



COMPTE RENDU PROJET DE PROGRAMMATION

1ÈRE ANNÉE CYCLE D'INGÉNIEUR

Répartition d'eau au sein d'une société entre divers agents et optima

Mira Maamari
Candice Baud

Travail encadré par M. XAVIER
DUPRÉ

Mai 2021

Table des matières

1	Introduction	2
2	Modèle et implémentation	2
2.1	Choix de modélisation	2
2.2	Implémentation	2
2.3	Paramètres de la simulation	3
2.4	Journées types	3
3	Analyse des résultats	3
3.1	Introduction	3
3.2	Journées de type 1	4
3.2.1	1ère simulation : 1 habitant, 1 ferme	4
3.2.2	2ème simulation : N habitants, N fermes	4
3.2.3	3ème simulation : Nombre de gens différent du nombre de fermes	5
3.2.4	4ème simulation : en situation de manque de ressource	6
3.2.5	5ème simulation : Point de bascule en terme de ressource et d'agents	6
3.2.6	6ème simulation : visualisation 3D d'optimum	6
3.3	Journées de type 2	8
3.3.1	1ère simulation : 1 habitant, 1 ferme	8
3.3.2	2ème simulation : Ratio nombre de fermes et nombre d'agents	8
3.3.3	3ème simulation : Point de bascule en terme de ressource et d'agents	9
3.3.4	4ème simulation : visualisation 3D d'optimum	9
3.4	Journées de type 3	10
3.4.1	1ère simulation : 1 ferme, 1 habitant	10
3.4.2	2ème simulation : Quelques cas avec plus d'agents	11
3.4.3	3ème simulation : visualisation 3D d'optimum	12
3.5	Journées de type 4	13
3.5.1	1ère simulation : 1 ferme, 1 habitant	13
3.5.2	2ème simulation : Cas particulier	14
3.5.3	3ème simulation : visualisation 3d d'optimum	14
3.6	Comparaison des journées	15
4	Conclusion	16

1 Introduction

Dans ce projet de programmation nous avons cherché à modéliser différents types de répartition de l'eau entre deux agents principalement : les fermes et les habitants. En effet, ces deux acteurs cohabitent dans une société appelée secteur qui dépend d'une source dont la ressource est variable. L'intérêt de choisir ces deux agents est leur interaction. Les habitants ont besoin d'eau pour boire, se doucher, cuisiner etc mais également de nourriture. Celle-ci est produite par les fermes, qui ont elles aussi besoin d'eau pour produire des denrées alimentaires. Ainsi, l'enjeu est de savoir à qui l'on donne de l'eau pour maximiser le bien-être global.

Le projet avait plusieurs buts : d'une part comprendre les interactions entre les agents et essayer de trouver des solutions optimales. D'autre part, nous souhaitons nous initier à la programmation orientée objet qu'aucune de nous deux ne connaissait.

2 Modèle et implémentation

2.1 Choix de modélisation

On considère ici deux types d'agents : des personnes, qui ont besoin de boire et de manger, et des fermes, qui produisent la nourriture, et utilisent pour cela de l'eau. On considère que tous ces agents dépendent d'une même source d'eau, dont la capacité, le niveau de remplissage et le débit (en unités d'eau par jour), déterminent la quantité d'eau disponible chaque jour.

Afin de pouvoir évaluer l'efficacité d'un choix de répartition de l'eau, on choisit d'utiliser un indice de bien-être, qui dépend de la capacité de toutes les personnes à se nourrir et à boire. Chaque personne a donc un nombre de points de vie initial (variable globale). À la fin d'une journée, si une personne a de quoi se nourrir et boire (on a en variables globales les minimums vitaux pour chacun), elle gagne un point de vie. Sinon, elle meurt, et on enlève 30 points de vie au bien-être global.

La simulation d'une journée consiste donc successivement en :

- la répartition de l'eau de la source entre les agents
- la production de nourriture dans les fermes
- la répartition de la nourriture
- la consommation des stocks d'eau et de nourriture, et le calcul des points de vie

2.2 Implémentation

Les personnes, les fermes et les sources sont codés dans des classes distinctes. Afin de pouvoir faire une simulation avec plusieurs agents, on utilise une classe secteur, qui a dans ses attributs la source associée, et met à jour une liste d'agents, ainsi que les listes et effectifs des fermes et des personnes. On implémente dans la classe "secteur" les méthodes nécessaires à la simulation, qui correspondent

aux étapes détaillées plus haut, dont différentes fonctions de répartition de l'eau et de la nourriture, qui correspondent à des modes de répartitions distincts.

2.3 Paramètres de la simulation

Nous avons choisi de garder, dans les paramètres de simulation :

- le débit, la capacité et le remplissage initial de la source
- les nombres de fermes et de personnes dans le secteur, au début de la simulation (les personnes pouvant mourir en cours de route)
- l'identifiant du type de journée choisi, qui détermine les règles de répartition de l'eau et de la nourriture
- le nombre de journées simulées.

De plus, figurent en variables globales :

- la PPE (production par unité d'eau)

2.4 Journées types

Le modèle contient 4 modes de répartition de l'eau et de la nourriture. Ainsi, 4 types de journées y sont implémentés, et permettent de simuler des journées avec chacun de ces modes de répartition :

- journée de type 1 : l'eau et la nourriture sont réparties équitablement : tous les agents (fermes et personnes) reçoivent une part égale de l'eau disponible dans la source.
- journée de type 2 : l'eau est répartie équitablement, et la nourriture est répartie selon la règle "premier arrivé, premier servi" (paps) : on donne, selon les disponibilités le minimum vital au plus de monde possible, puis on répartit ce qu'il reste équitablement.
- journée de type 3 : l'eau et la nourriture sont répartis au paps. Pour l'eau, on donne la priorité aux personnes : une fois que chacune d'elles a reçu le minimum pour boire, on répartit le reste de l'eau équitablement.
- journée de type 4 : l'eau et la nourriture sont répartis au paps. Pour l'eau, on donne la priorité aux fermes.

3 Analyse des résultats

3.1 Introduction

Dans cette section nous cherchons à analyser les résultats graphiques de nos programmes. Nous n'avons pas représenté de graphiques où D est différent de C qui est aussi différent de r . En effet, après de nombreux tests, il apparaît d'abord que C n'influe pas sur les résultats que nous obtenons. Pour ce qui est de r et de D , ces paramètres influencent les courbes de la même manière. Dans un souci de simplification, nous avons donc fait le choix de prendre pour toutes les simulations $D=C=r$.

3.2 Journées de type 1

Rappel : La journée de type 1 est telle que l'on donne autant d'eau à chaque agent, que cela soient les fermes ou les habitants. On ne regarde pas quel est le besoin de chaque agent.

3.2.1 1ère simulation : 1 habitant, 1 ferme

Tout d'abord, nous avons mis en évidence un point de bascule : pour $D=C=r=8$, on se rend compte que l'habitant survit et que sa courbe de bien-être est croissante avec le temps tandis que pour $D=C=r=7$, un décrochage s'opère lorsque l'agent meurt de faim. Ce qui est donc intéressant est de voir que la mort est causée par un manque de nourriture et non d'eau ici !

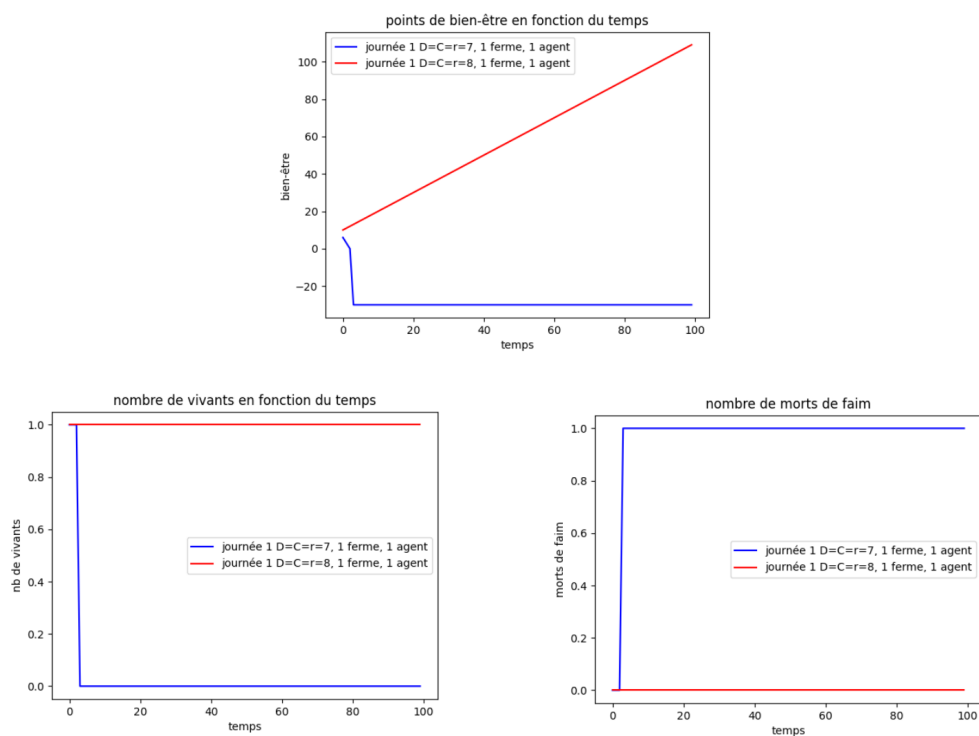
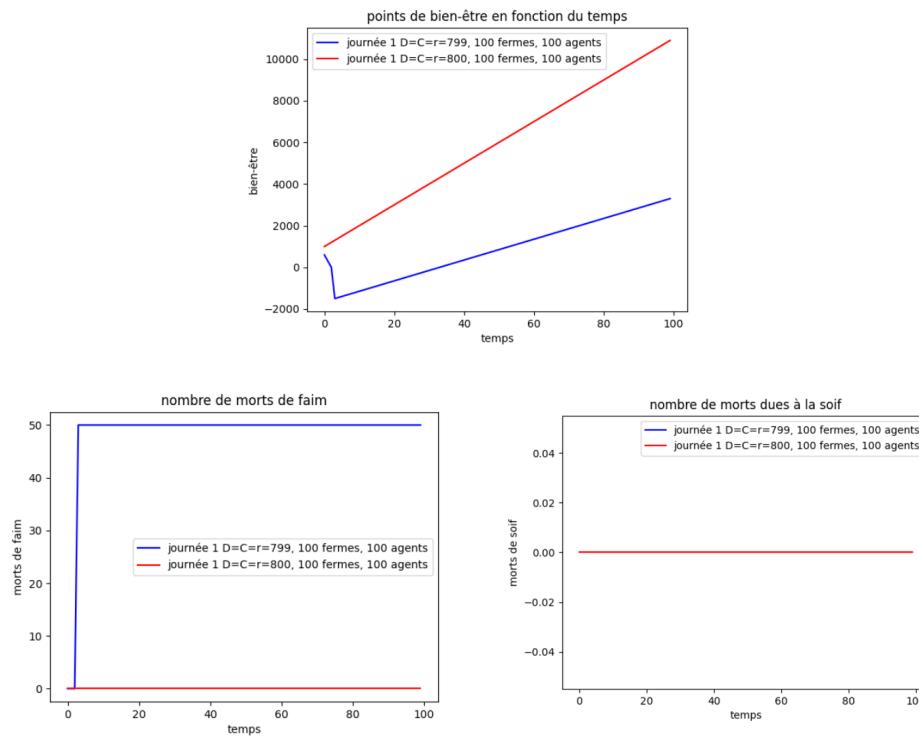


FIGURE 1 – Simulation pour la méthode 1, $D=r=C=8$ et $D=r=C=7$, 1 ferme, 1 agent

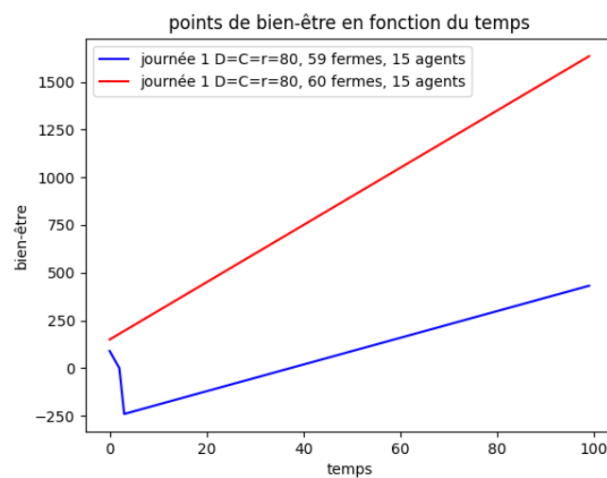
3.2.2 2ème simulation : N habitants, N fermes

On essaie de généraliser le résultat trouvé précédemment et l'on observe qu'avec autant de fermes que d'agents (N), on trouve un point de bascule entre un débit de $8 \times N - 1$ et un débit de $8 \times N$. On a donc un cas identique avec 1 ferme et 1 agent mais à plus grande échelle. On retrouve uniquement des morts de faim et aucun de soif.

FIGURE 2 – Simulation pour la méthode 1, $D=r=C=800$ et $D=r=C=799$, 1 ferme, 1 agent

3.2.3 3ème simulation : Nombre de gens différent du nombre de fermes

On trouve un ratio nécessaire de 4 fermes pour 1 habitant pour avoir une croissance du bien-être. Ce résultat est cohérent car on a considéré une productivité par unité d'eau de 0.25 et un besoin en eau et en nourriture de 1 pour chaque agent. Ainsi il faut 4 fermes pour produire une unité de nourriture nécessaire à une personne. Ici, on observe 8 morts uniquement de faim et aucun mort de soif lorsque le nombre de fermes est de 59 pour 15 habitants.

FIGURE 3 – Bien-être en fonction du temps, $t=20$

3.2.4 4ème simulation : en situation de manque de ressource

En situation de manque de ressource, on observe une décroissance progressive du bien-être qui correspond à la décroissance progressive du nombre de vivants. Ici, on a respecté le ratio de 4 fermes pour 1 habitant et on observe donc uniquement des morts de soif.

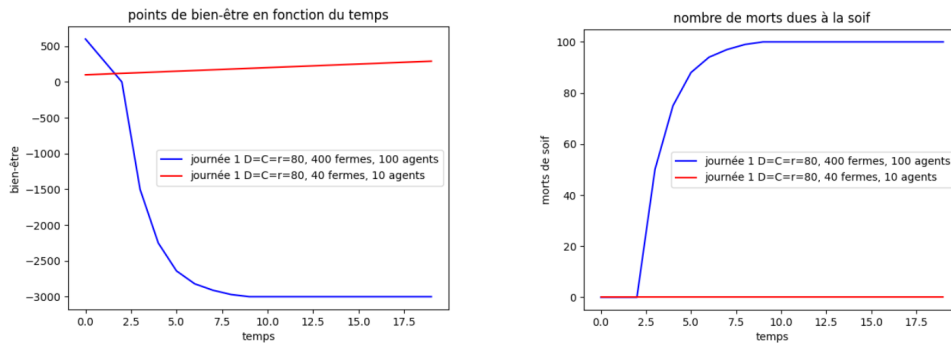


FIGURE 4 – Bien-être et morts en fonction du temps, $t=100$

3.2.5 5ème simulation : Point de bascule en terme de ressource et d'agents

On trouve un point de bascule entre 16 agents (donc 64 fermes) et 17 agents(donc 68 fermes). C'est-à-dire qu'ici, la proportion de fermes/agents est suffisante pour que les gens ne meurent pas de faim, mais dans le second cas, les ressources en eau ne sont pas suffisantes et l'on observe des morts. Néanmoins, on n'observe pas une mort complète de la population puisque l'on voit qu'il reste 8 personnes vivantes.

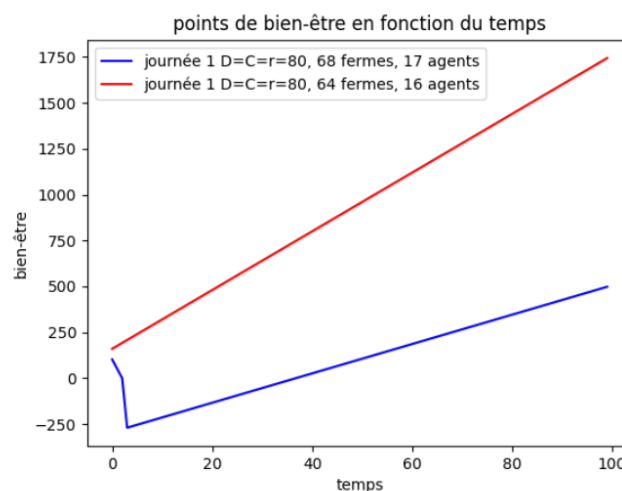


FIGURE 5 – Bien-être en fonction du temps, $t=100$

3.2.6 6ème simulation : visualisation 3D d'optimum

On plot en 3d pour $t=100$ le bien-être en fonction du nombre de gens et du nombre de fermes pour voir quel est l'optimum. Les paramètres fixés sont donc le temps (on regarde à l'issue du 100ème

jour) et les capacités, débits, remplissages de la source d'eau. Les variables sont le nombre de gens et le nombre de fermes.

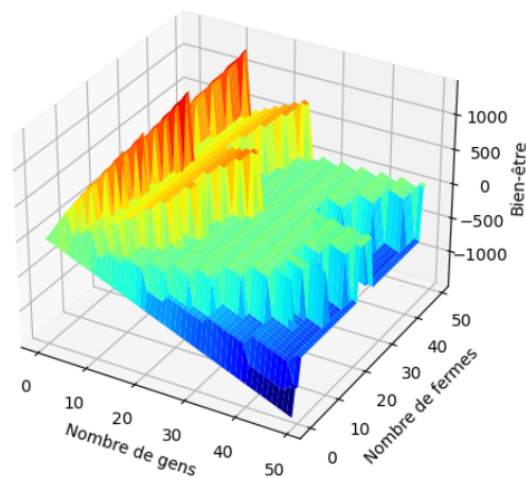


FIGURE 6 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$, $D=r=C=80$, journée 1

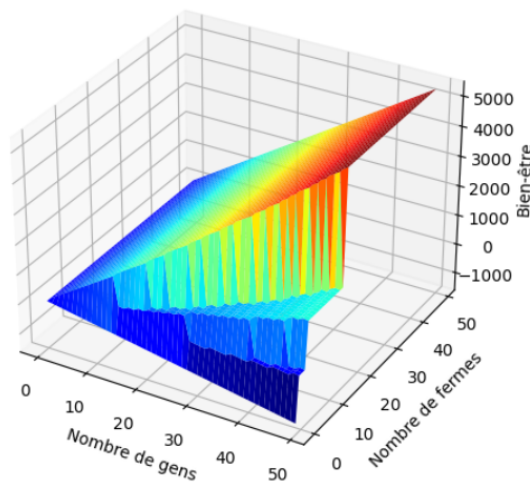


FIGURE 7 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$, $D=r=C=800$, journée 1

La première représentation est effectuée en situation de ressource insuffisante contrairement à la deuxième. Ce que l'on observe sur la deuxième est donc une croissance du bien-être avec le nombre de gens et de fermes ce qui paraît cohérent. En effet, en donnant des ressources de 800 en eau, on se retrouve alors en excès total de ressource et on obtient donc une surface complètement différente avec un optimum de bien-être bien plus élevé car plus on produit et plus le bien-être augmente. De surcroît, notre calcul de bien-être est calibré de manière à être croissant avec le nombre de gens vivants dans la population. Ce résultat est donc cohérent et la simulation sert de témoin. Pour ce qui est de la première situation, on atteint un bien-être de 1000 et plus, mais la courbe est très irrégulière et l'on retrouve de forts creux même dans des zones qui paraissent optimales.

Avec l'algorithme de calcul d'optimum, on obtient :

`(1417.0, (array([26, 27], dtype=int32), array([13, 13], dtype=int32)))`

Le bien-être maximal est donc de 1417 à $t = 100$, et celui-ci est atteint pour 26 fermes et 13 habitants d'une part et 27 fermes et 13 agents d'autre part.

3.3 Journées de type 2

Rappel : La journée de type 2 est telle que l'on répartit équitablement l'eau puis on répartit la nourriture au premier arrivé premier servi (PAPS).

3.3.1 1ère simulation : 1 habitant, 1 ferme

On simule pour 1 agent et 1 ferme comme précédemment et on trouve le même point de bascule que pour la journée 1. De même, l'habitant meurt de faim et non de soif.

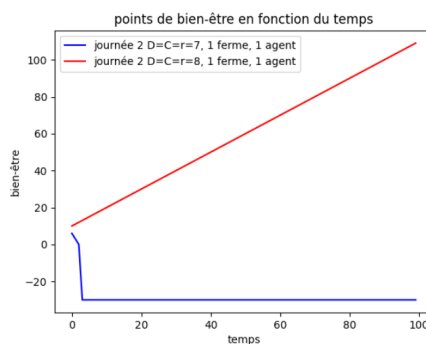


FIGURE 8 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$, journée 2

3.3.2 2ème simulation : Ratio nombre de fermes et nombre d'agents

On essaye ici de voir si le ratio trouvé précédemment de fermes/agents=4 se vérifie encore. En simulant, il est clair que l'on n'obtient pas les mêmes courbes. Avec 60 fermes, on a toujours une réponse où l'on a aucun morts et que le bien-être croît. Toutefois, en dessous de ce ratio, avec les mêmes valeurs que pour la journée 1, on n'a plus qu'un seul mort contre 8. De plus, la cause est la nourriture car on n'a pas un ratio 4-1. Remarque : On observe de même avec 40-10 contre 39-10 : on a limité le nombre de morts à 1.

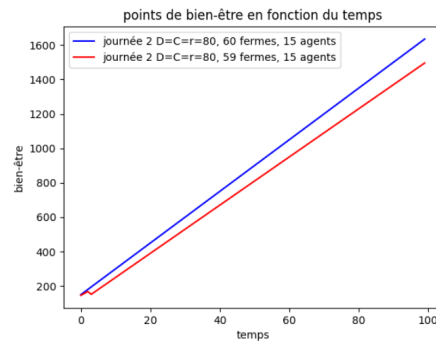


FIGURE 9 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$, journée 2

3.3.3 3ème simulation : Point de bascule en terme de ressource et d'agents

En reprenant les valeurs de la simulation dans la partie journée 1, on retrouve le même graphique.

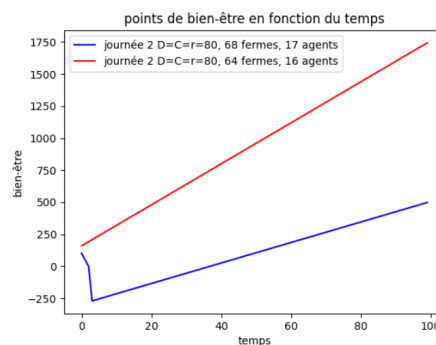


FIGURE 10 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$, journée 2

3.3.4 4ème simulation : visualisation 3D d'optimum

La représentation est effectuée en situation de ressource insuffisante comme lors de l'étude de la journée 1. On atteint un bien-être de 1000 et plus, et la courbe semble bien plus régulière que lors de la journée 1. On a seulement une grosse cassure mais globalement le bien-être est plus souvent supérieur à la journée 1 à nombre de gens et de fermes donnés. Cette situation semble donc bien plus optimale que la première.

La simulation en situation d'excès de ressource renvoie la même surface que lors de la simulation pour la journée 1.

Avec l'algorithme de calcul d'optimum, on obtient :

`(1417.0, (array([26, 27], dtype=int32), array([13, 13], dtype=int32)))`

Le bien-être maximal est donc de 1417 à $t = 100$, et celui-ci est atteint pour 26 fermes et 13 agents d'une part et 27 fermes et 13 agents d'autre part. C'est le même optimum que pour la journée de type 1. Ces résultats ne sont pas extrêmement surprenants dans le sens où l'eau est encore répartie de manière égale entre les agents et ce que l'on remarquait dans la situation 1 était principalement

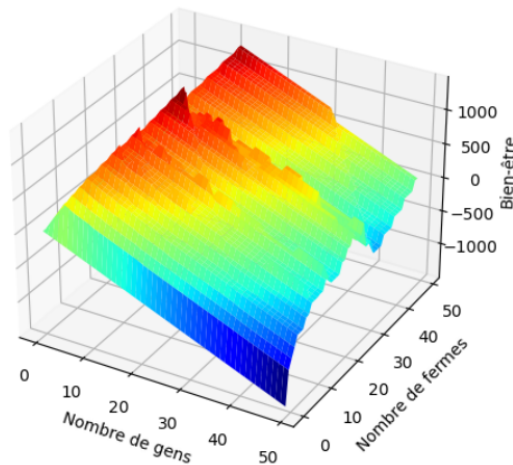


FIGURE 11 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$, $D=r=C=80$, journée 2

un manque de nourriture. Ici, on ne produit pas plus de nourriture et mais on la répartit au premier arrivé premier servi. La quantité de nourriture étant égale, on s'attend à converger vers un optimum proche si ce n'est le même que pour la journée 1. C'est ce que l'on observe en pratique.

3.4 Journées de type 3

Rappel : La journée de type 3 est telle que l'on donne l'eau et la nourriture au premier arrivé premier servi. Pour l'eau, la priorité est donnée aux personnes : c'est-à-dire que l'on donne aux gens ce dont ils ont besoin puis on répartit le reste équitablement.

3.4.1 1ère simulation : 1 ferme, 1 habitant

On exécute encore une fois avec 1 ferme 1 agent et on regarde à quel moment est le point de bascule. On se rend compte que cette fois-ci, celui-ci se trouve entre 8 et 9 et non 7 et 8 comme pour les précédentes méthodes. Le seul habitant toutefois meurt à nouveau de faim.

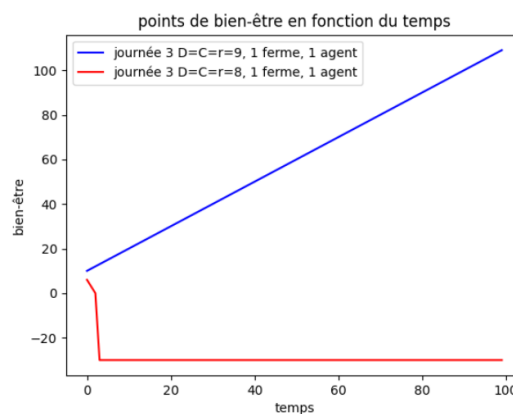


FIGURE 12 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$

3.4.2 2ème simulation : Quelques cas avec plus d'agents

On regarde quelques cas avec plus d'agents. On se met en situation telle que le nombre de fermes est insuffisant et on voit que plus ce ratio fermes/agents diminue et plus le nombre de morts est important. Pour autant, on remarque que les courbes de bien-être ont une première tendance à la baisse mais ensuite croissent. Toutes les morts sont causées par la faim (car le ratio fermes/agents est trop faible), et ce que l'on voit c'est que le nombre de morts diffère selon le nombre de fermes que l'on a.

Pour 100 fermes, il reste à la fin 78 agents. Pour 50 fermes, il reste 68 agents. Pour 25 fermes, il reste 57 agents. Donc on ne retrouve pas un ratio d'équilibre de 4 pour 1. De plus, la décroissance du nombre de vivants se fait sur plusieurs jours.

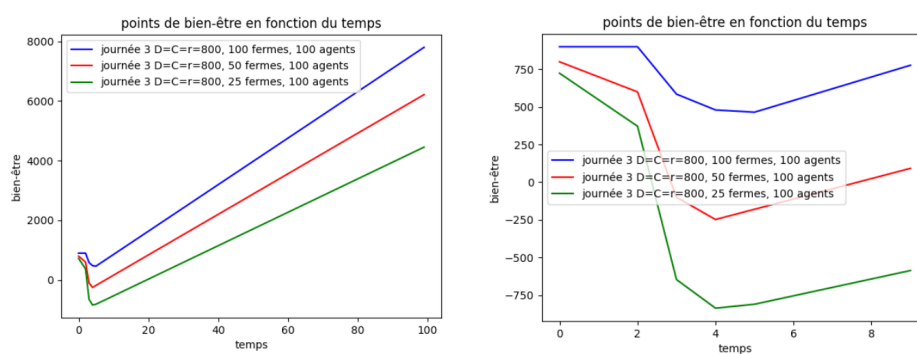
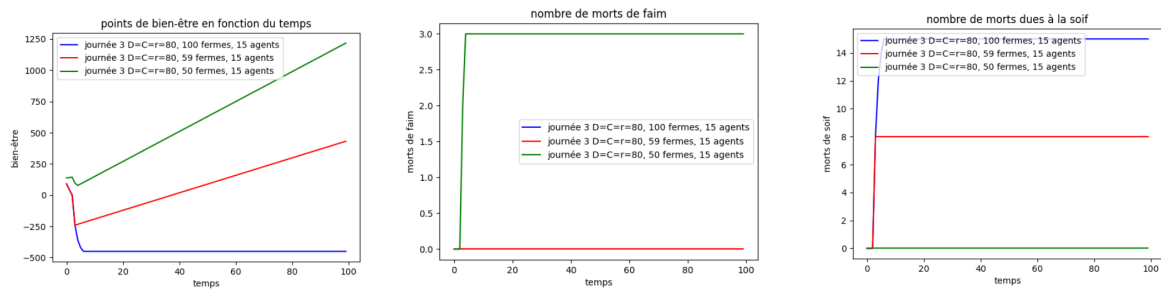


FIGURE 13 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, t=100 et t=10

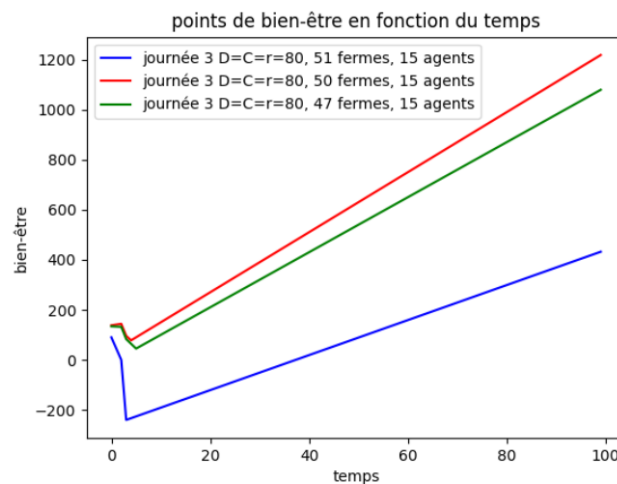
En zoomant sur les courbes c'est-à-dire, en regardant uniquement les 10 premiers jours de la simulation, il apparaît clairement que l'on a une décroissance progressive à partir du 2ème jour du nombre de vivants avec un énorme pic entre le 2ème et le 3ème jour puis un équilibre qui se met en place pour arriver à un minimum au 4ème jour.

La simulation ci-dessous est particulièrement intéressante. On prend différents cas de nombres de fermes pour 15 agents et on regarde ce qu'il se passe. Avec 100 fermes, c'est-à-dire beaucoup plus que nécessaire, toute la population meurt de soif. La répartition se fait au premier arrivé premier servi, et donc on peut penser que les fermes ont déjà pris toute l'eau. Entre 51 et 66 fermes inclus, on obtient toujours la même courbe (ces simulations n'ont pas été représentées ici), c'est-à-dire la courbe rouge. En passant au dessus de 67 fermes inclus on obtient la même tendance que la courbe bleue. Enfin, en dessous de 50 inclus, on observe une courbe similaire à la verte.

La cause des morts est d'ailleurs de soif pour un nombre de fermes supérieur à 51 inclus, tandis que c'est de faim en dessous. En zoomant sur le début de la simulation, on voit que les courbes rouge et bleue se superposent d'abord puis divergent.

FIGURE 14 – Bien-être et morts en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$

On a donc vu qu'au dessus de 51 fermes, les courbes de bien-être étaient très décroissantes avec un pic et beaucoup de morts. On représente ici pour 51 fermes, pour 50 fermes et pour 47 fermes. Entre 50 fermes et 48 fermes inclus, les courbes se superposent et sont identiques, mais à partir de 47 ou moins, on a un bien-être qui diminue. On n'a donc pas monotonie de la fonction qui au nombre de fermes associerait le bien-être à un nombre d'agents donnés. L'optimum dans cette situation est donc de se trouver entre 48 et 50 fermes pour 15 agents et 80 de capacité en eau. En terme de type de mort, au dessus de 51, les individus meurent de soif, sinon ils meurent de faim. On voit que la situation avec plus de 51 fermes était très défavorable, car on avait beaucoup de morts de soif. En comparaison, pour arriver à une situation aussi catastrophique avec des morts de faim, il ne faudrait avoir que 4 fermes pour 15 agents, car déjà à partir de 5, la situation en terme de bien-être s'améliore.

FIGURE 15 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$

3.4.3 3ème simulation : visualisation 3D d'optimum

La représentation est effectuée en situation de ressource insuffisante. On atteint un bien-être de 1000 et plus, et la courbe semble plus régulière que lors de la journée 1. On a seulement une grosse cassure mais globalement le bien-être est plus souvent supérieur à la journée 1 à nombre de gens et de fermes donnés. Néanmoins, le bien-être semble décroître beaucoup plus vite lorsque le nombre de fermes et de gens augmente par rapport à la journée 2. Donc la journée 2 reste optimale. La limite de ces

représentations est que nous avons considéré la situation au bout de 100 jours sans voir ce qu'il se passe entre temps. Ainsi, il est difficile de voir les inflexions du début repérées sur de nombreuses courbes en 2D. De même, il n'est pas possible de visualiser ce qu'il se passe facilement lorsque l'on modifie la ressource. Mais, notre étude étant axée sur un arbitrage fermes / habitants en terme de ratio et de répartition, cette représentation répond le mieux à notre problématique.

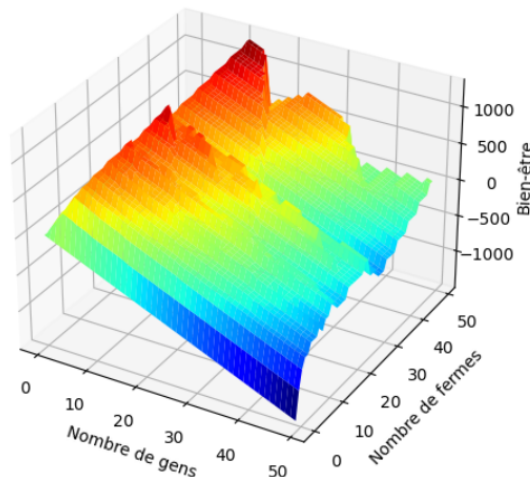


FIGURE 16 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, journée 3, $D=r=C=80$, $t=100$

Avec l'algorithme de calcul d'optimum, on obtient :

$(1308.0, (\text{array}([48, 49], \text{dtype=int32}), \text{array}([12, 12], \text{dtype=int32})))$

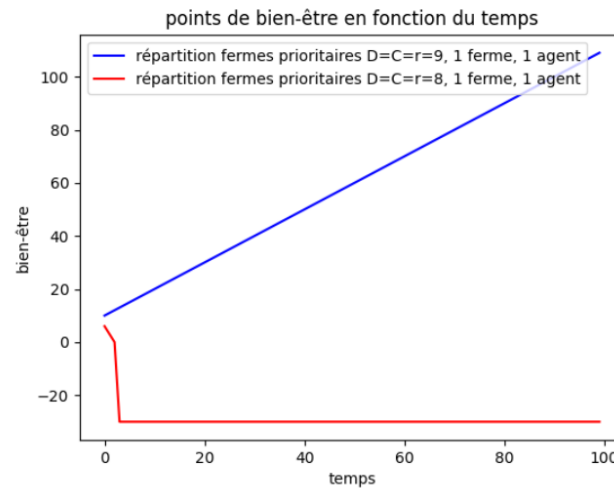
Le bien-être maximal est donc de 1308 à $t = 100$, et celui-ci est atteint pour 48 fermes et 12 agents d'une part ou 49 fermes et 12 agents d'autre part. Le niveau d'optimum est un peu plus faible que pour les autres méthodes.

3.5 Journées de type 4

Rappel : La journée de type 4 est telle que les fermes sont prioritaires pour l'eau sur les individus. Donc elles sont servies en premier, puis le reste d'eau est réparti au premier arrivé premier servi (c'est "l'inverse" de la journée 2)

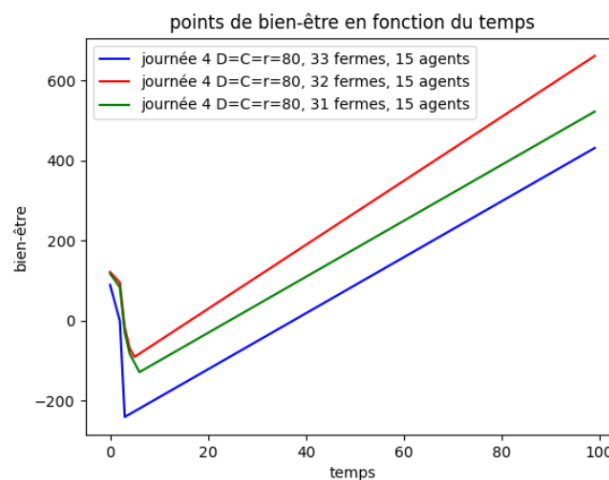
3.5.1 1ère simulation : 1 ferme, 1 habitant

On simule à nouveau pour 1 agent et 1 ferme et on trouve un point de bascule entre 8 et 9 en terme de quantité d'eau. L'habitant meurt à nouveau de faim.

FIGURE 17 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$

3.5.2 2ème simulation : Cas particulier

Ici, on va encore regarder l'influence du nombre de fermes pour $N_{agents} = 15$. Les résultats sont assez similaires à la simulation 3 autour du double du nombre de fermes. Pour 31 et 32 fermes, on observe des morts de soif et un bien-être plus important pour 32 fermes que pour 31. Et dès que l'on passe à 33 fermes on observe un bien-être plus faible et des morts de soif. Donc la fonction qui au nombre de fermes associe le bien-être avec cette répartition toutes choses égales par ailleurs n'est pas monotone. Pour 33 fermes, les morts sont dûes au manque d'eau tandis que pour 32 et 31 fermes, à la nourriture.

FIGURE 18 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$

3.5.3 3ème simulation : visualisation 3d d'optimum

La représentation est effectuée en situation de ressource insuffisante. On atteint un bien-être d'environ 1000, ce qui est bien en-dessous des autres méthodes. Cette journée est donc la moins optimale.

En se mettant en condition d'excès de ressource, on retrouve encore la même surface qu'avec la journée 1.

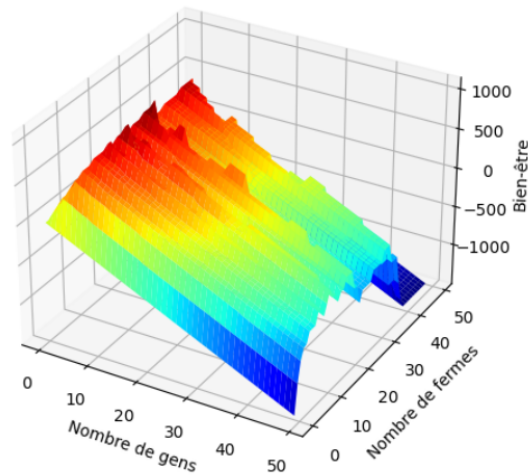


FIGURE 19 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, journée 4, $D=r=C=80$, $t=100$

3.6 Comparaison des journées

Avec les simulations précédentes, on peut regarder pour différentes configurations quelle journée apporte le bien-être le plus important.

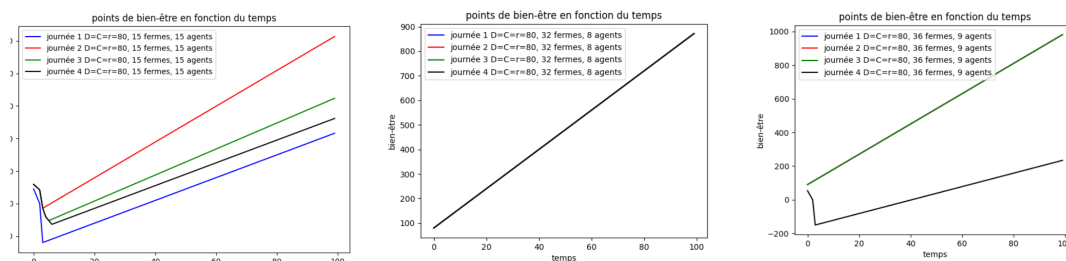


FIGURE 20 – Bien-être en fonction du nombre de fermes et de gens, $t=100$

Sur la première simulation, les agents meurent car n'ont pas assez de nourriture car on a autant de fermes que d'habitants. Sur les deux autres simulations, on observe le point de bascule entre 2 situations qui correspond à ce que l'on avait déjà observé dans les études par journée. Dans la dernière simulation, les agents meurent de soif car on a respecté le ratio 4 fermes pour 1 habitant qui permet de produire assez de nourriture. Avec 8 agents et 32 fermes, on observe une croissance du bien-être et aucun mort tandis que pour 9 agents et 36 fermes, on observe deux tendances. Pour les simulations 1 et 2, on n'a pas de morts tandis que pour les simulations 3 et 4 on a des morts de soif.

4 Conclusion

Ainsi, le modèle nous permet d'effectuer de premières observations, et de tester nos intuitions sur les différentes répartitions de l'eau. Néanmoins, du fait de la simplicité du modèle tel qu'il est implémenté ici, il est difficile de tirer des conclusions ayant un sens économique : nos simulations restent très dépendantes du cadre donné par la structure du code et par chaque choix de variable, ou d'implémentation.

D'autre part, l'utilisation de la programmation orientée objet nous a permis de coder "brique à brique", et de créer et améliorer notre modèle au fur et à mesure. Le code que nous obtenons peut donc être facilement complexifié, pour répondre à d'autres questions. L'un des prolongements possible consisterait par exemple à introduire les usines comme nouveaux agents, en leur donnant un comportement spécifique dans le modèle, et en adaptant les autres agents à cette nouvelle entité.