



UNIVERSITÉ PARIS 8 - VINCENNES À SAINT-DENIS

Licence informatique & vidéoludisme

État de l'art
Nuée d'étourneaux - Masse ressort

Mehdi Oudghiri
Bastien Capiaux

Date de rendu : le 14/01/2024

Tuteur : Jean Jacques Bourdin

Contents

0.1	Résumé	3
0.2	Introduction	4
1	Contextes	5
1.1	Le role des biologistes	7
1.1.1	Edmund Selous	7
1.1.2	Wayne Potts	7
1.1.3	J.E. Treherne, W.A. Foster	7
1.2	Le role des informaticiens	7
1.2.1	Craig Reynolds	7
1.2.2	Iain Couzin	8
1.3	Le role des physiciens	10
1.3.1	Tamás Vicsek	10
2	Systèmes Masse-Ressort	12
2.1	Principes de Base des Systèmes Masse-Ressort	12
2.2	Application à la Modélisation des Nuées d'Étourneaux	13
2.2.1	Représentation des Oiseaux	13
2.2.2	Interactions modélisées par des "Ressorts"	13
2.3	Émergence de comportement	14
2.3.1	Répulsion (Séparation)	14
2.3.2	Alignement	14
2.3.3	Attraction (Cohésion)	15
2.4	Conclusion	15
3	Schéma implémentation	17
3.1	Introduction	17
3.2	Structure pour un Oiseau	17
3.3	Structure pour la Nuée	18

3.4	Fonctions Principales	18
3.4.1	Initialisation	18
3.4.2	Mise à jour de l'État des Oiseaux	18
3.4.3	Comportements de Base	18
3.4.4	Réaction aux Prédateurs	18
3.4.5	Mise à jour Globale et Rendu	18
3.4.6	Nettoyage et Libération de la Mémoire	19
3.5	Améliorations	19
3.6	Conclusion	19

0.1 Résumé

Nous allons voir ensemble comment fonctionne une nuée d'étourneaux et comment implémenté une représentation graphique en C grâce a l'outils GL ou bien encore GL4D.

Nous verrons par la suite les différentes recherches réalisé sur les nuées d'étourneaux principalement par des biologistes, informaticiens, et physicien.

0.2 Introduction

Ce document PDF représente un état de l'art approfondi sur le système masse ressort sur les nuées d'étourneaux. Cette étude s'inscrit dans le cadre de notre projet tuteuré, mené au sein de notre cursus à l'Université Paris 8 Vincennes - Saint-Denis, pendant notre troisième année d'études.

Les nuées d'étourneaux sont un phénomène naturel fascinant et complexe. Ces immenses groupes d'oiseaux, principalement des étourneaux, se rassemblent en grand nombre, créant des formes fluides et changeantes dans le ciel. Cette pratique, connue sous le nom de murmuration, se produit généralement en période de migration ou lors de rassemblements pour dormir. Ces nuées peuvent comprendre des milliers, voire des millions d'oiseaux, se déplaçant ensemble dans une chorégraphie aérienne époustouflante.

Le phénomène est non seulement magnifique à observer, mais il a aussi un aspect pratique pour les oiseaux. En formant ces grandes nuées, les étourneaux peuvent se protéger des prédateurs, maintenir leur chaleur corporelle et échanger des informations sur des zones d'alimentation. Les scientifiques étudient encore comment ces oiseaux parviennent à se coordonner avec une telle précision sans collision, une question qui intéresse autant les ornithologues que les chercheurs en intelligence artificielle et en dynamique des fluides.



Les nuées d'étourneaux[0]

Chapter 1

Contextes

L'étude des nuées d'étourneaux s'est considérablement développée au fil des siècles, avec des contributions notables à différentes époques. Dès l'Antiquité, des observateurs comme Aristote, en 350 av. J.-C., mentionnaient déjà le comportement fascinant de ces oiseaux dans leurs écrits. Toutefois, c'est au cours du 20e siècle que l'intérêt scientifique pour ce phénomène a pris un tournant majeur.

Dans les années 1930, le zoologiste britannique Edmund Selous[1] a été l'un des premiers à étudier le comportement des nuées d'étourneaux, s'intéressant particulièrement à leur capacité à voler de manière synchronisée sans se heurter. L'avènement de l'informatique, dans la seconde moitié du 20e siècle, a permis des avancées significatives. En 1987, Craig Reynolds[8], un informaticien, a créé le modèle de "boids" qui simule le mouvement des nuées d'oiseaux. Ce modèle a jeté les bases de la compréhension moderne des nuées, bancs et essaims.

La modélisation par systèmes masse-ressort a commencé à gagner du terrain dans les années 1990, permettant une simulation plus réaliste des interactions physiques au sein des nuées. Les chercheurs ont utilisé ces modèles pour explorer comment les étourneaux réagissent collectivement à des menaces telles que l'approche d'un rapace, un sujet de recherche encore actif dans les années 2000 et 2010.

Avec le 21e siècle et l'émergence de l'intelligence artificielle, les recherches sur les nuées d'étourneaux ont atteint un nouveau niveau technique. Les

simulations informatiques offrent un aperçu plus précis du fonctionnement de ces formations.

1.1 Le role des biologistes

1.1.1 Edmund Selous

Edmund Selous (1857-1934) [1] a observé minutieusement les étourneaux et a été l'un des premiers à proposer que leur mouvement collectif pourrait être un mécanisme de défense contre les prédateurs. Mais rien de concret il parle même de la télépathie (un des chefs du groupe qui transmet les informations aux autres membres du groupe) dans ses livres et publications [2].

1.1.2 Wayne Potts

Dans les années 1970 et 1980, des biologistes comme Wayne Potts [3] ont apporté une contribution significative en étudiant le "chorus-line hypothesis" pour les virages des nuées. Potts a suggéré que les changements de direction dans les nuées sont comme une vague passant à travers les oiseaux, permettant à la nuée de réagir rapidement aux menaces extérieures.

1.1.3 J.E. Treherne, W.A. Foster

En 1980 J.E. Treherne [4] et W.A. Foster[5] mentionne un "Effect Trafalgar" [6]. Cette effet consiste à une imitation dans les mouvements de ses voisins se propageant par ondes dans le groupe permettant d'avertir et de signaler un danger.

1.2 Le role des informaticiens

1.2.1 Craig Reynolds

En 1986, Craig Reynolds [8] a conçu un modèle informatique pour simuler les mouvements coordonnés d'animaux en groupe, tels que les troupes d'oiseaux et les bancs de poissons. Son modèle s'appuyait sur une géométrie informatique tridimensionnelle. Il a nommé ces créatures génériques simulées en groupe "boids". Le modèle de base pour simuler le comportement de ces groupes comprenait trois règles simples de direction, qui définissaient comment un individu manœuvre en fonction des positions et des vitesses de ses voisins immédiats dans le groupe.

Ces règles étaient :

Séparation : Éviter les collisions avec les voisins proches.

Alignement : Se déplacer dans la même direction que les voisins.

Cohésion : Rester proche des voisins, formant ainsi un groupe unifié.

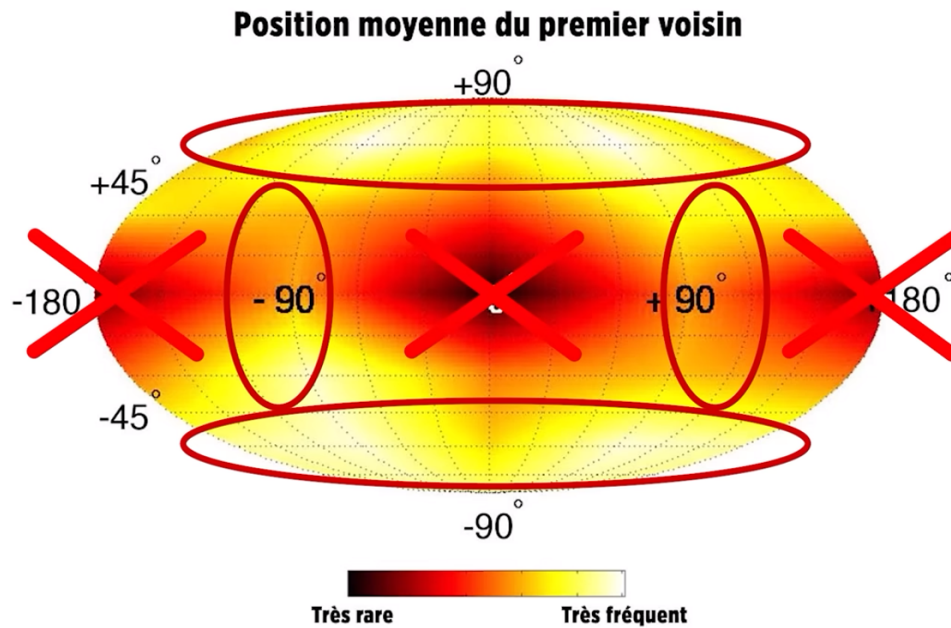
Ce modèle a été une percée dans la compréhension des comportements collectifs et a ouvert la voie à de nombreuses applications dans divers domaines, y compris dans l'animation et la robotique. Les "boids" ont servi de base pour de nombreuses études ultérieures sur la dynamique des groupes et le comportement collectif des animaux.

1.2.2 Iain Couzin

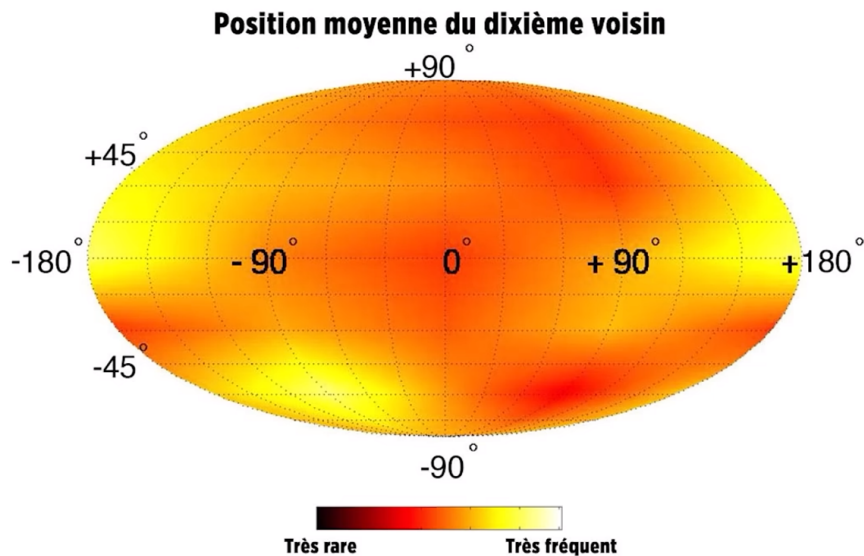
Plus récemment, des chercheurs comme Iain Couzin[9], à partir des années 2000, ont utilisé des techniques avancées pour étudier le comportement collectif. Couzin et son équipe ont appliqué des modèles mathématiques et des simulations informatiques pour mieux comprendre comment les individus dans une nuée interagissent et prennent des décisions.

Il est la personne qui nous a permis de comprendre de nombreuses choses dont le réseau d'influence au sein d'une nuée d'étourneaux. Nous savons maintenant qu'un étourneau est influencé par ses 6 plus proches voisins grâce à des positionnements stratégiques et calculés.

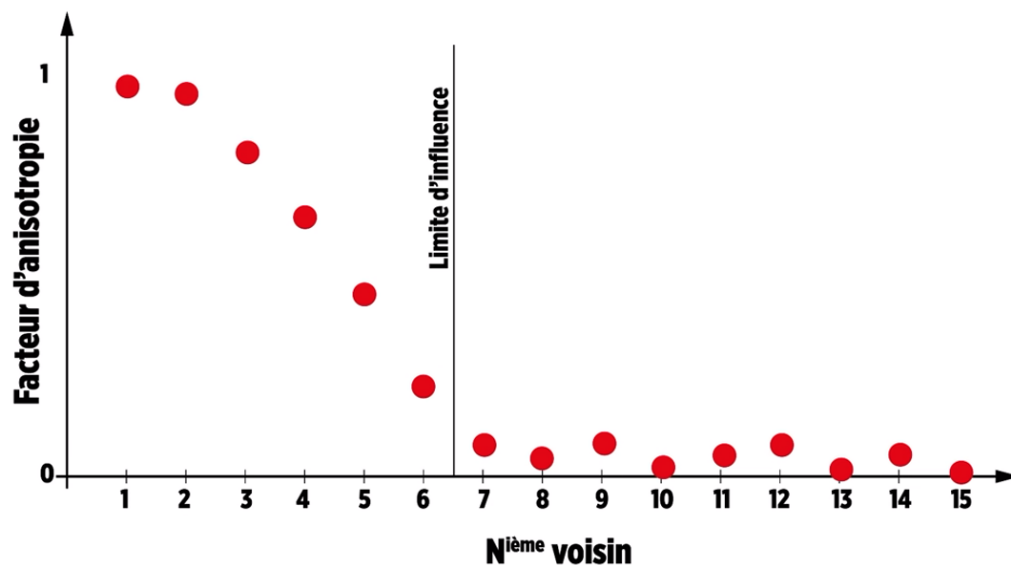
Ses recherches nous ont fournis des données intéressantes sur le positionnement des individus d'une nuée. Nous pouvons remarquer une préférence sur le positionnement des 6 plus proches voisins.



Plus le planisphère est anisotrope (hétérogène) plus l'interaction est forte et le positionnement est important. Dans le cas présent le plus proche voisin ne sera jamais devant ou derrière l'individu.



Plus la planisphère est isotrope (homogène) plus l'interaction est faible et le positionnement importe peu. Dans le cas présent le dixième voisin se placera où il le souhaite.



Fouloscopie vidéo [10]

1.3 Le role des physiciens

Le rôle des physiciens dans le domaine de la recherche est très récent mais néanmoins important.

1.3.1 Tamás Vicsek

Un autre biologiste notable dans ce domaine est Tamás Vicsek[11], un physicien et biologiste hongrois, connu pour son modèle de Vicsek, qui décrit le mouvement auto-organisé dans les groupes d'animaux, y compris les nuées d'étourneaux. Ce modèle a été influent dans la compréhension des règles simples qui peuvent conduire à des comportements collectifs complexes.

Chapter 2

Systèmes Masse-Ressort

2.1 Principes de Base des Systèmes Masse-Ressort

Un système masse-ressort [12] est un modèle physique composé de masses (points matériels) et de ressorts (représentant les forces élastiques). La dynamique de chaque masse est décrite par la seconde loi de Newton[13]:

$$F = m \cdot a \tag{2.1}$$

où F est la force agissant sur la masse, m est la masse et a est l'accélération.

La force d'un ressort suit la loi de Hooke [14]:

$$F = -k \cdot (x - x_0) \tag{2.2}$$

où k est la constante de ressort, x est la position actuelle et x_0 est la position de repos.

2.2 Application à la Modélisation des Nuées d'Étourneaux

Dans le contexte de la modélisation des nuées d'étourneaux, les principes des systèmes masse-ressort sont appliqués de la manière suivante :

2.2.1 Représentation des Oiseaux

Chaque oiseau est modélisé par une entité considérée comme une "masse" dans le système.

2.2.2 Interactions modélisées par des "Ressorts"

Les interactions entre les oiseaux, telles que l'attraction et la répulsion, sont représentées par des ressorts abstraits dans le modèle.

Attraction ou Cohésion

La force d'attraction entre les oiseaux est modélisée par un ressort étiré représentant la cohésion. La formule pour cette force est :

$$F_{\text{cohésion}} = kc \cdot (d_{\text{actuelle}} - d_{\text{opt}}) \quad (2.3)$$

où kc est la constante de ressort pour la cohésion, d_{actuelle} est la distance actuelle entre les oiseaux, et d_{opt} est la distance optimale de cohésion.

Répulsion ou Séparation

La force de répulsion est modélisée par un ressort comprimé pour éviter la collision. La formule correspondante est :

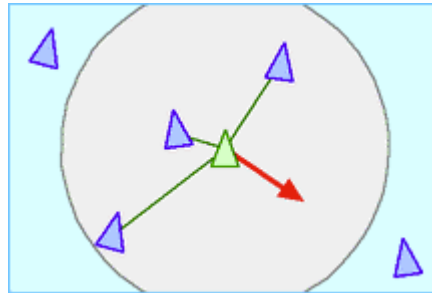
$$F_{\text{séparation}} = -ks \cdot (d_{\text{actuelle}} - d_{\text{min}}) \quad (2.4)$$

où ks est la constante de ressort pour la séparation, et d_{min} est la distance minimale souhaitée entre les oiseaux pour éviter les collisions.

2.3 Émergence de comportement

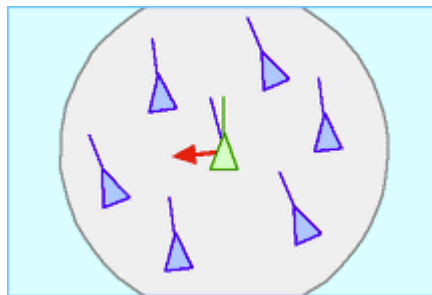
La modélisation des nuées d'étourneaux implique la compréhension des comportements suivants :

2.3.1 Répulsion (Séparation)



- Objectif : Prévenir les collisions et maintenir une distance de sécurité.
- Dynamique : Force répulsive simulant un ressort comprimé lorsque les oiseaux sont trop proches.
- Implémentation : Proportionnelle à l'inverse du carré de la distance entre les oiseaux.

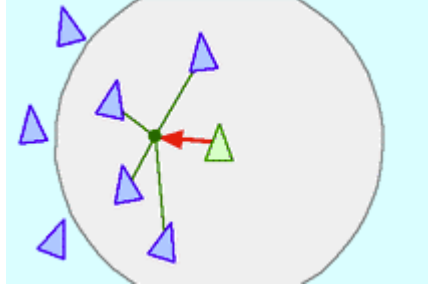
2.3.2 Alignement



- Mécanisme : Les oiseaux s'alignent avec la direction moyenne de vol de leurs voisins.
- Calcul : Moyenne vectorielle des directions des voisins les plus proches.

- Effet : Contribue à la cohésion et à la navigation synchronisée du groupe.

2.3.3 Attraction (Cohésion)



- Fonction : Assure que les oiseaux restent unis en groupe.
- Modélisation : Force d'attraction semblable à un ressort étiré, augmentant avec la distance.
- Équilibre : Un équilibre entre cohésion et répulsion est essentiel pour un mouvement de groupe naturel.

2.4 Conclusion

En combinant ces comportements dans un modèle masse-ressort, on peut simuler efficacement le comportement dynamique des nuées d'étourneaux afin de réaliser une implémentation similaire à ce qu'on peut observer dans la nature.

Chapter 3

Schéma implémentation

3.1 Introduction

Pour modéliser le comportement des nuées d'étourneaux, surtout en présence de prédateurs, il est crucial d'utiliser des structures de données efficaces. Ces structures doivent représenter les positions, vitesses et interactions des oiseaux.

3.2 Structure pour un Oiseau

Chaque oiseau est représenté individuellement avec des données sur sa position, sa vitesse et son état de réaction face à un prédateur.

```
typedef struct {  
    float position[3]; // Position en 3D (x, y, z)  
    float vitesse[3];  // Vitesse en 3D (vx, vy, vz)  
    int enAlerte;       // Réaction à un prédateur  
} Oiseau_t;
```

3.3 Structure pour la Nuée

La nuée est représentée par un ensemble contenant un tableau d'oiseaux et des informations sur le contexte global.

```
typedef struct {  
    int nbOiseaux;        // Nombre d'oiseaux  
    Oiseau_t *oiseaux;    // Tableau d'oiseaux  
    int presencePredateur; // Présence d'un prédateur  
} Nuée_t;
```

3.4 Fonctions Principales

3.4.1 Initialisation

```
Nuée_t InitialiserNuée(int nbOiseaux);
```

3.4.2 Mise à jour de l'État des Oiseaux

```
void MettreAJourPosition(Oiseau_t oiseau);  
void MettreAJourVitesse(Oiseau_t oiseau, Nuée_tnuée);
```

3.4.3 Comportements de Base

```
void CalculerCohésion(Oiseau_t oiseau, Nuée_tnuée);  
void CalculerSéparation(Oiseau_t oiseau, Nuée_tnuée);  
void CalculerAlignement(Oiseau_t oiseau, Nuée_tnuée);
```

3.4.4 Réaction aux Prédateurs

```
void DétecterPrédateur(Nuée_t nuée, Prédateur_tprédateur);  
void RéagirAuPrédateur(Oiseau_t oiseau, Nuée_tnuée);
```

3.4.5 Mise à jour Globale et Rendu

```
void MettreAJourNuée(Nuée_t nuée);  
void RendreNuée(Nuée_tnuée);
```

3.4.6 Nettoyage et Libération de la Mémoire

```
void LibérerNuée(Nuée_t *nuée);
```

3.5 Améliorations

Afin de mieux gérer les positions et permettre une optimisation supplémentaire nous pourrons:

- Implémenter les 6 plus proches voisins d'après les recherches de Iain Couzin [\[9\]](#)
- Prendre en compte la vision et les angles mort de l'oiseau
- Déplacement du prédateur a l'aide de la souris ou automatiquement lors d'une démo.

3.6 Conclusion

Ces structures et ces fonctions permettent de simuler de manière efficace le comportement dynamique des nuées d'étourneaux, en tenant compte de la présence de prédateurs et des interactions entre les oiseaux.

Bibliography

- [0] Les nuées d'étourneaux: www.youtube.com/watch?v=WAA6sdWrV20&ab_channel=Biosmotion
© Philippe Lavaux / Biosmotion
- [1] Edmund Selous: fr.wikipedia.org/wiki/Edmund_Selous
- [2] pittvillehistory: www.pittvillehistory.org.uk/bios/Selous5571.html
- [3] Wayne-Potts: faculty.utah.edu
- [4] J.E. Treherne: en.wikipedia.org/wiki/John_Treherne
- [5] W.A. Foster: *Rien*
- [6] Effect trafilgar: www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003347281800280
- [8] Craig Reynolds: www.red3d.com/cwr/
- [9] Iain Couzine: www.ab.mpg.de/couzin
- [10] 5 niveaux de difficulté : Comment fonctionne un banc de poissons ?
www.youtube.com/watch?v=Ch7VxxTBe1c&ab_channel=Fouloscopie

- [11] Tamás Vicsek: [hal.elte.hu/ vicsek/](http://hal.elte.hu/vicsek/)
- [12] MasseRessort: fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_masse-ressort
- [13] Seconde loi de Newton: www.maxicours.com/se/cours/utiliser-la-deuxieme-loi-de-newton/
- [14] Loi de Hook: [https : //sites.ualberta.ca/ mdemonti/cours/physq130/130hooke0708.pdf](https://sites.ualberta.ca/mdemonti/cours/physq130/130hooke0708.pdf)