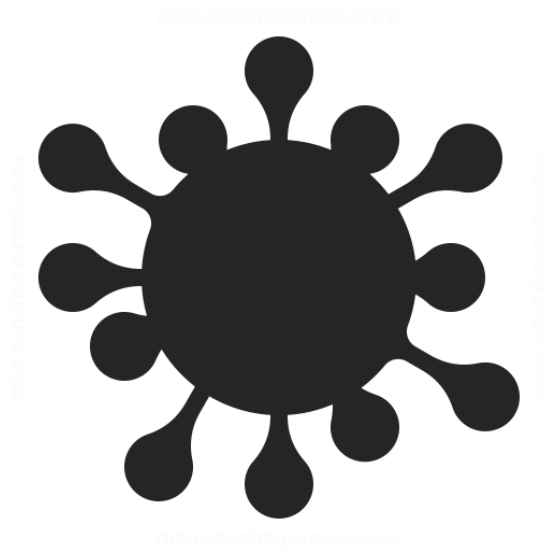
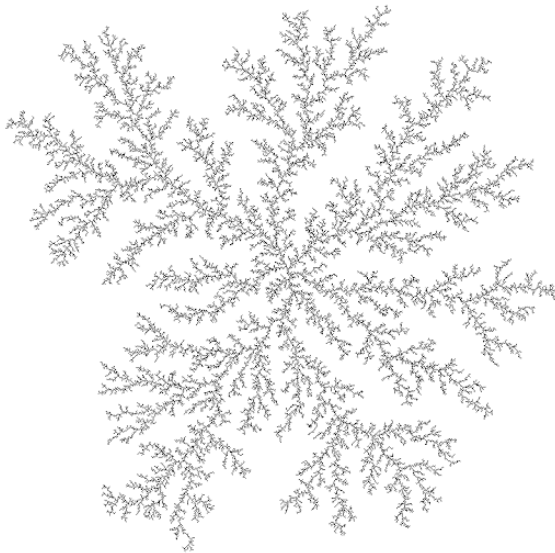


# Sujet 4 : Diffusion Limited Aggregation

Abdelhamid KACIMI – Benjamin CAODURO – Aimeric  
MONTANGE



IA54 – A20 – Département informatique

**Établissement :**

*Université de Technologie de Belfort-Montbéliard*

**Professeur Encadrant :**

*Nicolas GAUD*

**Responsable UV :**

*Nicolas GAUD*

# Sommaire

<b>Sommaire.....</b>	<b>2</b>
<b>I- Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>II- Recherches .....</b>	<b>4</b>
a- Choix du sujet.....	4
b- Première idée : Feux de forêts .....	5
c- Deuxième idée : Transmission de maladie.....	5
d- Modélisation d'une expérience : Restart 19 .....	6
<b>III- Développement du modèle .....</b>	<b>8</b>
a- Développement des agents .....	8
1- Agent Boids.....	8
2- Agent Chart .....	8
3- Agent Environment.....	9
4- Communication entre Agent.....	9
5- Mort des agents .....	9
b- Interface graphique .....	10
c- Premier Scénario .....	10
d- Deuxième Scénario .....	10
e- Troisième Scénario .....	10
f- Récapitulatif des scénarios .....	11
g- Création des résultats.....	11
<b>IV- Explications des résultats.....</b>	<b>12</b>
<b>V- Sources .....</b>	<b>13</b>
<b>VI- Annexes.....</b>	<b>14</b>

## I- Introduction

Dans le cadre de l'UV IA54, Multi-agent systems and distributed problem solving, il nous a été proposé une liste de projet permettant de mettre en œuvre nos connaissances et nos compétences dans la conception d'un système multi-agent.

Nous avons choisi le projet DLA : Diffusion Limited Aggregation. Ce projet met bien en avant le système d'agent avec la création d'un agent par unité ou point que l'on retrouve dans un modèle de DLA. Chaque agent a bien un environnement et un comportement vis-à-vis des autres agents.

C'est donc dans ce cadre que nous avons tout d'abord réfléchi au sujet sur lequel ce projet allait porter. Ensuite, nous avons mis en forme notre idée de sujet, en langage SARL dans l'IDE Eclipse. Enfin, nous avons construit différentes analyses de résultats de ce système multi-agents.

## II- Recherches

### a- Choix du sujet

Nous avons tout d'abord voulu choisir le projet sur les Diffusion Limited Aggregation (DLA), ce projet nous intéressaient et son application peut correspondre à des modélisations de situations réelles. De plus, ce projet permet de bien comprendre ce qu'est un système multi-agent, car ce projet manipule de nombreuses entités correspondantes à des agents.

Un modèle d'agrégation à diffusion limitée est caractérisé par le processus par lequel des particules décrivant un mouvement aléatoire du à un mouvement brownien, se regroupent pour former des groupes de particules. Ces groupes peuvent construire différentes formes comme des arbres browniens ou des fractales.

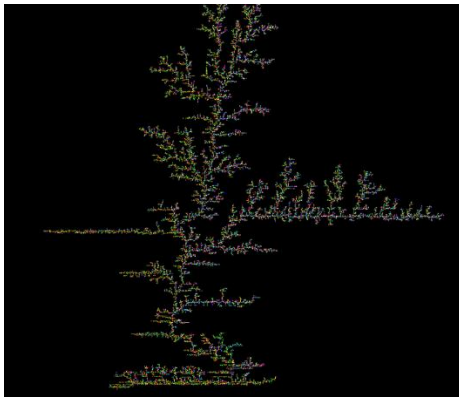


Image d'un arbre brownien

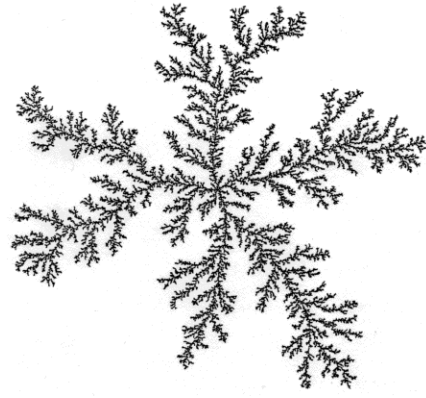


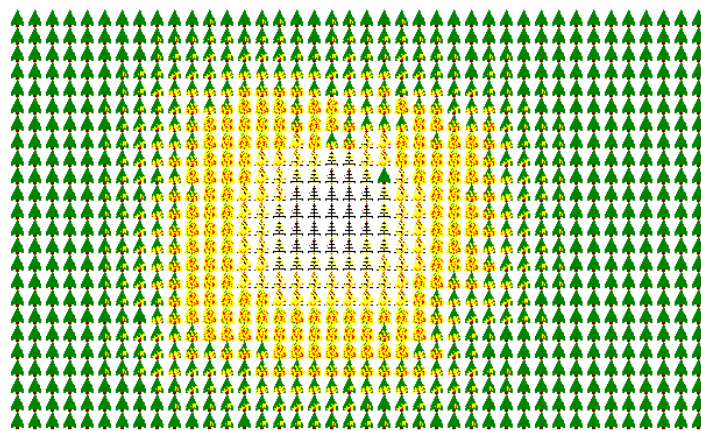
Image d'un fractal brownien

Ce modèle de DLA peut être applicatif à plusieurs domaines : art, physique, électronique ...

Nous avons donc tous ensemble chercher un domaine d'application pour notre projet, tout en restant bien dans les consignes de celui-ci.

## b- Première idée : Feux de forêts

Nous nous sommes en premier lieu intéressé aux feux de forêts. Chaque arbre de la forêt aurait été un agent ayant différents attributs et le mouvement aléatoire aurait été celui de la propagation des flammes dans cette forêt en fonction des attributs des arbres et de l'environnement (contexte) extérieur. Cependant, après de nombreuses recherches sur le sujet et sur les informations nécessaires à sa modélisation, nous nous sommes rendu compte que très peu d'informations étaient exploitables. Elles étaient soit inexistantes, soit trop élaborées pour ce type de modèle. Elles n'étaient finalement pas adaptées à notre sujet. De plus, ce système s'apparente plus à un automate cellulaire au niveau des arbres qu'à un véritable système multi-agents. Nous tenions également à concevoir une modélisation avec des entités Boids en mouvement. C'est pourquoi ce sujet fut mis de côté et non choisi.



Simulation d'un feu de forêts

## c- Deuxième idée : Transmission de maladie

Nous avons donc choisi de changer notre domaine d'application. Ce domaine est devenu celui de la transmission de maladie ou de virus au sein d'une population. En effet, dans le contexte exceptionnel que nous connaissons aujourd'hui (Covid-19), modéliser un tel domaine est très intéressant et a fortiori d'actualité.

Lors de nos recherches, nous nous sommes demandé ce que nous voulions modéliser. La première idée consistait à faire, à moyenne échelle, la simulation d'un rassemblement dans un local de l'UTBM (salle de cours, bâtiments ...). Les individus auraient été modélisés par des Boids suivant des mouvements aléatoires (browniens) et des contacts entre chacun.

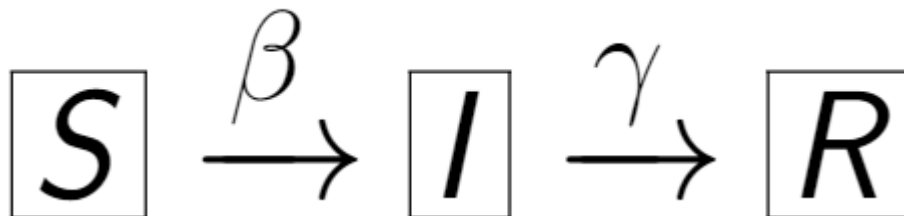
Pour modéliser ce type d'application, nous devons nous appuyer sur des recherches scientifiques et des modèles déjà existants et vérifiés. Il nous fallait donc choisir un modèle scientifique permettant de bien modéliser la transmission du virus.

Il existe différents modèles épidémiologiques, nous avons choisi d'appuyer nos propos sur le modèle SIR. Ce modèle compartimental est utilisé en épidémiologie afin de simplifier les calculs de la probabilité de contagion d'un virus en modélisant de nombreuses maladies. Son principe repose donc sur une division de la population en plusieurs compartiments (individus sains, infectés et rétablis).

Ici, certains individus seront sains et les individus restants seront infectés. Un paramètre sera présent afin de déterminer le laps de temps nécessaire aux rétablissements de l'individu infecté, qui sera ensuite rétabli et donc immunisé. Un individu malade pourra contaminer une personne si un contact a lieu entre les deux et si le paramètre représentant la virulence du virus permet une contamination.

D'autres compartiments et d'autres règles peuvent être présentes. En effet, un compartiment pour les personnes mortes du virus peut être représenté. Un compartiment pour les individus immunisés de base (à la naissance) et un autre pour les individus malades mais asymptomatiques peuvent aussi avoir leur place dans la représentation comme d'autres parties encore.

Pour que cette approche fonctionne correctement, il faut introduire plusieurs paramètres mathématiques comme la virulence, évoquée précédemment, ou encore le taux d'incidence.



Modèle SIR

Cependant, nous nous sommes rendu compte que ce système de modélisation ne permettait pas de gérer la probabilité qu'un individu en contamine un autre, il permet cependant de modéliser une transmission de virus par la création de graphique et d'analyse post-exécution. C'est pourquoi nous nous sommes tournés vers une autre modélisation.

## d- Modélisation d'une expérience : Restart 19

Après des recherches sur le sujet des contaminations par virus, nous avons aperçu que différentes expériences ont été menées afin de comprendre la répartition des contaminations dans une population lors d'un événement. Ce fut notamment le cas en Allemagne avec l'organisation d'une expérience sur une foule lors d'un spectacle.

Dans de nombreux pays, les rassemblements de masse ont été interdits, ce fut l'une des premières mesures prises contre le virus du Covid-19. Concernant l'Allemagne, les rassemblements de plus de 1000 personnes ont été interdits à partir de Mars 2020. Etant le sixième secteur économique de l'Allemagne, le secteur de l'événementiel est très important, que ce soit pour l'économie, la créativité ou les infrastructures. Certaines observations suggèrent que les événements de type concert seraient moins dangereux en termes de transmission de virus qu'un événement religieux.

L'expérience menée a eu lieu lors d'un concert pop avec trois scénarios différents. Pendant chaque scénario, des règles d'hygiène et des mesures de contact différentes

sont mise en place. C'est donc le 22 août 2020 que 1212 personnes ont participé à ce concert à la Leipzig Arena. Avant cet événement, tous les participants ont été testés négatifs au test SRAS-Cov-2 et seront donc sains lors de l'expérience. Ils ont tous porté des masques lors de l'événement.

Trois scénarios différents ont ainsi été mis en place et testés :

- Lors de la première séance, aucune restriction a été mise en place, une seule entrée pour les spectateurs, chaque place est remplie par un spectateur.
- Lors de la deuxième séance, la répartition des personnes dans leurs sièges était en forme de damier. Il y avait par ailleurs deux fois plus d'entrées (2 dans notre cas).
- Lors de la troisième séance, de fortes restrictions ont été mises en place. Les sièges étaient séparés d'au moins 1m50, les entrées sont 4 fois plus nombreuses que le scénario un (ici 4 entrées).

-  
Chaque scénario était identique dans son exécution, ils respectent une succession de 5 étapes : l'entrée se faisant en 60 minutes, puis une première période de 45 minutes. S'en suit une mi-temps de 20 minutes avec restauration simulée par une buvette. Ensuite, la deuxième période se déroule en 45 minutes pour finir par la sortie de 15 minutes.

Afin de créer certains résultats de contagion, les contacts entre personnes ont été mesurés.

### III- Développement du modèle

Pour commencer à développer notre modèle, nous nous sommes appuyés sur un TP effectué lors de ce semestre : celui des Boids. Parmi notre projet, nous avons développé certains types d'agents.

#### a- Développement des agents

##### 1- Agent Boids

Les Boids, ils sont au nombre de 120 dans notre modèle et représente la population d'humaine. Dans les 3 scénarios, il y a le même nombre de personnes donc d'agents Boids.

Chaque Boids effectue certaines actions dans notre représentation. L'agent se met dans une file d'attente à l'entrée, passe cette dernière et se dirige ensuite directement vers sa place. À la mi-temps, s'il fait partie du pourcentage de personnes allant se restaurer, il se lève et va se mettre dans la file d'attente de la buvette. Sinon, il reste assis en attendant que le spectacle reprenne. À la fin de la représentation, tous les Boids se lèvent et se dirigent vers la sortie.

La gestion des files d'attentes est très simple : l'ordre de passage se fait en fonction de la proximité des Boids avec le passage (entrée, buvette, sortie), c'est-à-dire que le Boids le plus proche de l'entrée dans la file d'attente passera en premier. C'est l'agent Environment qui gère la file d'attente en calculant les agents Boids les plus proches du guichet.

Durant leurs déplacements et leur phase de vie, ses agents Boids récupèrent des informations qu'ils envoient à d'autres agents, notamment Chart via l'agent Environment. Les Boids sont dotés de zone de perception, dites de contact. Ils enregistrent le nombre de secondes durant lesquelles ils sont dans une zone de contact d'un autre Boids (et a fortiori lorsqu'ils sont dans la zone de contact d'un autre Boids). Ils récupèrent ainsi un grand nombre de données sur des contacts de 0.167s, 10s, 15s avec d'autres individus durant les 5 étapes de l'expérience. Toutes ses données sont envoyées à l'agent Chart qui réalisera ensuite des graphiques afin d'obtenir des résultats à analyser.

##### 2- Agent Chart

L'agent Chart permet de gérer la récupération des données des agents Boids pour pouvoir construire les différents graphiques. Au sein de chaque Boids, une fonction « AddContact » est appelée à chaque étape de l'expérience dans la fonction « Think » du même Boids. Pour pouvoir récupérer les temps de contact entre chaque Boids, chacun des Boids possède une HashMap permettant de stocker le temps de contact avec un autre Boids. Dès qu'un Boids entre dans la zone de contact d'un autre individu, il lance un chronomètre intermédiaire. À chaque fin d'étape de l'expérience ou lorsque l'agent Boids sort de la zone de contact avec un certain Boids, nous stoppons ce chronomètre intermédiaire et nous ajoutons cette valeur au chronomètre principal. Chaque agent stocke donc en permanence les temps de contacts avec les autres Boids.



Une fois les HashMap construites, elles sont transmises à l'agent Environment. Ce dernier va construire une HashMap de toutes les HashMap. Elle sera ensuite envoyée à l'agent Chart qui se charge de parcourir les HashMap et modifier ainsi le nombre de cas contact (avec les trois temps de contact prédéfinis). À chaque nouvelle phase de notre expérience, nous réinitialisons les valeurs. Enfin, les graphiques seront affichés et enregistrés en local avant que l'agent Chart soit « killé ».

### 3- Agent Environment

L'agent Environment permet de récupérer les influences de tous les agents, une fois toutes les influences récupérées, il va vérifier que les positions des agents sont cohérentes (qu'ils restent dans l'espace défini), puis l'environnement va pouvoir actualiser l'affichage, et envoyer une nouvelle perception aux agents. L'environnement se charge aussi de transmettre les données de contact à l'agent « Chart ».

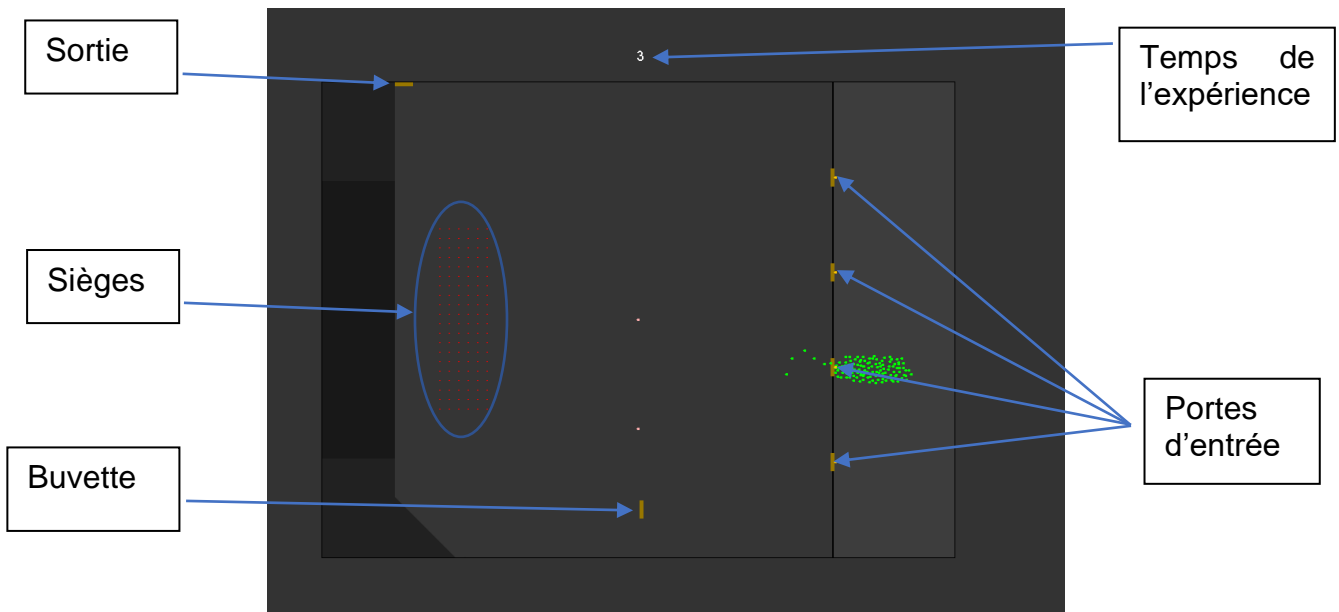
### 4- Communication entre Agent

Pour des raisons de performance et de cohérence, la communication entre les agents se fait via l'environnement. Seuls quelques « emit » sont effectués hors de l'environnement, dans la partie Chart lorsqu'il faut réinitialiser les valeurs (pour les 5 étapes de l'expérience)

### 5- Mort des agents

À la fin de l'expérience (à partir de 170s), les agents « Boids » se dirigent vers la sortie. Ils sortent un à un. C'est l'environnement qui décide quel agent peut sortir. Une fois sorti, l'agent Boids est « killé ». Il faut retirer les agents « Boids » de la liste des influences et des « Boids » dans l'environnement pour éviter un interblocage. Puis, quand tous les agents « Boids » sont morts, l'environnement va mourir à son tour mais avant cela, il envoie un message à l'agent « Chart ». Lorsque l'agent « Chart » reçoit l'ordre de mourir, il va afficher les graphiques, les enregistre puis meurt. Ainsi, tous les agents de notre simulation sont tués.

## b- Interface graphique



## c- Premier Scénario

Ce premier scénario a été créé en fonction des critères qui sont expliqués dans l'expérience. On y retrouve donc les 120 agents représentant les individus de la population. Une seule entrée est présente et les individus se mettent en place sur un siège modélisé par les points verts. Chaque agent à son propre siège. Lors de la mi-temps, un certain nombre d'individu quittent leur siège pour se diriger vers le bas de la salle où se trouve le point de restauration. Ensuite, ils retournent tous à leur place afin d'assister à la deuxième partie du spectacle. Une fois le temps écoulé, tous les agents se lèvent et sortent de la salle.

## d- Deuxième Scénario

Ce deuxième scénario reprend en partie les caractéristiques du premier. Ici, l'entrée des individus se fait par deux entrées distinctes, ce qui provoquera une diminution des contacts. La répartition des personnes dans la zone de siège se fait en damier (une place sur deux avec un décalage entre chaque ligne).

## e- Troisième Scénario

Enfin, le troisième scénario reprend lui le deuxième scénario. Cette fois-ci, les entrées sont au nombre de 4 pour faciliter l'entrée et diminuer les contacts dus aux files d'attente. Également, la disposition des sièges change : elle reste en damier mais les sièges sont eux séparés d'au moins 1 mètre 50.

## f- Récapitulatif des scénarios

Voici un tableau regroupant les différents paramètres permettant de respecter les normes de l'expérience Restart19 :

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Nombre d'entrée	1	2	4
Distance contact	14.5	14.5	14.5
Taille Boids	4	4	4
Placement	Normal	Damier (1/2)	Damier (1/2)
Distance entre les sièges	10	10	15
Distance de séparation	5	5	7

## g- Création des résultats

Une fois que l'agent « Environment » meurt, la création des graphiques se fait grâce à l'agent « Chart » qui va créer différents graphiques selon le scénario choisi et la phase de l'expérience. Il y aura donc la création de 15 graphiques qui seront affichés sur une interface et également enregistrés dans le dossier « ./Sample\_Chart/ » du projet. Ses 15 graphiques reprennent, comme l'expérience le décrit, le nombre de contact entre les individus d'une durée de 10 secondes, 5 minutes, 15 minutes. Remis à l'échelle de notre expérience, nous mesurons les temps de contacts de 0.167, 10 et 15 secondes. En effet, notre expérience est basée sur une horloge d'une seconde correspond à 1 minute soit 1/60 du temps réel. Il se trouvera donc dans notre schéma, un graphique par temps et par étape de l'expérience (entrée, 1<sup>e</sup> mi-temps, mi-temps, 2<sup>e</sup> mi-temps, sortie).

## IV- Explications des résultats

Dans l'ensemble, si on compare les résultats de l'expérience et les résultats du simulateur, on retrouve des tendances similaires. On retrouve effectivement des valeurs assez proches pour l'ensemble des scénarios et des phases.

Cependant, on peut observer des écarts, notamment autour des contacts de 10 secondes (0.167s dans notre simulateurs). On peut expliquer cela par le fait que l'échelle que nous avons choisie perturbe les résultats pour des temps très court. En effet, dans l'expérience il est possible de croiser une autre personne sans que le contact ne dépassent les 10 secondes. En revanche, dans notre simulateur, un simple croisement entre deux individus peut potentiellement durer plus de 0.167 secondes car il s'agit d'un temps très court. Cela peut donc avoir une légère influence sur nos résultats.

De plus, il est compliqué de simuler les déplacements d'individus. Ainsi, notre modèle n'est en aucun cas destiné à reproduire la réalité mais plutôt à s'en approcher. Il existe également d'autres paramètres qu'il est possible d'ajouter à notre simulateur pour s'approcher de la réalité mais nous n'avons pas pu implémenter tous les paramètres par soucis de temps. Notre modèle reproduit donc les tendances des courbes de données de l'expérience (voir Annexes) .

## V- Sources

Feu de forets :

- [http://pascal.ortiz.free.fr/contents/tkinter/projets\\_tkinter/feu\\_foret/feu\\_foret.html](http://pascal.ortiz.free.fr/contents/tkinter/projets_tkinter/feu_foret/feu_foret.html)
- [http://www.mathom.fr/mathom/sauvageot/Modelisation/Graphes/Feux\\_foret.pdf](http://www.mathom.fr/mathom/sauvageot/Modelisation/Graphes/Feux_foret.pdf)

Maladie :

- <https://interstices.info/modeliser-la-propagation-dune-epidemie/>
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mod%C3%A8les\\_compartimentaux\\_en\\_%C3%A9pid%C3%A9miologie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mod%C3%A8les_compartimentaux_en_%C3%A9pid%C3%A9miologie)

Restart 19 :

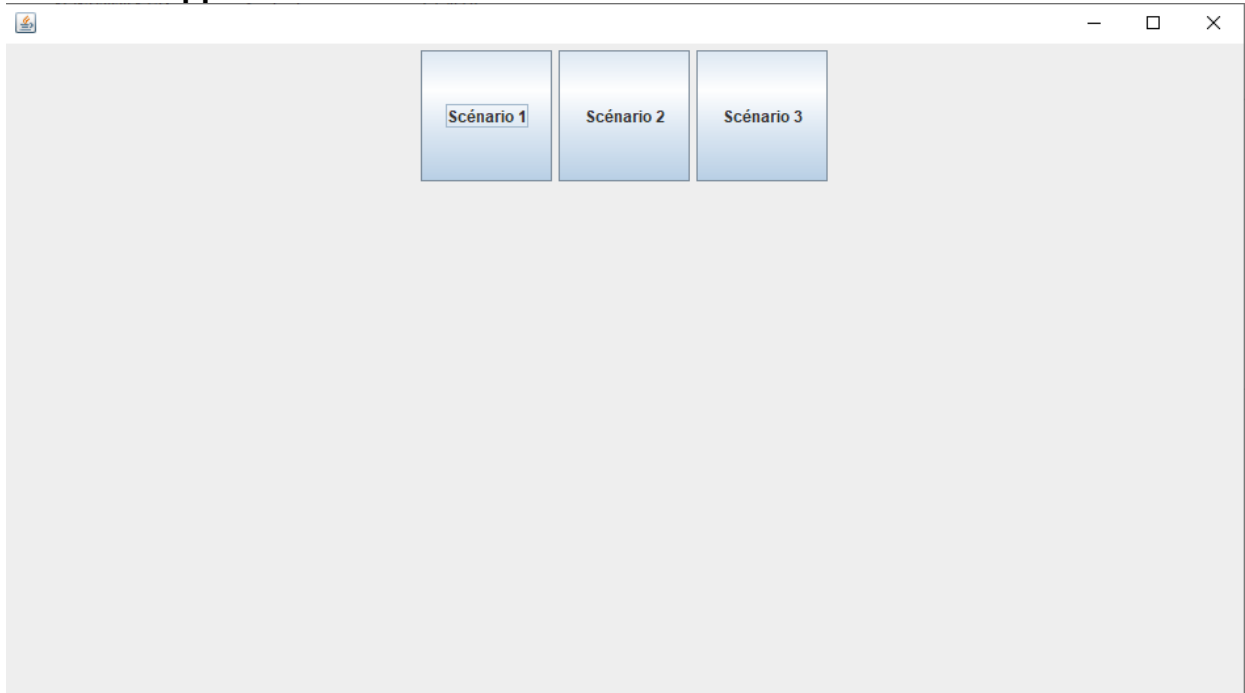
- <https://restart19.de/en/>
- <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.10.28.20221580v3.full.pdf>
- [https://restart19.de/wp-content/uploads/2020/10/20201029\\_Results\\_RES-TART19\\_English-1.pdf](https://restart19.de/wp-content/uploads/2020/10/20201029_Results_RES-TART19_English-1.pdf)

Autres :

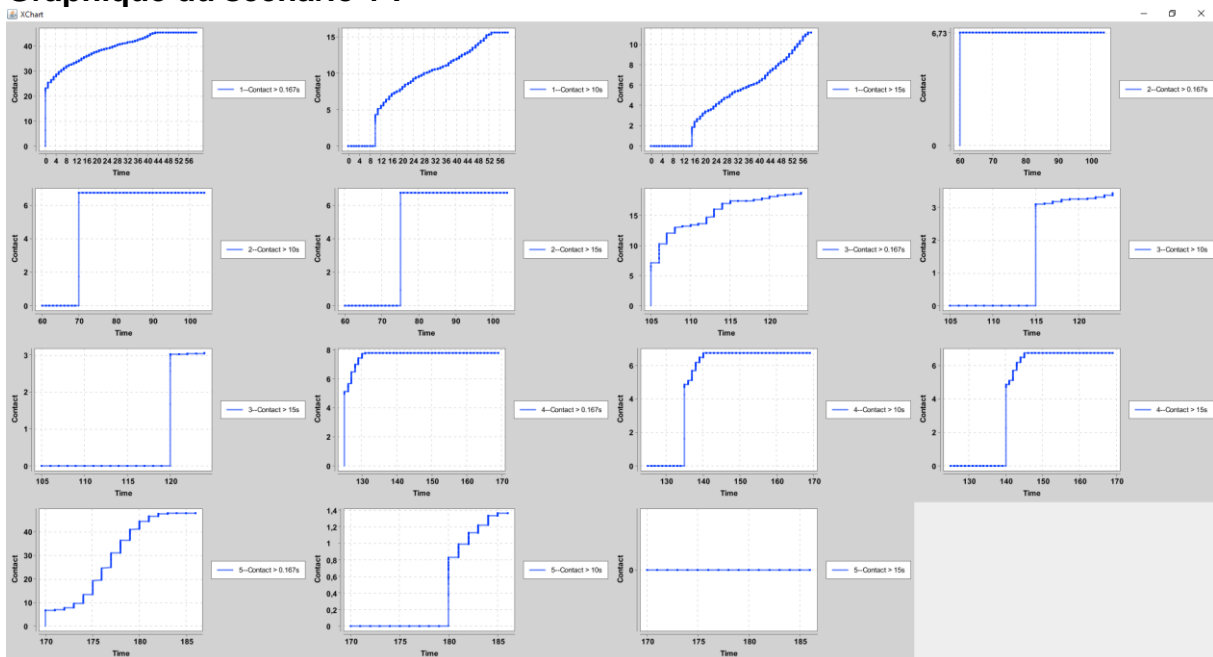
- <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/index.html>

## VI- Annexes

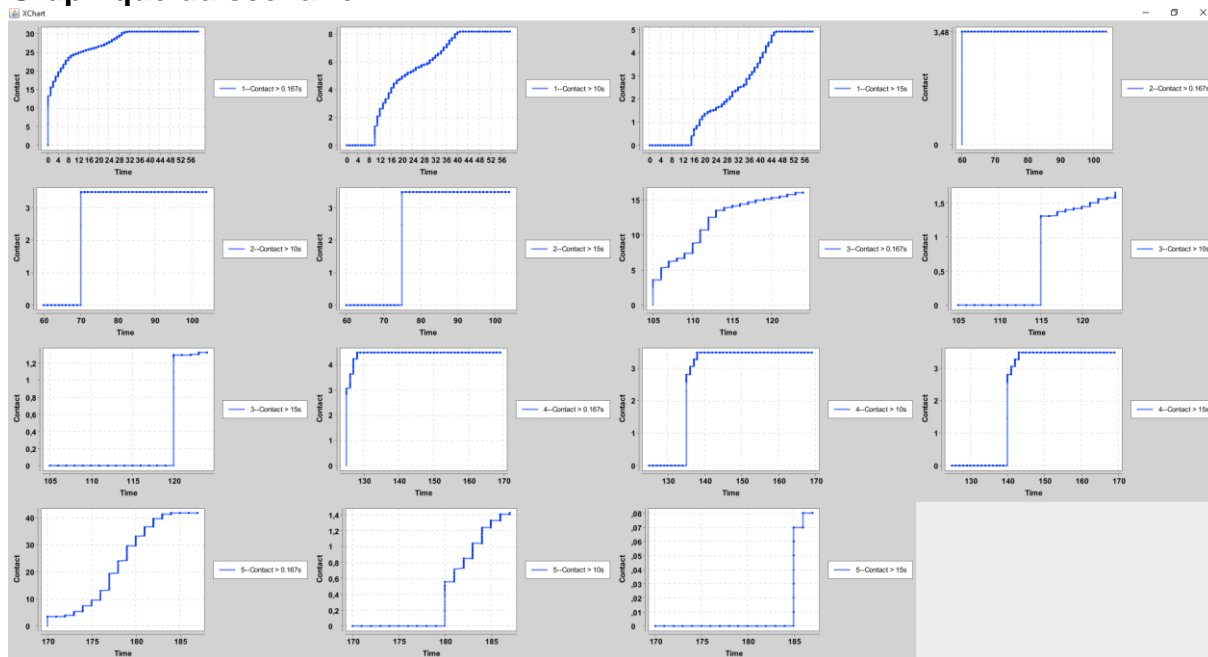
Menu de l'application :



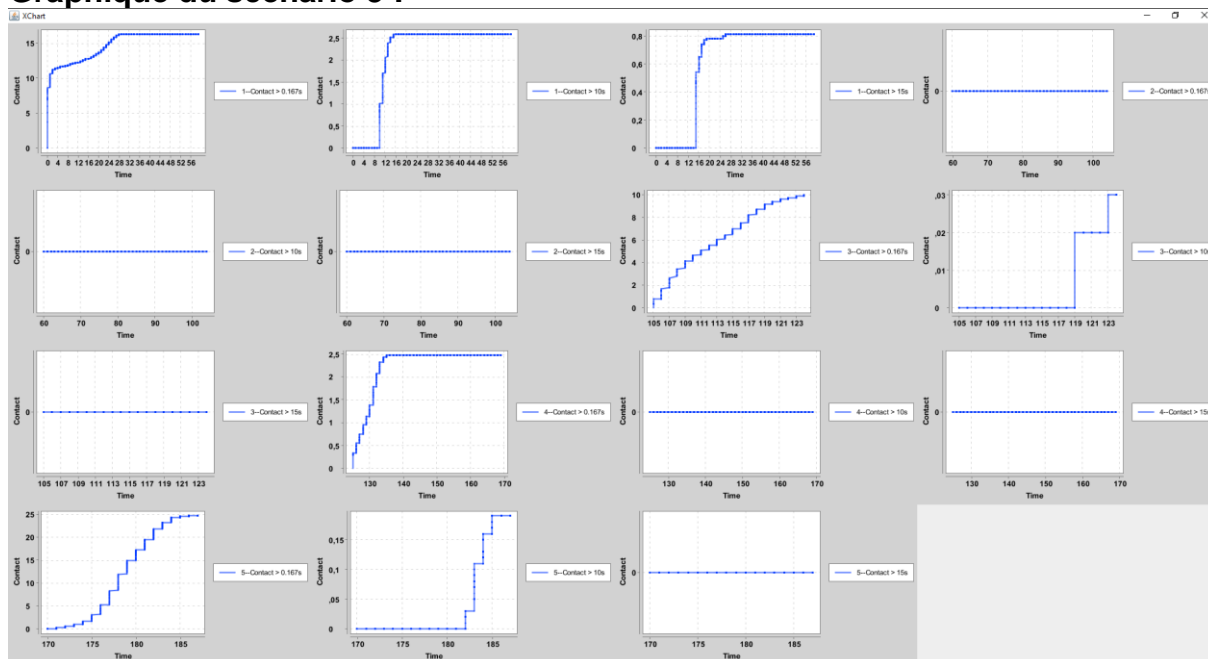
Graphique du scenario 1 :



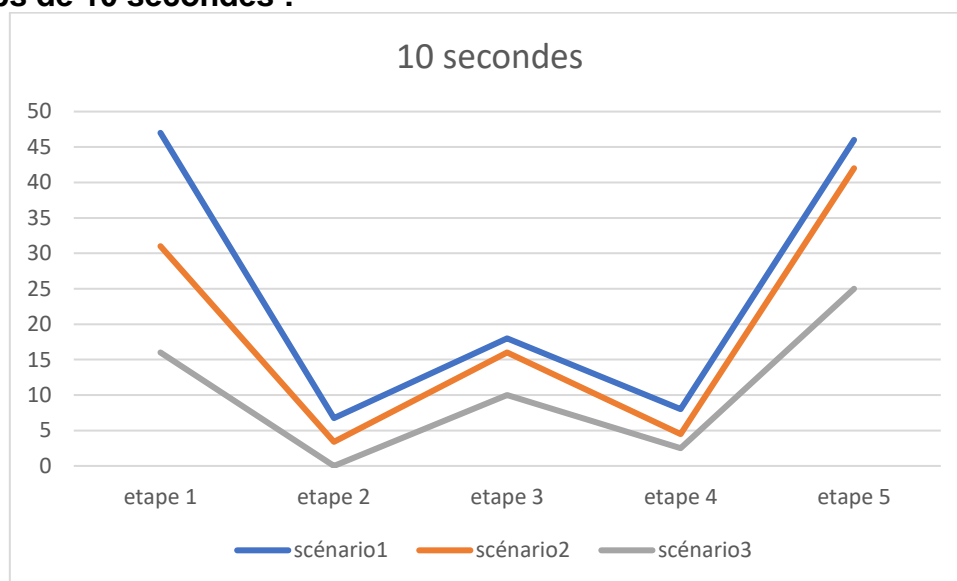
## Graphique du scenario 2 :



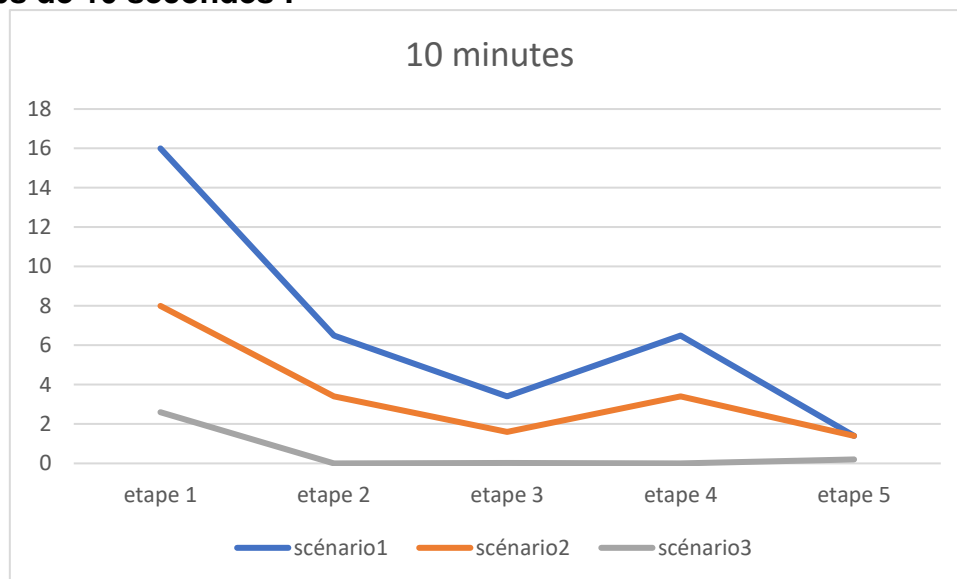
## Graphique du scenario 3 :



**Graphique du nombre de contacts en fonction des étapes et des scénarios pour un temps de 10 secondes :**

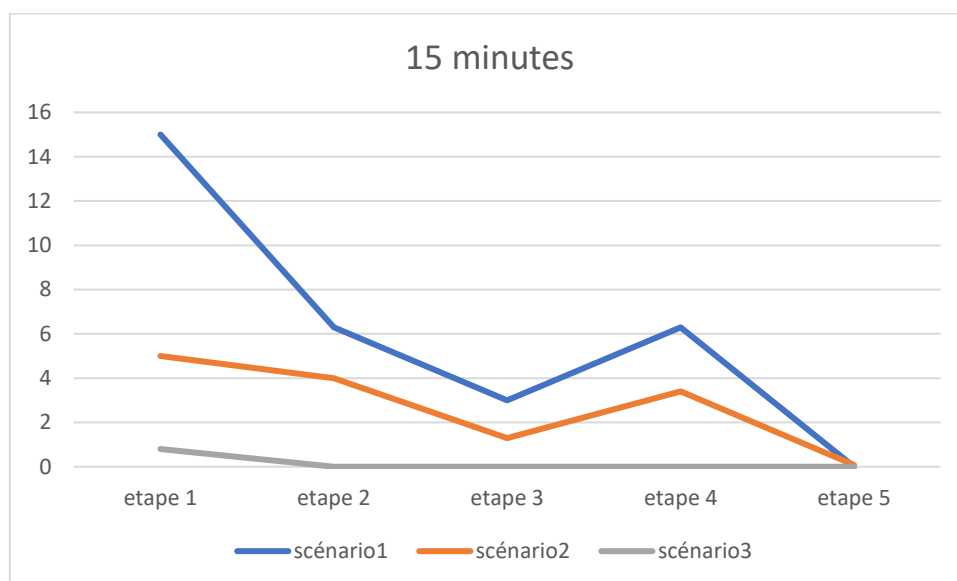


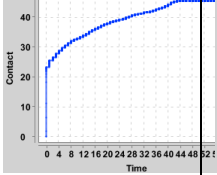
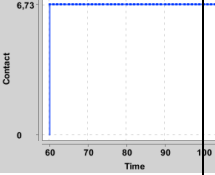
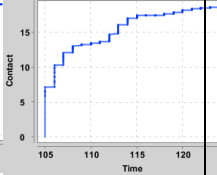
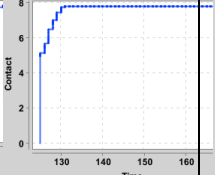
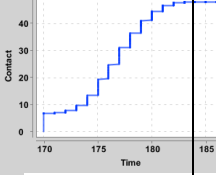
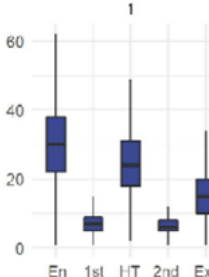
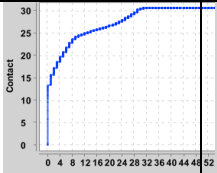
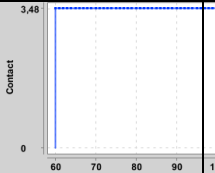
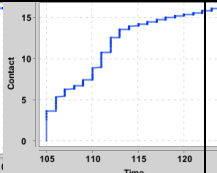
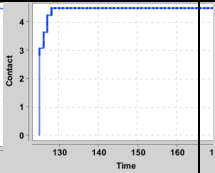
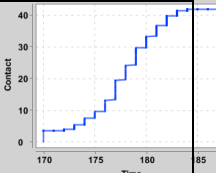
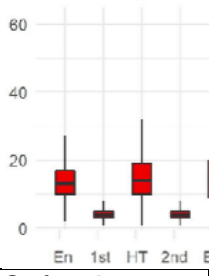
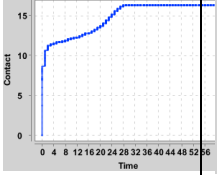
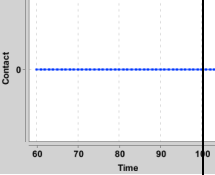
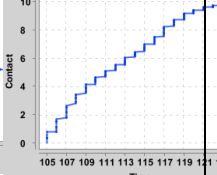
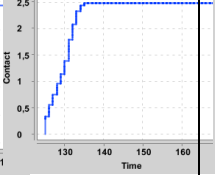
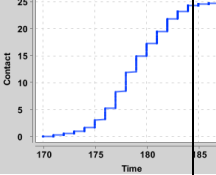
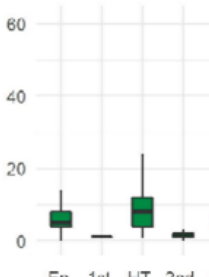
**Graphique du nombre de contacts en fonction des étapes et des scénarios pour un temps de 10 minutes :**

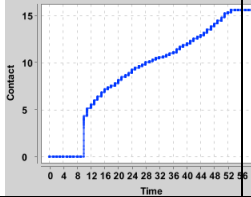
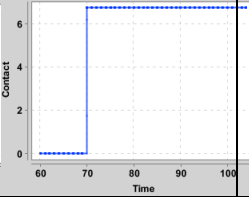
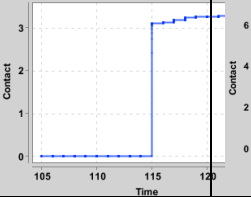
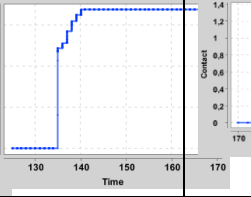
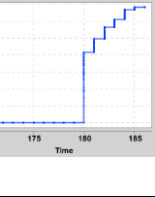
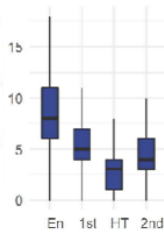
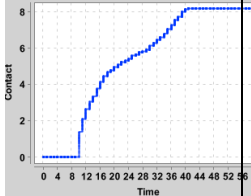
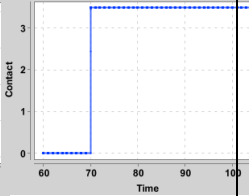
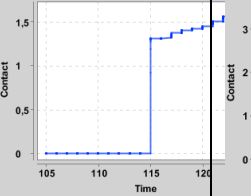
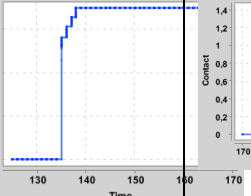
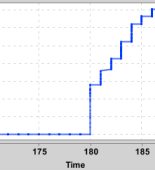
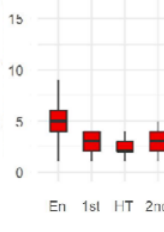
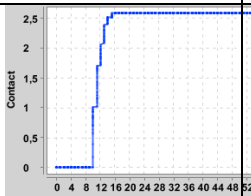
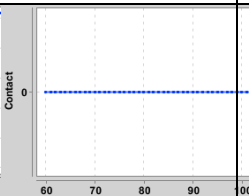
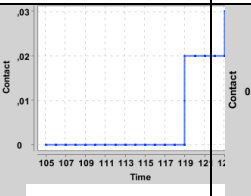
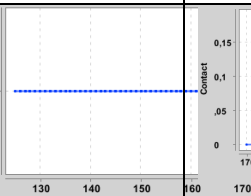
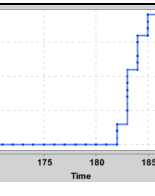
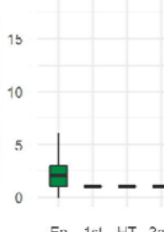


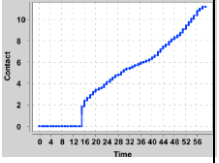
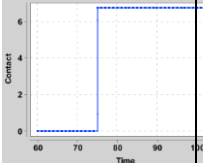
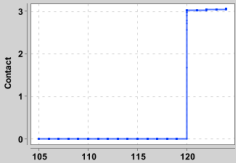
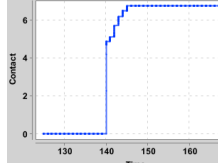
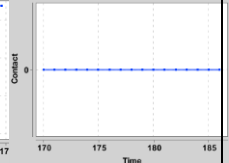
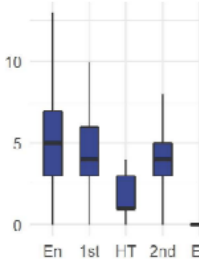
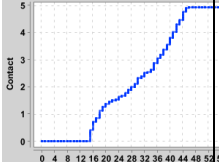
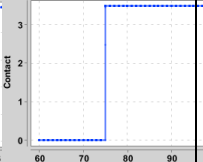
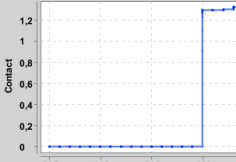
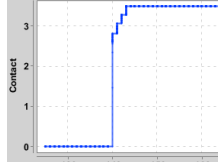

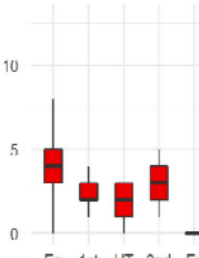
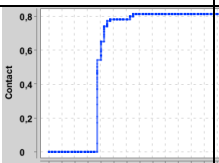
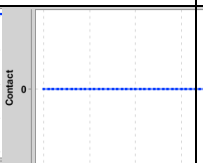
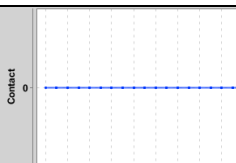
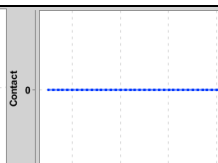
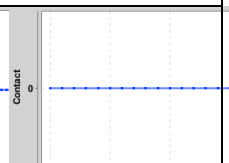


**Graphique du nombre de contacts en fonction des étapes et des scénarios pour un temps de 10 secondes :**



		Etape 1	Etape 2	Etape 3	Etape 4	Etape 5
Scénario Boids : 1						
		47 contacts	6.75 contacts	18 contacts	8 contacts	46 contacts
Scénario IRL : 1		[22;38] donc 30 contacts	[5;9] donc 7 contacts	[18;30] donc 24 contacts	[5;7] donc 6 contacts	[10;20] donc 15 contacts
Scénario Boids : 2						
		31 contacts	3.5 contacts	16 contacts	4.5 contacts	42 contacts
Scénario IRL : 2		[10;17] donc 14 contacts	[3;5] donc 4 contacts	[10;20] donc 15 contacts	[3;5] donc 4 contacts	[9;20] donc 15 contacts
Scénario Boids : 3						
		16 contacts	0 contact	10 contacts	2,5 contacts	25 contacts
Scénario IRL : 2		[5;9] donc 7 contacts	0 contact	[10;18] donc 14 contacts	[0;2] donc 1 contact	[4;8] donc 6 contacts

	Etape 1	Etape 2	Etape 3	Etape 4	Etape 5
Scénario 1 Boids :					
	16 contacts	6.5 contacts	3.4 contacts	6.5 contacts	1.4 contacts
Scénario 1 IRL :	[6;12] donc 9 contacts	[4;7] donc 5.5 contacts	[1;4] donc 2.5 contacts	[3;7] donc 5	[1;2] donc 1.5
					
Scénario 2 Boids :					
	8 contacts	3.4 contacts	1.6 contacts	3.4 contacts	1.4 contacts
Scénario 2 IRL :	[4;6] donc 5 contacts	[2;4] donc 3 contacts	[2;3] donc 2.5 contacts	[3;4] donc 3.5 contacts	1 contact
					
Scénario 3 Boids					
	2.6 contacts	0 contact	0.03 contact	0 contact	0.2 contact
Scénario 3 IRL :	[1;3] donc 2 contacts	1 contact	1 contact	1 contact	[0;1] donc 0.5 contacts
					

	Etape 1	Etape 2	Etape 3	Etape 4	Etape 5
Scénario 1 Boids :					
	15 contacts	6.3 contacts	3 contacts	6.3 contacts	0
Scénario 1 IRL :	[3;7] donc 5 contacts	[3;6] donc 4.5 contacts	[1;3] donc 2.5 contacts	[3;5] donc 4 contacts	0 contact
					
Scénario 2 Boids :					
	5 contacts	4 contacts	1.3 contacts	3.4 contacts	0.08 contact
Scénario 2 IRL :	[3;5] donc 4 contacts	[2;3] donc 2.5 contacts	[1;3] donc 2 contacts	[3;4] donc 3.5 contacts	0 contact
					
Scénario 3 Boids					
	0.8 contact	0 contact	0 contact	0 contact	0 contact
Scénario 3 IRL :	1 contact	1 contact	[0;1] donc 2 contacts	1 contact	0 contact
