

# Rapport IA systèmes complexes

Réalisé par Thomas FORET et Josué SOUBEYRAN

## Modèle proposé

L'objectif de ce modèle est de représenter un essaim de robot luttant contre la propagation d'un incendie en sauvant les humains qu'ils trouvent dans un terrain inconnu.

### Représentation

Pour représenter un incendie, nous utilisons une grille 2D de cases possédant des informations sur leur état. Les cases peuvent être saines, en feu ou brûlées, ce qui en terme de couleur donne dans l'ordre : blanche, rouge, noire. Les robots sont représentés par des points bleus. On considère que si un humain a été trouvé sur une case non brûlée par un robot, il est sauvé et le point le représentant passe de la couleur orange à verte, sinon il est mort et sa couleur devient rouge. La mise à jour de l'incendie se fait tous les 10 temps.

## Modèle d'incendie

### Propagation

Les départs de feu sont placés aléatoirement sur la première grille. Leur nombre est choisi paramètre dans la variable "nbFireStart" du fichier Main.java. Les cases en feu sont représentées par des cellules rouges. Chaque case en feu va ensuite se propager ou non sur les 4 cellules adjacentes (celles du dessus, du dessous, de droite et de gauche). Pour chacune des cases adjacentes, une probabilité de 50% (par défaut) que le feu se propage sur elle est fixé (mais paramétrable dans le main). Évidemment, une case entourée par plusieurs cases en feu verra ce calcul effectué pour chacune des cases la menaçant, augmentant ses chances de brûler à son tour.

### Extinction naturelle

Un feu peut ensuite consumer intégralement la case sur laquelle il est. Les cases ainsi brûlées deviennent noires. La probabilité qu'une case se consume entièrement est de 30% (par défaut). Une fois dans cet état, la case ne peut plus propager de feu à ses voisines, mais si un humain y était présent, il est considéré comme mort (le point orange devient rouge).

### Les facteurs influençant le feu

Les parts d'aléatoire de la propagation et de la consommation totale d'une case représentent les facteurs influençant la propagation du feu tels que la densité et la

distribution des éléments inflammables (comme les végétaux), la topographie, et la météo (présence de vent ou de pluie par exemple).

## Modèle de robots

### Communication

Les robots sont indépendants les uns des autres. Ils n'ont aucune communication entre eux et mettent à jour leur carte individuelle et celles de la base à chaque action. À chaque fois qu'ils partent de la base, ils récupèrent la dernière version de la carte de la base et prennent une décision de chemin à prendre.

### Déplacement et énergie

Quand un robot est à la base, ils se rechargent de 10 énergies par temps, il part quand il atteint 30 énergies (équivalent à 3 secondes d'activités). Hors de la base, chaque action (une action par temps) lui coûte une énergie. La grille étant en 2D, les robots se déplacent de case en case, mais pas en diagonales. Ils se déplacent sur un chemin défini par leur objectif et s'ils n'en ont plus, ils trouvent un nouvel objectif en fonction de leur carte individuelle. S'ils ont juste assez d'énergie pour rentrer, ils rentrent et mettent à jour la carte sur le trajet. S'il croise un feu et qu'ils ont de l'eau, ils s'arrêtent pour l'éteindre puis trouvent un nouvel objectif.

### Algorithme de décision d'objectif

Les robots sélectionnent toutes les cases qu'ils peuvent atteindre, puis lâcher de l'eau dessus, puis rentrer à la base sans manquer d'énergie.

Ensuite, ils sélectionnent les cases en feu connues dans cette espace et conservent les X plus proches (actuellement X est paramétré comme étant égal à  $\frac{1}{4}$  du nombre de robots). Ce qui leur donne une petite liste d'objectifs possibles.

S'il n'y a pas de feu connu, ils sélectionnent les X cases avec le plus haut score (actuellement X est paramétré comme étant égal à  $\frac{1}{2}$  du nombre de robots). Selon une fonction score décrite plus bas.

Puis le robot sélectionne un des objectifs au hasard de la liste et trace un chemin pour s'y rendre. Pour tracer un chemin, on fait décroître aléatoirement l'espace vertical ou horizontal qui sépare le robot de son objectif jusqu'à l'atteindre pour que les chemins empruntés soit plus diverses et que la carte soit mise à jour plus régulièrement.

### Fonction de score & pondération de carte

La fonction de score pour une case est : **duration \* fireProximity / distance** .

**distance** est la distance euclidienne entre le robot et la case cible.

**duration** est l'âge de la dernière mise à jour de cette case (toutes incrémentées à chaque tour)

**fireProximity** est un poids attribué de manière décroissante à une case que l'on a signalée en feu.

La fonction de poids est ("probabilité de propagation du feu" \* 3 / "distance au feu") + 1.

Cette fonction de score permet d'orienter les robots principalement vers les feux sans sous-coter les espaces peu ou pas connus de la carte. L'augmentation du poids de *duration* favorise l'exploration et le sauvetage d'humains et celle de *fireProximity* favorise l'extinction d'incendies, dépendant des objectifs de l'essaim, ces poids pourraient être réévalués au lancement.

### Gestion de l'eau et du feu

Les robots partent de la base avec 20 unités d'eau (équivalent à deux secondes de déploiement). Quand ils trouvent un feu, le feu à 10 unités de feu. Les robots lâchent une unité d'eau dessus pour éteindre deux unités de feu (donc le feu est éteint en 5 temps).

Si les robots n'ont plus d'eau, ils continuent à explorer jusqu'à arriver à court d'énergie.

## Scénarios de tests

### Corpus de scénarios choisis et méthode d'évaluation

Nous utilisons un scénario médian des performances de l'ordinateur et des robots comme scénario par défaut, celui-ci est le suivant :

```
int defaultNbRobots = 25;
int defaultSleepTime = 100;
double defaultPropagationProb = 0.5;
double defaultExtinctionProb = 0.3;
int defaultGridSize = 25;
int defaultNbHumans = 20;
int defaultNbFireStart = 3;
```

Nous n'avons pas fait varier les paramètres *defaultSleepTime* qui n'est utile que pour de la visualisation, les paramètres de probabilités dont nous tenons les valeurs de l'article en annexe. Ni le paramètre du nombre d'humains qui permet une mesure stable sur tous les essais.

Ainsi, nous avons choisi pour ces scénarios de tests de faire varier sous deux autres valeurs les 3 paramètres restants afin de brièvement se rendre compte de l'impact de chacun d'eux.

Nous tenons néanmoins à rappeler que ces tests sont uniquement basés sur des scénarios et sont clairement insuffisants pour établir quoi que ce soit sur l'efficacité du modèle proposé, ce qui n'est pas l'objectif. Ils permettent simplement d'en comprendre les effets principaux.

Nous avons donc choisis ces 6 modifications:

- passer le paramètre nbRobots de 25 à 15 puis à 50.
- passer le paramètre nbFireStarts de 3 à 2 puis à 4.
- passer le paramètre gridSize de 25 à 30 puis à 50.

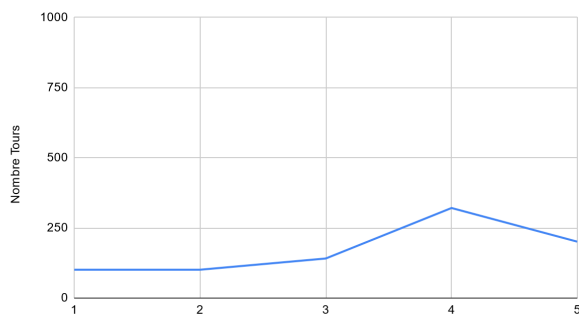
Les résultats pour chacun d'eux sont présents dans les pages suivantes (1 par page), afin d'évaluer les performances, nous avons gardés 3 statistiques:

- le nombre de tours avant extinction de tout les feux (durée)
- le pourcentage de cases sauvées (efficacité de lutte contre l'incendie)
- le pourcentage d'humains sauvés (efficacité de sauvetage)

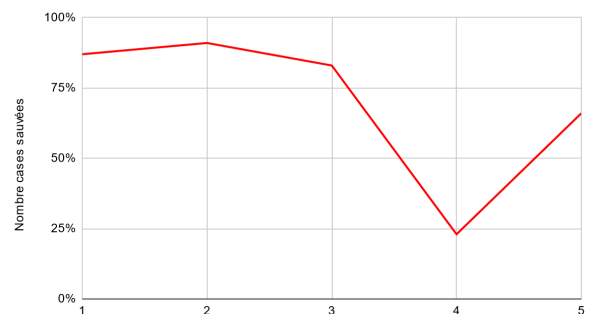
## Default

Test	Nombre Tours	Nombre de cases sauvées	Nombre d'humains sauvés
1	101	544/624 (87%)	17/20 (85%)
2	101	568/624 (91%)	20/20 (100%)
3	141	524/624 (83%)	18/20 (90%)
4	321	141/624 (23%)	14/20 (70%)
5	201	411/624 (66%)	18/20 (90%)
Moyennes	173	437,6 (70%)	17,4 (87%)

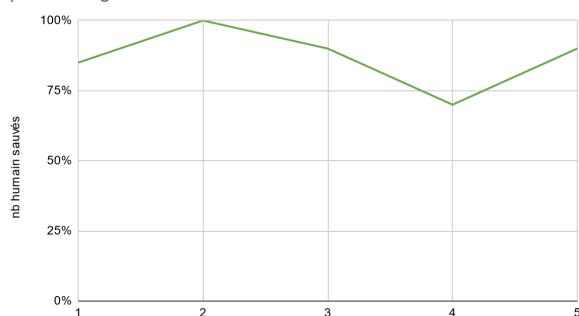
Nombre Tours



pourcentage cases sauvées



pourcentage d'humains sauvés



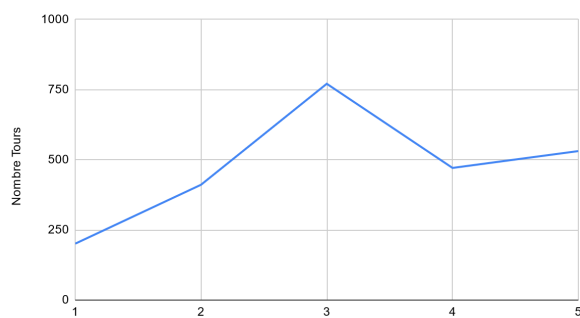
Les résultats sont plutôt bons, le pourcentage d'humains sauvés est très élevé, le fruit d'une exploration vaste et rapide et la gestion du feu a été

plutôt efficace sauf dans le cas 4. Les résultats sont instables dû aux multiples aléas (propagation, extinction, déplacement, emplacement de départs des feux...) de ce fait on ne peut garantir l'efficacité des robots avec des déplacements si aveugles.

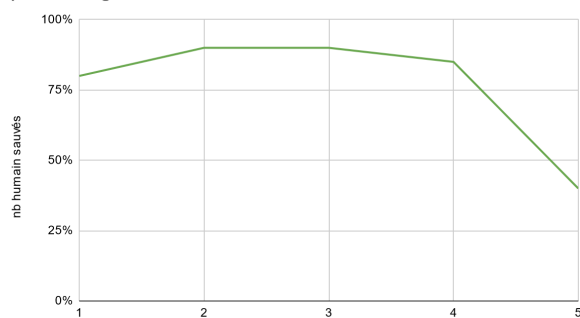
nbRobots=15

Test	Nombre Tours	Nombre de cases sauvées	Nombre d'humains sauvés
1	201	437/624 (70%)	16/20 (80%)
2	411	323/624 (52%)	18/20 (90%)
3	771	60/624 (10%)	18/20 (90%)
4	471	24/624 (4%)	17/20 (85%)
5	531	50/624 (8%)	18/20 (40%)
Moyennes	477	178,8 (29%)	17,4 (87%)

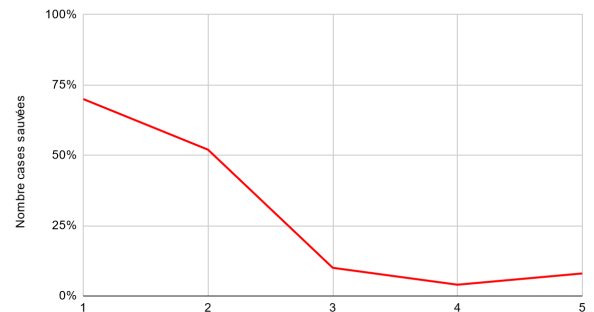
Nombre Tours



pourcentage d'humains sauvés



pourcentage cases sauvées

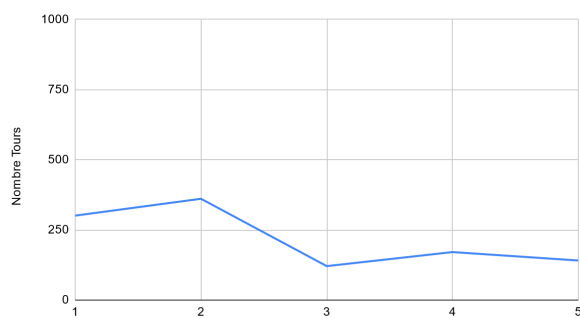


Le nombre de tours a significativement augmenté (plus que doublé en moyenne), dans le dernier cas les humains ont été très peu sauvés (<50%) et dans la plupart des cas plus de la moitié de la carte a brûlé, preuve que la force de ces robots réside dans le nombre.

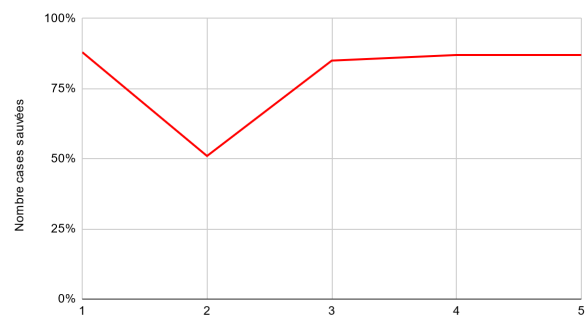
nbRobots=50

Test	Nombre Tours	Nombre de cases sauvées	Nombre d'humains sauvés
1	301	551/624 (88%)	19/20 (95%)
2	361	316/624 (51%)	15/20 (75%)
3	121	530/624 (85%)	17/20 (85%)
4	171	541/624 (87%)	20/20 (100%)
5	141	544/624 (87%)	18/20 (90%)
Moyennes	219	496,4 (80%)	17,8 (89%)

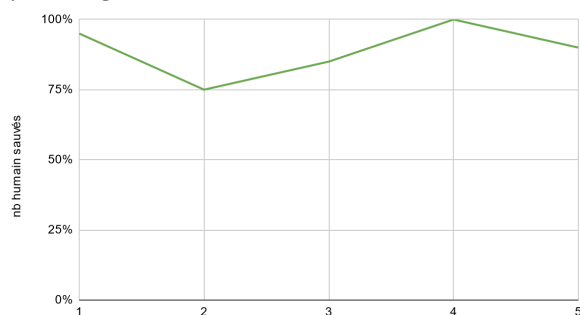
Nombre Tours



pourcentage cases sauvées



pourcentage d'humains sauvés



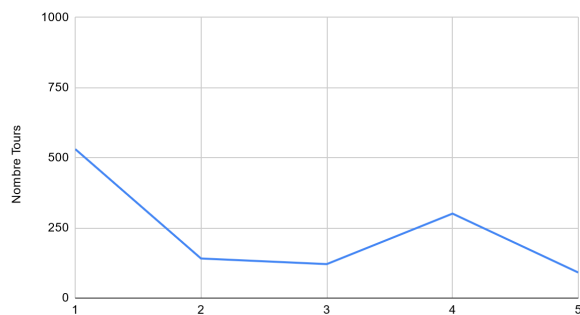
Le nombre de tours est plutôt faible, les humains sauvés à au moins 75%, les cases sauvées a plus de 75% dans 4 sur 5 cas. Les robots sont très efficaces et assez à l'aise dans cette configuration.



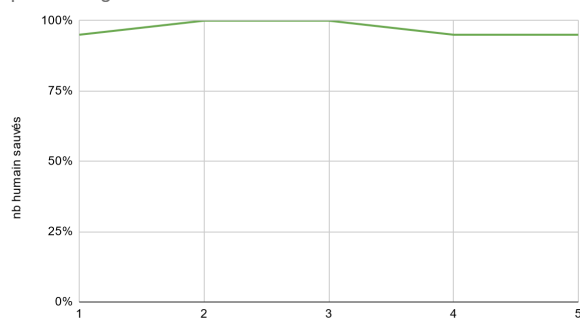
nbFireStarts=2

Test	Nombre Tours	Nombre de cases sauvées	Nombre d'humains sauvés
1	531	253/624 (41%)	19/20 (95%)
2	141	542/624 (87%)	20/20 (100%)
3	121	583/624 (93%)	20/20 (100%)
4	301	533/624 (85%)	19/20 (95%)
5	91	587/624 (94%)	19/20 (95%)
Moyennes	237	499,6 (80%)	19,4 (97%)

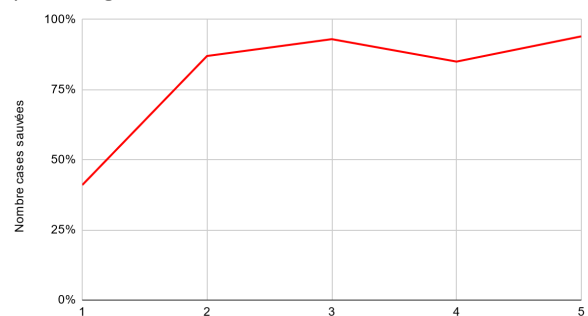
Nombre Tours



pourcentage d'humains sauvés



pourcentage cases sauvées

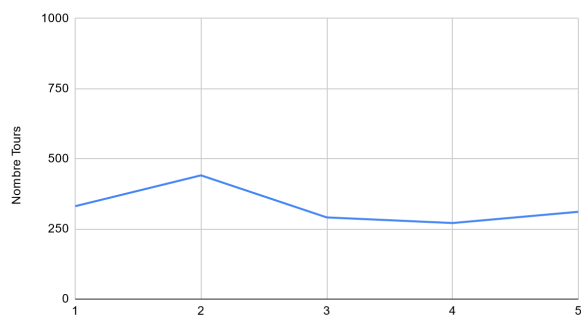


Les meilleurs scores de tous les essais, les tours sont bas, les pourcentages élevées, à part le premier cas où seulement 41% des cases ont été sauvées mais même dans ce cas les robots ont eu le temps de sauver 95% des humains. Le territoire a pu être vite explorée vu qu'il y avait moins de feu à gérer sur le terrain.

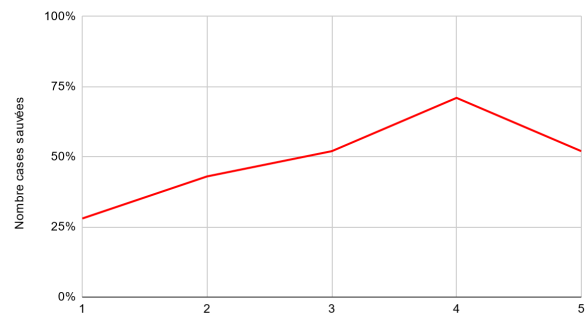
nbfireStarts=4

Test	Nombre Tours	Nombre de cases sauvées	Nombre d'humains sauvés
1	331	177/624 (28%)	15/20 (75%)
2	441	267/624 (43%)	16/20 (80%)
3	291	322/624 (52%)	17/20 (85%)
4	271	442/624 (71%)	18/20 (90%)
5	311	326/624 (52%)	19/20 (95%)
Moyennes	329	306,8 (49%)	17 (85%)

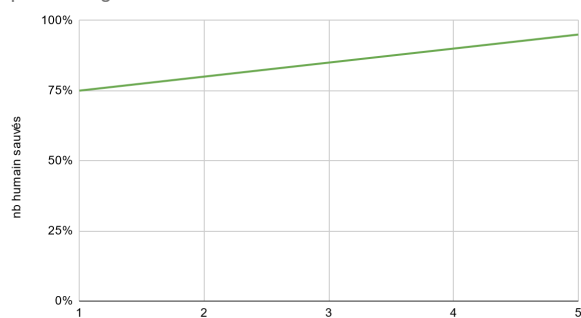
Nombre Tours



pourcentage cases sauvées



pourcentage d'humains sauvés

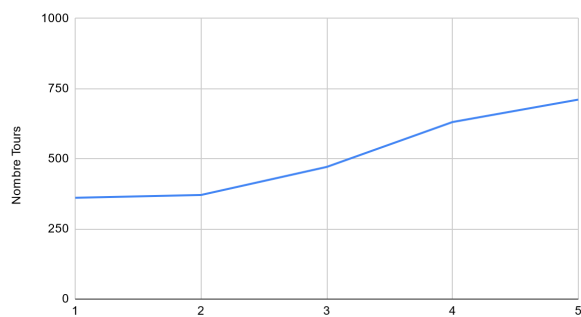


Bien que les humains aient globalement été bien sauvés (<75% dans tout les cas), les pourcentages de cases sauvées sont bas et les robots n'ont pas su gérer le feu.

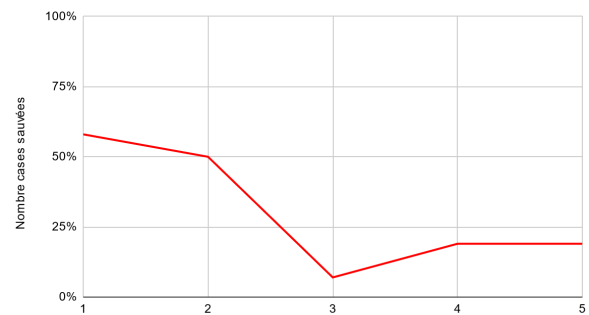
gridSize=30

Test	Nombre Tours	Nombre cases sauvées	nb humain sauvés
1	361	519/899 (58%)	16/20 (80%)
2	371	453/899 (50%)	17/20 (85%)
3	471	63/899 (7%)	19/20 (95%)
4	631	175/899 (19%)	16/20 (80%)
5	711	173/899 (19%)	19/20 (95%)
Moyennes	509	276,6 (31%)	17,4 (87%)

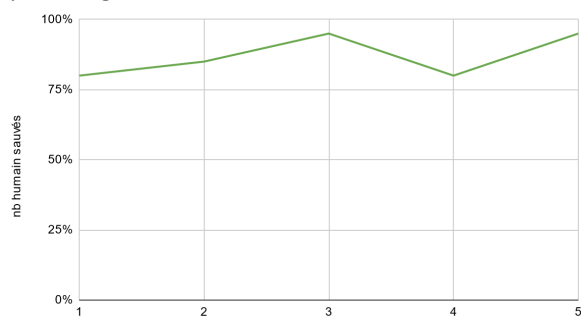
Nombre Tours



pourcentage cases sauvées



pourcentage d'humains sauvés

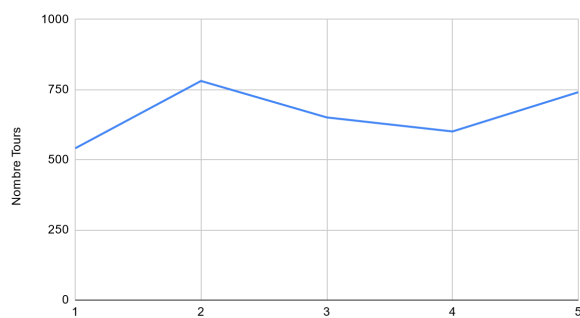


Des résultats similaires aux changements de paramètres précédents, le pourcentage d'humains sauvés est élevé mais le pourcentage de cases sauvées drastiquement bas.

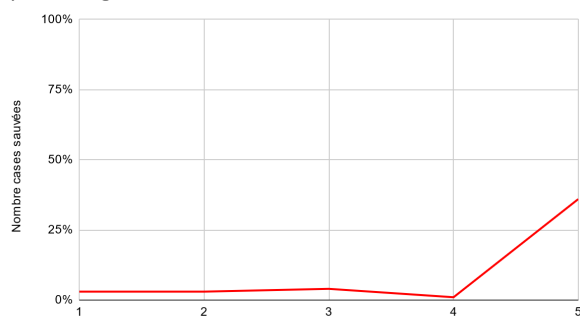
gridSize=40

Test	Nombre Tours	Nombre cases sauvées	nb humain sauvés
1	541	50/1599 (3%)	10/20 (50%)
2	781	51/1599 (3%)	13/20 (65%)
3	651	71/1599 (4%)	14/20 (70%)
4	601	18/1599 (1%)	10/20 (50%)
5	741	579/1599 (36%)	17/20 (85%)
Moyennes	663	153,8/1599 (10%)	12,8/20 (64%)

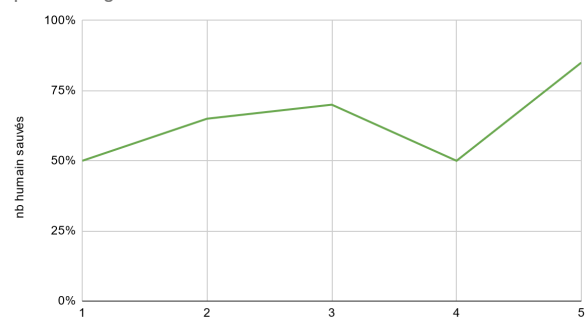
Nombre Tours



pourcentage cases sauvées



pourcentage d'humains sauvés



Sûrement, les pires résultats, dans la plupart des cas le pourcentage de cases sauvées est inférieur à 5%, les humains sont sauvés en moyenne au deux tiers et le nombre de tours est très élevé (environ 4 fois plus que dans la simulation par défaut).

## Résultats

Vous pouvez voir les résultats généraux dans la page ci-après.

### Nombre de tours

La durée d'extinction du feu varie principalement avec la taille de la grille, puis avec le nombre de robots, puis avec le nombre de feux. Les nombre de détours finit par décoller quand le feu n'est pas rapidement contrôlé ou partiellement stoppé.

### Cases Sauvées

Encore une fois, la grille est le premier facteur d'échecs et le nombre de robots et le nombre de feux arrivent dans un second temps, Les écarts sont assez colossaux entre les différents essais (de l'ordre de 50 points), ce qui indique que de paramétrés correctement les essais impliquent énormément les résultats.

### Humains sauvés

Le nombre de robots où le nombre de feux ne semblent pas beaucoup impactés, le nombre de survivants, en revanche quand la grille augmente, ce nombre diminue rapidement. Les robots ont du temps pour explorer la grille et sauvés des humains avant de découvrir le premier feu, mais si les feux sont trop gros (cf. section précédente), ils n'ont plus le temps de quadriller la grille et de sauver plus d'humains.

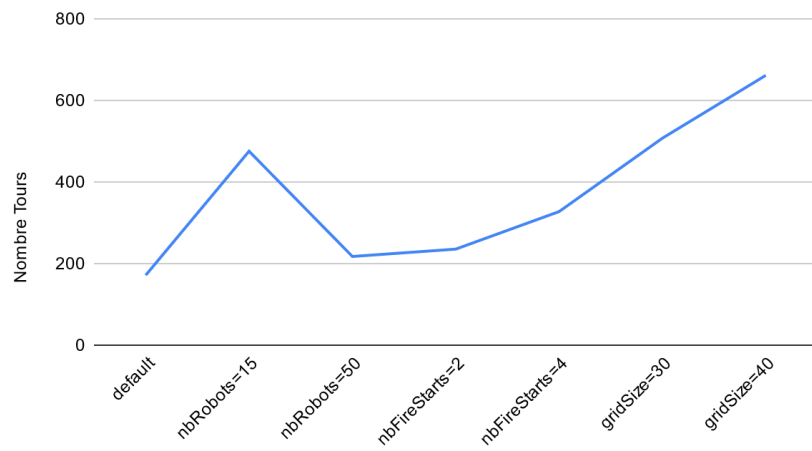
### Conclusion

Les robots peuvent se montrer efficaces pour la gestion d'incendies et le sauvetage des humains sur les lieux de l'incendie. Cependant, ils paraissent perdre rapidement en efficacité avec l'accroissement du terrain d'action et en fonction du nombre de feux au départ. Augmenter leur nombre jusqu'à obtenir une performance acceptable est toujours une solution, mais pas forcément efficace vis-à-vis du problème. Il serait intéressant de savoir combien de robots, faut-il pour des performances fixés au fur et à mesure que les autres paramètres évoluent afin de savoir si l'accroissement du besoin en robot reste réaliste.

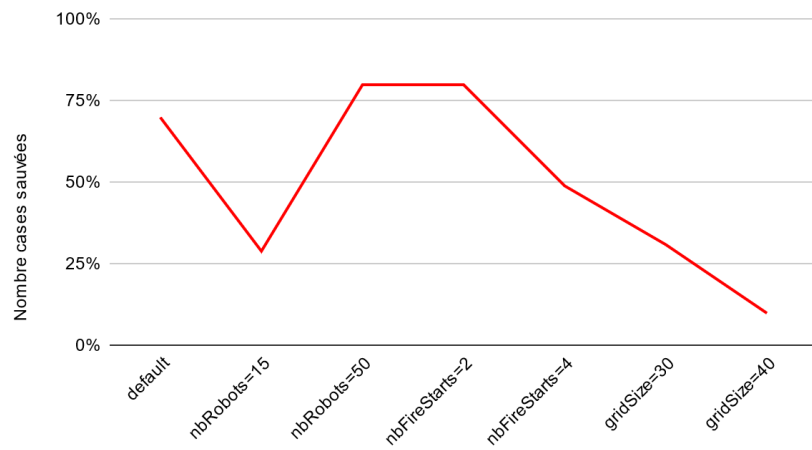
Les robots sont assez équilibrés et se répartissent assez bien les deux tâches (extinction d'incendies et exploration/sauvetage), ce qui les rend assez polyvalents. Cependant, il serait judicieux de les paramétrer de manière à favoriser une des deux tâches dépendant de la situation initiale si elle peut être connue.

Enfin, cela demanderait certainement beaucoup plus d'essais, mais les coefficients dans les algorithmes de décisions des robots peuvent facilement être optimisés d'avantage.

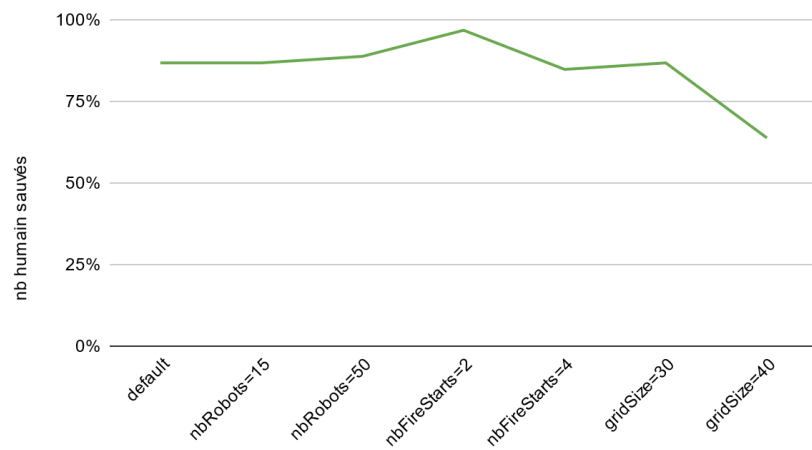
Nombre de tours



Pourcentage de cases sauvées



Pourcentage d'humains sauvés



## Annexe

### Référence

[1] Élise FOULATIER, Simulation de la propagation d'un feu de forêt, 22/10/2021