

TP2 : Livraison spatiale

Systèmes multi-agents

I) Introduction

I.1) Environnement

Question 1 : *Caractérisiez l'environnement du système comme nous l'avons vu en cours. Justifiez.*

L'environnement du système peut être caractérisé comme suit :

- Non accessible : les gestionnaires de planètes ont accès aux informations de l'environnement (l'ensemble des planètes et des items). Cependant, les vaisseaux n'ont accès à ces informations que de manière indirecte par le biais des gestionnaires de planètes et de manière partielle. Tous les agents n'ont donc une connaissance complète et parfaite de l'environnement.
- Non épisodique : le système ne revient pas (volontairement) à son état de départ au cours des simulations.
- Statique : les changements d'états du système ne dépendent que des actions des agents. Ce sont les gestionnaires de planètes qui choisissent de faire transiter un item d'une planète à une autre par le biais d'un certain navire. Ce choix du navire ne peut uniquement être fait si les vaisseaux envoient les informations nécessaires (utilités) aux gestionnaires de planètes.
- Stochastique : les actions des vaisseaux peuvent être expliquées de manière exacte par un certain nombre de facteurs (disponibilité des vaisseaux, fonction d'utilité...). A contrario, les actions des gestionnaires de planètes ne peuvent pas être entièrement expliquées parce qu'on ne connaît pas l'ordre de visite des planètes (tiré aléatoirement à chaque tour). Les actions des agents n'ont donc pas toutes un effet précis sur l'environnement, connu à l'avance.
- Continu : on peut caractériser un état du système par l'ensemble des états des vaisseaux, des *planetManagers* et des items qui se trouvent sur chaque planète. Le nombre total de vaisseaux et d'items est fixe (choisi au début de la simulation). Cependant, les positions des vaisseaux sont continues. L'environnement est donc lui aussi continu.

Question 2 : *La classe Item n'hérite pas de la classe Agent de mesa. En quoi cette entité ne constitue-t-elle pas un agent ?*

Les instances de la classe *Item* sont des quantités échangées au moyen de messages entre les instances des classes *PlanetManager* et *Ship*. Ces objets n'ont pas de comportement propre et

n'agissent pas de manière autonome. Ils ne sont pas non plus réactifs. En effet, ils ne perçoivent pas non plus l'environnement duquel ils font partie. Ils ne peuvent donc pas être considérés comme des agents du système.

II) Interaction et Organisation

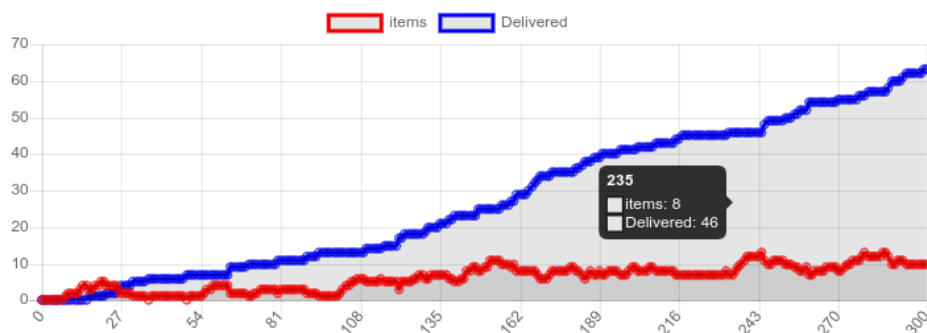
Question 3 : Lancez la simulation. Comment évoluent le rapport entre le nombre de biens présents dans le système et le nombre de biens livrés, en fonction du nombre de planètes et du nombre de vaisseaux. Ajoutez une image de la courbe.

Tout d'abord, nous pouvons faire deux observations théoriques :

- Le nombre d'objets moyen g (espérance) généré dans la simulation à l'étape n vaut $g = \text{PROBA_NEW_ITEM} * p * n$, avec p le nombre de planètes. Il s'agit donc d'une évolution linéaire
- La somme des objets délivrés et des objets en attente est égale au nombre d'objets créés.

Comme lors du premier TP, nous allons proposer différentes simulations dans plusieurs cas. Ces cas seront caractérisés par le nombre de vaisseaux : n_ships et le nombre de planètes : $n_planets$.

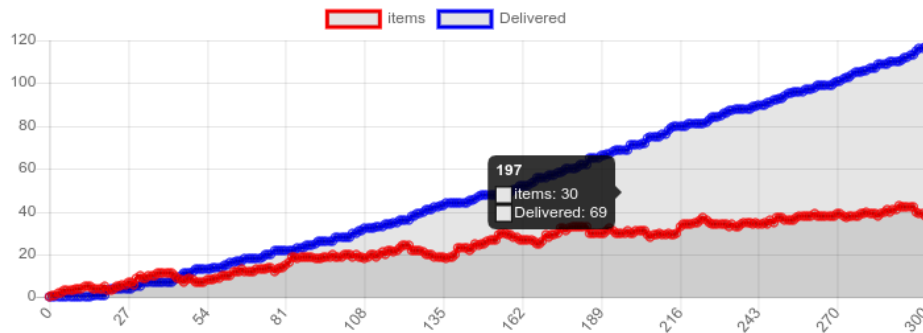
Quand n_ships est très grand devant $n_planets$:



Simulation obtenue avec $n_ships = 30$ et $n_planets = 5$

Le nombre de vaisseaux par planète est ici très important. Il existe donc la plupart du temps au moins un vaisseau en attente sur chaque planète. Dès l'apparition d'un objet, des enchères sont effectuées, puis l'objet est transporté. La latence entre la création de l'objet et sa livraison explique que le nombre d'objets en attente ne soit pas nul. Cependant, le nombre d'objets en attente reste très probablement borné à l'infini.

Quand n_ships est légèrement supérieur à $n_planets$:



Simulation obtenue avec $n_ships = 20$ et $n_planets = 10$

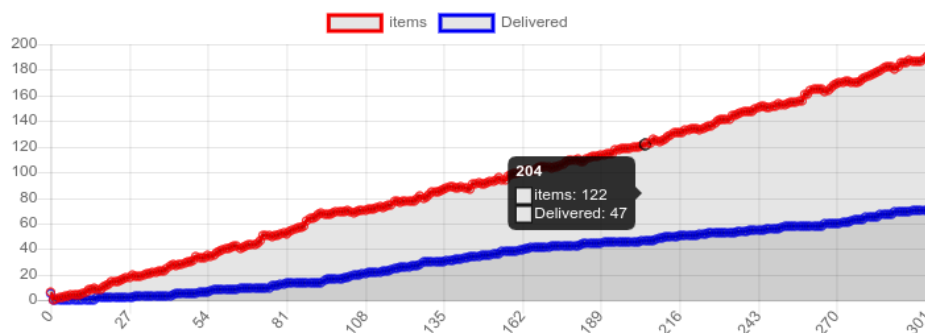
On observe dans ce cas qu'un nombre de vaisseaux légèrement supérieur au nombre de planètes n'est pas suffisant pour compenser complètement les objets générés. Le nombre d'objets sur les planètes continue ainsi d'augmenter linéairement, bien que des objets et des vaisseaux soient présents sur presque toutes les planètes. Notons toutefois que cette augmentation est plus lente que celle le nombre d'objets livrés.

Cela peut s'expliquer par une distribution non optimale des différents vaisseaux. On trouvera ainsi des états du système où les vaisseaux sont amassés sur certaines planètes, alors que d'autres n'en possèdent pas.

De plus, les enchères sont un processus coûteux sur les planètes possédant plusieurs vaisseaux, car elles clouent au sol toute la flotte en l'attente d'une réponse. Le temps d'attente lors de ces enchères modélise donc ici la vitesse de l'information, paramètre bien connu diminuant l'optimalité du système. Accélérer la vitesse de l'information, c'est-à-dire diminuer le temps d'attente permettrait d'améliorer significativement la performance du système.

Pour améliorer les résultats, on pourrait aussi imaginer de doter les vaisseaux de la capacité d'estimer le maximum d'utilité des vaisseaux sur la planète, et de s'en aller vers d'autres planètes s'ils jugent la probabilité d'obtenir l'objet trop faible.

Quand n_ships est égal ou inférieur à $n_planets$:



Simulation obtenue avec $n_ships = 5$ et $n_planets = 20$

Dans ce cas, on observe que la capacité des vaisseaux n'est plus du tout suffisante pour compenser le nombre d'objets créés. En effet, celui-ci est proportionnel au nombre de planètes qui

est ici très élevé. Ainsi, les vaisseaux sont en constante activité, il existe en fait toujours des objets sur les planètes sur lesquelles ils arrivent. Le nombre d'objets livré augmente donc de façon linéaire. Cependant, le nombre d'objets à livrer augmente aussi de façon linéaire et cela avec un coefficient de proportionnalité supérieur.

Question 4 : *De quelle organisation s'agit-il ? Justifiez votre réponse*

L'organisation du système est de type coopérative. L'objectif est la recherche d'efficacité en attribuant des tâches spécifiques à chaque types d'agents. Il existe également une hiérarchie entre les agents : ce sont les gestionnaires de planètes qui choisissent quel navire transportera quel item et vers quelle planète. Quant aux vaisseaux, ce sont eux qui sont en charge d'effectuer la tâche de transport des items. Ils apportent également une information (utilité) aux gestionnaires de planètes à laquelle ces derniers ne pourraient pas avoir accès autrement. Ces informations sont échangées en suivant le *Contract Net Protocol* :

1. Un gestionnaire de planètes lance un *call for proposals*,
2. Les vaisseaux disponibles lui envoient une proposition par message,
3. Le gestionnaire de planètes choisit la meilleure proposition (d'utilité la plus élevée).

En ce sens, on peut dire que les agents coopèrent pour atteindre un but commun : assurer les livraisons de la manière la plus efficace/rapide possible.

III) Environnement dynamique

Question 5 : *Caractérisiez l'environnement du système comme nous l'avons vu en cours. Justifiez.*

Le nouvel environnement du système peut être caractérisé comme suit :

- Non accessible : les gestionnaires de planètes ont accès aux informations de l'environnement (l'ensemble des planètes, des items et l'état des autoroutes). Cependant, les vaisseaux n'ont accès à ces informations que de manière indirecte par le biais des gestionnaires de planètes et de manière partielle. *De plus, les vaisseaux n'ont désormais pas accès à l'état des routes.* Tous les agents n'ont donc une connaissance complète et parfaite de l'environnement.
- Non épisodique : le système ne revient pas (volontairement) à son état de départ au cours des simulations.
- Dynamique : les changements d'états du système ne dépendent plus que des actions des agents. Les autoroutes peuvent changer d'états selon une certaine probabilité. Les agents n'ont donc pas de prise sur les changements d'états du système.
- Stochastique : les actions des agents n'ont pas des effets totalement prévisibles sur l'environnement, puisque les livraisons dépendent de l'ordre de visite des planètes et de l'état des autoroutes qui ne sont pas déterministes.
- Continu : *Les états des routes s'ajoutent donc aux états possibles précédent.* On peut caractériser un état du système par le nombre de vaisseaux et d'items qui se trouvent sur chaque planète, par le nombre de vaisseaux occupés ou disponibles et par l'état dans lequel se trouve chacune des autoroutes. L'environnement reste donc continu.

Question 6 : *Comment les agents s'adaptent-ils à ce changement d'environnement ? À quelle caractéristique fondamentale des agents cela correspond-il ?*

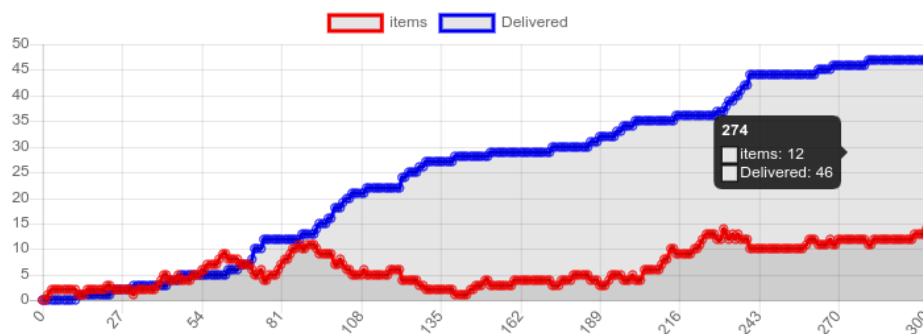
Les agents s'adaptent à ce changement d'environnement. Leur vitesse est en effet modifiée par la route qu'ils empruntent. Celle-ci est modifiée selon la valeur du *speed modifier* de la route empruntée, soit 1, 0.5 ou 0. Ce comportement fait partie des caractéristiques fondamentale des agents : ils ont la capacité d'interagir avec leur environnement et de prendre en compte ses changements.

Cependant, pour que l'adaptation soit plus complète, il serait intéressant de modifier l'algorithme de *pathfinding* utilisé par ces vaisseaux. Il s'agit pour l'instant d'un algorithme de Dijkstra qui ne prend pas en compte l'état actuel des routes. Les vaisseaux pourraient être rendus plus intelligents s'ils s'adaptaient à la vitesse des routes, fournie par exemple par un *bison futé* spatial.

Question 7 : *Lancez la simulation. Quelle différence observez-vous avec la situation précédente ?*

En règle générale, notre intuition nous indique que l'encombrement des routes va réduire l'efficacité du système. En effet, les trajets seront plus longs en règle générale. La vitesse des vaisseaux sera en moyenne de $\frac{1}{3} \cdot 1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \cdot 0 = 0.5$. Le temps nécessaire pour livrer les objets, à partir de l'instant où l'enchère est terminée sera donc doublé en moyenne.

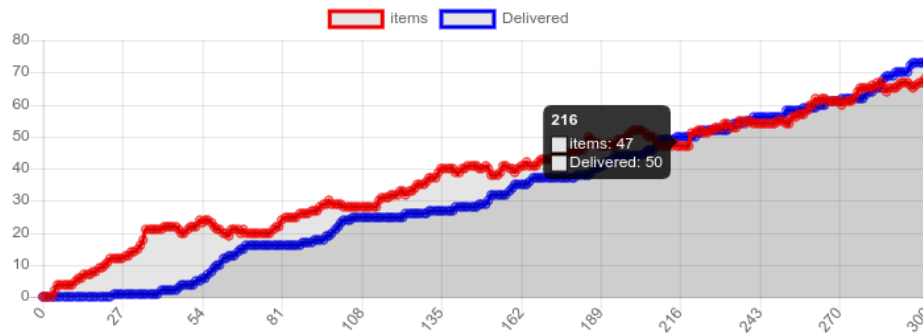
Quand n_ships est très grand devant $n_planets$:



Simulation obtenue avec $n_ships = 30$ et $n_planets = 5$

Dans ce cas, le nombre de vaisseaux reste suffisant malgré le temps de livraison plus important. On observe que le nombre d'objets en attente de livraison augmente davantage mais reste très faible. On peut supposer que celui-ci reste borné à l'infini.

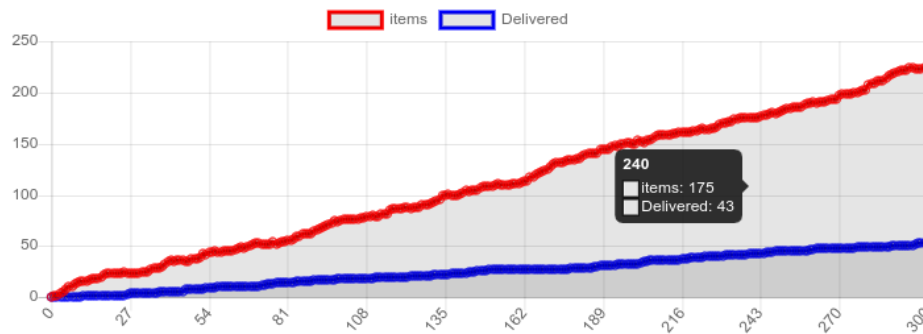
Quand n_ships est légèrement supérieur à $n_planets$:



Simulation obtenue avec $n_ships = 20$ et $n_planets = 10$

Avec des routes en parfait état, le nombre d'objets en attente restait très probablement borné. Ce n'est plus le cas ici. La baisse de productivité des vaisseaux liée aux embouteillages sur les routes a changé l'équilibre du système. Le nombre d'objets en attente va tendre vers l'infini de façon linéaire, tout comme le nombre d'objets livrés.

Quand n_ships est égal ou inférieur à $n_planets$:

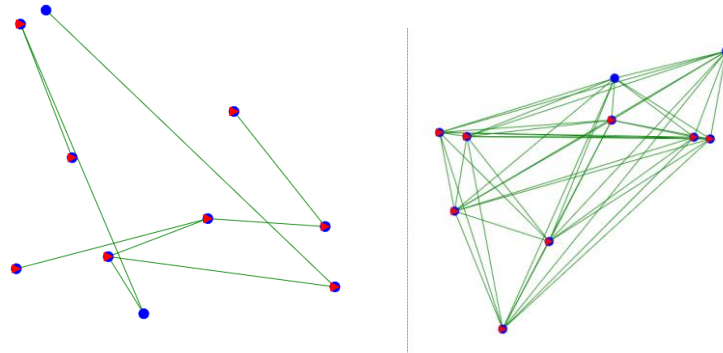


Simulation obtenue avec $n_ships = 5$ et $n_planets = 20$

Comme pour la question 3, le nombre de vaisseaux n'est pas suffisant pour traiter la demande. Le nombre d'objets en attente va tendre vers l'infini de façon linéaire, tout comme le nombre d'objets livrés. Cependant, l'augmentation du nombre d'objets livrés est encore plus faible et est davantage variable.

Question 8 (bonus) : Ajoutez-le `ROAD_BRANCHING_FACTOR` aux paramètres à faire varier et étudier l'influence de ce facteur sur le nombre de biens livrés.

La question bonus a été traitée. Les sections suivantes montrent les résultats obtenus pour deux systèmes avec le même nombre de planètes et le même nombre de vaisseaux, mais un nombre de routes entre les deux différent.



Le système de routes avec un facteur de branchement de 0 et de 1 respectivement

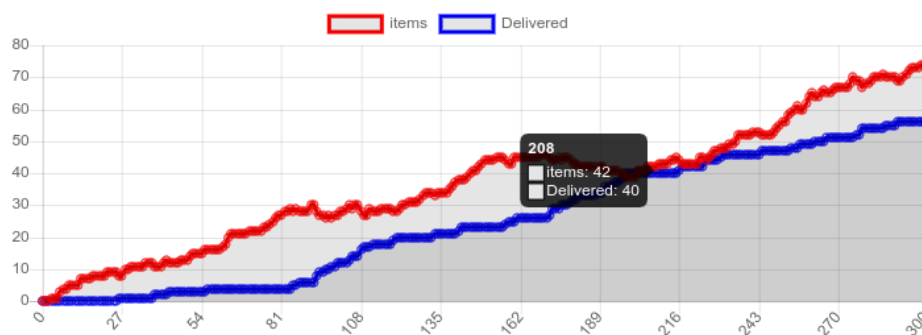
On remarque qu'il existe un unique chemin entre deux planètes lorsque le facteur de branchement vaut 0. A l'inverse, il existe un chemin direct entre toutes les planètes lorsque le facteur de branchement vaut 1.

Intuitivement et avant expérience, on peut imaginer un double effet de ce facteur de branchement :

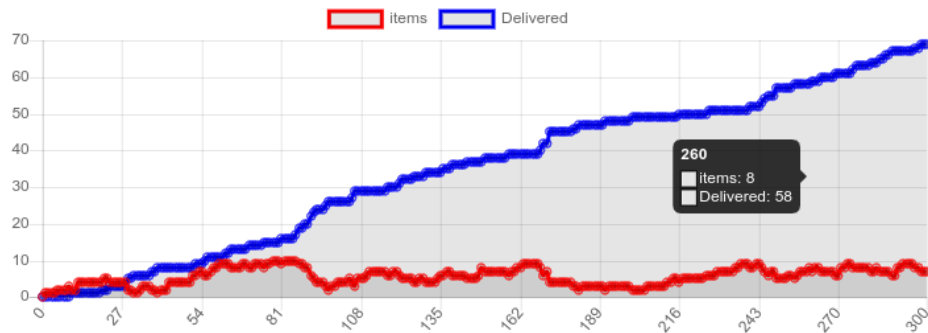
- Tout d'abord, les chemins sont beaucoup courts lorsque le facteur de branchement augmente. En effet, les planètes sont de plus en plus reliées et la probabilité de pouvoir aller en ligne droite augmente rapidement. Il n'est plus nécessaire de faire des détours.
- Ensuite, le réseau est beaucoup moins sensible aux perturbations (encombrements liés aux astéroïdes). En effet, la probabilité que le chemin choisi (le plus court) soit touché diminue fortement quand le facteur de branchement augmente. Celle-ci est en effet proportionnelle au nombre d'arêtes

De par ces arguments, il semblerait logique de dire que l'efficacité du système diminue lorsque le facteur tend vers 0. Au contraire, elle devrait beaucoup augmenter lorsque le facteur tend vers 1. Les planètes sont alors reliées en très peu d'arêtes (le chemin est très direct).

Quand n_{ships} est très grand devant $n_{planets}$:



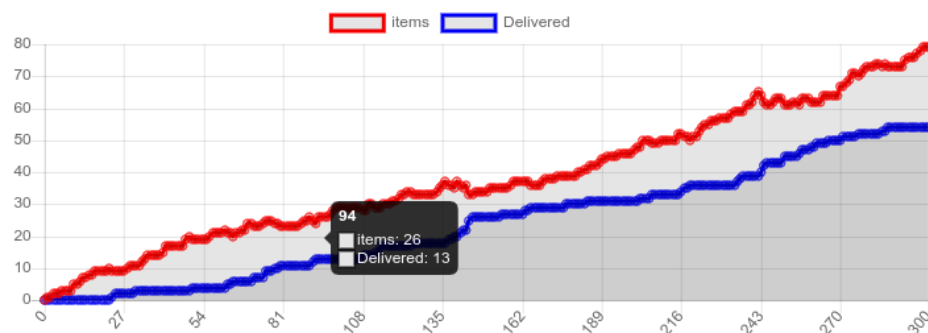
Simulation obtenue avec $n_{ships} = 30$ et $n_{planets} = 5$ avec un facteur 0



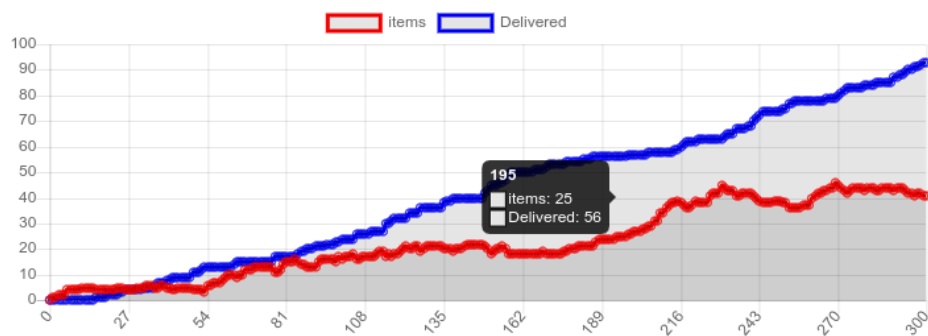
Simulation obtenue avec $n_ships = 30$ et $n_planets = 5$ avec un facteur 1

Comme prévu, on remarque que l'efficacité du système dans le cas du facteur de branchement nul est très dégradée par rapport à celle obtenue dans la question 5. Le nombre d'objets en attente augmente désormais linéairement avec le nombre d'étapes. Les 30 vaisseaux ne sont plus suffisants pour compenser la perte de vitesse du trafic. Dans le cas du facteur unitaire, l'efficacité du système est encore renforcée. Le nombre d'objets en attente est réduit à une valeur très faible liée au temps des enchères.

Quand n_ships est légèrement supérieur à $n_planets$:



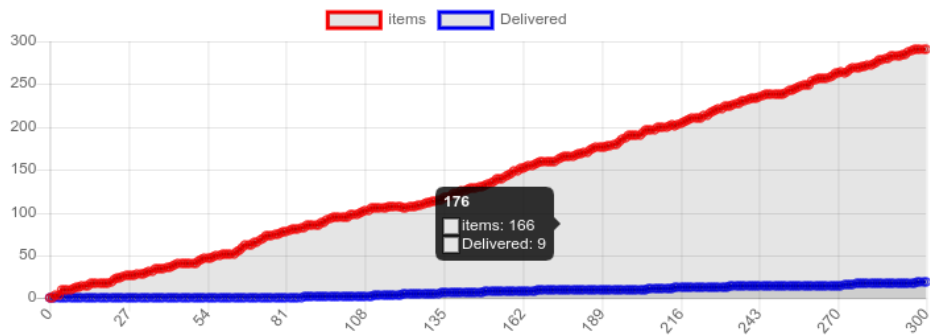
Simulation obtenue avec $n_ships = 20$ et $n_planets = 10$ avec un facteur 0



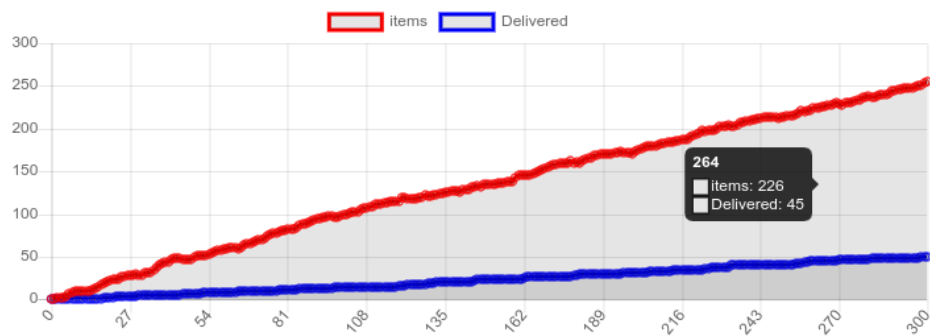
Simulation obtenue avec $n_ships = 20$ et $n_planets = 10$ avec un facteur 1

Dans ce cas, on observe globalement le même comportement. L'augmentation du nombre d'objets en attente est même désormais plus rapide que celle du nombre d'objets livrés dans le cas du facteur nul. Dans le cas du facteur unitaire, les résultats semblent bons, bien qu'inférieurs à ceux obtenus dans la question 3.

Quand n_{ships} est égal ou inférieur à $n_{planets}$:



Simulation obtenue avec $n_{ships} = 5$ et $n_{planets} = 20$ avec un facteur 0



Simulation obtenue avec $n_{ships} = 5$ et $n_{planets} = 20$ avec un facteur 1

Comme dans le cas précédent, les résultats obtenus avec un facteur 1 sont meilleurs que ceux obtenus avec un facteur 0. Pas de miracle en revanche pour l'efficacité du système qui reste très insuffisante ! Il faut former davantage de pilotes, augmenter le nombre d'objets pouvant être transportés par vaisseau, ou trouver d'autres moyens de transport...