

# Un Système Interactif Simulant Un Littoral

## IA310 - SMA

Clément BOUVIER-NEVEU      Lisa GIORDANI      Olivier LAURENT  
Axel ROCHEL

Mars 2022

### Résumé

Dans ce projet, nous allons mettre en application ce que nous avons appris dans le cours portant sur les systèmes multi-agents qui nous a été dispensé. Notre projet vise à simuler la cohabitation entre poissons, requins et autres animaux marins dans l'océan.

Une attention toute particulière a été portée à la qualité du code. Les classes représentant les différents agents et objets inertes sont bien séparées et l'arborescence a été pensée pour être la plus claire possible. Le code est en outre de bonne qualité, respecte les spécifications PEP de Python, est commenté et chacune des classes et des fonctions est munie de docstrings qui documentent leurs objectifs et les différents paramètres.

[Le code est disponible ici.](#)



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Contexte et problématique</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Système simple</b>	<b>3</b>
2.1	Environnement . . . . .	3
2.2	Poissons . . . . .	3
2.3	Requins . . . . .	4
2.4	Simulations . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Modification de l'environnement</b>	<b>5</b>
3.1	Bancs de sable . . . . .	5
3.2	Requins . . . . .	5
3.3	Poissons . . . . .	5
3.4	Simulations . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Ajout d'agents</b>	<b>6</b>
4.1	Goélands . . . . .	6
4.2	Poissons . . . . .	7
4.3	Simulation . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Coopération des agents</b>	<b>7</b>
5.1	Requins . . . . .	7
5.2	Simulations . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Pénalisation des requins</b>	<b>8</b>
6.1	Requins s'échouent . . . . .	8
6.2	Simulations . . . . .	9
<b>7</b>	<b>Applications du système</b>	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>Conclusion</b>	<b>10</b>

# 1 Contexte et problématique

Le but de ce projet est de simuler le comportement d'un banc de poissons dans un environnement avec des prédateurs. La compréhension des mouvements des bancs de poissons, et des essaims en général, est très intéressante car à partir de quelques règles simples il est possible de modéliser des comportements à première vue complexes d'un grand nombre d'individus. Ceci ouvre deux grands axes d'étude. Tout d'abord la compréhension, modélisation et simulation du comportement de beaucoup d'agents interagissant entre eux. Mais cela donne aussi les clés de la conception pour la robotique en essaim, domaine pour lequel il est très avantageux de pouvoir créer des comportements complexes à partir de beaucoup d'agents très simples.

La robotique en essaim s'inspirant du comportement d'animaux, l'objectif de ce projet est d'implémenter une simulation simplifiée du comportement d'un banc de poissons en interaction avec un prédateur, le requin. Cette simulation doit permettre d'observer qu'un essaim d'agents peut se déplacer dans son environnement tout en évitant des obstacles. Au fur et à mesure de ce projet, l'environnement simulé devient de plus en plus complexe car nous intégrons des éléments supplémentaires à l'environnement. En partant d'une situation très simple avec juste des poissons et un requin, nous arrivons à une situation où les poissons peuvent se réfugier contre les requins qui coopèrent mais s'exposent en contrepartie à des goélands.

## 2 Système simple

### 2.1 Environnement

Pour commencer, nous implémentons le système le plus simple qui soit afin d'observer son évolution au cours des simulations et ainsi pouvoir l'améliorer ensuite.

L'environnement de la simulation représente l'océan dans lequel se déplacent et interagissent les agents. Il est composé d'un unique obstacle (en vert) représentant une île sur laquelle les agents ne peuvent pas se déplacer.

### 2.2 Poissons

Les poissons sont représentés par des agents (en bleu). Leur objectif est d'échapper aux requins pour rester en vie. Dans un état normal, ils se déplacent en bancs à une vitesse constante (égale à 10 pixels par itération). A chaque tour, chacun des poissons tire aléatoirement une direction qu'on note  $angle_{choix}$ .

On peut organiser les comportements des poissons par ordre décroissant de priorité comme suit :

1. Bord de l'environnement ou obstacle → éviter une collision en changeant d'angle et en ralentissant
2. Requin → se déplacer dans la direction opposée
3. Explorer

Le déplacement du banc de poisson se fait selon des directions et vitesses différentes par poisson. La direction de chaque poisson est définie ainsi :

$$angle_{poisson} = \alpha * angle_{choix} + (1 - \alpha) * mean(angle_{voisins})$$

Avec :

- $\alpha$  compris entre 0 et 1
- $angle_{choix}$  : la direction choisie par le poisson lui-même de manière aléatoire dans l'état normal, sinon la direction opposée à celle du requin s'il en aperçoit un dans son champ de vision
- $mean(angle_{voisins})$  : la moyenne des directions prises par les poissons à l'itération précédente pondérée par leur vitesse (plus un poisson est rapide, plus il influence la direction prise par le banc de poissons)

Concernant la vitesse adoptée par les poissons, lorsqu'un poisson rencontre un obstacle (sa prochaine position est située dans une zone interdite), sa vitesse est divisée par deux et un nouvel  $angle_{choix}$  est calculé jusqu'à ce qu'il soit acceptable (dans une zone permise). De plus, le poids accordé aux directions prises par les autres poissons est divisé par deux à chaque nouveau calcul d'un  $angle_{choix}$  afin de réduire l'influence de la direction du groupe sur la direction du poisson souhaitant éviter une collision. Cela permet de favoriser l'évitement d'une collision puisqu'une solution d'évitement aura de plus en plus de chance d'émerger de la formule de déplacement du poisson.

## 2.3 Requins

Les requins sont représentés par des agents (en noir). Dans un état normal, ils se déplacent seuls à une vitesse inférieure à celle des poissons (8 pixels par itération). Ils ont pour objectif de manger le plus de poissons possibles.

Les requins peuvent se trouver dans trois états différents. Ils peuvent être dans un état normal dans lequel ils se déplacent aléatoirement pour explorer leur environnement à la recherche de poissons. Ils peuvent également être dans un état d'attaque lorsqu'au moins un poisson se situe dans leur champ de vision. Dans cet état, les requins accélèrent leur vitesse en se déplaçant vers un poisson qui aura été repéré. Enfin, le dernier état dans lequel peuvent se trouver les requins a lieu lorsqu'un poisson se situe dans un voisinage très proche du requin est qu'il peut donc le manger. On considère que le requin est dans un état de "pause" lorsqu'il mange ce poisson, ce qui signifie qu'il continuera à se déplacer mais ne sera plus à l'affût d'autres poissons. Il ne sera donc plus sensible au passage d'un poisson dans son champ de vision, ni aux tâches de sang.

## 2.4 Simulations

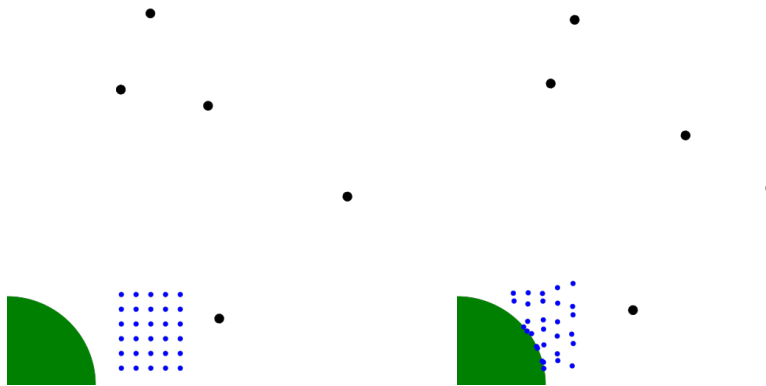


FIGURE 1 – Simulation basique

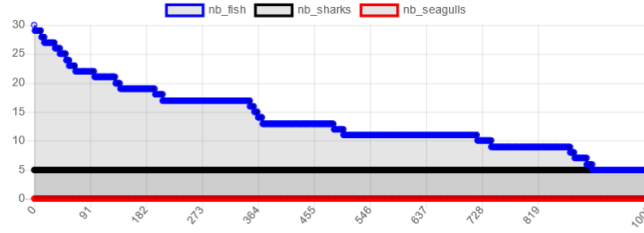


FIGURE 2 – Évolution du nombre d’agents au cours des itérations

Sur l’image de gauche de la figure 1, on peut voir la manière dont sont placés les poissons au moment de l’initialisation. Très rapidement ils forment un banc de poissons qui évite à la fois les requins et les obstacles, comme on peut le voir sur l’image de droite.

La simulation se termine lorsque tous les poissons sont morts ou lorsque le nombre maximal d’itérations est atteint. On peut voir sur la figure 2 que le nombre de poissons diminue rapidement et de manière drastique. Les poissons n’ont aucun chance d’échapper aux requins.

### 3 Modification de l’environnement

Nous allons modifier l’environnement initial afin de donner un petit coup de pouce aux poissons.

#### 3.1 Bancs de sable

On ajoute des bancs de sable de part et d’autre de l’environnement *océan*. Ils sont représentés en jaune sur la visualisation de la simulation. La profondeur de ces bancs de sable est moins importante que celle du reste de l’océan.

#### 3.2 Requins

Cette différence de profondeur ralentit largement la progression des requins dans ces zones : leur vitesse est divisée par deux. La vitesse de déplacement des requins devient donc inférieure à celle des poissons.

#### 3.3 Poissons

Ces bancs de sable peuvent donc être vus comme des zones de repos pour les poissons. Ainsi, si un requin apparaît dans le champ de vision d’un poisson, alors le poisson entre dans un état de panique. Cet état le mène à vouloir se déplacer vers un banc de sable. Son  $angle_{choix}$  sera alors fixé dans la direction du banc de sable le plus proche, ce qui influencera la direction globale du banc de poisson. Cet état de panique disparaît avec le temps, ce qui empêche les poissons de rester indéfiniment à l’abri dans le sable.

#### 3.4 Simulations

Les poissons se dirigent systématiquement vers le banc de sable le plus proche dès la moindre attaque. Sur la figure 3, on peut voir l’état de la simulation après une attaque de requin : les poissons sont allés se réfugier dans le banc de sable le plus proche.

Les bancs de sable permettent aux poissons d’être dévorés moins rapidement par les requins, comme on peut le voir sur la figure 4, en comparaison avec la figure 2.

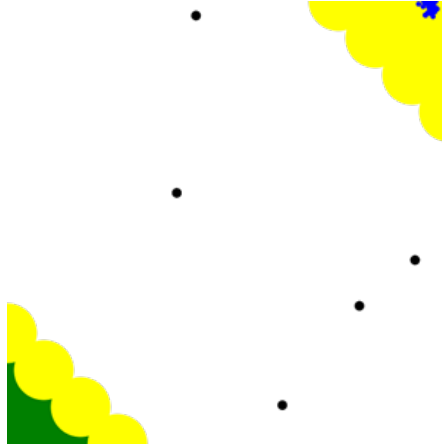


FIGURE 3 – Simulation avec des bancs de sable

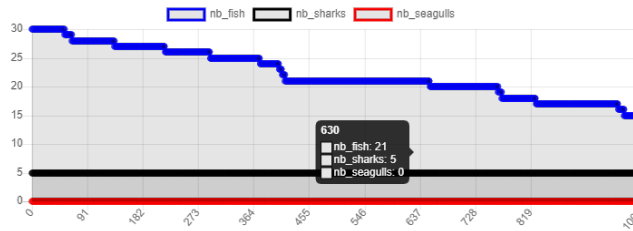


FIGURE 4 – Évolution du nombre d'agents au cours des itérations

## 4 Ajout d'agents

Nous allons ajouter des agents afin d'ajouter un certain danger pour les poissons dans les bancs de sable.

### 4.1 Goélands

Des goélands ont été ajoutés à la simulation afin d'étudier d'autres types d'interactions. Ces goélands sont représentés par des cercles noirs sur l'interface graphique.

Les comportements des goélands sont décrits dans la suite par ordre de priorité :

- Si le goéland se repose, alors le nombre de tours de repos du goéland diminue de 1.
- Si le goéland est en mode pêche, il se déplace vers la position où il avait vu le poisson au départ de son vol.
- Si le goéland n'est pas en train de se reposer mais en train de revenir vers les bords du terrain, il se déplace dans ce sens. Arrivé au bord, il passe en mode repos.
- Si le goéland n'est pas en train de se reposer, de pêcher ou de revenir sur les bords du terrain, il cherche à détecter des poissons qui se trouveraient dans son champ de vision. Si c'est le cas, il passe en mode pêche.
- Si le goéland n'est pas en train de se reposer et n'est pas en train de pêcher, de revenir sur les bords du terrain et n'a pas trouvé de poisson intéressant, il se déplace de façon aléatoire sur le bord.

## 4.2 Poissons

Afin que les poissons prennent en compte la présence des goélands, un nouvel état des poissons a été implémenté : celui de panique à la vue de goélands. Lorsqu’au moins un goéland apparaît dans le champ de vision d’un poisson, ce dernier change de direction de manière complètement aléatoire sans prendre en compte la direction du groupe. Cet état de panique prend le dessus sur le mode d’évitement des requins qui consisterait à rester dans le sable.

## 4.3 Simulation

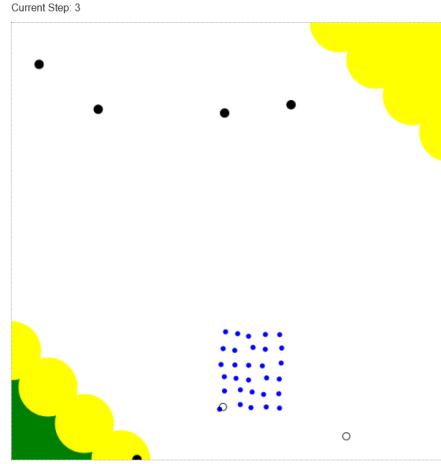


FIGURE 5 – Simulation avec des goélands

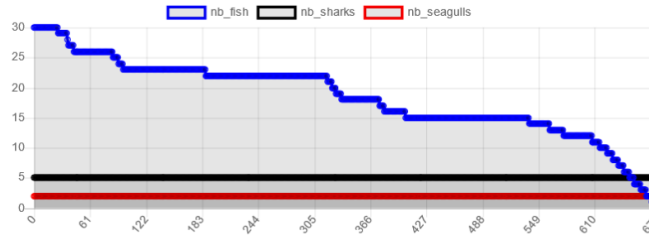


FIGURE 6 – Évolution du nombre d’agents au cours de la simulation

On observe sans grande surprise que la situation ne s’améliore pas pour les poissons. Elle est même plus rude que la situation initiale. La situation est donc totalement à l’avantage des prédateurs.

## 5 Coopération des agents

### 5.1 Requins

Afin d’ajouter une interaction indirecte entre les requins, des balises de sang sont ajoutées à la simulation. Maintenant, dès qu’un poisson est mort, une tâche de sang apparaît avec un certain rayon.

Elle va grandir à chaque étape jusqu’à atteindre une taille maximale et disparaître. Plus une tâche de sang est apparue depuis longtemps, moins elle sera “concentrée”, ce qui se traduit visuellement par une couleur plus pâle et en pratique par un plus faible intérêt des requins envers cette tâche.

En effet, à chaque tour de boucle, si le requin ne détecte pas de poisson, il va maintenant chercher d'éventuelles tâches de sang. Si une ou plusieurs tâches de sang est dans son champs de vision, il va se diriger vers le centre de la tâche la plus concentrée et sera à présent désintéressé par toutes les tâches de concentration inférieure.

En pratique, ce désintéressement s'effectue en mettant à jour un attribut du requin correspondant à un seuil. Le requin est intéressé par une flaque de sang si la durée de vie restante de cette flaque est supérieure ou égale à ce seuil. Lorsqu'un requin se dirige vers une flaque de sang, ce seuil devient égale à la durée de vie de la flaque suivie. Il est ensuite décrémenté à chaque tour de boucle au même titre que la durée de vie des flaques.

Enfin, lorsque le requin atteint le centre d'une flaque, on incrémente son seuil afin qu'il se désintéresse de la flaque de sang atteinte. Cela permet au requin de suivre des tâches de sang avec une concentration croissante. Il va ainsi se diriger vers la tâche la plus récente qui est probablement proche du banc de poissons. Cela permet de simuler une entraide involontaire entre les requins.

## 5.2 Simulations

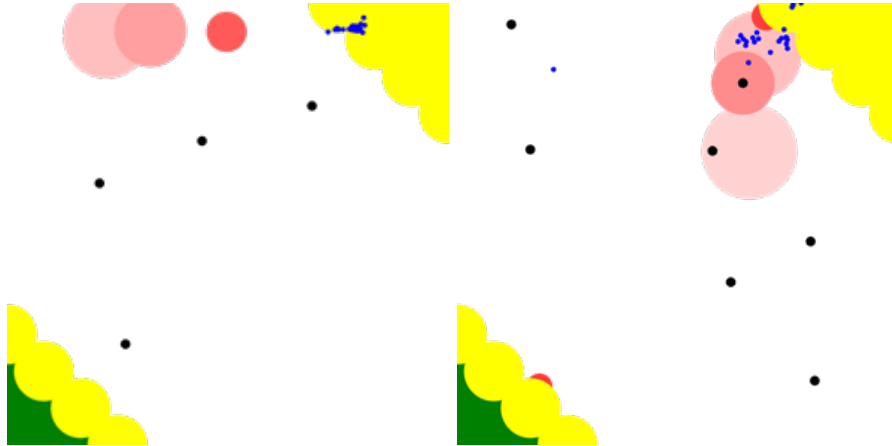


FIGURE 7 – Simulation avec des tâches de sang

On peut voir sur l'image de gauche que les requins laissent un "chemin" de traces de sang en suivant et en mangeant des poissons.

Dans l'image de gauche, on peut voir que les requins sont bien attirés par ces tâches de sang qui les guident vers le banc de poissons.

Dans cette configuration, les requins ont un trop grand avantage par rapport aux poissons. Ces derniers n'ont plus aucune chance face aux requins.

## 6 Pénalisation des requins

### 6.1 Requins s'échouent

Afin de pénaliser les requins et rendre la simulation plus équilibrée, nous avons implémenté le fait que les requins puissent s'échouer de manière aléatoire dans le sable (avec une probabilité de 0.05 par pas de temps). Lorsqu'un requin s'échoue, cela entraîne sa mort et une tâche de sang apparaît alors à l'endroit où le requin est mort. De la même manière que lorsque du sang se répand à la mort d'un poisson, les requins sont attirés par le sang. Les requins se dirigent donc vers le requin mort qui se situe dans le sable et on donc une chance de s'échouer également. Cette manière de leurrer le groupe des requins et de les handicaper en tuant certains a pour objectif de favoriser les poissons qui étaient jusque-là uniquement en position de vulnérabilité face aux requins.



## 6.2 Simulations

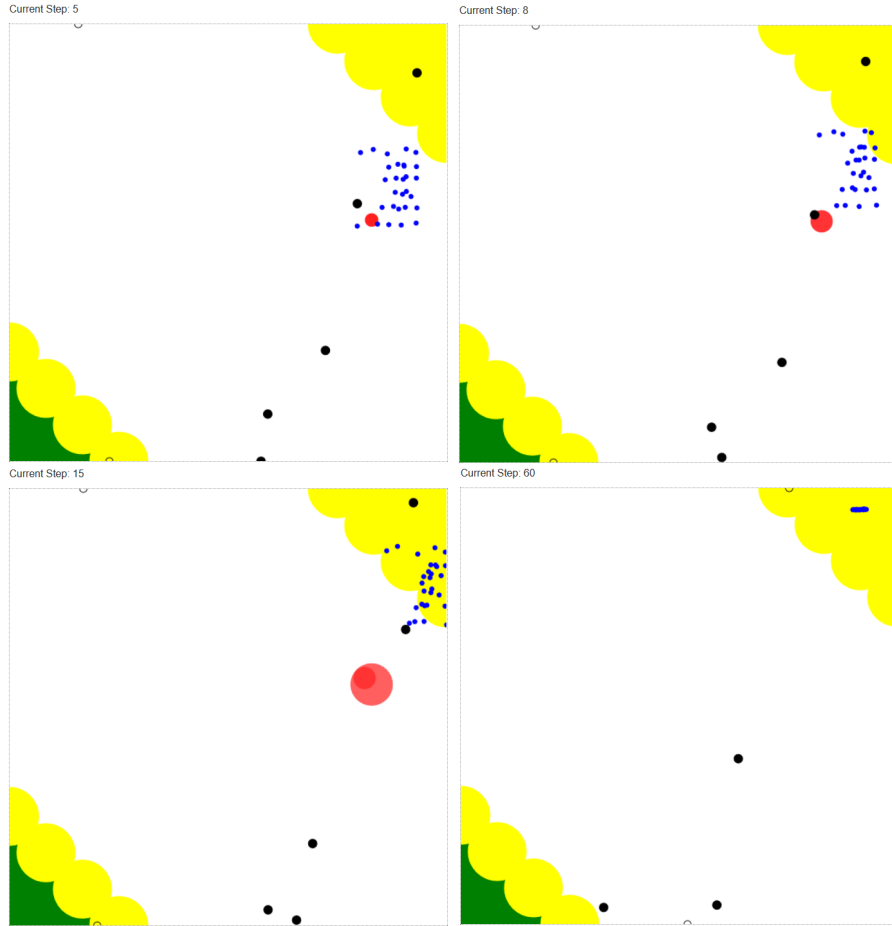


FIGURE 8 – Simulation avec des requins échoués (images dans le sens du déroulement de la simulation)

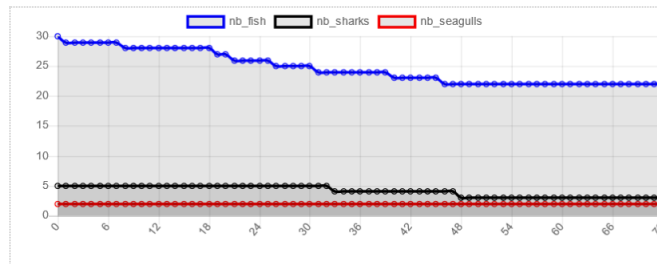


FIGURE 9 – Évolution du nombre d'agents au cours de la simulation

Contrairement à la situation précédente, on peut voir sur la figure 8 que les poissons peuvent maintenant trouver un vrai refuge dans les bancs de sable car les requins qui les y poursuivent s'échouent. Le système est devenu beaucoup plus stable et donc équilibré.

## 7 Applications du système

L'étude de ces comportements est très utile dans plusieurs domaines, notamment la compréhension du cycle de vie d'animaux suivants ces comportements, l'étude des mouvements de foule dans des situations d'urgence ou encore la création spectacles sons et lumières avec des essaims de drones.

La compréhension du cycle de vie des animaux permet de plus facilement prédire des explosions de population ou des extinctions, comme notamment les essaims de criquets. Pour aller plus loin cela permet aussi de comprendre ce qui est habituel ou ce qui ne l'est pas, permettant de remonter à des modifications de leur environnements dans le dernier cas et donc d'avoir des indicateurs de phénomènes difficilement observables.

La compréhension des mouvements de foule permet de mieux concevoir et dimensionner les protocoles d'évacuation en cas d'urgence, mais aussi d'améliorer l'ergonomie de grands espaces publics afin d'éviter des congestions inutiles.

Récemment la robotique en essaim a commencé à entrer dans le domaine commercial grâce à des spectacles semblables à des feux d'artifice mais avec des essaims de drones.

## 8 Conclusion

Ce projet, en plus d'être ludique, fût pour nous l'occasion de mettre en application les bibliothèques et théories vues en cours, tout en améliorant nos compétences en programmation.

Partant d'une simulation très simple, nous avons petit à petit rajouté de nouvelles interactions, un coup pour donner l'avantage aux requins, un coup pour redonner l'avantage aux poissons. Nous avons ainsi pu appréhender la difficulté que pouvait constituer la modélisation d'un système multi-agents complexe.

Avec plus de temps, beaucoup d'autres améliorations pourraient être ajoutées au modèle pour le rendre plus complet et réaliste. Par exemple, sur une échelle de temps plus longue, il pourrait être pertinent de prendre en compte le cycle de vie des animaux, à savoir, se nourrir et se reproduire.

On aurait également pu implémenter des agents coopérant par messages (avec *spade*) qui s'informent de la présence d'un prédateur et de la manière de l'éviter par exemple. Des agents cognitifs ayant un état interne leur permettant de calculer le chemin optimal pour atteindre un certain objectif aurait pu également être envisagés.