

Simulation de croissance de champignons par système multi agents

1-Présentation des agents et de l'environnement

L'objectif du projet est de simuler l'extension d'un réseau de champignons. L'environnement est constitué d'une ou plusieurs sources de nourriture pouvant être épuisable ou inépuisable ainsi que la nourriture pouvant être manipulée et déplacée par les agents. L'entité élémentaire du réseau est la spore. Chaque spore peut réaliser les actions suivantes :

- extraire de la nourriture s'il se trouve sur une source
- transmettre la nourriture qu'il possède à une spore adjacente
- recevoir de la nourriture d'une spore adjacente
- communiquer avec une spore adjacente
- consommer la nourriture pour créer une spore sur un espace libre adjacent

Pour que le réseau s'étende, la nourriture doit être apportée des sources aux bords du réseau, d'où la nécessité d'une transmission d'informations entre spores pour une circulation efficace de la nourriture.

La transmission de l'information s'effectue par commérage (gossip) et avec transmission de l'information de proche en proche et agrégation par chaque agent. Chaque spore reçoit de ses voisins une distance à une zone vide pour créer une nouvelle spore puis les agrège pour déterminer sa propre distance à une zone de travail et vers quelle spore transmettre la nourriture qu'il posséderait. La transmission d'informations crée un gradient indiquant la direction dans laquelle transmettre la nourriture.

Les rôles au sein du réseau sont répartis suivant un principe de morphogenèse : les spores en bordure de champignon se reproduisent sur les espaces adjacents vides, les spores sur des sources de nourriture sont des productrices et les spores au milieu du réseau jouent le rôle de transporteur.

2-Organisation du code

L'implémentation du système multi agent s'appuie sur le package mesa de python. L'environnement est représenté par la classe **Monde** contenant l'ensemble des sources de nourriture, un ordonnanceur pour appeler chaque agent ainsi qu'un canevas pour le rendu graphique. Le canevas est muni d'un collecteur pour conserver puis afficher le nombre de spores et de sources de nourriture à chaque étape de la simulation. L'environnement est complété par une classe **SourceNourriture** représentant les sources de nourriture ainsi qu'une classe **Nourriture** représentant les ressources extraites par les spores et en cours de transit.

Les agents sont représentés par la classe **Spore**. Chaque agent possède un stock de nourriture, peut détecter la présence d'un espace vide autour de lui, communiquer avec les autres spores adjacentes et agréger les informations reçues de ces mêmes spores.

3-Démarrage d'une simulation

Les packages suivants sont nécessaires : mesa, numpy, tornado et pandas (pour installer un package, utilisez la commande « pip install nom_du_package ») depuis un terminal. Pour lancer une

simulation, se placer dans le dossier contenant *Mycelial Networks.py* puis utiliser la commande
« python3 Mycelial Networks.py »

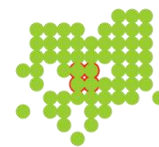
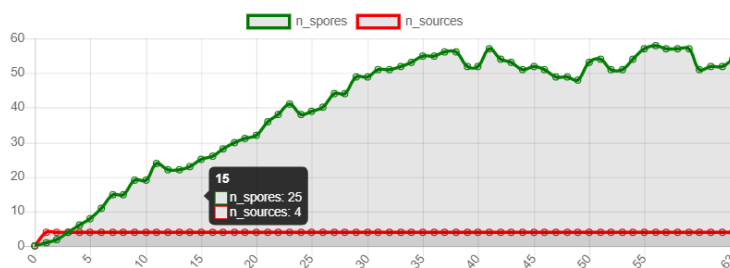
Les paramètres suivants sont modifiables dans l'interface graphique : nombre spores initiales, nombre de sources de nourriture initiales.

Les paramètres suivants sont modifiables dans l'en-tête du fichier *Mycelial Networks.py* : probabilité de décès d'une spore à chaque étape, probabilité d'apparition d'une nouvelle source de nourriture, collaboration ou non entre les différentes espèces de spores.

3-Analyse et évaluation

a-Réseau unique et une seule source de nourriture éternelle

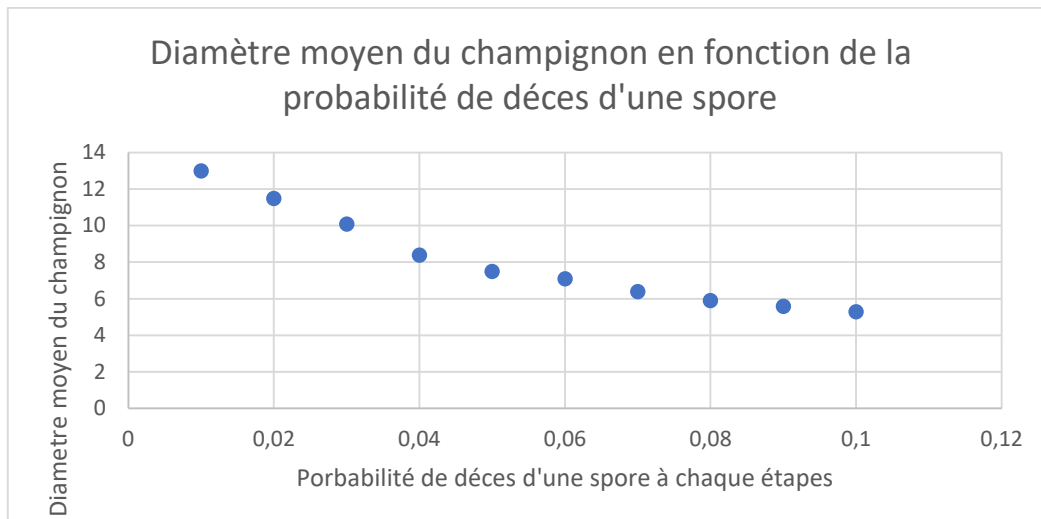
Les simulations se divisent en deux étapes : une phase de croissance du réseau puis une phase de stagnation



Exemple de simulation jusqu'à l'étape 63. A gauche : nombre de spores (vert) et nombre de sources (rouge) en fonction du nombre d'étapes. A droite : une unique source de nourriture (rouge) et un unique réseau (vert)

La taille finale du réseau dépend de la probabilité de décès d'une spore à chaque étape. Plus le taux de décès est élevé, plus le réseau sera petit. En l'absence de décès, le réseau se répand dans tout l'espace de simulation.

La courbe suivante donne l'évolution du diamètre du champignon en fonction de la probabilité de décès d'une spore. Les valeurs sont les moyennes obtenues sur 15 simulations



b-Réseau unique et de multiples sources de nourriture persistantes

Lorsque le réseau rencontre une nouvelle source de nourriture, il s'étend rapidement autour, donnant des situations similaires aux simulations précédentes autour de chaque source de nourriture. Lorsque le réseau ne peut plus atteindre de nouvelle, il se stabilise en formant des îlots autour de chaque source colonisée.



Exemple de simulation à un réseau et de multiples sources persistantes

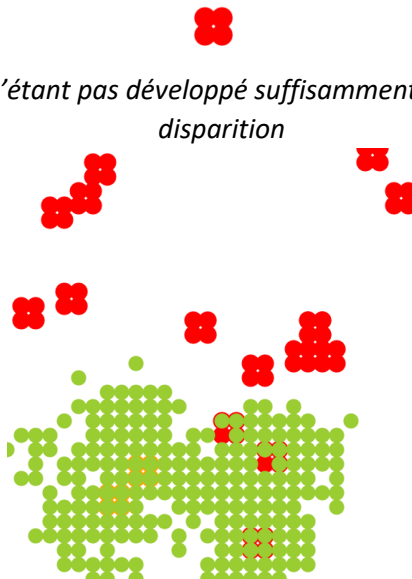
c-Réseau unique et de multiples sources de nourriture épuisables

En fonction des probabilités de décès des spores et d'apparition de nouvelles sources de nourriture, plusieurs situations peuvent se produire :

- Fort taux de décès et/ou faible taux d'apparition de nouvelles sources : le réseau ne se développe pas suffisamment rapidement ni suffisamment loin pour atteindre de nouvelles sources avant d'épuiser sa source initiale. Le réseau disparaît alors.
- Faible taux de décès et/ou fort taux d'apparition de nouvelles : le réseau se déplace progressivement en découvrant de nouvelles sources et en épuisant les anciennes. Suivant les probabilités de décès et d'apparitions, la croissance peut être exponentielle avec l'apparition de multiples sous-groupes se déplaçant dans l'espace simulation ou bien stagné à un nombre donné de spores avec un déplacement de source en source.



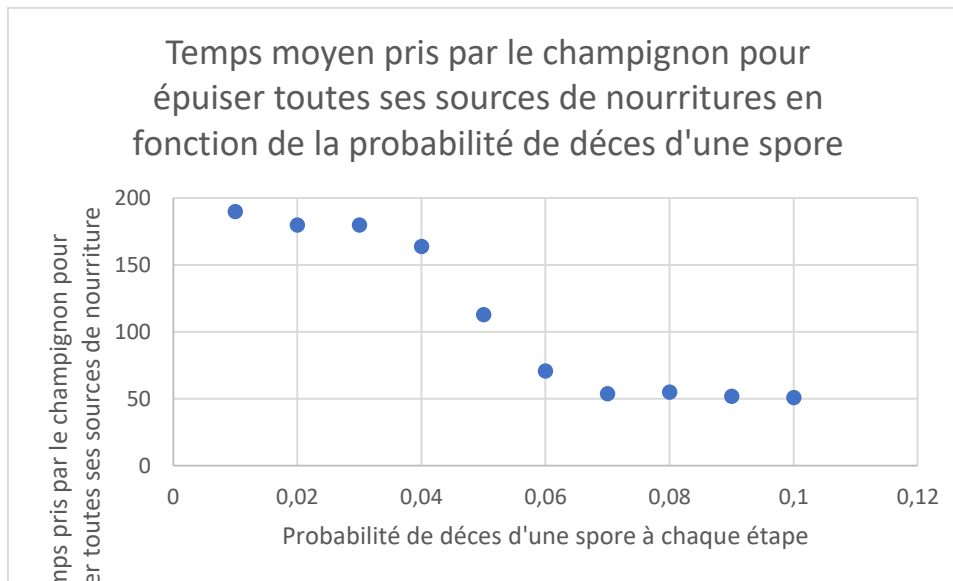
Exemple de réseau ne s'étant pas développé suffisamment rapidement et en voie de disparition



Exemple de réseau en cours de migration

La courbe suivante permet d'étudier l'influence de la probabilité de décès d'une spore sur le temps de survie moyen d'un réseau. Les paramètres de l'expérience sont :

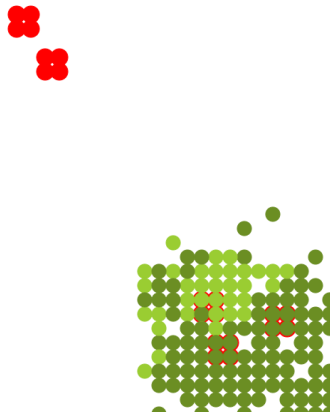
- probabilité d'apparition d'une source de nourriture à chaque étape : 0.1
- réserve d'une source : 50 (une spore peut extraire de la nourriture pendant 50 tours)
- On limite le nombre de pas de la simulation à 200
- Les données présentées sont la moyenne de 15 simulations



d-Multiples espèces de spores et de multiples sources de nourriture épuisables

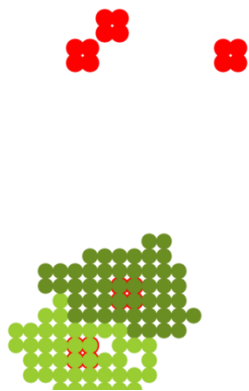
On s'intéresse à deux configurations : la coopération ou l'évitement entre les différentes espèces. Dans le cas de la coopération, deux spores d'espèces différentes s'échangent de l'information et de la nourriture pour contribuer à un réseau commun. Dans le cas de l'évitement, il n'y a aucun échange entre espèces et les spores de deux espèces différentes s'ignorent mutuellement.

La coopération donne des résultats similaires aux simulations à une espèce. Les réseaux isolés stagnent autour de leur source de nourriture et deux espèces se rencontrant forment un réseau agrandi autour de plusieurs sources de nourriture, semblable à un réseau élargi du cas mono espèce.



Exemple de coopération à deux espèces

Dans le cas de l'évitement, deux espèces se rencontrant ne fusionnent pas leurs réseaux et se bloquent mutuellement dans leur expansion.



Exemple d'évitement à deux espèces

Conclusion

Les paramètres d'apparition des sources de nourriture et de décès des spores jouent un rôle crucial dans l'évolution du réseau