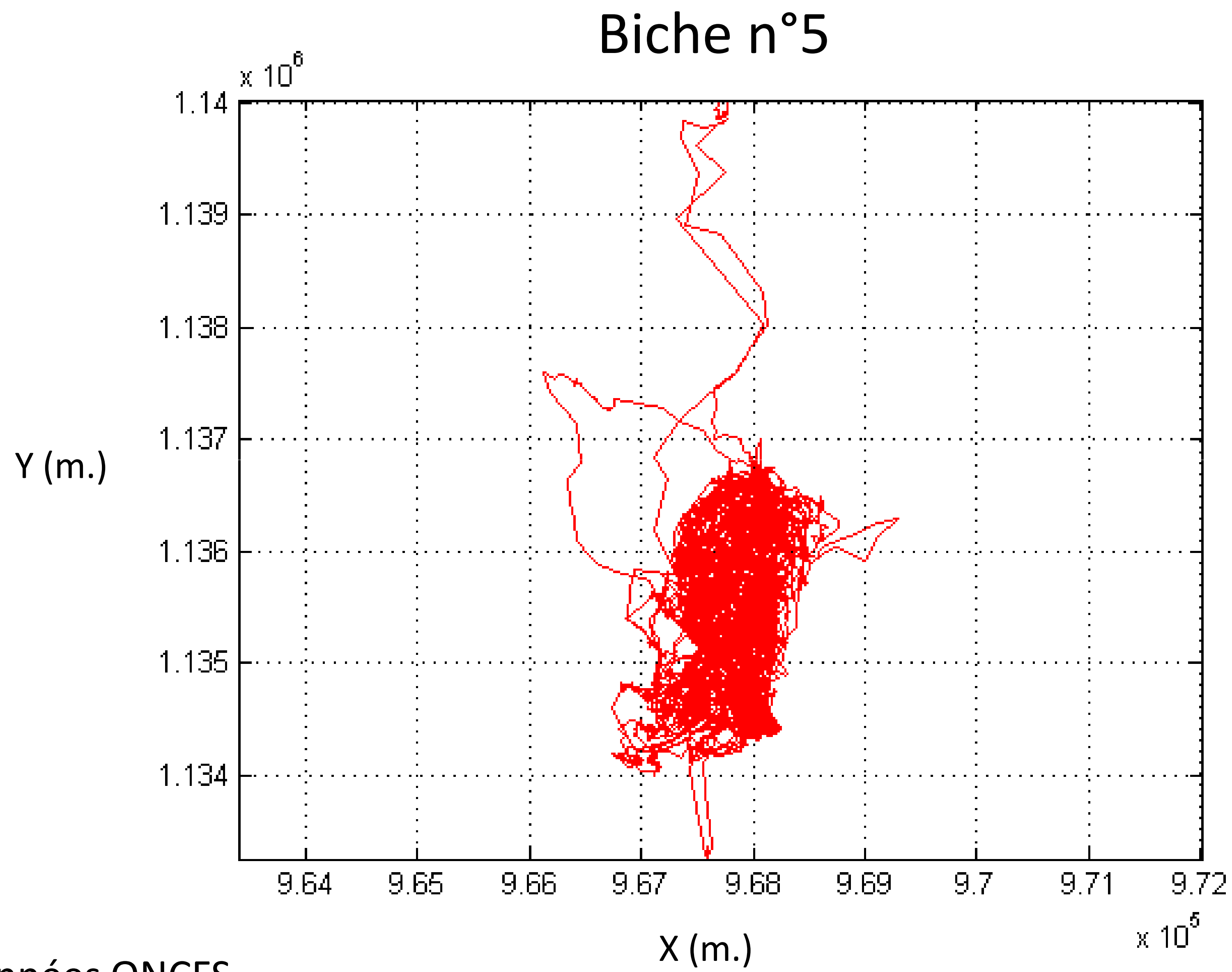
Trajets (1)



Données ONCFS

PS: on cherche des données d'enregistrements en simultanées

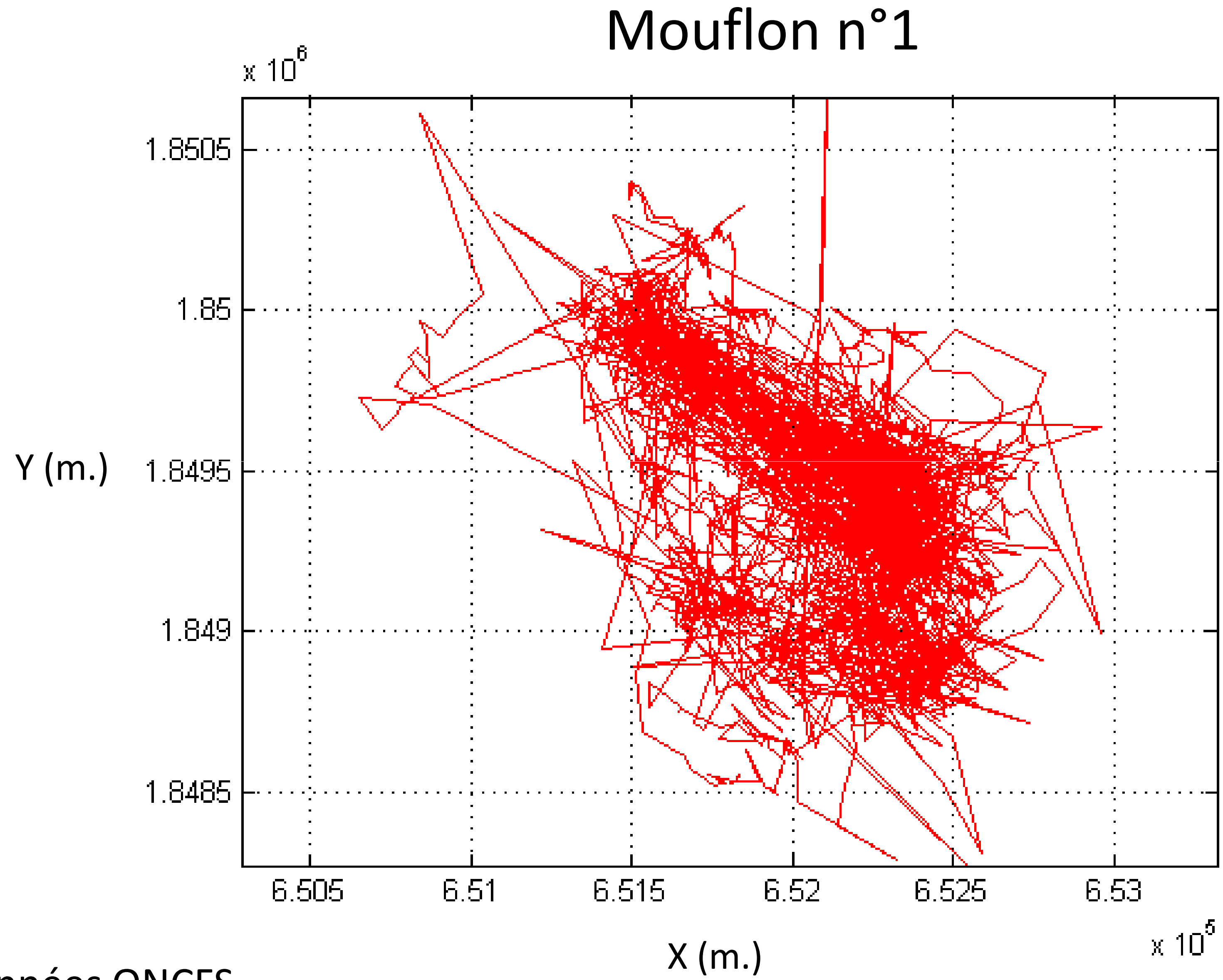
Trajets (2)



Données ONCFS

PS: on cherche des données d'enregistrements en simultanées

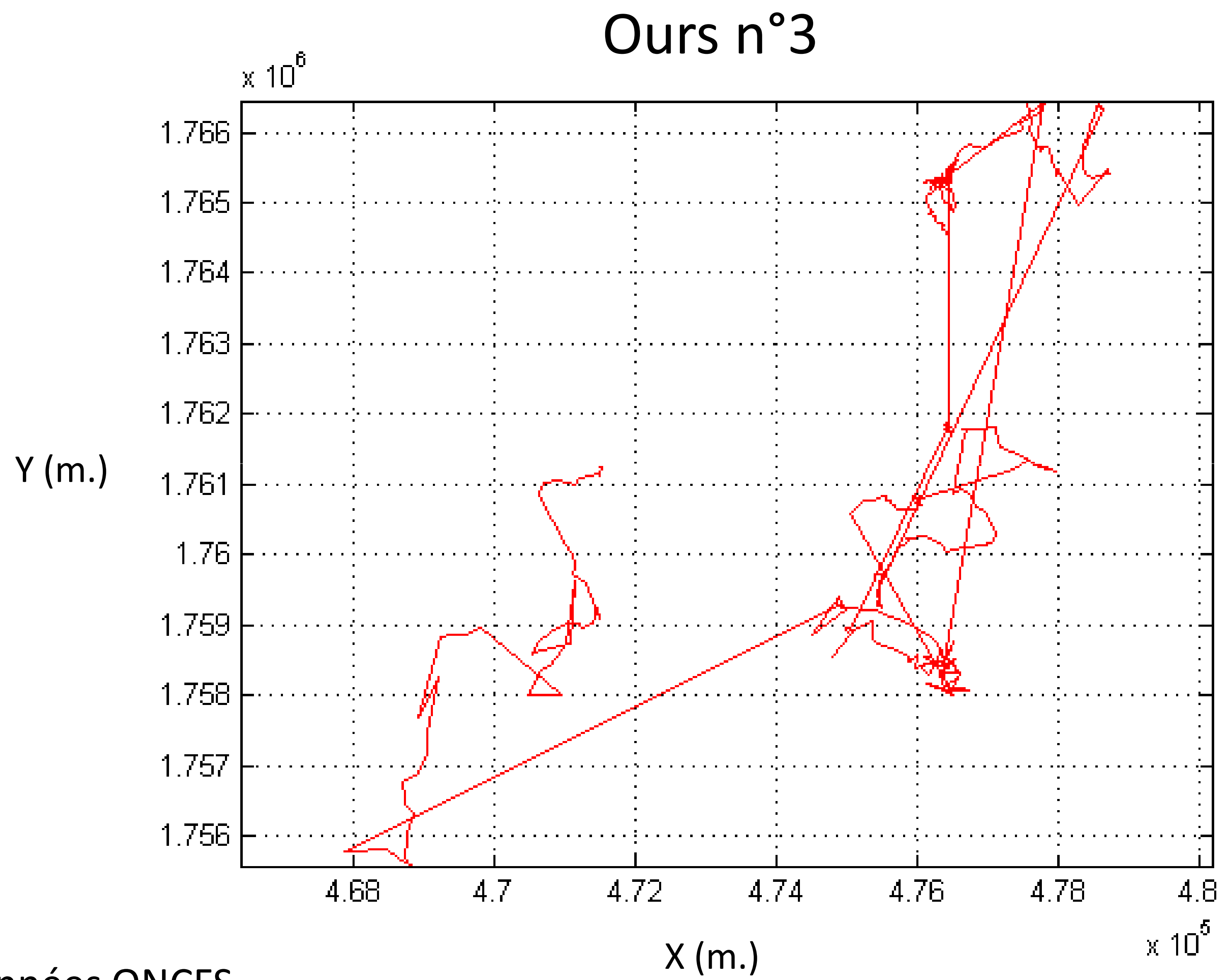
Trajets (3)



Données ONCFS

PS: on cherche des données d’enregistrements en simultanées

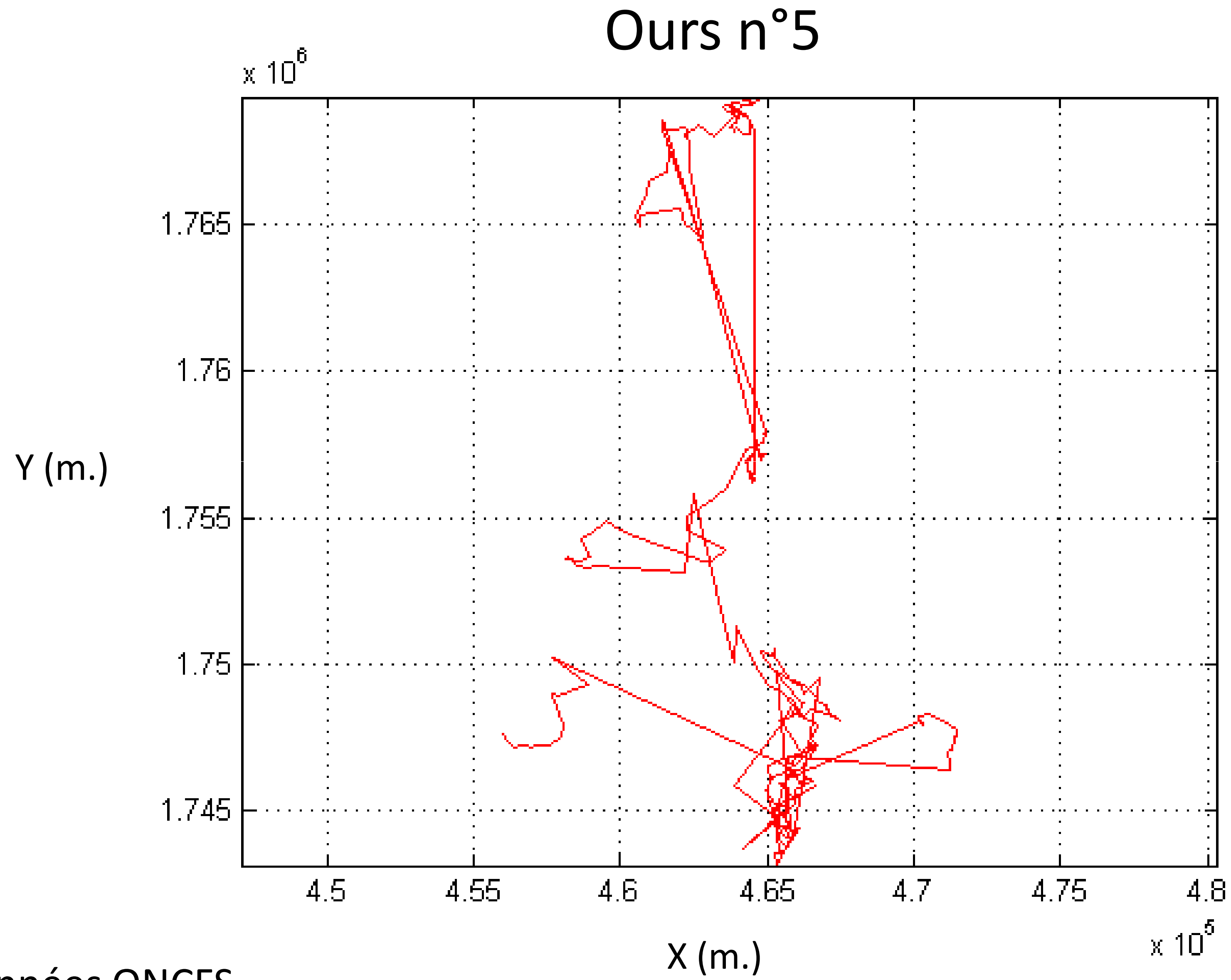
Trajets (4)



Données ONCFS

PS: on cherche des données d’enregistrements en simultanées

Trajets (5)

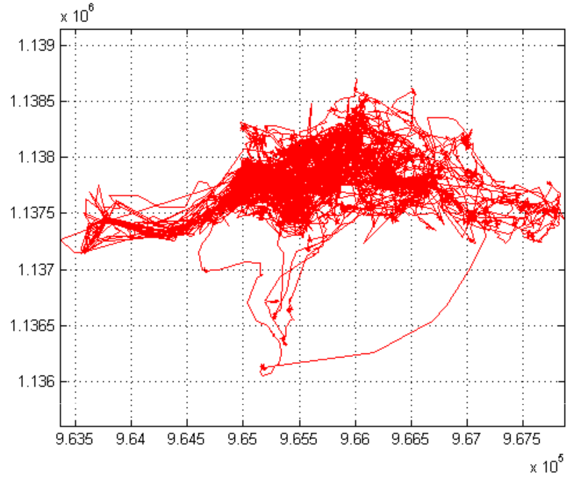


Données ONCFS

PS: on cherche des données d'enregistrements en simultanées

Modélisation (1)

- Aspect diffusif du mouvement (équiprobable dans chaque direction)
- Attraction d'un foyer
- Phases d'exploration prises en compte dans un terme d'inertie
- Variation des paramètres de déplacement (en fonction de l'habitat [1] et du moment de la journée)
- Interaction avec les autres individus (dynamique ou statique via un marquage du territoire)



1. Morales et al. *Ecology* (2004)

Modélisation (2)

Modèles usuels:

- Mixtures de marches aléatoires [1] auto-corrélées [2]
- Ponts Browniens [3, 4]
- Vols de Lévy [5] …

Cf. review de Börger et al. [6]

1. Morales et al. *Ecology* (2004)
2. Dray et al. *Ecol Res* (2010)
3. Benhamou et al. *PLoS One* (2011)
4. Horne et al. *Ecology* (2007)
5. Viswanathan et al. *Physics A* (2001)
6. Börger et al. *Ecology Letters* (2008)

Construction des modèles (1)

De façon à :

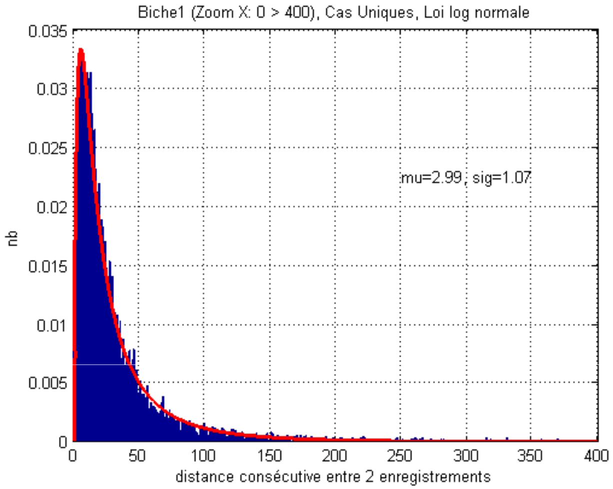
1) « Coller » aux données (vérifications par des test d'adéquations usuels (X^2) …) et aux hypothèses écologiques qui nous intéressent (grands espaces plutôt homogènes)

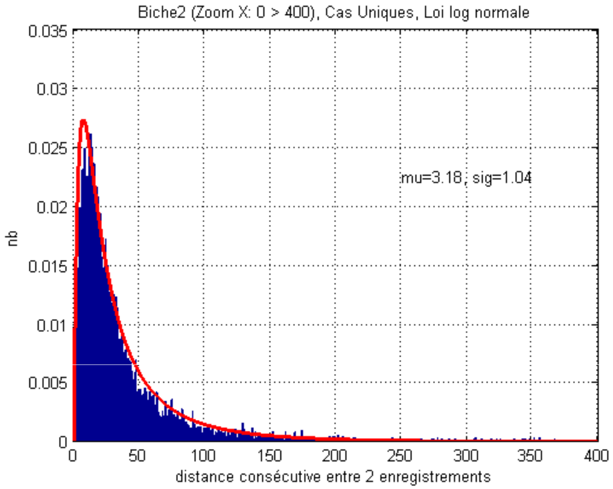
2) Répondre aux motivations (comportement ou problèmes de recomptage, avec comparaison sur des statistiques qui nous intéresse)

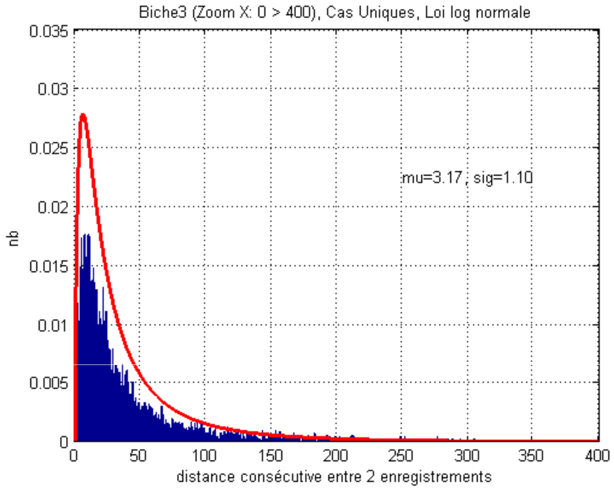
3) Pouvoir avoir un modèle étudiable d'un point de vue mathématique (estimer les probabilités associées)

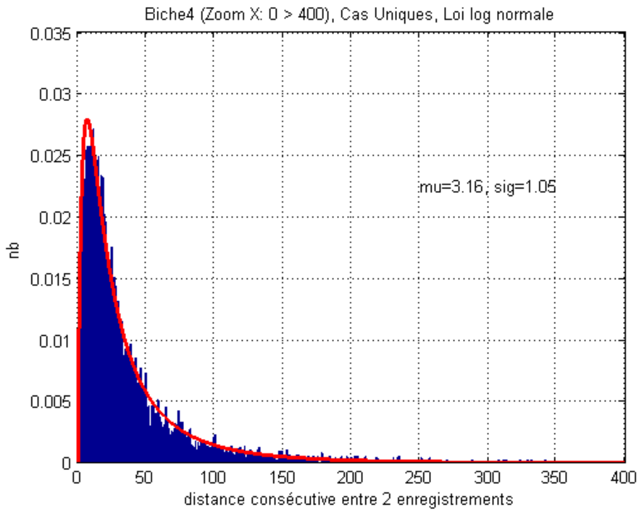
Construction des modèles (2)

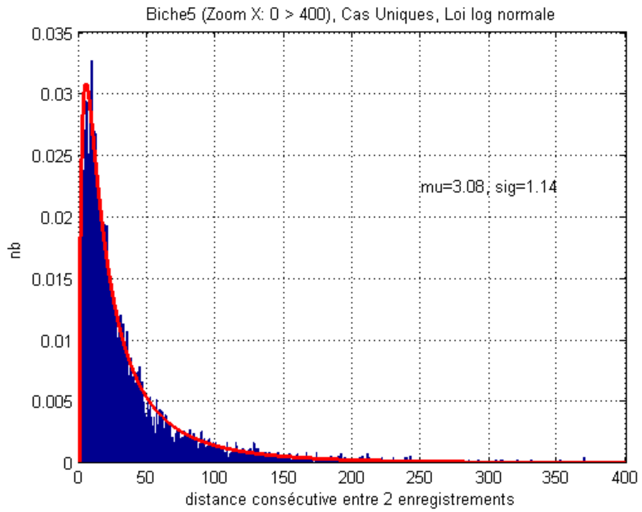
- Modèle en temps discret avec un pas aléatoire (loi log-normale)











Construction des modèles (2)

- Modèle en temps discret avec un pas aléatoire (loi log-normale)
- Un seul foyer
- On suppose un environnement homogène (pas d'habitats de nature différente qui affecte le comportement)
- 2 périodes dans la journée (phase active et peu active) qui affectent les paramètres de déplacement

<u>Actuellement</u>

- pas d'interaction(s)
- Pas d'auto-corrélation du mouvement (conditionnellement à l'angle au foyer et à la position précédente, les angles sont indépendants)

  On cherche à tester ces hypothèses sur les données de déplacements et sur nos statistiques

Construction des modèles (3)

Modèle 1 : temps discret, espace discret (8 directions possibles)

Décrit par une matrice de transition qui dépend de la position actuelle, précédente et du foyer (et du moment de la journée)

La chaine (X_n, X_{n+1}) donnant deux positions successives de l'animal est Markovienne

Construction des modèles (3)

Modèle 1 : temps discret, espace discret (8 directions possibles)

Décrit par une matrice de transition qui dépend de la position actuelle, précédente et du foyer (et du moment de la journée)

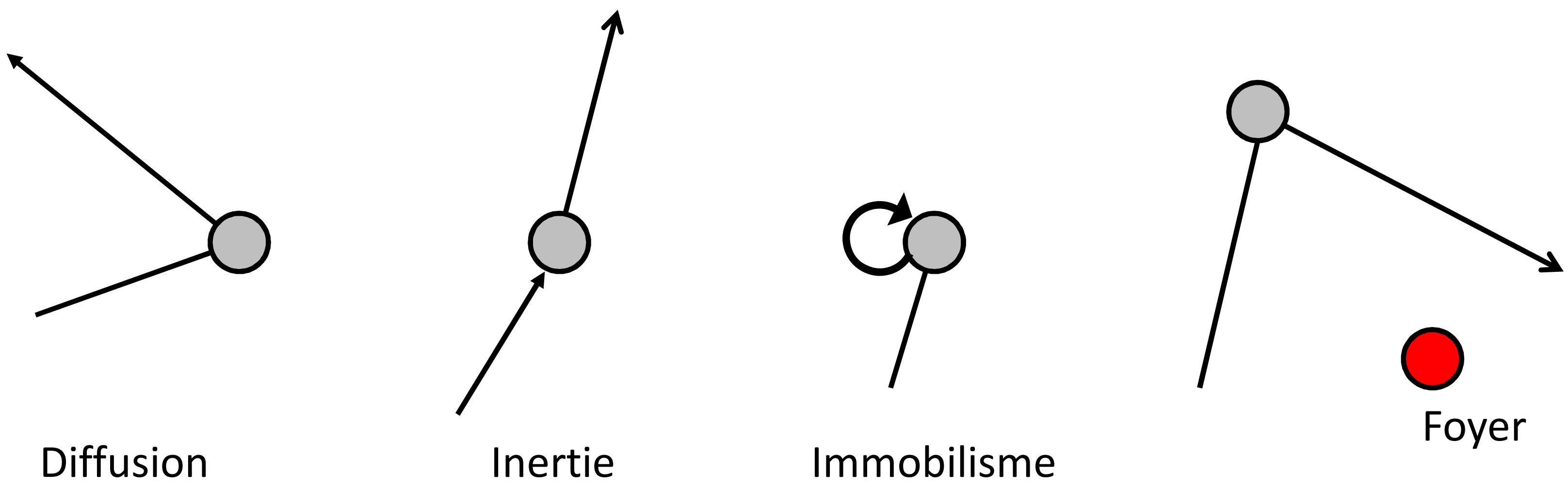
La chaine (X_n, X_{n+1}) donnant deux positions successives de l'animal est Markovienne

Modèle 2 : temps discret, espace continu

Angles et distances aléatoires qui dépendent de la position actuelle, précédente, du foyer (et du moment de la journée)

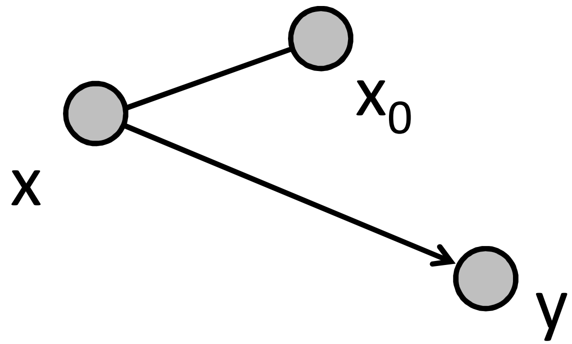
Modèle discret (1)

- Pour chaque trajectoire, on suppose 1 foyer
  - On utilise l'isobarycentre des observations
- 4 forces, 4 états:
  - diffusion, inertie, immobilisme, attraction du foyer

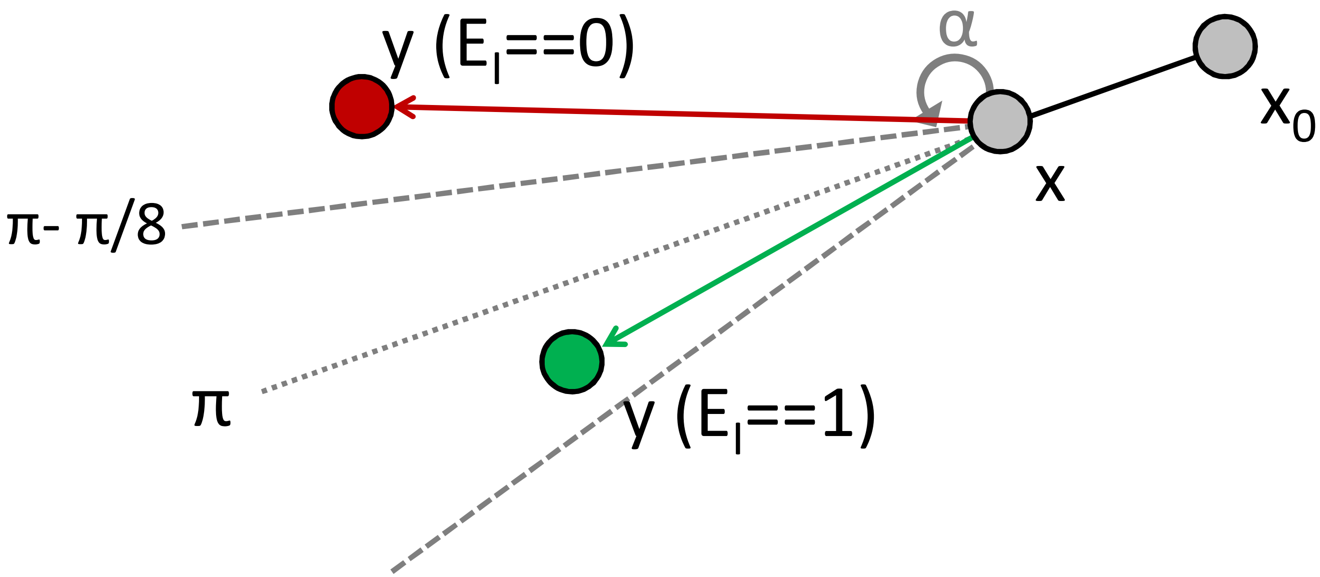


Modèle discret (2)

Pris en compte dans une matrice de transition $p(x_0, x, y)$

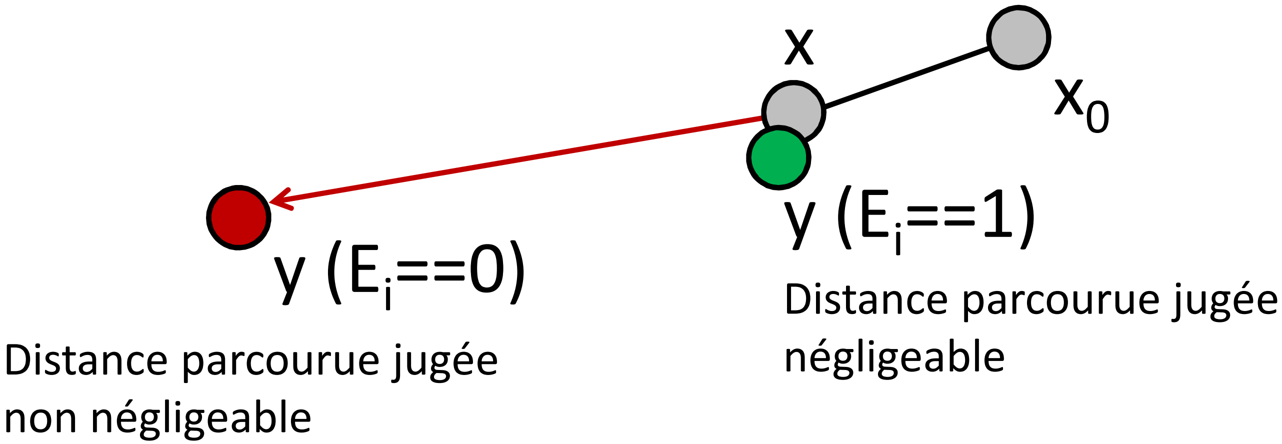


Etat d'inertie (E_I) est vérifié si:



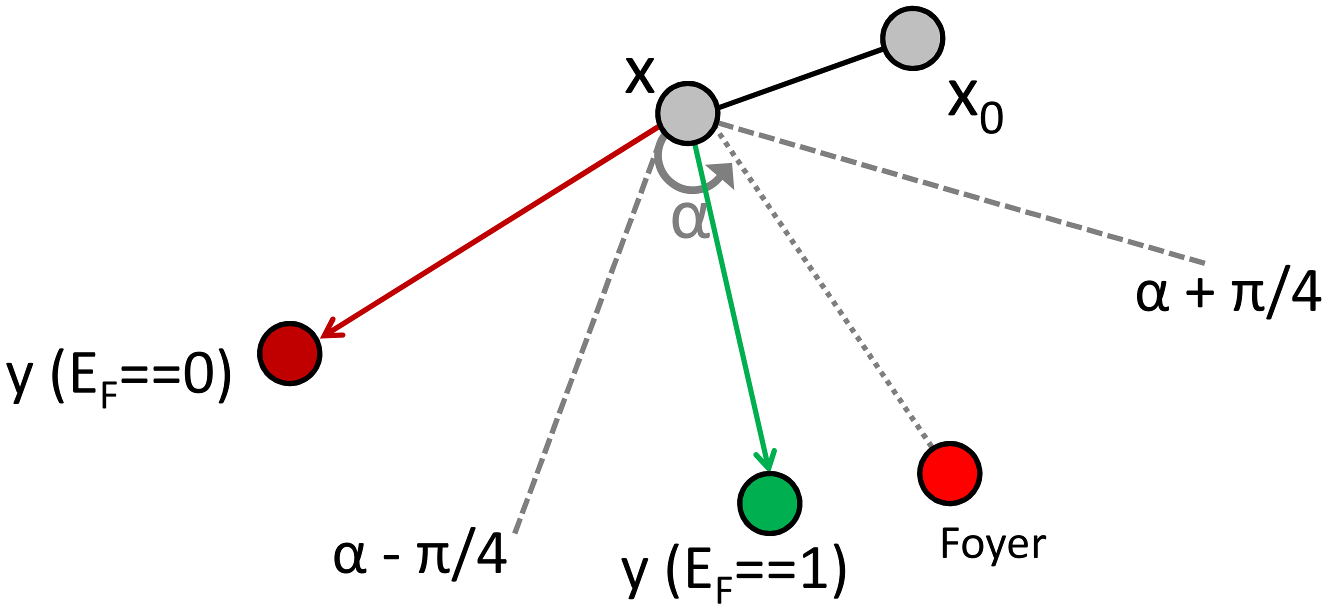
Modèle discret (3)

Etat d’immobilisme (E_i) est vérifié si:



Modèle discret (4)

Etat foyer (E_F) est vérifié si:



α: angle « parfait » de retour au foyer

Modèle discret (5)

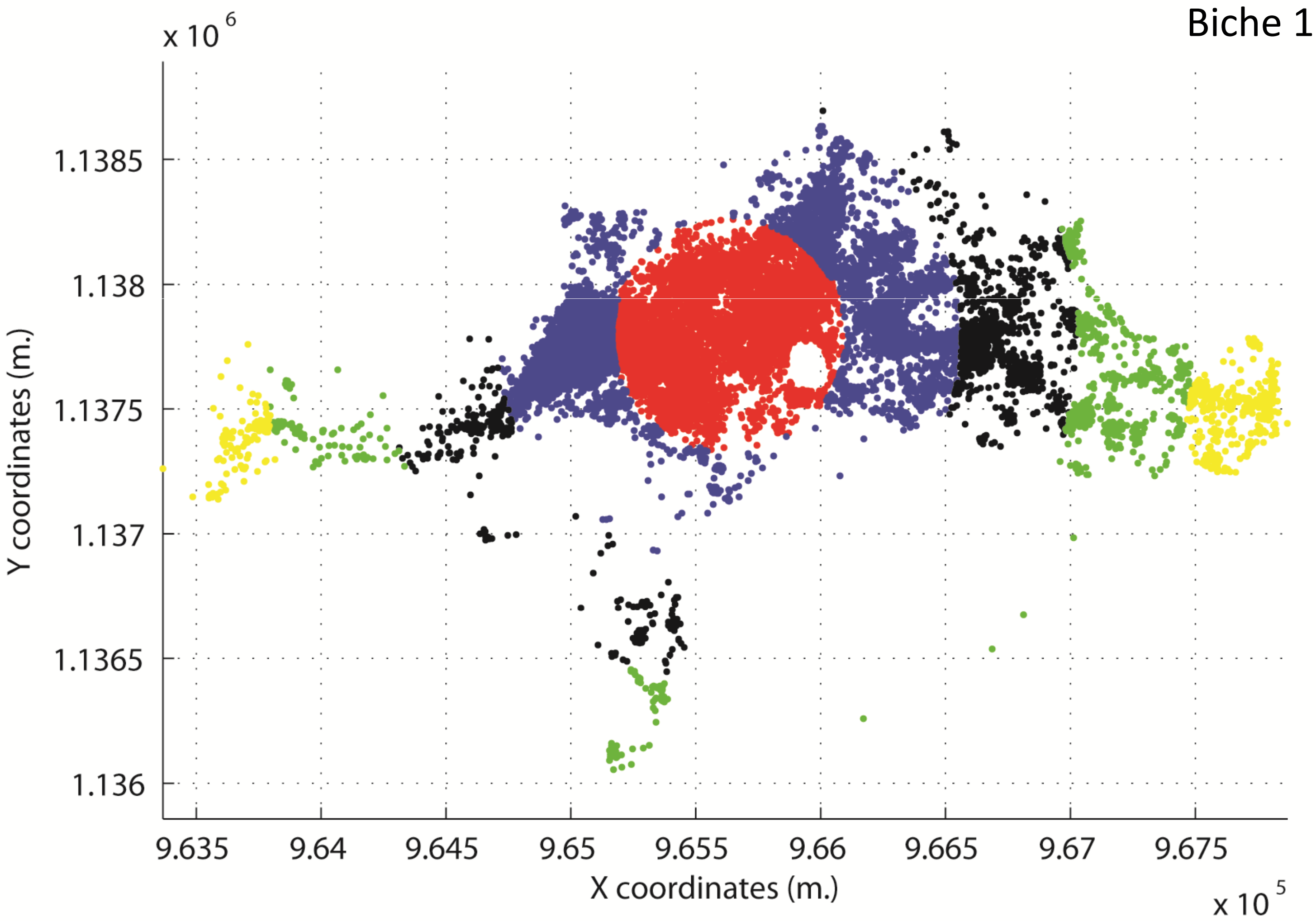
L’état de diffusion est estimé quand aucun des autres états n’est vérifié ($E_I = E_i = E_F = 0$) .

Pour l’ensemble des cas uniques (ou un et un seul des états est validé), on calcule les probabilités associées aux états.

- Inertie: p_I= card(E_I) / card(cas uniques)
- Immobilisme: p_i= card(E_i) / card(cas uniques)
- Attraction du foyer: p_F= card(E_F) / card(cas uniques)
- Diffusion p_D= card(E_D) / card(cas uniques)

Modèle discret (6)

En réalité p_I, p_i, p_F et p_D sont calculés pour chaque classe de distance au foyer:



Statistiques (1)

Leur objectif est d’évaluer l’adéquation du modèle avec les données.

4 statistiques sont introduites:

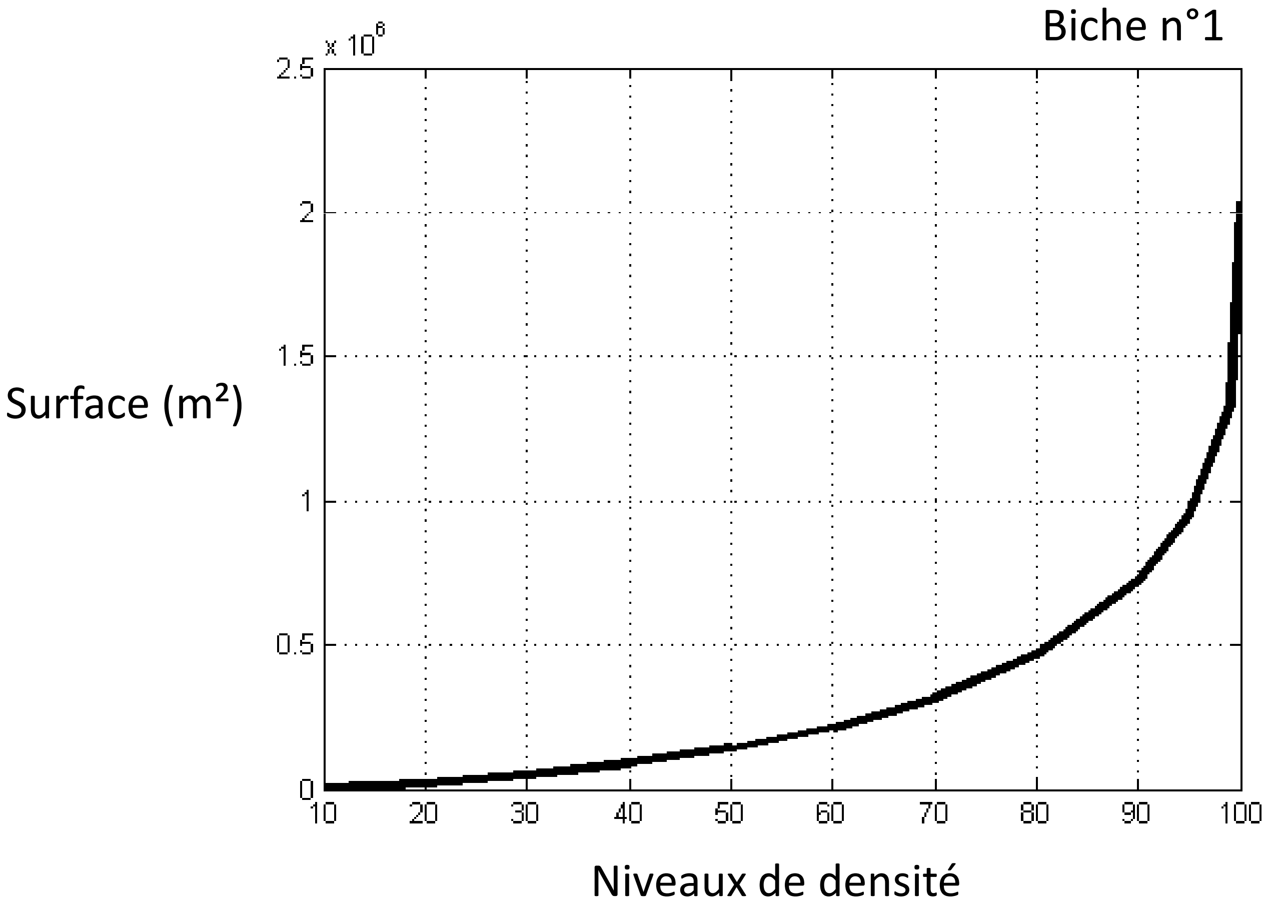
- **Densité [1]**
- **Observateurs fixes**
- **Observateurs mobiles !**
- Dilatation des trajectoires (domaine)

1. Z.I. Botev & al. *Annals of statistics*, 38:2916-2957, 2010.

Statistiques (2) – densité (1)

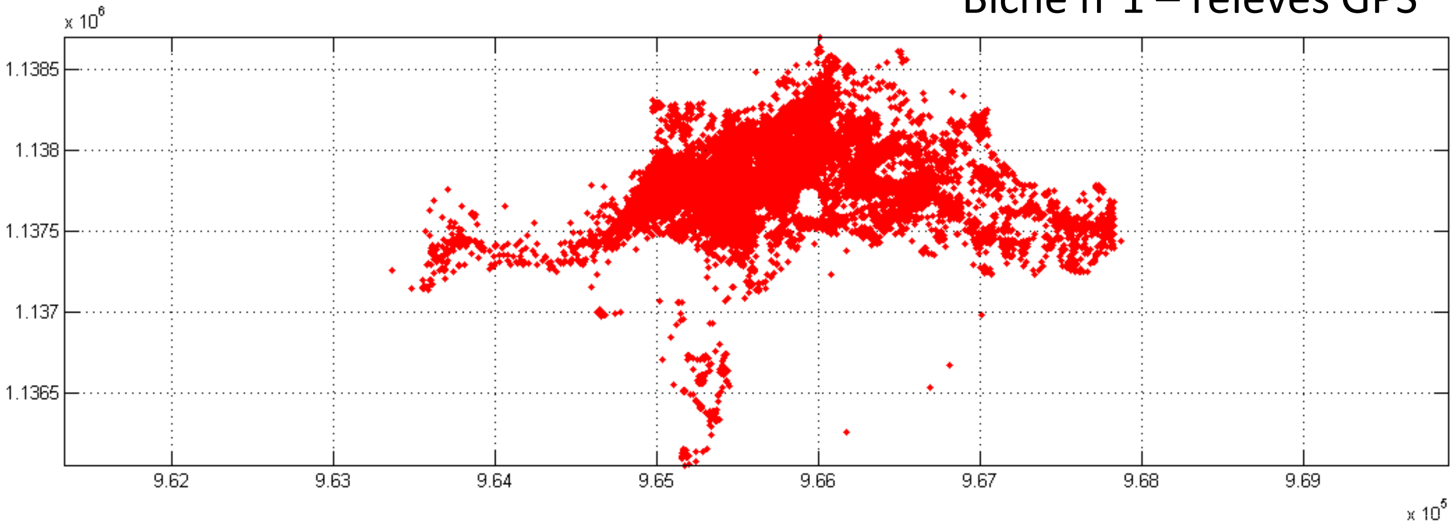
On estime la densité des observations sur un maillage carré.

Dans cet estimateur on retiendra la surface occupée par différents niveaux de densité: 10% de la densité, puis 20%, puis 30, …, 90, 95, 99, 100%.



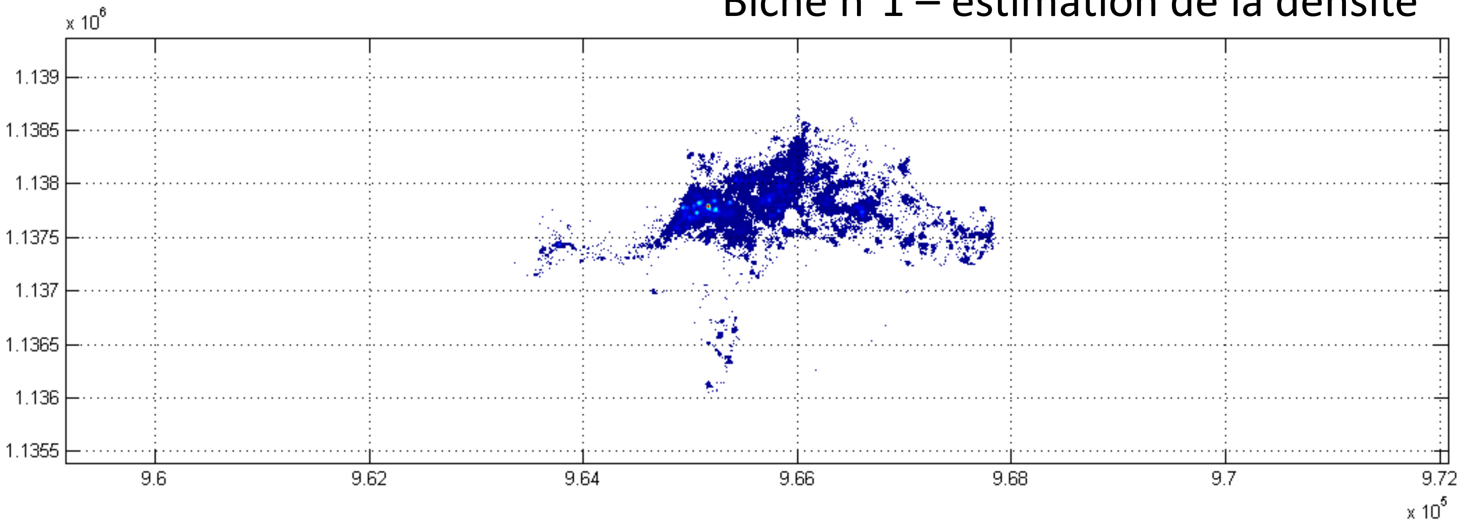
Statistiques (3) – densité

Biche n°1 – relevés GPS



Y (m.)

Biche n°1 – estimation de la densité

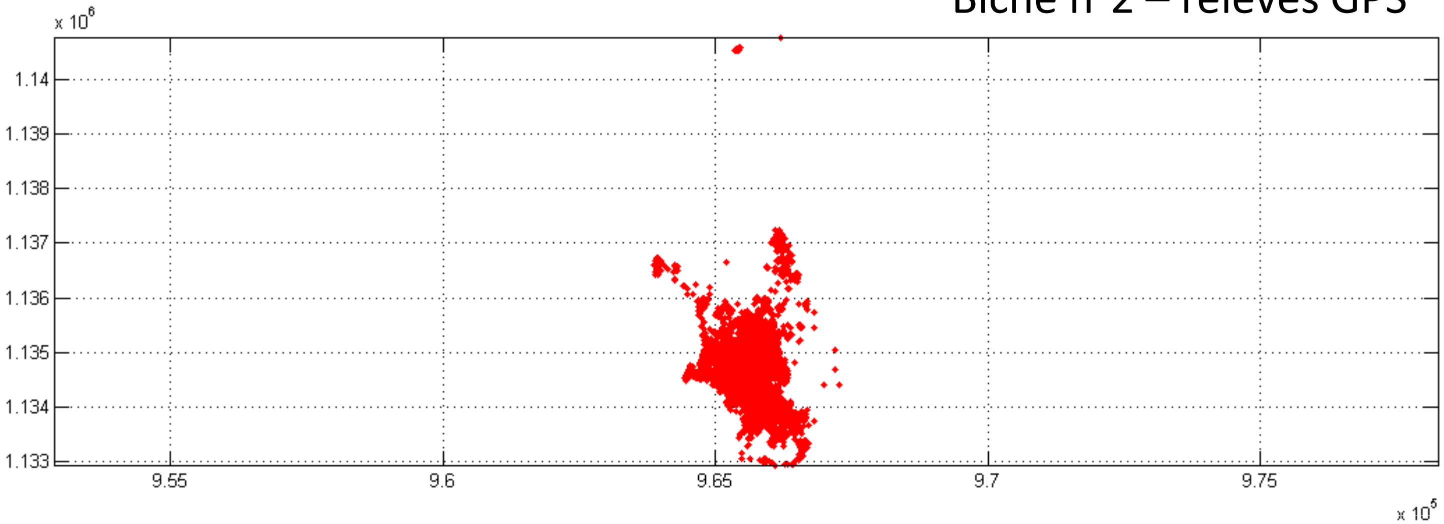


X (m.)

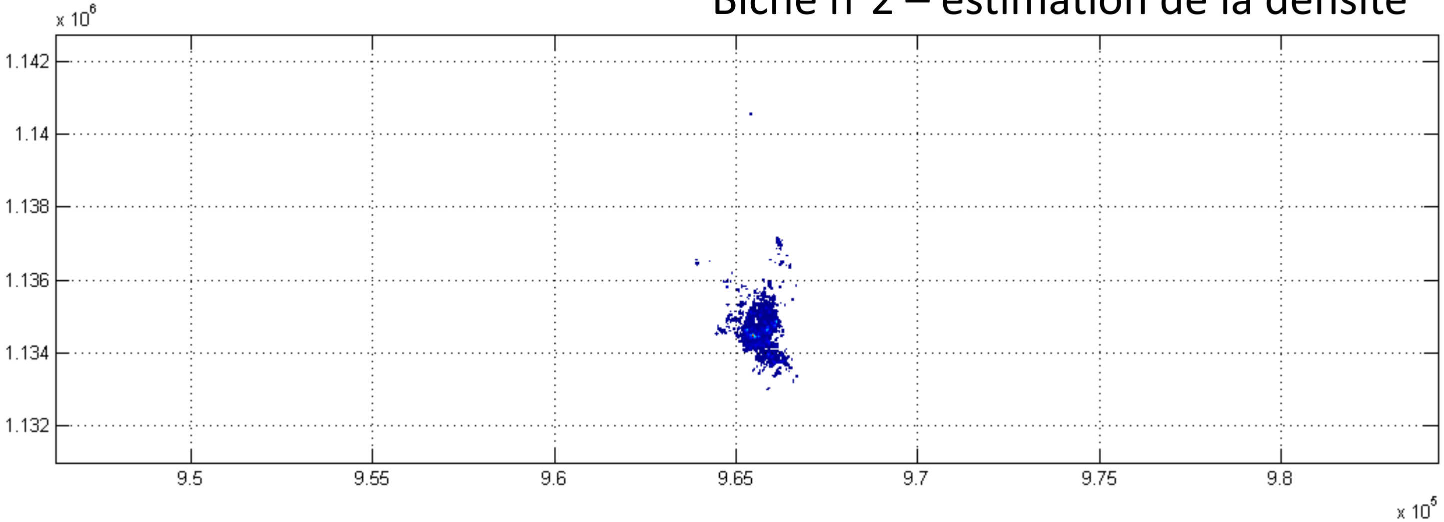
Statistiques (4) – densité (2)

Biche n°2 – relevés GPS

Y (m.)



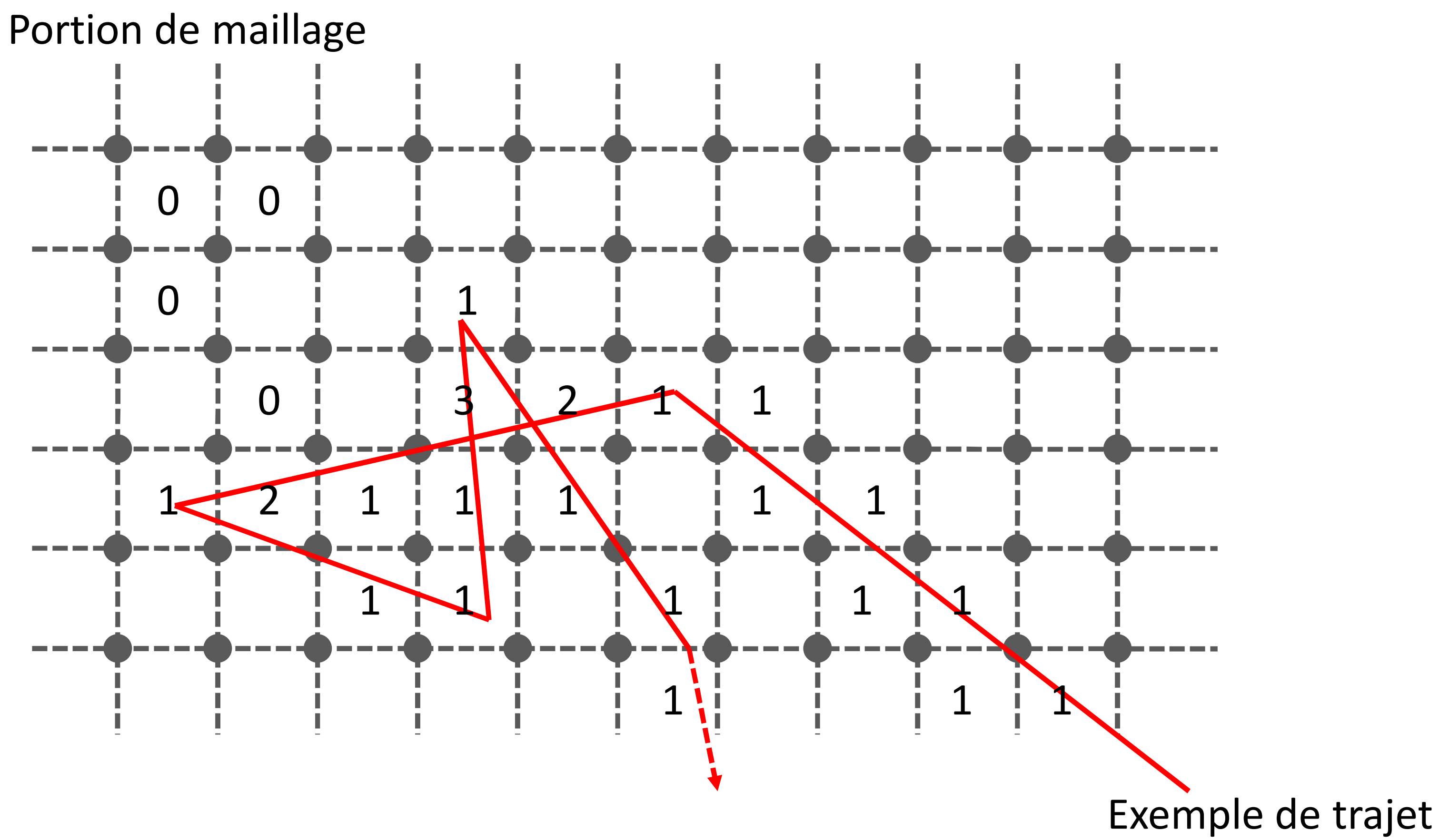
Biche n°2 – estimation de la densité



X (m.)

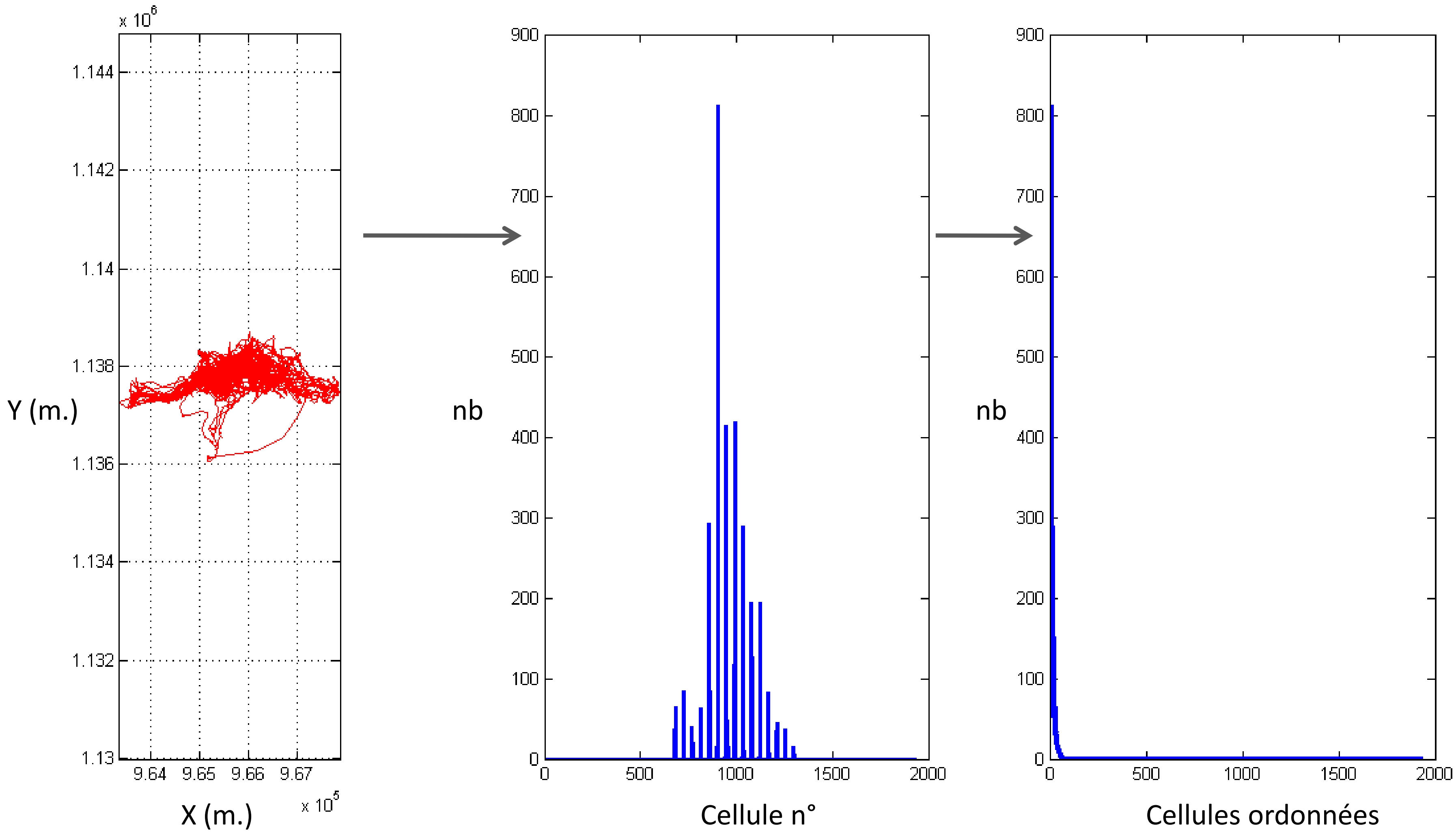
Statistiques (5) – observateurs fixes

Sur un maillage carré on estime le nombre de passages observés par cellule (1 cellule = 1 observateur), pour différentes résolutions du maillage:



Statistiques (6) – observateurs fixes

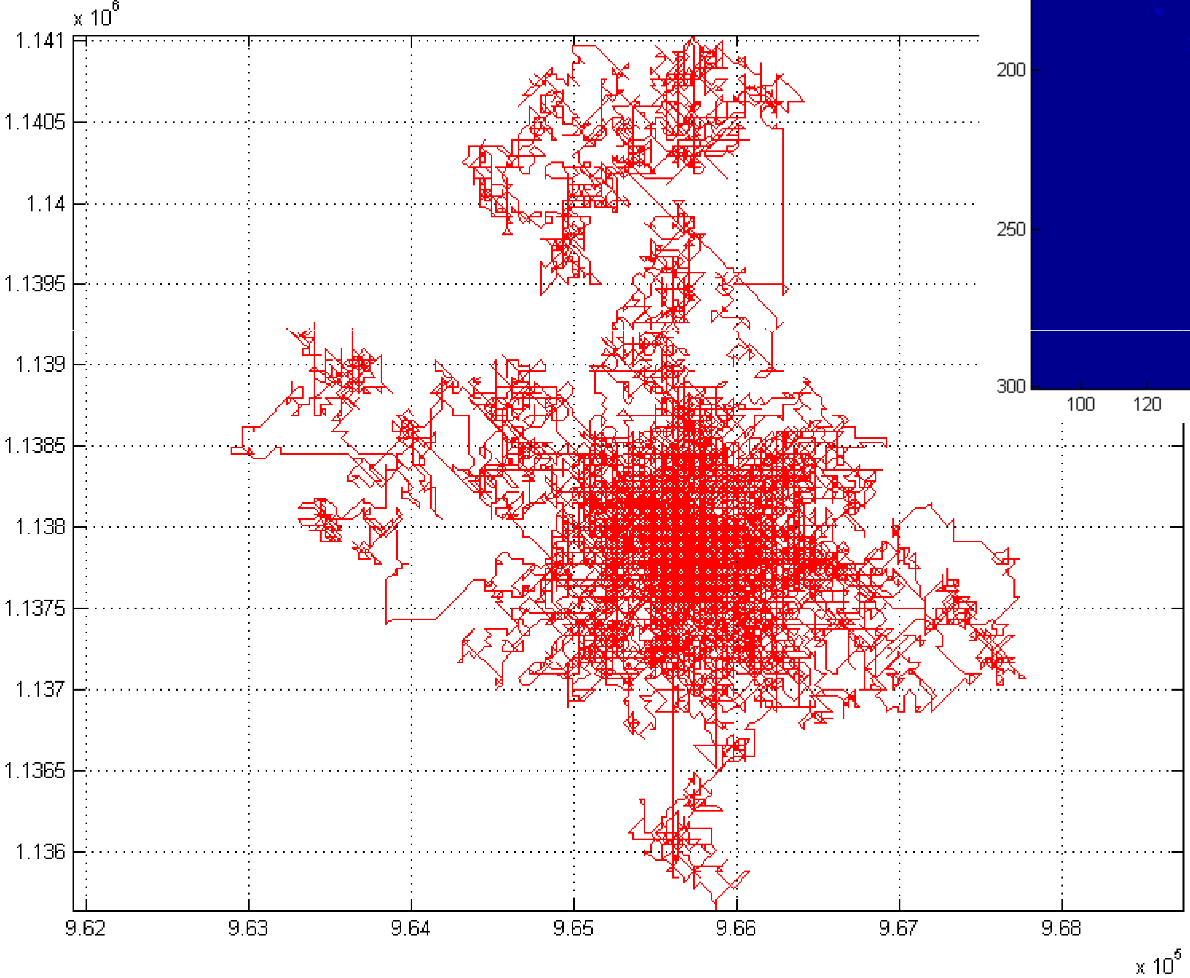
On trace les distributions du nombre de passages par cellules ordonnées:

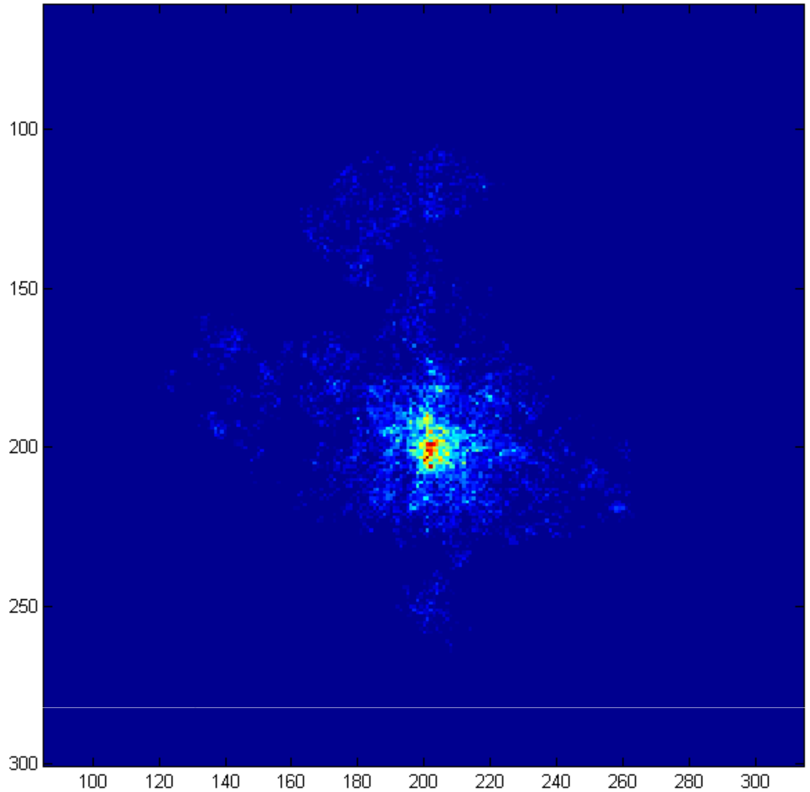


Résultats (1)

Simulation des trajectoires:

Biche 1 – trajectoire simulée



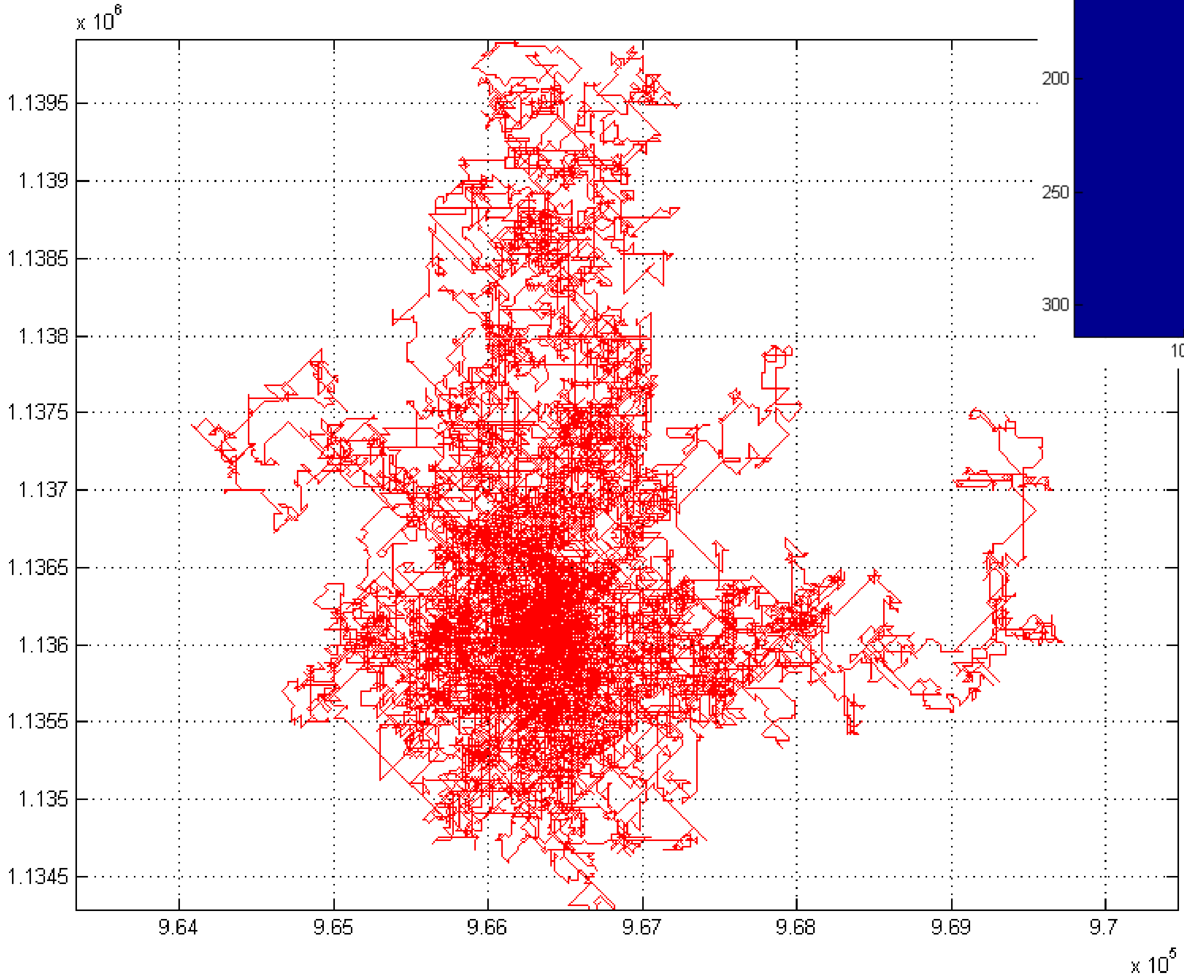


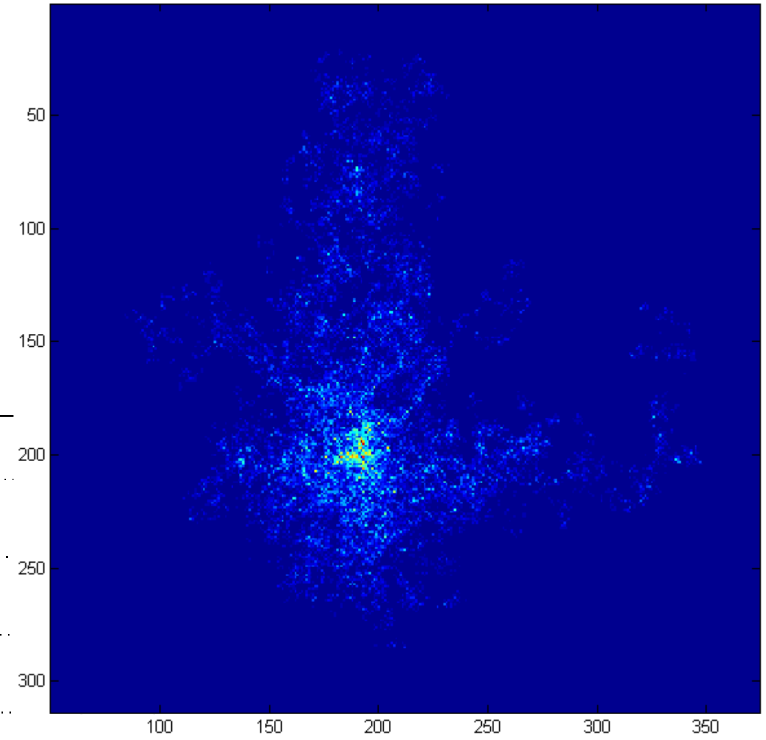
Biche 1 – densité

Résultats (2)

Simulation des trajectoires:

Biche 3 – trajectoire simulée

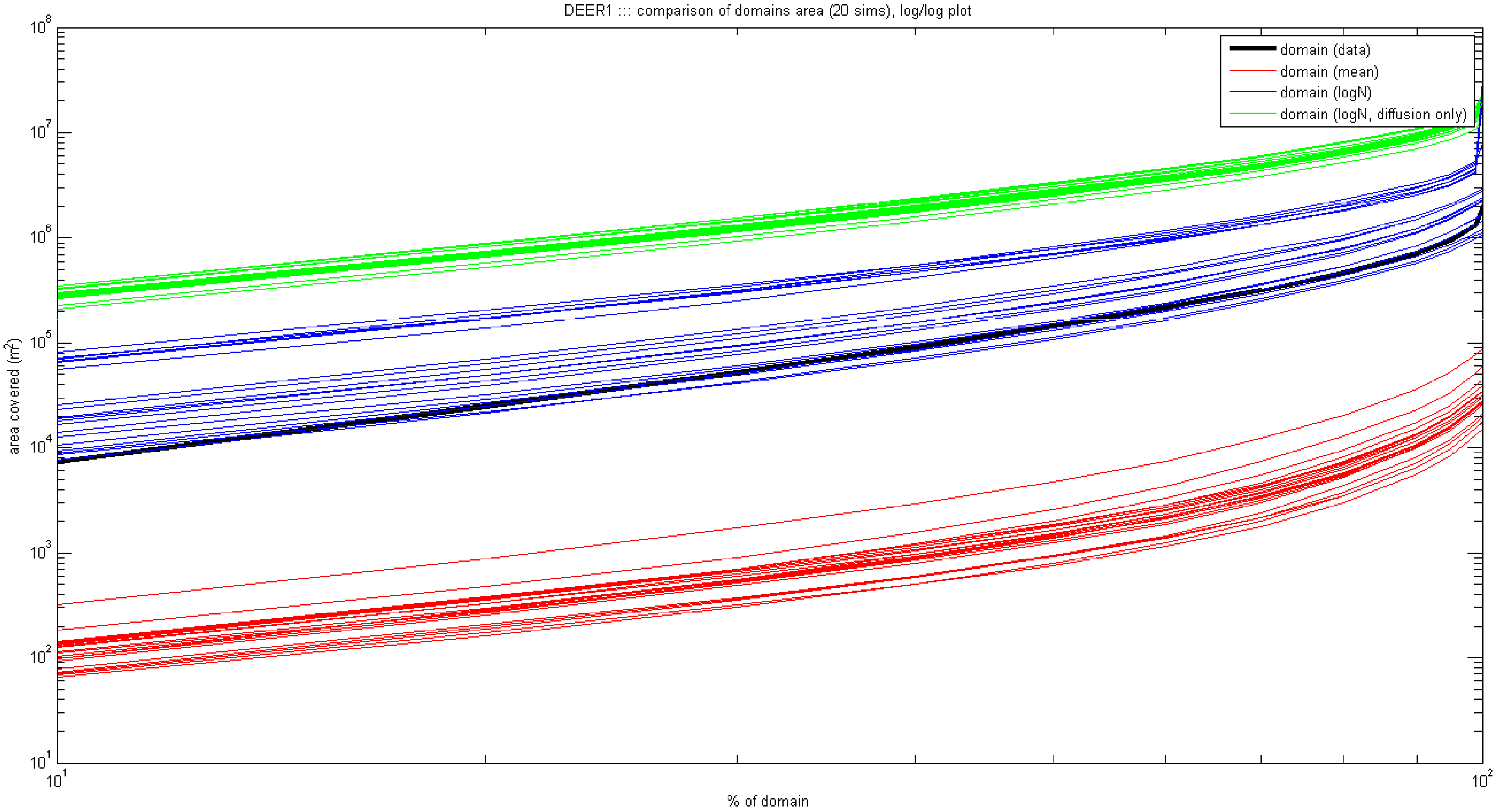




Biche 3 – densité

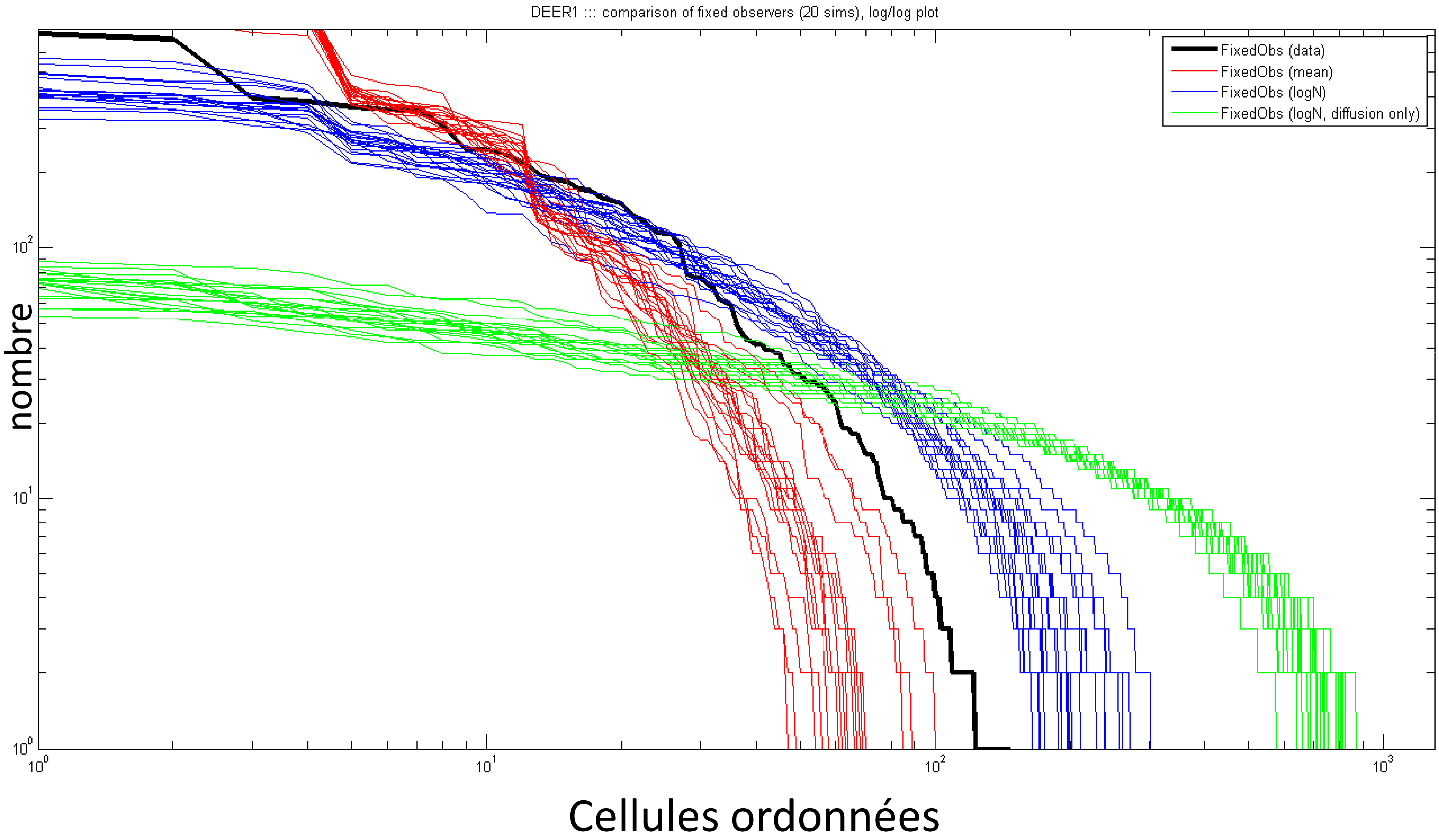
Résultats (3) – Statistiques (densité)

Biche 1



Résultats (4) – Statistiques (Obs fixes)

Biche 1, résolution fine



Exploration mathématique appuyée par la simulation amorcée

- Tests statistiques, saisonnalité (via moyennes mobiles ou séries temporelles)
- Limites du modèle en temps continu pour utiliser les outils du temps continu (en particulier les EDS, EDP)
- Prise en compte et comparaison des interactions dans le modèle mathématique
- Estimer des probabilités de passer de x à y en temps t (en particulier pour les questions de recomptage) ou de ne pas entrer dans une certaine zone (en particulier pour les question de comportement)
- Interprétation de certaines distributions

Merci

geoffroy.berthelot@insep.fr
vincent.bansaye@polytechnique.edu

- Rajouter biblio (article Morales (angle + distance Weibull)
- Pourquoi le modèle discret? Plus « pratique » (car il n’y a pas supposition de loi à priori sur l’influence du foyer et de l’inertie) + utile pour tester la robustesse du modèle (comparer avec le modèle continu) + on teste plus facilement
- Préciser que l’on recherche des données enregistrées en simultanées pour différents animaux

Perspectives

- Nouveaux estimateurs à implémenter
- Multi-foyers, Interaction avec l'environnement: zone(s) de répulsion
- Interaction avec d'autres individus: Plusieurs individus (interactions complexes ?)
- Territoire: introduction de marques