



**POLYTECH<sup>®</sup>**  
**TOURS**

Département  
Aménagement et Environnement



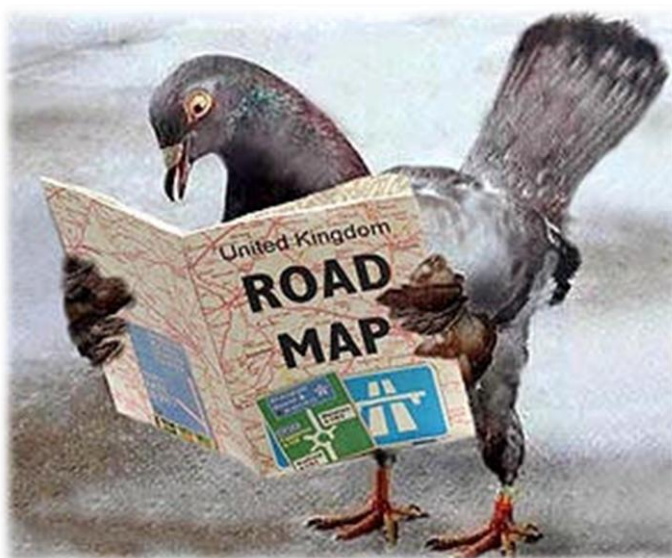
Ecole d'ingénieurs  
polytechnique  
de l'université de Tours

**CITERES**  
UMR 6173  
Cités, Territoires,  
Environnement et Sociétés

**Equipe IPA-PE**  
Ingénierie du Projet  
d'Aménagement, Paysage,  
Environnement

**Projet de Fin d'Etudes**

## **Analyse comparative du déplacement de pigeons voyageurs**



**2017-2018**

**Directeur de recherche**  
**ETIENNE Laurent**

**WANG Xiaomeng**  
**YAO Yanwan**

# **Analyse comparative du déplacement de pigeons voyageurs**

Directeur de recherche : ETIENNE Laurent

Année 2017-2018

# Avertissement

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

Les auteurs de cette recherche ont signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

# Sommaire

Avertissement .....	3
Sommaire .....	4
Introduction .....	5
Hypothèses .....	5
Matériel et méthodes .....	5
-Collecte de données .....	6
-L'analyse des données .....	7
1.Hypothèses 1: Si un pigeon va former une route habituelle?.....	7
<b>Méthode 1:Comparaison visuelle des routes.</b> .....	7
<b>Méthode 2: Fidélité à l'itinéraire</b> .....	7
<b>Méthode 3: La distance de Fréchet</b> .....	8
<b>Méthode 4: Calculer la variance de chaque chemin avec la trajectoire médiane.</b> .....	10
<b>Méthode 5 : Classification hiérarchiques.</b> .....	11
2.Hypothèses 2: S'il y aura un suiveur et un leader entre les deux pigeons?.....	12
<b>Méthode 1: La direction instantanée des pigeons pour définir les suiveurs et les leaders.</b> .....	12
<b>Méthode 2: Calculer la distance d de la position d'un oiseau au cours d'un vol jumelé vers le point le plus proche sur son itinéraire solo précédent.</b> .....	15
<b>Méthode 3: Calculer la plage attendue de la variation de la trace individuelle entre ces traces.</b> .....	15
Conclusion .....	16
Perspective .....	16
Remerciement .....	17
Référence .....	18

# Introduction

Le troupeau des oiseaux est un phénomène collectif intrigant et spectaculaire. Certaines espèces d'oiseaux, comme les tourneaux sansonnets, peuvent former de grands groupes qui se déplacent ensemble de façon coordonnée, avec des changements de direction se propageant rapidement dans l'ensemble du troupeau. De nombreux individus se rassemblent pendant la migration et restent cohésives sur de longues distances. Afin de rester ensemble dans un troupeau coordonné les oiseaux individuels doivent répondre appropriée aux positions et directions de mouvement de leurs voisins. Si le groupe est assez petit pour avoir seulement deux pigeons, alors va-t-il former un groupe coordonné? Ici, nous voulons étudier s'il va former un groupe coordonné lorsque deux pigeons volent ensemble, c'est-à-dire, est-ce-qu'il y a un pigeon qui mènera à des choix directionnels et l'autre pigeon d'être un suiveur.

## Hypothèses

Afin de résoudre les problèmes que nous avons soulevés, nous l'étudierons en deux parties.

1. Premièrement, nous étudions le vol d'un seul pigeon. Si un pigeon vole seul et vole plusieurs fois, est-ce qu'il forme une route habituelle? Nous supposons qu'il va former.
2. Dans la deuxième étape, nous étudions la route où deux pigeons volent ensemble. Y aura-t-il un pigeon qui amènera son partenaire à son cours coutumier, et si la réponse est oui, alors nous pensons que ce pigeon est le leader.

## Matériel et méthodes

La voie habituelle suivie par le pigeon voyageur (*Columba livid*) a été clairement identifiée par Biro et Meade travaillant dans le paysage autour d'Oxford, en Angleterre [1]. Ils ont constaté que les sujets libérés à plusieurs reprises à partir du même site se forment et suivent fidèlement des itinéraires de retour idiosyncrasiques individuels qui améliorent leur efficacité au fil du temps. La voie habituelle suivie est souvent assez précise. Ils ont également démontré que les pigeons montrent une fidélité considérable à leurs itinéraires, retournant souvent plus ou moins directement à leur itinéraire habituel après être libérés d'un nouveau site déplacé latéralement jusqu'à 1,5 km [2] ou même à 4 km de la route [3]. L'explication la plus simple pour la recapitulation de l'itinéraire et la fidélité à la route est que les oiseaux ont appris des repères visuels du paysage pour contrôler leurs routes de retour. On a trouvé dans l'étude de Chris Armstrong [4] il a analysé comment les voies habituelles sont construites et examiner l'effet de la variation de la route dans les caractéristiques du paysage sur la fidélité de la route. Mais on se concentre sur la première problème.

## -Collecte de données

Nous utilisons la méthode utilisée dans l'article de Chris Armstrong[4].

Conception de l'expérimentation. La figure 1 montre la disposition des deux sites de libération choisis pour exposer les différences maximales dans la composition du paysage.



Figure 1A. Weston Wood, une zone de libération relativement rurale, le loft est représenté par un cercle noir, le site de libération par un cercle rouge, les barres représentent 1 km.[4]

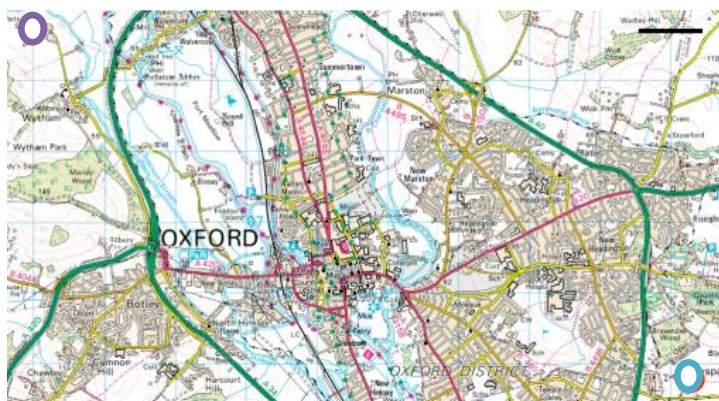


Figure 1B. Horspath, une zone de libération relativement urbaine, le loft est représenté par un cercle violet, le site de libération par un cercle bleu, les barres représentent 1 km.[4]

Sujets. 20 pigeons voyageurs ont été sélectionnés depuis le loft de la station de l'Université d'Oxford à Wytham. Tous les sujets ont 2 ans et n'ont aucune expérience antérieure de recherche et n'ont jamais participé à aucune forme d'expérience. Tous les sujets du loft sont toutefois libres de faire des vols spontanés en tout temps. Les sujets pèsent au moins 450 g et affichent un comportement de vol normal. Pendant la période de l'étude, l'état des plumes et le poids corporel ont été surveillés.

Les sujets ont été équipés de Velcro selon les protocoles expérimentaux antérieurs [5]. Les sujets ont ensuite subi quatre vols d'entraînement d'environ 1 km, dans des conditions de libération collective et individuel, et dans quatre directions approximativement cardinales du loft. À la fin de la formation, les sujets ont été divisés au hasard en deux groupes égaux de 10 qui ont ensuite été affectés à l'un des deux sites de libération, Weston Wood (distance du loft, 10,6 km, palier de loft, 41,2 °) et Horspath (distance de loft, 10,4 km, portant du loft, 120,6 °).

Les sujets ont été libérés avec des enregistreurs GPS [5], à partir de leur site assigné une fois par jour pendant 20 jours consécutifs, selon la météo, pendant les mois de juillet et août.

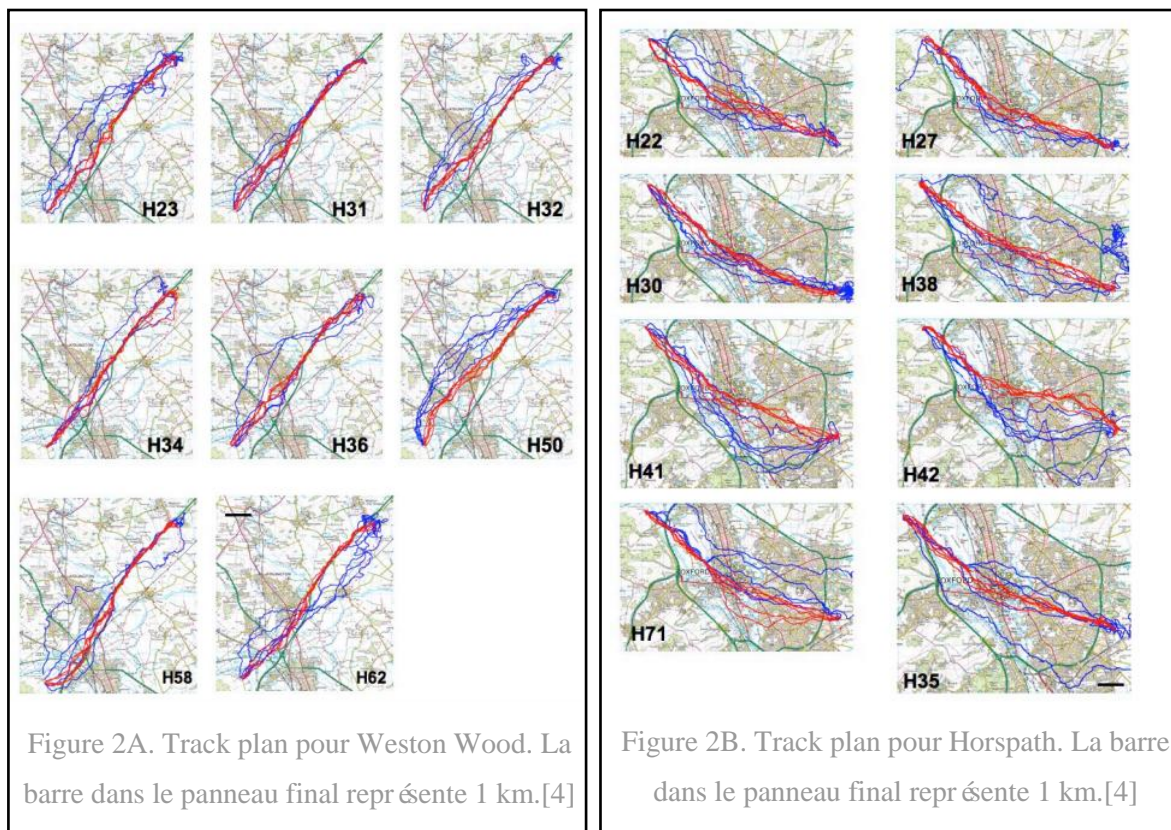


## -L'analyse des données

### 1.Hypothèses 1: Si un pigeon va former une route habituelle?

#### **Méthode 1: Comparaison visuelle des routes.**

Suivre les données. Huit des dix sujets de chaque groupe ont complété vingt entraînement à partir de leur site assigné. Les graphiques suivants montrent les premières cinq traces de GPS de chaque oiseau (bleu) et les dernières cinq (rouge) (voir figure 2)[4]. La comparaison des premières traces et des dernières par une inspection informelle révèle que les oiseaux semblent développer des voies habituelles.



#### **Méthode 2: Fidélité à l'itinéraire**

Trouver une mesure de fidélité appropriée est essentiel pour déterminer comment les routes habituelles se développent. Notre approche consistait à utiliser une analyse du plus proche voisin pour mesurer la similarité entre les pistes. Une analyse du plus proche voisin associe chaque point de la piste sujet à son voisin le plus proche sur la piste de référence et mesure la distance moyenne entre toutes les paires[4]. Bien que la méthode du plus proche voisin offre une mesure de la similarité de la piste, le choix de la piste de référence peut grandement influencer le résultat. Pour aborder la question de la fidélité à la route, nous avons considéré trois modèles de référence alternatifs. Les trois modèles sont les suivants: 1. Le modèle de paire compare chaque libération à la suivante. 2. Le modèle de référence complet compare chaque libération aux 19 autres libération. 3. Le modèle de fenêtre mobile

compare chaque version aux deux libération avant et après. La figure 3 montre les loyautés moyennes des routes pendant la période de la formation selon les trois modèles.

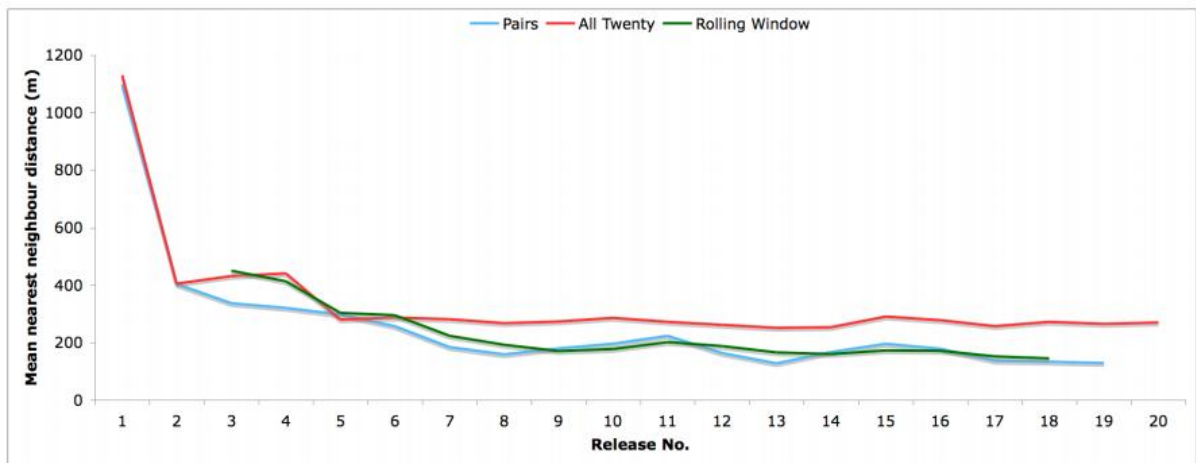


Figure 3. Le développement de la fidélité d'itinéraire moyenne selon le modèle de référence.[4]

Bien qu'il y ait des différences marquées de fidélité mesurées par les trois modèles, tous présentent une tendance similaire de similarité de piste croissante avec l'expérience. Selon les trois systèmes de référence, la corrélation entre la valeur moyenne du plus proche voisin et le nombre de libération est significativement négative.

### Méthode 3: La distance de Fréchet

En mathématiques, la distance de Fréchet est une mesure de la similarité entre les courbes qui prend en compte la localisation et l'ordre des points le long des courbes.

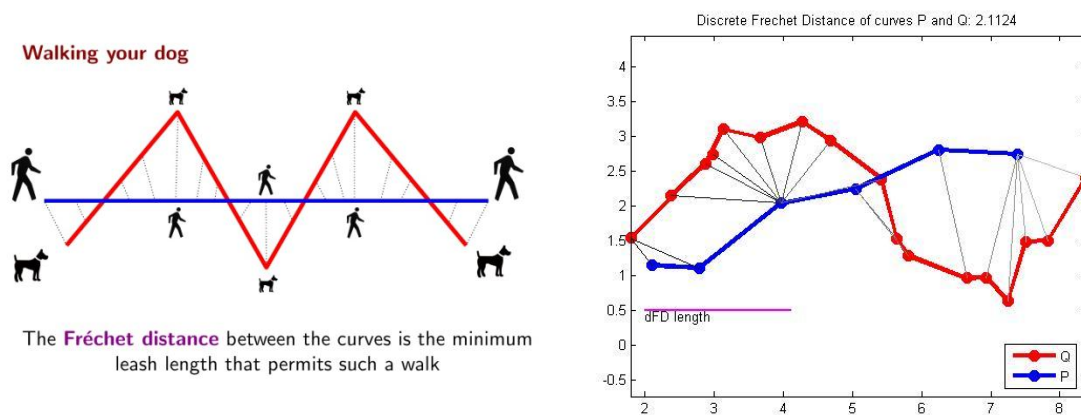


Figure 4. Le schéma de la distance Fréchet[6]

Imaginez un homme traversant un chemin incurvé fini en promener son chien en laisse, avec le chien traversant un chemin séparé. Supposons que le chien varie sa vitesse pour garder dans sa laisse: la distance Fréchet entre les deux courbes est la longueur de la laisse la plus courte suffisante pour que les deux traversent leurs chemins séparés.



Pour améliorer le temps CPU requis et obtenir une précision équilibrée, trois optimisations différentes sont introduites:

### 1. Processus de filtrage

Ce processus vise à réduire le nombre de sommets pour abaisser le temps CPU requis pour calculer la distance Fréchet discrète et analyser l'impact sur la distance Fréchet discrète. Si une trajectoire est lisse et droite, de nombreux vertex peuvent être filtrés[22]

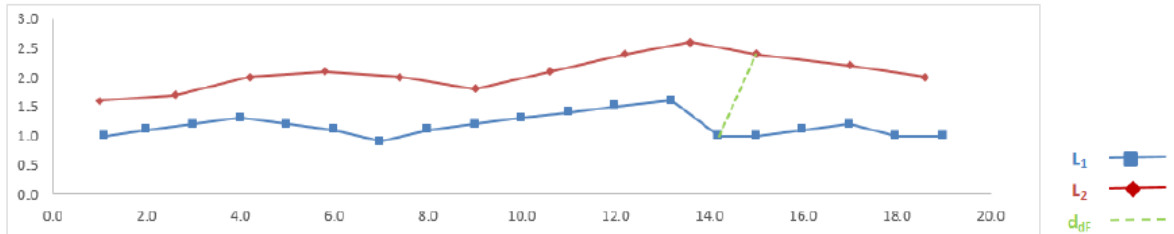


Figure 5. Deux lignes d'exemple et la distance Fréchet discrète.[22]

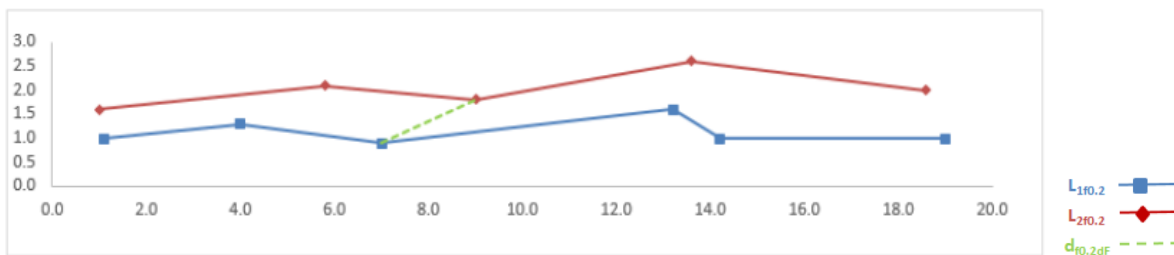


Figure 6. Les deux lignes après le processus de filtrage et la distance Fréchet discrète.[22]

### 2. Le calcul partiel de la matrice

La deuxième optimisation se concentre sur la limitation du nombre de calculs requis. Les valeurs de certaines cellules ne sont pas nécessaires pour calculer la distance Fréchet. En effet, seules les cellules proches de la diagonale principale doivent être considérées.[22]

### 3. L'amélioration de la trajectoire

La précision de la distance Fréchet discrète est limitée par la longueur maximale des segments[23].

Pour améliorer la distance Fréchet discrète, certains points significatifs de segments doivent être ajoutés. Deux types de points sont significatifs: les sommets des polygones et les points projectifs. Les points projectifs sont la projection de la perpendiculaire tombée depuis un sommet d'une trajectoire et un segment de l'autre trajectoire. En effet, la distance la plus courte d'un sommet à un segment est soit la distance entre deux sommets ou la distance entre ce sommet et son point projeté dans Géométrie euclidienne depuis un sommet d'une trajectoire et un segment de l'autre trajectoire. En effet, la distance la plus courte d'un sommet à un segment est soit la distance entre deux sommets ou la distance entre ce sommet et son point projeté dans Géométrie euclidienne.[22]

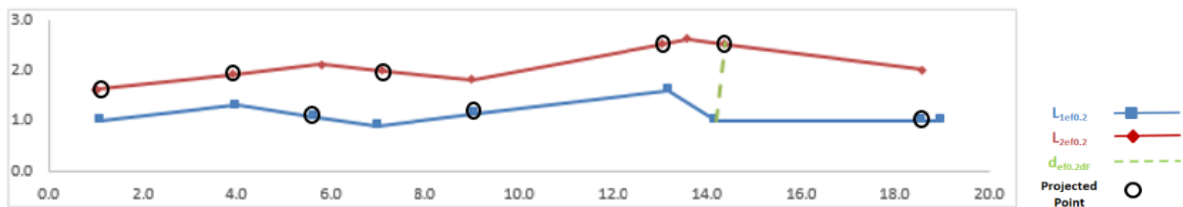


Figure 7. Polygones aménorés[22]

#### Méthode 4: Calculer la variance de chaque chemin avec la trajectoire médiane.

Pour caractériser le niveau de variabilité dans la route habituelle d'un oiseau, nous pouvons utiliser la méthode de Freeman[7] qui construit un chemin médiane basé sur les autres vols solo de l'individu pendant la phase d'entraînement, puis calcule la variance de chaque chemin pour la trajectoire médiane.

Après, on va introduire les différentes étapes de l'algorithme de définition de la trajectoire médiane.[8]

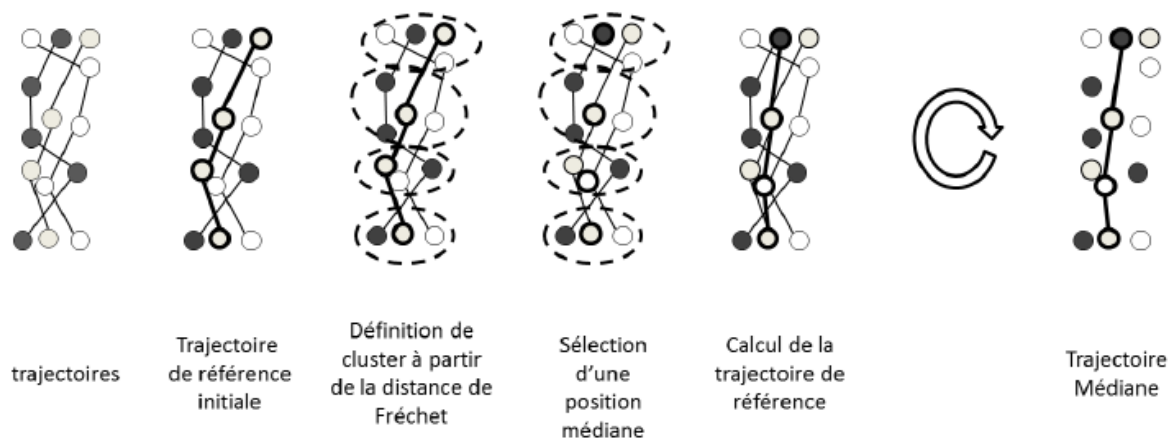


Figure 8. Les différentes étapes de l'algorithme de définition de la trajectoire médiane.[8]

Ces méthodes sont robustes[8]. Elles tiennent compte de l'ordre des points des lignes. De cette manière, les lignes avec des boucles ou des lignes sinueuses avec des décalages peuvent être appariées. Les étapes principales de l'algorithme de définition de la trajectoire centrale sont les suivantes :

1. Une trajectoire de référence est choisie ; sélectionner comme trajectoire initiale de référence celle dont la longueur est la plus proche de la valeur médiane des longueurs de toutes les trajectoires du groupe.[8]
2. Toutes les positions de chaque trajectoire sont appariées avec la position de la trajectoire de référence, ce processus génère une suite ordonnée de clusters de positions ; En général, les points appariés avec le point de la trajectoire de référence le plus proche.

3. Pour chaque cluster, une position médiane est définie (cette position doit être une position réelle d'une trajectoire) ; La médiane marginale définie par [9]) est utilisée. Cette position centrale est simple à calculer : X et Y médians sont calculés indépendamment. Pour éviter une position irréaliste, une position réelle proche de la médiane marginale doit être choisie.
4. Une nouvelle trajectoire de référence est construite à partir des positions médianes ;
5. Les étapes 2 à 4 sont répétées jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de changement dans les positions médianes ;
6. Pour chaque point de la trajectoire de référence, une estampille temporelle médiane est calculée à partir du cluster de positions apparues à ce point.

Dans la méthode de Freeman[7], il analyse cinq vols en solo pendant la phase d'entraînement. Tout au long, chaque vol de guidage solo a été normalisé à plusieurs points. Ensuite, on va construire un chemin médiane. Un ensemble de ces points séquentiels a été écrit sur un fil droit entre le site de lancement et la maison. À chaque itération, chaque point a été déplacé à la position médiane de ses points voisins les plus proches sur les cinq pistes originales. Pour maintenir une distribution uniforme des points du fil, les points qui se trouvaient très loin de leurs points voisins (dans l'article de Freeman[7], cette distance est 5m) ont été déplacés à leur point médian. Sur un certain nombre d'itérations, une séquence de points qui se trouvent à la médiane des plus proches voisins des pistes originales est ainsi créée et nous l'appelons le chemin médiane. À chaque point de ce trajet médiane, la variance des distances au point voisin le plus proche de chaque voie d'origine a été calculée, ce qui a donné une distribution de fidélité de route pour chaque individu.

La haute fidélité (faible variance) indique un oiseau qui est très fidèle à son chemin médiane, tandis que la basse fidélité correspond aux oiseaux qui recapitulent des routes avec une précision relativement faible.

### **Méthode 5 : Classification hiérarchiques.**

L'opération d'un algorithme de classification hiérarchique[10] est illustrée en utilisant des données bidimensionnelles de la figure 9. Cette figure représente sept individus étiquetés A, B, C, D, E, F et G dans trois groupes. Un algorithme hiérarchique fournit un dendrogramme représentant le groupement imbriqué d'individu et de niveaux de similarité auxquels les groupements changent. Un dendrogramme correspondant aux sept points de la figure 9 est présenté à la figure 10. Le dendrogramme peut être rompu à différents niveaux pour produire différents regroupements de données.

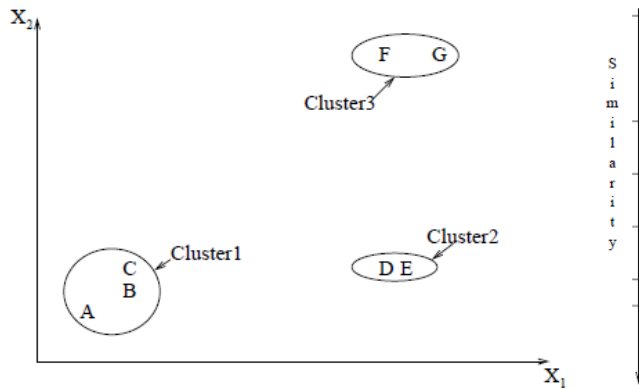


Figure 9. Points tombant en trois groupes.[10]

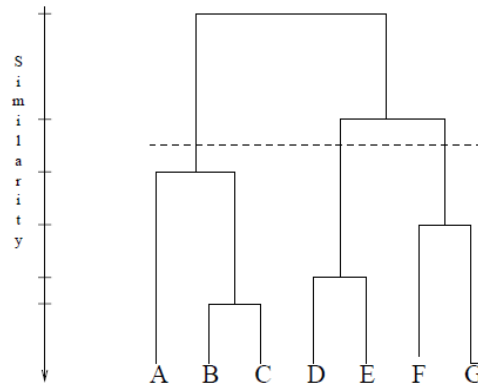


Figure 10. Le dendrogramme[10]

La plupart des algorithmes de classification hiérarchique sont des variantes de single-link[11], de complete-link [12] et de minimum-variance [13; 14]. Parmi ceux-ci, les algorithmes single-link et complete-link sont plus populaires. Ces deux algorithmes diffèrent dans la façon dont ils caractérisent la similarité entre une paire de clusters. Dans la méthode de single-link, la distance entre deux groupes est le minimum des distances entre toutes les paires d'individus tirés des deux groupes (un individu du premier groupe, l'autre du deuxième groupe). Dans l'algorithme de complete-link, la distance entre deux groupes est le maximum des distances entre toutes les paires d'individus. Dans les deux cas, deux groupes sont fusionnés pour former un groupe plus important sur la base de critères de distance minimum. L'algorithme de complete-link produit des groupes liés étroitement ou compacts [15]. En revanche, l'algorithme de single-link souffre d'un effet de chaîne [16]. Il a tendance à produire des groupes qui sont épars ou allongés.

Algorithme de classification hiérarchique agglomérative

- (1) Calculez la matrice de proximité contenant la distance entre chaque paire d'individus. Traitez chaque individu comme une groupe.
- (2) Trouver la paire de clusters la plus similaire à l'aide de la matrice de proximité. Fusionner ces deux clusters en un seul cluster. Mettre à jour la matrice de proximité pour refléter cette opération de fusion.
- (3) Si tous les individus sont dans un cluster, arrêtez-vous, sinon, passez à l'étape 2. En fonction de la mise à jour de la matrice de proximité à l'étape 2, divers algorithmes d'agglomération peuvent être conçus.

## 2.Hypothèses 2: S'il y aura un suiveur et un leader entre les deux pigeons?

### **Méthode 1: La direction instantanée des pigeons pour définir les suiveurs et les leaders**

Dans la méthode de Pettit[17], nous pouvons utiliser la direction instantanée des pigeons pour définir les suiveurs et les leaders. Tout d'abord, nous convertissons la latitude et la longitude en mètres à l'aide

d'une projection universelle de Mercator transverse et exclu les points avant le décollage ou après l'atterrissage. À chaque pas de temps sur les pistes appariées, nous calculons la direction de chaque oiseau dans le plan horizontal ( $\alpha_i(t)$ ), que nous utilisons pour calculer son taux de virage,  $(\alpha_i(t + \Delta t) - \alpha_i(t)) / \Delta t$ , et la différence de direction entre les deux oiseaux ( $\phi = \alpha_j(t) - \alpha_i(t)$ ). Nous calculons également l'angle ( $\theta$ ) et la distance ( $r$ ) au voisin (figure 11), tel que  $\theta = 0$  lorsque le voisin était directement en avant dans la direction du vol,  $\theta > 0$  lorsque le voisin était à droite, et  $\theta < 0$  lorsque le voisin était à gauche.

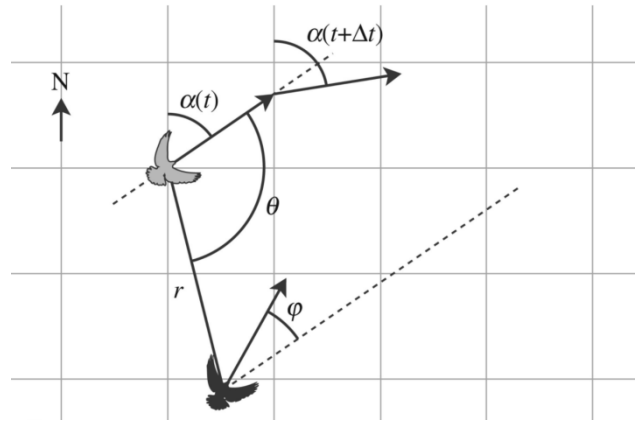


Figure 11: [17] Les variables d'interaction calculées à partir des pistes de pigeons et de la simulation.

Pour l'individu focal (gris), nous avons calculé la distance ( $r$ ) et l'angle ( $\theta$ ) à son voisin (noir), ainsi que la différence de direction de vol ( $\phi$ ). Nous avons estimé la direction instantanée du déplacement ( $\alpha(t)$ ) du vecteur à la prochaine position GPS. Les angles  $\theta$  et  $\phi$  ont été mesurés par rapport à  $\alpha(t)$ .  $(\alpha(t + \Delta t) - \alpha(t)) / \Delta t$  donne le taux de virage de l'oiseau focal. [17]

En tant que mesure du leadership momentané par paires, nous avons trouvé le retard temporel ( $\tau^*$ ) auquel la direction de vol du voisin était corrigée au maximum à celle de l'oiseau focal [18,19].

Pour ce faire, nous calculons la corrélation entre la direction de l'oiseau focal à l'instant  $t$  et la direction du voisin à l'instant  $t + \tau$ , où  $-10s < \tau < 10s$ , en utilisant le produit scalaire des vecteurs de vitesse unitaires ( $v$ ). [17]

$$C_{ij}(t + \tau) = \mathbf{v}_i(t) \cdot \mathbf{v}_j(t + \tau) [17]$$

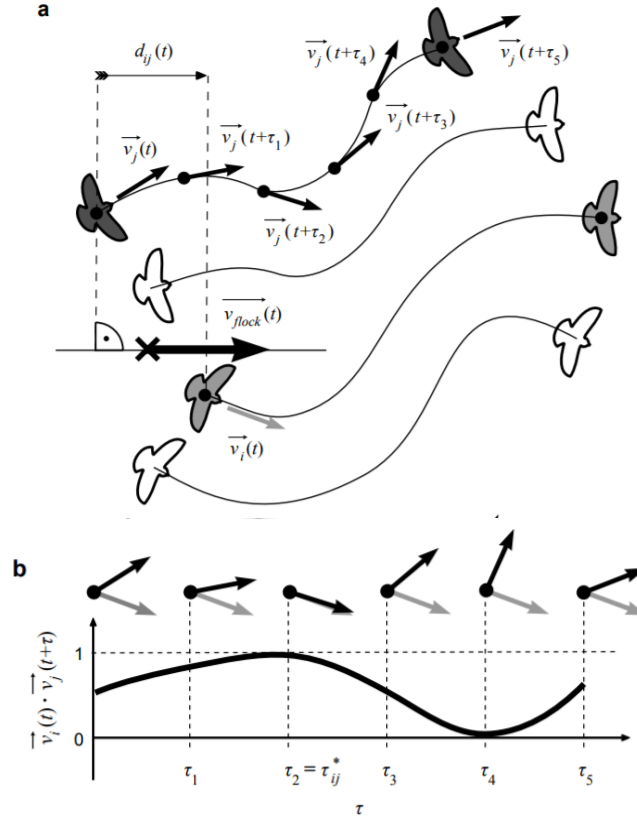


Figure 12: Résumé de l'analyse de la fonction de corrélation directionnelle pour déterminer les relations leader-suiveur dans un troupeau.[20]

a, Méthode pour déterminer  $d_{ij}(t)$ , la distance projetée des oiseaux i (gris clair) et j (gris foncé) sur la direction du mouvement de l'ensemble du troupeau à chaque pas de temps, t. La croix indique le centre de la masse du troupeau.  $\vec{x}_i(t) - \vec{x}_j(t)$ , la position relative des oiseaux, est projetée  $\vec{v}_{flock}(t)$ , la moyenne la vitesse de l'ensemble du troupeau. Pour chaque couple ( $i \neq j$ ), la fonction de corrélation directionnelle est  $C_{ij}(\tau) = \langle \vec{v}_i(t) \cdot \vec{v}_j(t+\tau) \rangle$ , où  $\langle \dots \rangle$  désigne la moyenne temporelle. Les flèches indiquent la direction du mouvement,  $\vec{v}_i(t)$ . b, Visualisation de scalaire produit de la vitesse normalisée de l'oiseau i à l'instant t et celle de l'oiseau j à l'instant t +  $\tau$  dans le panneau (a). Ici, l'oiseau j suit l'oiseau i avec le temps de corrélation  $\tau_{ij}^*$ . [20]

Pour tester comment le délai de corrélation directionnel varie avec la position du voisin, nous avons divisées données en classes basées sur r et  $\theta$ . Pour chaque valeur de  $\tau$ , nous avons fait la moyenne de  $C_{ij}(t + \tau)$  sur tous les points de la classe, puis nous avons trouvé le retard temporel  $\tau^*$  par rapport à la corrélation directionnelle maximisée. Si  $\tau^*$  est positif, le voisin a tendance à suivre la direction de vol adoptée par l'oiseau focal, sinon,  $\tau^*$  est négatif.[17]



**Méthode 2: Calculer la distance d de la position d'un oiseau au cours d'un vol jumelé vers le point le plus proche sur son itinéraire solo précédent.**

Comme deuxième méthode d'analyse du leadership dans la méthode de Pettit[17], nous avons analysé la position des routes jumelées par rapport aux routes solo précédentes des deux oiseaux. Nous avons calculé la distance,  $d_i$  de la position d'un oiseau au cours d'un vol jumelé vers le point le plus proche sur son itinéraire solo précédent.  $\Delta d_i$  est négatif quand le pigeon i s'approche de sa route solo (Figure 13). Pour une paire d'oiseaux volant ensemble (i et j),  $\Delta d_i < \Delta d_j$  indique que leur mouvement est plus vers la route de i, et dans ce cas nous estimons avoir plus d'influence sur le choix de route, à condition que les routes solo divergent ( $\Delta d_i + \Delta d_j > 0$ ).

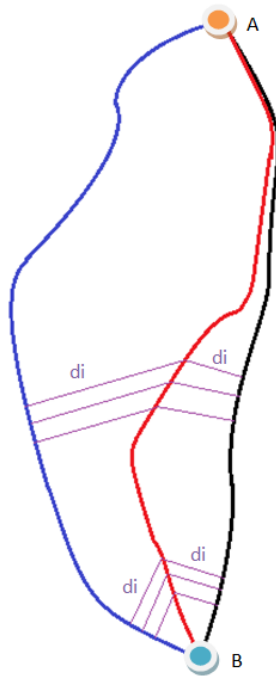


Figure 13: La explication de la méthode 2.

Réalisation : WANG.

**Méthode 3: Calculer la plage attendue de la variation de la trace individuelle entre ces traces.**

Dans cette méthode, pour identifier les sujets comme des leaders ou des suiveurs, nous avons utilisé des données provenant des pistes très efficaces des oiseaux ciblées[21] (c'est-à-dire des pistes avec une efficacité moyenne supérieure à 0.75) et calculé la plage attendue de la variation de la trace individuelle entre ces traces. Pour ce faire, nous avons déterminé les intervalles de confiance correspondants de 99% découlant des deux mesures de similarité de la voie. En utilisant de tels intervalles comme référence, nous avons comparé le vol jumelé de chaque oiseau avec ses propres vols d'entraînement précédents et avec le vol d'entraînement précédent de son partenaire. Le comportement leaders / suiveurs a été défini selon que les deux vols jumelés étaient ou non dans la fourchette normale de variation des oiseaux[21].

# Conclusion

Après quelques expériences et l'étude de la trajectoire du pigeon, on a connu les pigeons libérés à plusieurs reprises à partir du même site se développent et suivent fidèlement des itinéraires de retour idiosyncrasiques individuels qui améliorent leur efficacité au fil du temps. Et on a trouvé quelques méthodes pour rechercher la trajectoire du pigeon, par exemple, on utilise la méthode de la distance Fréchet pour mesurer la similarité des trajectoires. Pour mesurer la fidélité à l'itinéraire d'un pigeon, on peut calculer la variance de chaque chemin avec la trajectoire médiane, ou par la méthode de classification hiérarchiques (Figure 14). Pour comparer les deux pigeons, on a trouvé trois méthodes pour étudier si il y a un leader entre les deux pigeons quand ils volent ensemble. Utiliser La direction instantanée, la distance de deux routes et la plage attendue de la variation pour définir le leader (Figure 15). Et on va chercher des meilleures méthodes pour étudier des trajectoires des pigeons.

La similarité des trajectoires
Méthode 1: Comparaison visuelle
Méthode 2: Choisir des différents modèles de références
Méthode 3: La distance de Fréchet
Méthode 4: Calculer la variance de chaque chemin avec la trajectoire médiane
Méthode 5: Classification hiérarchiques

Figure 14 : Réalisation : WANG&YAO

La comparaison des trajectoires
Méthode 1: La direction instantanée des pigeons pour définir les suiveurs et les leaders
Méthode 2: Calculer la distance d de la position d'un oiseau au cours d'un vol jumelé vers le point le plus proche sur son itinéraire solo précédent.
Méthode 3: Calculer la plage attendue de la variation de la trace individuelle entre ces traces

Figure 15 : Réalisation : WANG&YAO

# Perspective

On va continuer de chercher des meilleures méthodes pour étudier des trajectoires des pigeons. Après on réussira de collectionner des méthodes suffisant, on va commencer traiter des données, et prouver des hypothèse on a présenter avant.

# Remerciement

Nous remercions ETIENNE Laurent de leur aide et conseil, il nous indique la direction de recherche et retouche notre mémoire, et Polytech Tours fournit le soutien de bibliothèque.

# Référence

- [1] Meade, J., Biro, D. & Guilford, T. (2005). "Homing pigeons develop local route stereotypy." *Proceedings of the Royal Society B*, 272:17-23.
- [2]Biro, D., Meade, J. & Guilford, T. (2004). "Familiar route loyalty implies visual pilotage in the homing pigeon." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101:17440-17443.
- [3]Biro, D., Meade, J. & Guilford, T. (2006). "Route recapitulation and route loyalty in homing pigeons: pilotage from 25km?" *Journal of Navigation*, 59:43-53.
- [4]Chris Armstrong, Richard Mann, Matthew Collett, Robin Freeman, Stephen Roberts, Helen Wilkinson, and Tim Guilford. Why do pigeons form habitual routes?  
<http://www2.math.uu.se/~rmann/papers/RINArmstrong.pdf>
- [5]Biro, D. (2002) "The role of familiar landmarks in the homing pigeon's familiar area map." Ph.D. thesis, University of Oxford, UK.
- [6]electro-tech-online.<http://www.electro-tech-online.com/threads/discrete-frechet-distance.145411/>
- [7]Freeman R, Mann R, Guilford T, Biro D. (2011) Group decisions and individual differences: route fidelity predicts flight leadership in homing pigeons (*Columba livia*). *Biol. Lett.* 7, 63–66.  
doi:10.1098/rsbl.2010.0627
- [8]Laurent Etienne, Thomas Devogele.(2014)Trajectoires médianes.Institut de Recherche de l'Ecole navale, Brest, France [laurent.etienne@ecole-navale.fr](mailto:laurent.etienne@ecole-navale.fr) <http://www.letienne.net> Université de Tours, Laboratoire d'informatique, Blois, France. [thomas.devogele@univ-tours.fr](mailto:thomas.devogele@univ-tours.fr)  
<http://thomas.devogele.free.fr>
- [9]Puri, M. L. et P. K. Sen (1971). *Nonparametric methods in multivariate analysis*. John Wiley & Sons.
- [10]Jain AK, Murty MN, Flynn PJ. (1999)Data clustering: A review. *ACM Computing Surveys*, 31(3):264–323.
- [11]SNEATH, P. H. A. AND SOKAL, R. R. (1973).*Numerical Taxonomy*. Freeman, London, UK.
- [12]KING, B. (1967). Step-wise clustering procedures. *J. Am. Stat. Assoc.* 69, 86–101.
- [13]WARD, J. H. JR. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 58, 236–244.
- [14]MURTAGH, F. (1984). A survey of recent advances in hierarchical clustering algorithms which use cluster centers. *Comput. J.* 26, 354–359.
- [15]BAEZA-YATES, R. A. (1992). Introduction to data structures and algorithms related to information retrieval. In *Information Retrieval:Data Structures and Algorithms*, W. B. Frakes and R. Baeza-Yates, Eds. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 13–27.
- [16]NAGY, G. (1968). State of the art in pattern recognition. *Proc. IEEE* 56, 836–862.

- [17]Pettit B, Perna A, Biro D, Sumpter DJT.(2013). Interaction rules underlying group decisions in homing pigeons. *J R Soc Interface.* ;10:20130529.
- [18]Nagy M, Akos Z, Biro D, Vicsek T. (2010). Hierarchical group dynamics in pigeon flocks. *Nature* c464, 890–893.
- [19]Herbert-Read JE, Perna A, Mann RP, Schaerf TM, Sumpter DJT, Ward AJW.(2011) Inferring the rules of interaction of shoaling fish. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 108, 18 726–18 731.
- [20]MáéNagy,Zsuzsa Ákos, Dora Biro & Tamás Vicsek.(2010).Hierarchical group dynamics in pigeon flocks. *Nature* 464, 890–893.
- [21]Flack A, Pettit B, Freeman R, Guilford T, Biro D.(2012) What are leaders made of? The role of individual experience in determining leader–follower relations in homing pigeons. *Anim Behav*83(3):703–709.
- [22] Thomas Devogele, Laurent Etienne, Maxence Esnault, Florian Lardy. Optimized Discrete Fréchet Distance between trajectories.(2017) 6th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Analytics for Big Geospatial Data, , Redondo Beach, United States. 9 p
- [23] T. Eiter and H. Mannila. (1994). Computing Discrete Fréchet Distance. Technical Report. Technische Universitat Wien. 64 pages.

CITERES

**UMR 7324**  
*Cité, Territoires,  
Environnement et  
Société*

*Equipe IPA-PE*  
*Ingénierie du Projet*  
*d'Aménagement,*  
*Paysage,*  
*Environnement*



35 allée Ferdinand de Lesseps  
BP 30553  
37205 TOURS cedex 3

**Directeur de recherche :**  
**ETIENNE Laurent**

**WANG Xiaomeng**  
**YAO Yanwan**  
**Projet de Fin d'Etudes**  
**DA5**  
**2017-2018**

**Titre : Analyse comparative du déplacement de pigeons voyageurs.**

**Résumé :** Après quelques expériences et l'étude de la trajectoire du pigeon, on a connu les pigeons libérés à plusieurs reprises à partir du même site se développent et suivent fidèlement des itinéraires de retour idiosyncrasiques individuels qui améliorent leur efficacité au fil du temps. Et on a trouvé quelques méthodes pour rechercher la trajectoire du pigeon, par exemple, on utilise la méthode de la distance Fréchet pour mesurer la similarité des trajectoires. Pour mesurer la fidélité à l'itinéraire d'un pigeon, on peut calculer la variance de chaque chemin avec la trajectoire médiane, ou par la méthode de classification hiérarchiques. Pour comparer les deux pigeons, on a trouvé trois méthodes pour étudier si il y a un leader entre les deux pigeons quand ils volent ensemble. Utiliser La direction instantanée, la distance de deux routes et la plage attendue de la variation pour définir le leader. Et on va chercher des meilleurs méthodes pour étudier des trajectoires des pigeons.

**Mots Clés : pigeons voyageurs, méthode, déplacement, paires, comparaison, fidélité, voie habituelle.**