

Analyse SMA : Darwinisme

GROUPE 3 SCIA 2025



Abel ANDRY
Emile MERLE

Léo BILLANT
Julien SCHAFFAUSER

Guillaume LALIRE
Lillian SCHALL

27 mai 2024

Table des matières

1	Présentation du sujet	2
1.1	Introduction	2
1.2	Définitions	2
1.3	Objectifs	2
2	Conception	3
2.1	Environnement	3
2.2	Génération	3
2.3	Mutations	3
2.4	Prédation	3
3	Choix d'implémentation	4
3.1	L'initialisation	4
3.2	La phase de simulation	4
3.2.1	Le mouvement	4
3.2.2	Le passage à la prochaine génération	4
4	Exploration	5
4.1	Valeurs par défaut	5
4.2	Analyse de sensibilité des hyper-paramètres	5
4.2.1	nb-creatures	5
4.2.2	nb-food	5
4.2.3	proba-mutation	6
4.2.4	nb-init-energy	9
4.2.5	nb-init-sense	10
5	Perspectives	11
5.1	Introduction de nouveaux gènes	11
5.2	Environnement dynamique	11
5.3	Comportements sociaux et coopération	11
5.4	Apprentissage et adaptation individuelle	11
5.5	Diversité des ressources alimentaires	11
6	Conclusion	12

1 Présentation du sujet

1.1 Introduction

Pour ce projet, nous avons décidé de nous intéresser au Darwinisme, et plus particulièrement à l'évolution de différents gènes dans un environnement donné, à travers un système d'évolution générationnelle. Pour ce faire, nous avons décidé de représenter ceci de la façon suivante : tout d'abord, les espèces commencent toutes égales, et aux bords de l'environnement, avec de la nourriture pouvant être consommée par toutes les espèces disponible au centre de l'environnement. Au fur et à mesure que les générations se suivent, nous verrons donc probablement un gène dominant s'imposer.

1.2 Définitions

Afin de pouvoir manger et survivre une génération, les espèces doivent retourner au bord de l'environnement le plus proche qui n'est pas déjà occupé avec une unité de nourriture. Une fois que tous les individus ont utilisé toute leur énergie ou sont rentrés chez eux, on considère qu'une génération est passée. Les espèces qui ne sont pas rentrés ou n'ont pas mangé sont tuées et les espèces survivantes vont évoluer et ainsi muter vers un gène aléatoire, parmi les suivants :

- la taille, qui peut grandir ou rapetisser,
- la vitesse, qui peut accélérer ou décélérer,
- les sens (ou le rayon de détection de nourriture), qui peuvent s'aiguiser ou s'émousser.

De plus, certains comportements sont à prendre en compte :

- la prédation, ou le fait que les espèces plus grosses peuvent manger des espèces plus petites pour récupérer de la nourriture,
- et la reproduction, ou le fait que les individus qui ont récupéré deux unités de nourriture peuvent se dupliquer.

1.3 Objectifs

Les objectifs de ce modèle sont de comprendre les mécanismes de l'évolution des traits au sein d'une population de créatures simulées. En manipulant différents paramètres, nous cherchons à déterminer quels gènes émergent comme dominants dans cet environnement donné.

En observant comment les populations évoluent au fil du temps en réponse à ces paramètres, nous espérons obtenir des informations sur les pressions sélectives et les adaptations qui façonnent la diversité génétique et la survie des espèces dans la nature.

Ce modèle fournit ainsi un cadre pour explorer les dynamiques évolutives et mieux comprendre les principes de base de la sélection naturelle.

2 Conception

2.1 Environnement

L'environnement choisi est un environnement simple. Des créatures et leurs nourritures sont situées sur une surface plane, nous suivons leur évolution à travers les générations.

Afin de se concentrer sur notre étude des mutations, nous avons choisi de nous limiter à seulement trois éléments distincts pour notre implémentation :

- Les créatures : Représentées par des petits personnages possédant une quantité d'énergie limitée, elles vont être la cible de notre étude.
- La nourriture (de l'herbe) : Représentée par de petits carrés verts, elle est la principale source de survie des créatures.
- Les habitats : Représentés par les quatre bords de l'écran sur NetLogo, elles sont le point de départ et d'arrivée des créatures.

2.2 Génération

Chaque génération est régie par quatre règles :

- Si une créature ne parvient pas à obtenir de la nourriture avant d'être à court d'énergie, elle meurt.
- Si une créature se fait manger, elle meurt.
- Si une créature arrive à obtenir une unité de nourriture et parvient à retourner dans un habitat, elle survit.
- Si une créature arrive à obtenir au moins deux unités de nourriture et parvient à retourner dans un habitat, elle survit et se reproduit.

2.3 Mutations

Au terme de chaque génération, chaque créature ayant assez mangé se reproduit. En se reproduisant, il est possible que sa progéniture soit sujette à une mutation affectant ses capacités. Chaque mutation peut augmenter ou diminuer une caractéristique.

- Vitesse : Caractéristique droite au but. Plus elle est augmentée, plus la créature va être rapide, et inversement. La créature va cependant consommer plus d'énergie en contrepartie.
- Perception : Plus cette caractéristique est augmentée, plus la créature va pouvoir détecter la nourriture et les créatures au loin, et inversement. Cela permet de pouvoir réagir avant les autres créatures, mais la créature va cependant consommer un peu plus d'énergie en contrepartie.
- Taille : Plus cette caractéristique est augmentée, plus la créature va être grande, et inversement. La créature va cependant consommer beaucoup plus d'énergie en contrepartie (caractéristique uniquement utile pour la prédation).
- Énergie consommée : Cette caractéristique ne possède pas de mutation directe qui l'influence, mais elle découle cependant des autres mutations. En effet, chaque caractéristique influence plus ou moins le coup en énergie d'un déplacement suivant la formule suivante :

$$taille^3 * vitesse^2 + perception$$

.

2.4 Prédation

Pour se nourrir, en plus de manger la nourriture déposée de manière aléatoire sur la carte, une créature a aussi l'option de dévorer l'un de ses plus petits congénères.

Si la différence de taille entre deux créatures est assez élevée (différence de 20%), la créature la plus grande va pouvoir manger la petite. Suivant ce principe, les petites créatures vont fuir les créatures les menaçants et les grandes créatures vont poursuivre celles assez petites pour être dévorées.

3 Choix d'implémentation

L'implémentation de ce modèle se découpe en 2 parties.

3.1 L'initialisation

Pour modéliser les agents avec différents gènes, une **breed** est instanciée avec un champ par gène. Un champ est nécessaire pour enregistrer l'énergie de l'agent, et un dernier champ est nécessaire pour enregistrer le nombre de nourritures mangées.

Durant la phase d'initialisation, les individus sont créés avec toutes leurs caractéristiques de gène mise à 1, sauf le sens, qui lui est initialisée à une valeur donnée en hyperparamètre.

3.2 La phase de simulation

La phase de simulation est découpée de la manière suivante, à chaque tick :

- tous les individus possédant encore de l'énergie se déplacent ;
- si aucun individu ne possède d'énergie, on passe à la prochaine génération.

3.2.1 Le mouvement

Le mouvement des individus est implémenté de la manière suivante :

- On détermine l'élément le plus proche de l'agent parmi les éléments suivants : la nourriture, un individu plus petit que l'agent, un individu plus grand que l'agent.
- Si la nourriture ou un individu plus petit est l'élément le plus proche, l'agent fait face à cet élément et avance en ligne droite vers lui.
- Si un individu plus grand est l'élément le plus proche, l'agent fuit cet individu en lui tournant le dos et en avançant en ligne droite.

Lorsqu'un agent tombe sur une case de nourriture, il prend cet objet, augmente son nombre de nourritures mangées de 1 et a pour objectif désormais de retourner au bord du monde le plus proche.

De même lorsqu'un agent est à proximité d'un individu plus petit que lui, il mange l'individu et le tue, augmente son nombre de nourritures mangées de 1 et souhaite enfin retourner au bord du monde le plus proche.

Si sur le chemin, l'agent retombe sur de la nourriture à proximité, et qu'il n'a mangé qu'une seule fois, il peut décider (au risque de ne pas avoir suffisamment d'énergie pour rentrer au bord du monde) de partir à nouveau en quête de nourriture.

3.2.2 Le passage à la prochaine génération

Le passage à la prochaine génération s'effectue de la manière suivante :

- Les individus qui n'ont plus d'énergie et qui ne sont pas au bord du monde sont supprimés.
- Les individus restants se reproduisent avec des mutations.
- Les individus sont réinitialisés : ils regagnent le nombre maximal d'énergie et font face au centre du monde.
- La nourriture est redistribuée de manière aléatoire dans le monde.

La reproduction est un mécanisme clef du modèle.

Chaque individu ayant mangé 2 nourritures ont le droit de produire un enfant disposant de mutation génétique. Pour chaque gène, une expérience de Bernoulli est faite avec une probabilité de mutation donnée. Si l'expérience réussit, l'enfant disposera d'un gène légèrement différent de son parent. Sinon il dispose du même gène que son parent.

4 Exploration

4.1 Valeurs par défaut

Les valeurs par défaut pour les différents hyper-paramètres disponibles sont comme suit :

- nb-creatures a une valeur de base de 50, et peut aller de 1 à 50.
- nb-food a une valeur par défaut de 100, et peut aller de 1 à 100.
- proba-mutation a une valeur par défaut de 0.3, et peut aller de 0.1 à 1.
- nb-init-energy a une valeur par défaut de 500, et peut aller de 10 à 1000.
- nb-init-sense a une valeur par défaut de 1, et peut aller de 1 à 10.

4.2 Analyse de sensibilité des hyper-paramètres

4.2.1 nb-creatures

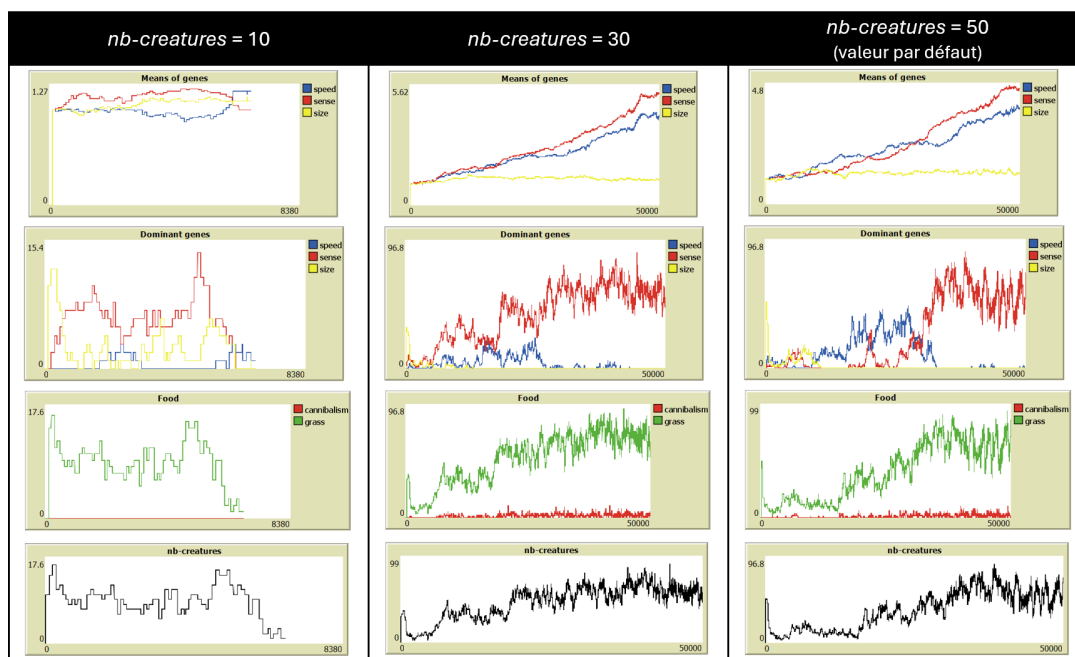


FIGURE 1 – Comparaison des données récoltées avec nb-creatures = 10, 30 et 50

Avec 30 et 50 créatures initiales, les résultats sont similaires : une chute initiale de la population est observée, suivie d’une remontée progressive. En revanche, avec seulement 10 créatures initiales, cette chute initiale n’est pas suivie d’une remontée et la population disparaît rapidement.

Ces observations peuvent s’expliquer par les dynamiques de survie dans des populations de différentes tailles : plus la population initiale est petite, moins elle a de chances de survivre. A l’inverse, lorsque le nombre de créatures est relativement élevé, même si une partie de la population initiale meurt rapidement, les chances que certains individus réussissent à trouver de la nourriture, se reproduire et permettre à la population de subsister sont plus grandes.

4.2.2 nb-food

Il est clair que, pour pouvoir avoir une population qui puisse survivre, la quantité de nourriture à disposition est un facteur important. En effet, sans nourriture abondante, les générations peinent à se suivre. Comme le comportement des individus est en général de prendre une nourriture, puis de rentrer, moins il y a de nourriture, moins les chances sont grandes pour un individu qui a mangé de pouvoir trouver un deuxième bout de nourriture et pouvoir se reproduire. Et, sans surprise, le gène qui domine dans la population plus la nourriture se raréfie est sense, donc le rayon de détection de nourriture et de prédateurs. En effet, pouvoir trouver de la nourriture plus facilement est indéniablement un avantage capital pour survivre et prospérer. En figure 2, il est possible de voir à quel point la quantité de nourriture disponible a un impact sur la population, à 50 unités déjà les individus mourant en quelques générations seulement,

à peu près 10. Comme les sens sont relativement bas au début, notre valeur par défaut étant 1, il est très dur pour les créatures de trouver la nourriture dont elles ont besoin, ce qui catapulte l'importance de ce gène dans les populations survivantes lorsque la nourriture est plus présente.

On peut supposer qu'en relançant le modèle plusieurs fois, avec des quantités de nourriture moyenne comme à $\text{nb-food} = 50$, il serait possible d'obtenir une configuration dans laquelle une population finit par survivre plus longtemps, cependant cela n'est pas le cas, car la population n'a pas le temps de se modifier suffisamment rapidement pour que leurs sens soient assez bons pour survivre plus longtemps, et surtout se reproduire.

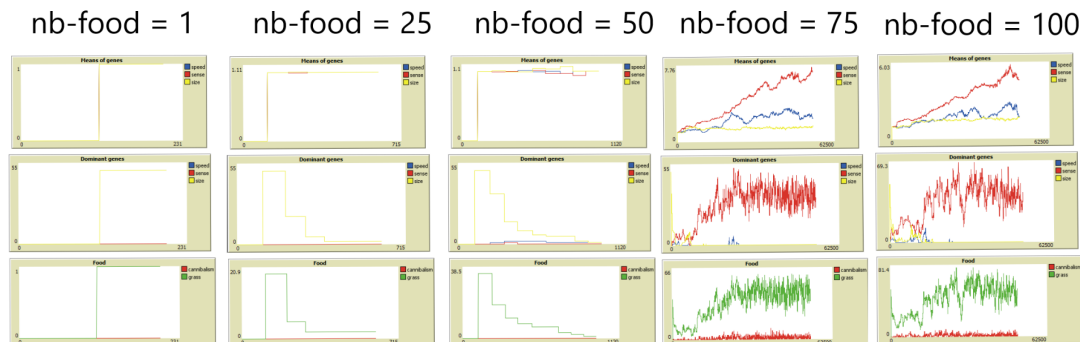


FIGURE 2 – Résultats obtenus sur le modèle avec plusieurs valeurs de nb-food

4.2.3 proba-mutation

La variable proba-mutation joue un rôle crucial dans le processus d'évolution des créatures à travers les générations. La probabilité de mutation (proba-mutation) détermine la fréquence à laquelle des mutations se produisent dans les traits des créatures (vitesse, taille, sens). Une mutation peut soit augmenter, soit diminuer la valeur d'un trait donné.

Sans mutations, les créatures se reproduiraient avec des copies exactes de leurs traits, ce qui mènerait à une population génétiquement homogène. Avec des mutations, certaines créatures peuvent développer des traits qui leur confèrent un avantage sélectif dans leur environnement.

Une probabilité trop basse limiterait la diversité génétique et ralentirait l'adaptation, tandis qu'une probabilité de mutation trop élevée pourrait entraîner des changements trop fréquents, rendant difficile l'établissement de traits avantageux. Dans cet étude, la variable proba-mutation varie entre 0.1 et 1.0.

Lorsque la variable est à 0.1, l'évolution est la suivante :

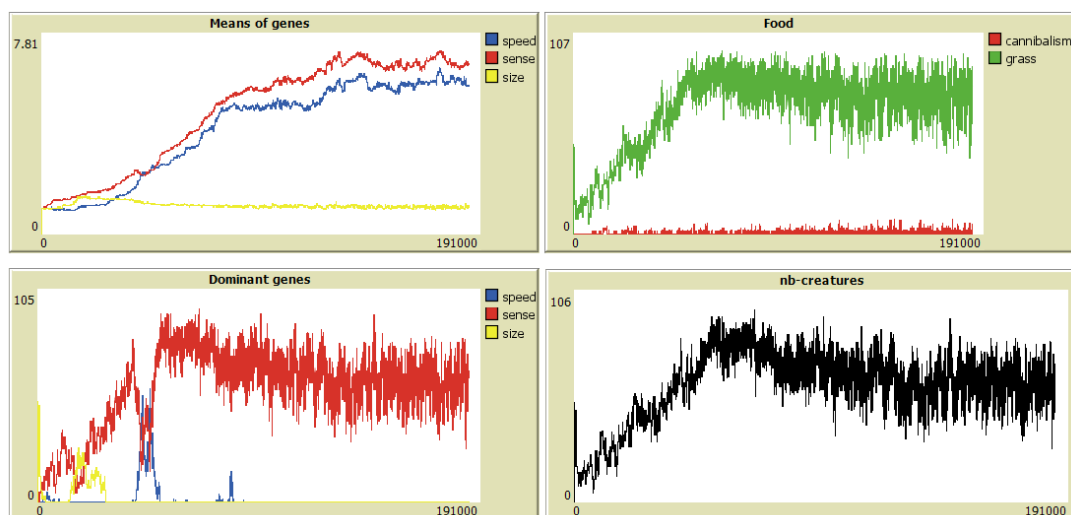


FIGURE 3 – Evolution du modèle avec proba-mutation à 0.1

Une probabilité de mutation faible entraîne une faible variation dans la diversité des gènes. Toutefois, une augmentation progressive des traits liés à la vitesse et à la détection est notable, tandis que le trait lié à la taille stagne et ne devient pas important. Au fil du temps, le trait dominant tend à devenir celui de la détection.

Lorsque la variable est à 0.3, l'évolution est la suivante :

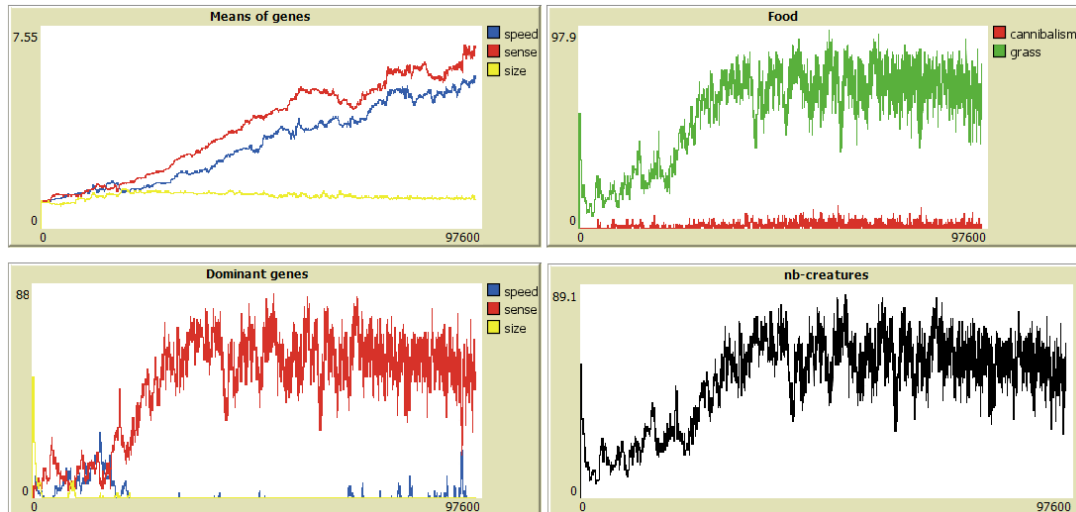


FIGURE 4 – Evolution du modèle avec proba-mutation à 0.3

Pour une probabilité de mutation de 0.3, un comportement similaire est observé. Malgré une probabilité de mutation plus élevée, les traits de la vitesse et de détection continuent à être favorisés.

Lorsque la variable est à 0.7, l'évolution est la suivante :

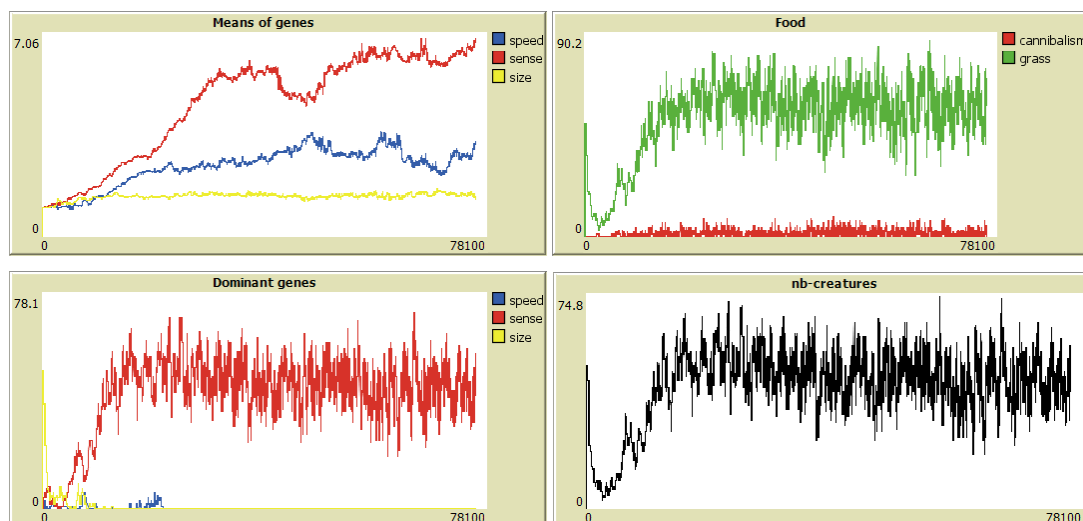


FIGURE 5 – Evolution du modèle avec proba-mutation à 0.7

Pour une probabilité de mutation de 0.7, un comportement très différent est observé. La plus grande variabilité génétique entraîne une augmentation rapide du trait de détection, qui devient rapidement dominant. Cette plus grande variabilité permet à la détection d'émerger comme le trait le plus avantageux, surpassant les autres traits de manière plus prononcée.

Lorsque la variable est à 1.0, l'évolution est la suivante :

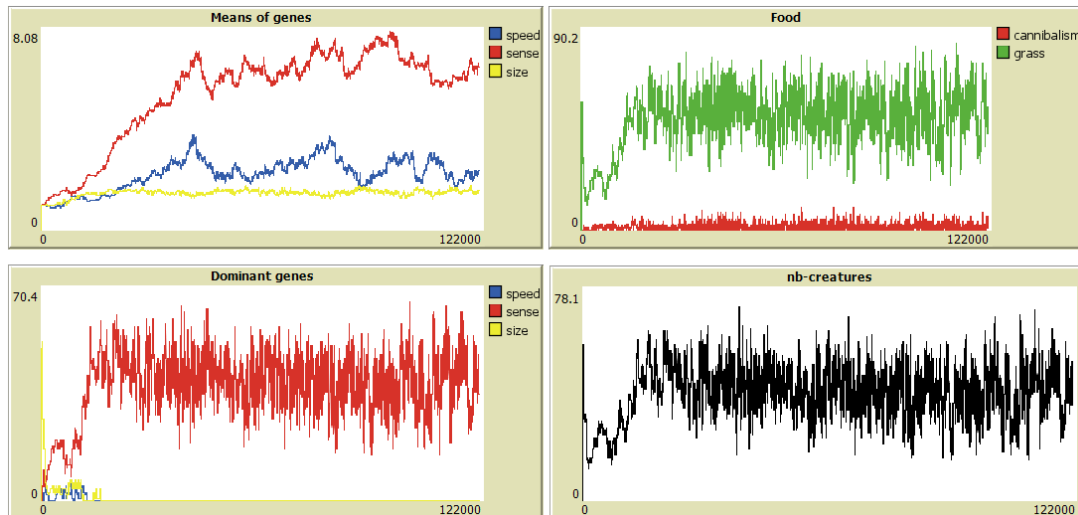


FIGURE 6 – Evolution du modèle avec proba-mutation à 1.0

Pour une probabilité de mutation de 1.0, le comportement observé précédemment est encore plus prononcé. Malgré une plus grande variation génétique en général, c'est toujours le trait de détection qui est favorisé, et ce, de manière encore plus marquée que pour une probabilité de mutation de 0.7.

Ainsi, en modifiant cette probabilité, on observe des variations significatives dans la dynamique évolutive de la population simulée. Lorsque la probabilité de mutation est faible, les traits de vitesse et de détection tendent à être favorisés, tandis que d'autres traits, comme la taille, stagnent. Cependant, une augmentation de la probabilité de mutation conduit à une plus grande variabilité génétique, ce qui peut accélérer l'évolution des traits.

La favorisation du trait lié au rayon de détection est très probablement due à deux facteurs principaux : son avantage pour détecter la nourriture et son faible coût énergétique. En effet, une vision étendue permettrait aux créatures de repérer plus facilement les sources de nourriture, ce qui améliorerait leurs chances de survie et de reproduction. De plus, le fait que ce trait soit économe en énergie le rend d'autant plus avantageux.

Ainsi, une forte probabilité de mutation favorise rapidement l'émergence de ce trait avantageux. En revanche, bien que la vitesse confère également un avantage significatif en termes de survie, son coût énergétique élevé peut limiter sa compétitivité face au trait du rayon de détection, surtout avec une probabilité de mutation élevée. Quant à la taille, son coût énergétique important rend difficile son augmentation, même avec une faible probabilité de mutation, ce qui explique sa stagnation dans l'évolution des créatures simulées.

4.2.4 nb-init-energy

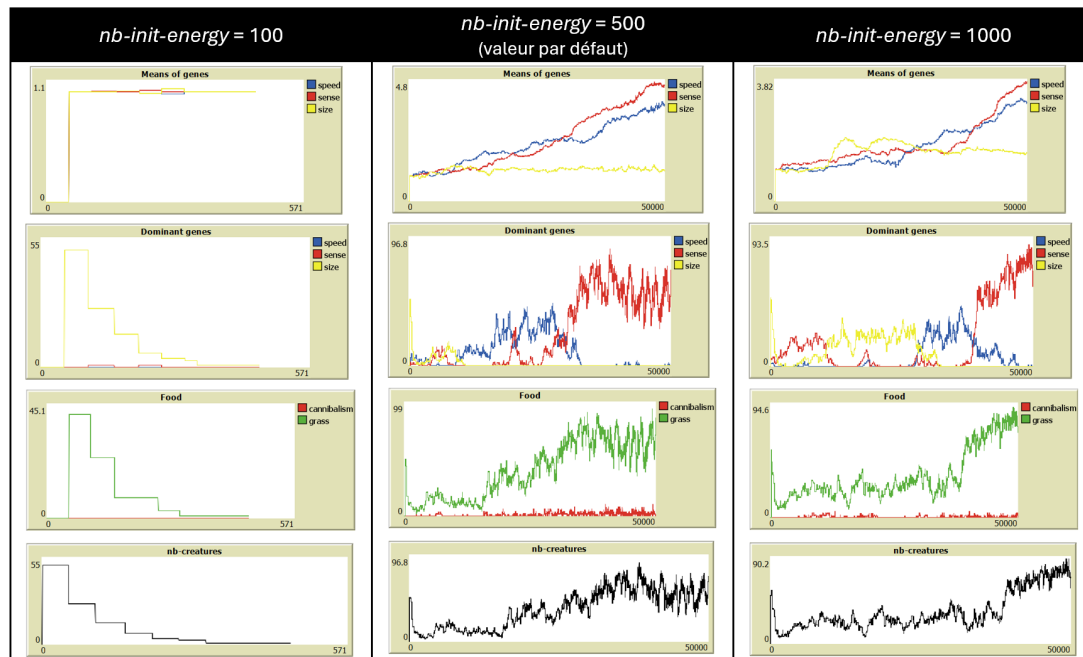


FIGURE 7 – Comparaison des données récoltées avec $nb\text{-init-energy} = 100, 500$ et 1000

Lorsque la population démarre avec une quantité importante d'énergie initiale, les gènes de vitesse et de taille dominant alternativement le gène de détection. Pendant cette phase de domination, la population reste de petite taille. Cependant, à un certain stade, le gène de détection prend de l'importance et la taille de la population augmente simultanément.

Avec un taux d'énergie initiale élevé, les individus ont davantage de chances de survie, même avec des gènes moins favorables. Par exemple, un individu avec une faible capacité de détection peut avancer en ligne droite et trouver de la nourriture par hasard, bénéficiant ainsi d'assez d'énergie pour poursuivre cette stratégie. Cependant, cette stratégie limite la croissance de la population car les chances de trouver de la nourriture à plusieurs reprises en ligne droite sont réduites. C'est pourquoi la domination des gènes de vitesse et de taille persiste initialement, rendant la croissance de la population difficile. Néanmoins, à un certain stade, le gène de sensibilité finit par s'accroître, entraînant également une croissance de la population, car les individus ont plus de chances de trouver plus de nourriture avec cette stratégie.

4.2.5 nb-init-sense

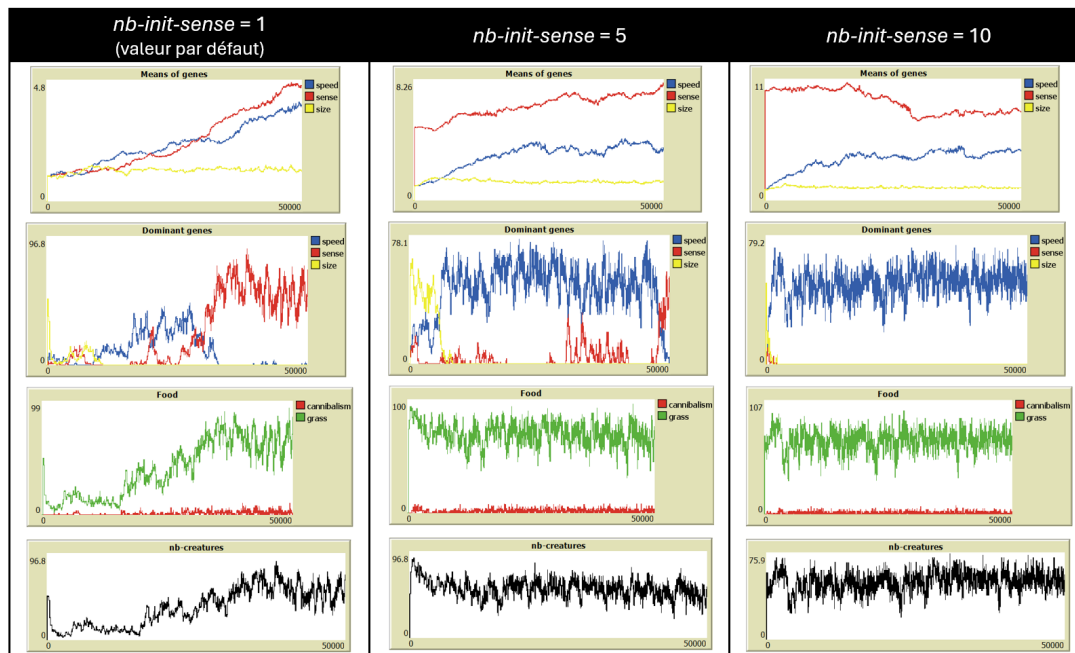


FIGURE 8 – Comparaison des données récoltées avec nb-init-sense = 1, 5 et 10

Le gène de détection est dominé par le gène de vitesse lorsque la valeur initiale du gène de détection est supérieure à 1. Cependant, la valeur moyenne du gène de détection reste supérieure à celles des autres gènes, bien qu'elle semble décroître si sa valeur initiale est trop élevée.

La dominance des autres gènes sur le gène de détection s'explique par la méthode de calcul de l'indice de dominance, qui est basée sur la valeur initiale des gènes. Étant donné que la valeur initiale du gène de détection est plus élevée, il est plus difficile pour ce gène de maintenir une dominance : il croît, mais pas autant que le gène de vitesse. La décroissance du gène de détection lorsque sa valeur initiale est trop élevée indique que les gènes ont des limites et ne vont pas augmenter à l'infini.

Par ailleurs, le nombre d'individus reste plus constant avec une valeur initiale du gène de détection élevée. La chute initiale de la population constatée avec les valeurs par défaut ne se produit pas.

Les expérimentations précédentes ont montré que la taille de la population suit la valeur du gène de détection. Cette stabilité peut donc s'expliquer par la valeur élevée du gène de détection dès le départ.

5 Perspectives

Le modèle actuel de simulation darwinienne offre une base pour l'étude de l'évolution génétique dans un environnement simulé. Cependant, plusieurs améliorations peuvent être envisagées pour augmenter la complexité et le réalisme du modèle. Voici quelques perspectives d'améliorations :

5.1 Introduction de nouveaux gènes

Actuellement, le modèle utilise trois principaux gènes (taille, vitesse, perception). Pour augmenter la diversité génétique, on pourrait introduire de nouveaux gènes comme :

- **Camouflage** : La capacité de se fondre dans l'environnement pour éviter les prédateurs.
- **Endurance** : La capacité de maintenir des activités physiques plus longtemps sans augmenter la consommation d'énergie.

5.2 Environnement dynamique

L'environnement actuel est statique avec des ressources fixes. Un environnement plus dynamique pourrait inclure :

- **Changements climatiques** : Variation des conditions environnementales (température, précipitations) affectant la disponibilité de la nourriture et la survie des espèces.
- **Saisonnalité** : Changements saisonniers qui affectent la distribution et la quantité de nourriture disponible, ainsi que les comportements des créatures (hibernation, migration).

5.3 Comportements sociaux et coopération

L'introduction de comportements sociaux pourrait enrichir les interactions entre les individus :

- **Reproduction sociale** : Modéliser des comportements de reproduction basés sur la sélection de partenaires en fonction de critères génétiques ou comportementaux.
- **Communication** : Implémenter des mécanismes de communication pour alerter d'autres individus de la présence de nourriture.

5.4 Apprentissage et adaptation individuelle

Intégrer un mécanisme d'apprentissage pourrait permettre aux individus de s'adapter au fil du temps :

- **Apprentissage individuel** : Les individus pourraient apprendre de leurs expériences passées pour améliorer leurs chances de survie (trouver plus efficacement la nourriture par ex).
- **Adaptation comportementale** : Permettre aux individus de modifier leur comportement en fonction des conditions environnementales changeantes ou de la présence de concurrents.

5.5 Diversité des ressources alimentaires

Diversifier les types de nourriture disponibles pourrait complexifier les stratégies de survie :

- **Types de nourriture** : Introduire différentes sortes de nourriture avec des valeurs nutritionnelles variées.
- **Disponibilité** : Faire varier la distribution et la rareté des différentes types de nourritures pour pousser les individus à s'adapter.

Ainsi en développant ces améliorations, le modèle pourrait offrir une représentation plus riche et réaliste des évolutions, permettant d'approfondir notre compréhension du Darwinisme dans des environnements plus complexes et variés.

6 Conclusion

La simulation du darwinisme a révélé que la capacité à détecter la nourriture devient souvent le trait dominant, surtout en situation de rareté de nourriture, tandis que la vitesse et la taille sont influencées par leur coût énergétique.

Une prévalence du gène de détection liée au rapport consommation énergétique / survie peut être dénoté. Les gènes de vitesse et de taille se démarquent dans des cas plus favorables comme lorsque l'énergie initiale donnée aux individus est plus élevée.

Les paramètres environnementaux, comme la quantité de nourriture, impactent directement la survie et la reproduction.

En clair, cette simulation démontre l'efficacité des systèmes multi-agents pour modéliser l'évolution et contribue à notre compréhension des dynamiques évolutives et de la diversité génétique dans la nature.