


Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

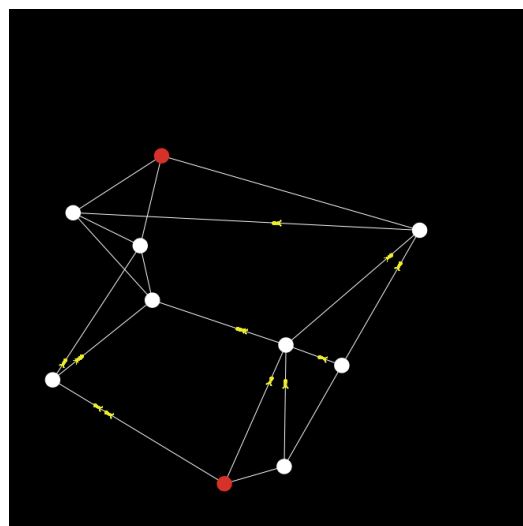
Domaine d'application : Ecologie, Dynamique des populations

Spécificité pédagogique :

Niveau du public visé : Intermédiaire


HUNTRAPS

Auteurs : Barge O., Ferrak I., Kermorvant C., Le Gal A., , Tshilenge J.C.



Plan de la fiche

A - Définition du modèle.....	2
B - Contextualisation du modèle.....	2
C - Fonctionnement du modèle.....	2
D - Exploration du modèle.....	2
1.Manipulation du modèle.....	2
2.Exploration de l'espace des paramètres (optionnel).....	2
E - Conclusion.....	2
F - Perspectives (Optionnel).....	2
G - Bibliographie.....	2

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

La problématique de ce mini-projet a été initiée dans le cadre des réflexions d'Olivier Barge (laboratoire Archéorient) concernant les « desert kites ». Les kites sont des structures de murets et constituées de pierres empilées, visibles depuis les airs et que l'on retrouve dans différentes zones du Proche et Moyen-Orient. Ils sont de taille variable mais dépassent généralement plusieurs centaines de mètres de longueur, avec une forme distincte représentant le plus souvent une nasse.


De nombreuses questions se posent concernant la fonction et l'utilisation de ces kites, car les indices sont peu nombreux. Deux hypothèses sont évoquées :

- une utilisation dans un cadre pastoral pour garder des troupeaux
- une fonction cynégétique de piège de chasse, qui paraît à l'heure actuelle plus probable

En effet, les données écologiques suggèrent que ces kites se trouvaient sur les voies de passage de troupeaux de mammifères en migration, telles que certaines espèces de gazelles aujourd'hui éteintes. Ces kites, dont on a repéré qu'elles comprenaient souvent une sorte d'entonnoir aboutissant sur une nasse cachée par une rupture de pente, auraient donc pu servir par leurs murets à « conduire » les troupeaux vers un endroit fermé où les chasseurs les attendaient pour les abattre.

Cette utilisation reste néanmoins hypothétique, et beaucoup de questions se posent sur l'efficacité de ces pièges supposés, surtout compte-tenu du coût humain nécessaire pour ériger des structures d'une telle taille. De la même façon, la question est posée de savoir si cette stratégie de chasse a pu jouer un rôle dans l'extinction des troupeaux de gazelle dans ces régions depuis quelques siècles.

Notre modèle avait ainsi pour ambition de tester l'efficacité de différentes stratégies de chasse basées sur l'utilisation de pièges permettant d'attraper des proies en mouvement, en rapportant ces captures au coût relatif à ces stratégies et à leur impact sur la résilience des populations de proies à long-terme.

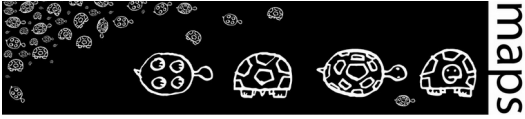
Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

A - Définition du modèle

Nous avons utilisé pour ce problème une modélisation multi-agents. Celui-ci permet de représenter spatialement, et dynamiquement, différentes entités :

- Un espace de migration, constitué d'un point de départ et d'un point d'arrivée, reliés entre eux par un ensemble de chemins que peuvent emprunter les proies.
- Des pièges, qui sont disposés par les chasseurs sur les chemins que peuvent emprunter les proies. Cette disposition ainsi que le comportement des pièges face aux proies dépend de la stratégie de chasse considérée.
- Des proies, qui réalisent un cycle de migration en se rendant depuis le point de départ au point d'arrivée de l'espace de migration, par l'emprunt des chemins reliant ces deux lieux. Elles peuvent être capturées lors de leur passage sur un piège. Chaque individu est représenté et son comportement (choix d'un chemin, attitude face au piège) est modélisée. En revanche, l'on pourrait tenir compte aussi de l'échelle des groupes d'individu, pour introduire des effets de « grégarité » dans les comportements individuels, ainsi que de l'échelle du troupeau entier, afin de tester l'influence des stratégies de chasse sur la résilience de la population.

Le modèle permet ainsi de simuler plusieurs cycles de migration : une fois que le troupeau initial a parcouru le trajet entre les points de départ et d'arrivée, on relance un nouveau cycle en plaçant à nouveau le troupeau sur le point de départ. A ce nouveau cycle, on détermine la taille du troupeau et la nature des individus qui le composent grâce aux informations de capture du cycle précédent et aux caractéristiques biologiques (taux de croissance entre deux cycles) de l'espèce de proies considérée. A chaque cycle, l'efficacité de la stratégie de chasse peut être donc déterminée, et au bout d'un nombre de cycles fixé son impact sur la résilience de la population de proies également. Ce modèle doit donc permettre d'évaluer les compromis entre efficacité de la chasse et effort des chasseurs, ainsi qu'entre efficacité de capture et résilience de la population de proies.

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

B - Contextualisation du modèle

Les caractéristiques de la situation que nous cherchons à décrire :

- Un grand nombre d'individus (les proies) avec chacune un comportement propre
- La nécessité de tenir compte d'une échelle individuelle comme d'une échelle plus globale en fonction de nos objectifs
- La nécessité d'intégrer un grand nombre de règles, pour décrire les comportements des proies mais également pour représenter les stratégies de chasse,

impliquent de modéliser notre situation par un système complexe et de recourir au multi-agents pour tenir compte de ces caractéristiques.

Quelles sont les différentes échelles et entités représentées ?


Comme indiqué en A, nous avons besoin de 3 types d'entités :

- 1) Un environnement spatialisé permettant le déplacement des proies

Nous avons choisi une représentation pouvant s'adapter à un grand nombre de situations de déplacement, à savoir un graphe orienté, constitué d'un point de départ et d'arrivée, ainsi que d'un nombre fixé et modifiable de points intermédiaires, reliés entre eux par des liens.

Nous avons considéré un phénomène de percolation pour le déplacement des proies entre les points de départ et d'arrivée, c'est-à-dire que quel que soit le chemin emprunté, leur direction est forcément orientée dans le sens du point d'arrivée (pas de retour en arrière possible).

Ce graphe est fermé et tous les chemins possibles mènent du point de départ au point d'arrivée (pas de blocage possible).

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

Il importe donc pour modéliser cet environnement de fixer et de générer :

- le nombre de points intermédiaires
- le nombre de liens désirés entre les points

Puis de s'assurer que tous les chemins peuvent bien être empruntés pour parvenir au point d'arrivée. Pour cela, nous avons attribué des coordonnées aux différents points, le point de départ étant le plus « haut » et le point d'arrivée le plus « bas », et nous avons relié tous les points les plus proches du point d'arrivée à celui-ci.

Ces différents paramètres permettent de caractériser la complexité spatiale de l'environnement dans lequel évoluent les proies. Cette variable complexité, qui inclut donc différents aspects, pourrait être testée afin d'analyser son éventuelle influence sur la dynamique globale du modèle.

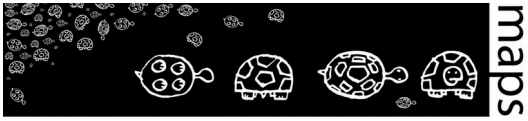
La taille de l'environnement peut être définie par le modélisateur, afin de considérer une échelle avec la biologie de l'espèce considérée, de l'ordre de quelques dizaines ou centaines de kilomètres pour des troupes de gazelles.

Les points intermédiaires peuvent être perçus comme des arrêts des proies, des lieux où elles passent du temps, par exemple pour se nourrir ou se ressourcer. Il serait possible dans un second temps de considérer une hétérogénéité entre ces points et donc un phénomène de sélection des points et des chemins empruntés.

Les liens sont eux vus comme des corridors de passage. C'est sur ces liens que les proies sont en déplacement, pendant lequel elles pourront être capturées.

2) Générer des proies et leur attribuer les comportements importants pour notre étude

Nous avons choisi de représenter individuellement et physiquement les proies, qui se déplacent sur le graphe. Chacune d'elle peut alors se voir attribuer un ensemble

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

d'attributs, que nous pourrions soit considérer homogènes dans la population, soit hétérogènes dans un second temps pour nous rapprocher de la réalité :

- Une vitesse de déplacement
- Un taux de reproduction entre les cycles

Au-delà de l'échelle individuelle, on considère également l'échelle troupeau, et notamment l'attribut « taille de l'effectif ».

Bien que les proies et leurs déplacements à chaque pas de temps soient représentés lors des simulations, nous n'avons pas considéré d'interactions entre elles lors de ces déplacements, ce qui pourrait être effectué dans un second temps (et ici introduit une contrainte de temps de calcul qui n'apporte rien sur le plan de la modélisation des proies).

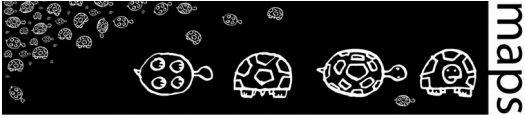
3) La stratégie de chasse

Comme indiqué précédemment, la stratégie de chasse est représentée au travers des pièges disposés sur le graphe, les chasseurs n'étant pas directement modélisés (par exemple en termes d'effectif).

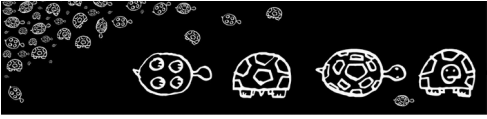
Ces pièges sont donc disposés sur les liens (= corridors de passages des proies) et sont caractérisés à l'échelle de leur population : par leur effectif, et individuellement :

- par leur position
- par leur capacité maximale de capture (un piège ne peut capturer à chaque cycle qu'un certain nombre de proies)
- par leur efficacité de capture

Nous avons considéré dans un premier temps qu'un lien ne pouvait contenir qu'un seul piège.

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

Bien que les chasseurs ne soient pas explicitement considérés, les attributs des pièges peuvent être reliés mathématiquement à l'effort investi par ces chasseurs dans leur stratégie, afin de la mettre en regard avec l'efficacité globale de la stratégie en termes de capture et son impact sur la résilience de la population de proies.

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

C - Fonctionnement du modèle

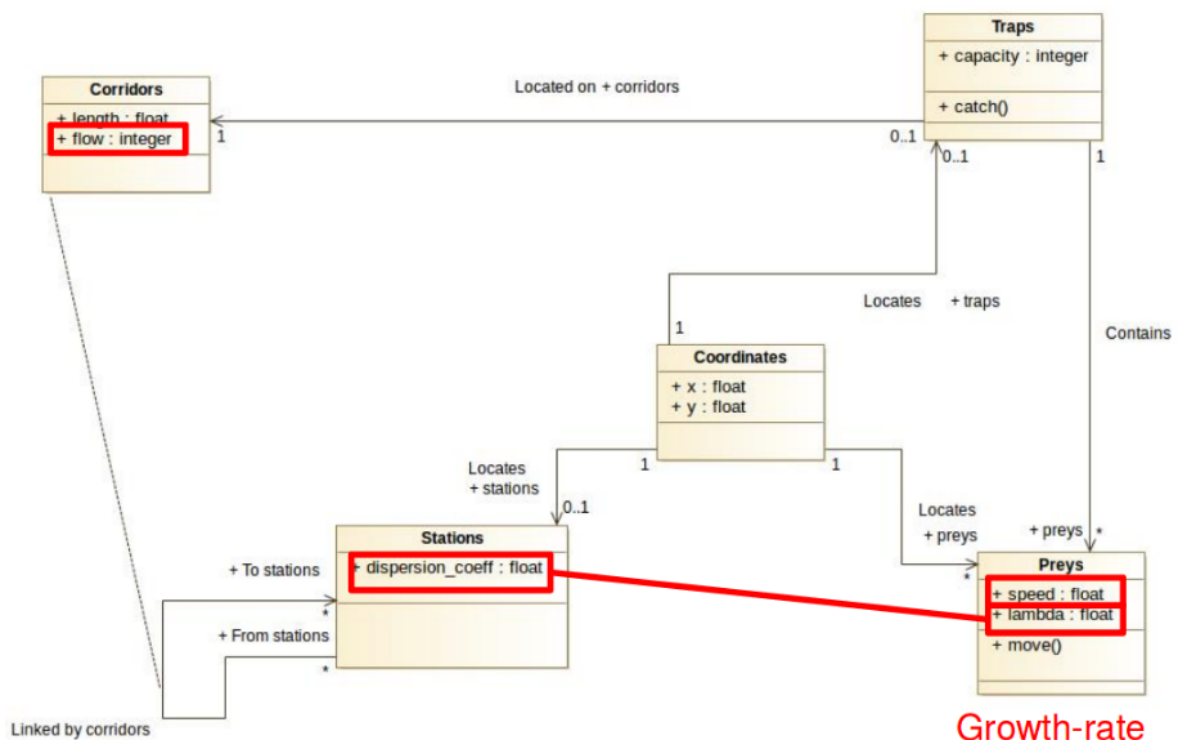
description des principaux process/ algorithmme accompagné de schéma ou diagramme UML


Précision des paramètres clés du modèle

Le modèle utilise 3 familles différentes :

- « Nodes » : les nœuds
- « Preys » : les proies
- « Traps » : les pièges

Auxquelles sont fixées les attributs évoqués dans les paragraphes précédents, ainsi que les méthodes nécessaires à la simulation. On résume ces éléments dans le diagramme UML suivant :



Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

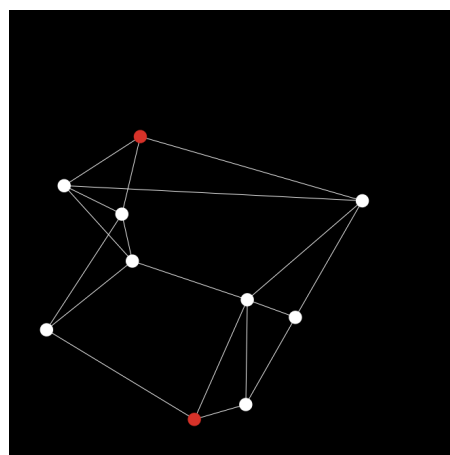
Initialisation ($t = 0$) :

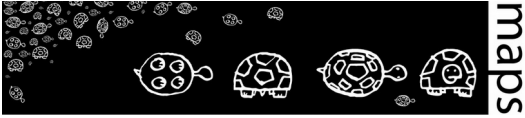
A l'aide d'un slider manipulable par l'utilisateur :

- On fixe les dimensions géographiques de l'environnement dans lequel vont évoluer les proies
- On fixe le nombre de nœuds intermédiaires qui constitueront le graphe entre les points de départ et d'arrivée

La méthode « setup network », appelé par le bouton du même nom, permet alors de :

- Générer le nombre de nœuds désirés en les plaçant aléatoirement dans l'environnement défini
- Fixer les points de départ et d'arrivée en sélectionnant parmi les nœuds créés précédemment, selon leurs coordonnées en y (maximale et minimale), et de les colorer en rouge
- Générer les liens entre les différents nœuds (un nœud est relié à tous les nœuds voisins situés à une distance fixée dans le code)



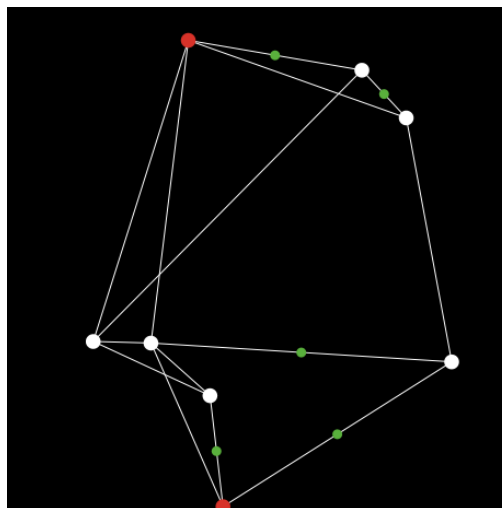
Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

L'utilisateur choisit alors les valeurs des attributs pour les pièges :

- Nombre de pièges à placer
- Capacités de ces pièges

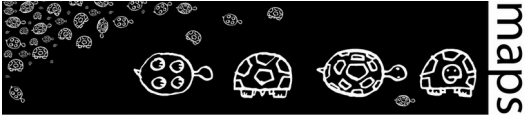
La probabilité pour un piège d'attraper une proie qui se présente est, elle, définie dans le code. Ces dernières variables permettent de caractériser la stratégie de chasse et l'effort investi par les chasseurs.

La méthode « locate-traps » appelée par le bouton correspondant permet alors de placer les pièges aléatoirement sur les liens entre nœuds générés à l'étape précédente.



L'utilisateur peut ensuite définir le nombre de proies qui constituent le troupeau à l'instant initial, ainsi que les attributs :

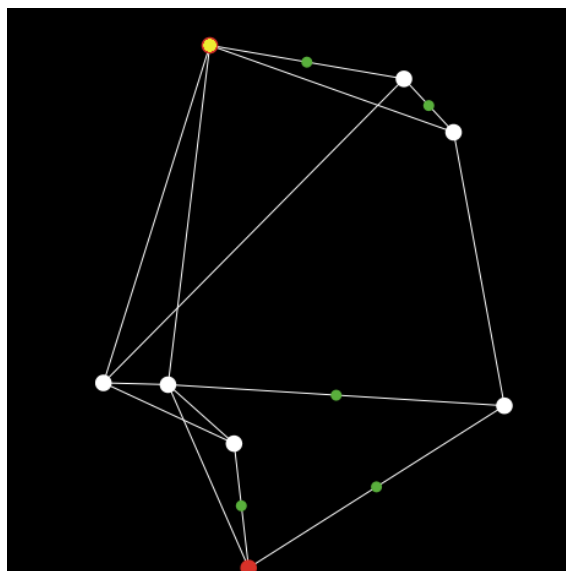
- Taux de croissance : on considère ici qu'il est caractéristique de la population et pas propre à chaque individu, et il permet de définir aux cycles suivants la taille

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

de la population générée au point de départ, en fonction du nombre de proies parvenues au point d'arrivée au cycle précédent

- Capacité de charge du milieu : il s'agit d'un attribut de la classe proie qui définit la taille maximale que peut atteindre le troupeau, mais qui dépend des conditions d'accueil du milieu

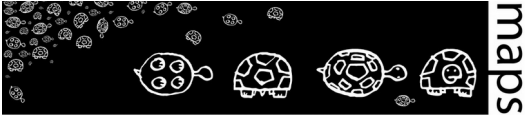
La méthode « set-up preys », appelée par le bouton correspondant, permet de placer toutes les proies sur le point de départ.



Go :

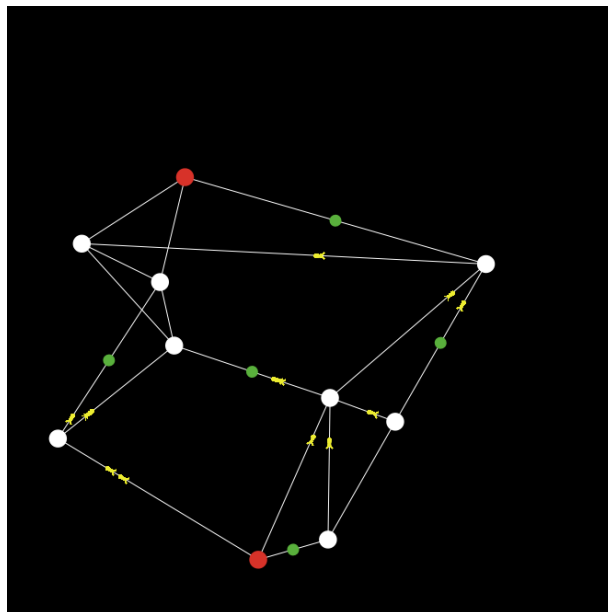
A chaque pas de temps, toutes les proies se déplacent d'une unité de distance (variable selon l'échelle choisie pour l'environnement). Elles ont donc une vitesse homogène et fixe, définie dans le code.

A $t = 0$, les proies se trouvent sur le premier nœud, i.e le point de départ. Elles doivent s'orienter dans une direction :


Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

- La méthode « next-node » leur permet d'évaluer les directions possibles, en fonction des nœuds auxquels sont reliés le nœud sur lequel elles se trouvent à l'instant considéré, et d'en choisir une
- On les fait alors chacune se déplacer d'une unité d'espace

Ensuite, à chaque pas de temps, la méthode « locate-preys » permet de déterminer si chacune des proies se trouve sur un nœud, auquel cas elle doit choisir à nouveau une direction à l'aide de la méthode « next-node », ou sur un lien, dans quel cas elle conserve sa direction (pas de retour en arrière). Chaque proie avance alors d'une unité d'espace.



En parallèle, à chaque pas de temps, on évalue si une proie se trouve dans le voisinage d'un piège avec « locate-if-preys-on-traps ». Si c'est le cas, on évalue si le piège la capture ou pas, en fonction de son taux de remplissage et d'une distribution

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

de probabilité fixée dans le code. Si la proie est capturée, on l'élimine de la simulation et on incrémente deux compteurs :

- Un compteur associé au piège, afin d'évaluer son stock de proies capturées vis-à-vis de sa capacité maximale de remplissage
- Un compteur de toutes les proies capturées lors d'un cycle

Cette dernière variable permet de mesurer l'efficacité de la stratégie de chasse employée lors de la simulation.

On évalue enfin si chacune des proies se trouve dans le voisinage du point d'arrivée à l'aide de la méthode « finish ». Lorsqu'elle est parvenue à ce point d'arrivée, la proie est éliminée de la simulation. Lorsqu'il ne reste plus de proies (parce que capturées ou parvenues au point d'arrivée), la simulation lance un nouveau cycle en générant un nouveau troupeau au point de départ, en utilisant le nombre de proies parvenues au point d'arrivée lors du cycle précédent ainsi que le taux de croissance de la population fixé par l'utilisateur. Il est alors possible de suivre la population en termes d'effectifs au cours des différents cycles afin d'évaluer sa résilience vis-à-vis de la stratégie de chasse employée.

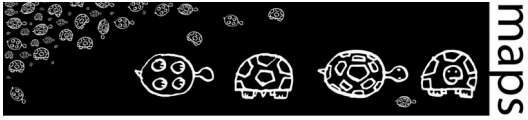
Quelles sont les échelles spatiales et temporelles ?

L'environnement est un carré de 300x300 patches. Chaque pas de temps correspond à un déplacement des proies d'une unité.

Quelles sont nos variables d'entrée et de sortie d'importance ?

Les variables d'entrée importantes sont de plusieurs ordres :

- Caractéristiques spatiales de l'environnement : la forme du graphe en termes de nombre de nœuds et de liens entre eux

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

- Stratégie de chasse définies par les attributs des pièges et qui détermine la variable d'effort des chasseurs

Variables de sortie :

- Total de proies capturées lors d'un cycle pour mesurer l'efficacité de la stratégie de chasse
- Effectif du troupeau au cours des cycles, afin d'évaluer la résilience de la population

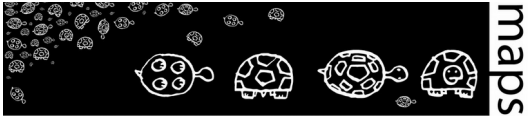
Ces variables permettent d'évaluer les deux compromis d'intérêt que notre modèle doit permettre d'aborder, à savoir :

- Compromis entre l'effort de chasse et l'efficacité
- Compromis entre l'efficacité et la résilience de la population

Justification de la stochasticité

On utilise une distribution de probabilité en plusieurs endroits :

- Pour placer les nœuds et les pièges dans l'espace : les coordonnées des nœuds sont tirées successivement selon une loi uniforme, avec un tirage répété si les nœuds sont trop près les uns des autres (voisinage fixé dans le code), et les liens sur lesquels sont placés les pièges (placés au milieu des liens) sont tirés aussi de manière uniforme parmi l'ensemble des liens (sachant qu'un lien ne peut contenir qu'un seul et unique piège)
- Pour choisir la direction qu'emprunte une proie sur un nœud : parmi les liens qu'elle peut emprunter, une proie choisit de manière uniforme le lien qu'elle empruntera au prochain pas de temps

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

- Pour la capture : lorsqu'une proie rencontre un piège, on tire selon une loi uniforme un réel compris entre 0 et 1. Si celui-ci est supérieur à 0.95, alors la proie est capturée si le piège n'est pas encore rempli.

Ces choix ont été faits dans un premier temps pour un souci de simplicité. Il serait nécessaire d'établir des stratégies de chasse, notamment en termes de placement des pièges, qui ne soient pas entièrement aléatoires uniformes, mais en partie conscientisées, avec également une possibilité d'apprentissage du comportement des proies en cas d'effet mémoire concernant les chemins empruntés. Ce positionnement aléatoire des pièges peut tout de même se justifier en partie, en invoquant le fait que les chasseurs n'ont qu'une connaissance partielle de leur environnement et des chemins que peuvent emprunter les proies.

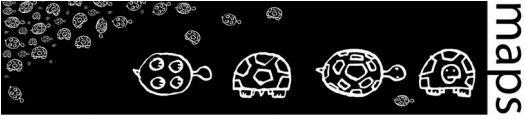
Données d'entrées

L'initialisation du modèle implique :

- De dimensionner l'environnement par rapport à la problématique et aux espèces considérées (ici mammifères de type gazelles en migration)
- De paramétrer les attributs biologiques de l'espèce considérée

Bien que nous nous soyons inspirés du cas réel des « desert kites » dans le cadre de la chasse des gazelles en migration, nous ne nous sommes basés sur aucune données réelles, tant sur les caractéristiques écologiques que sur les données spatiales (nous n'avons pas utilisé de données tirées des kites ni de données géo-référencées).

Pour une simulation sur plusieurs cycles, toutes les variables d'entrée sont fixées une seule fois, notamment pour générer l'environnement (à l'exception des pièges), ainsi que sur la biologie/écologie de l'espèce considérée. En revanche, on peut tester différentes stratégies de chasse reposant sur la variation des valeurs des attributs des pièges, tels que la localisation par exemple, ou leur capacité...

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

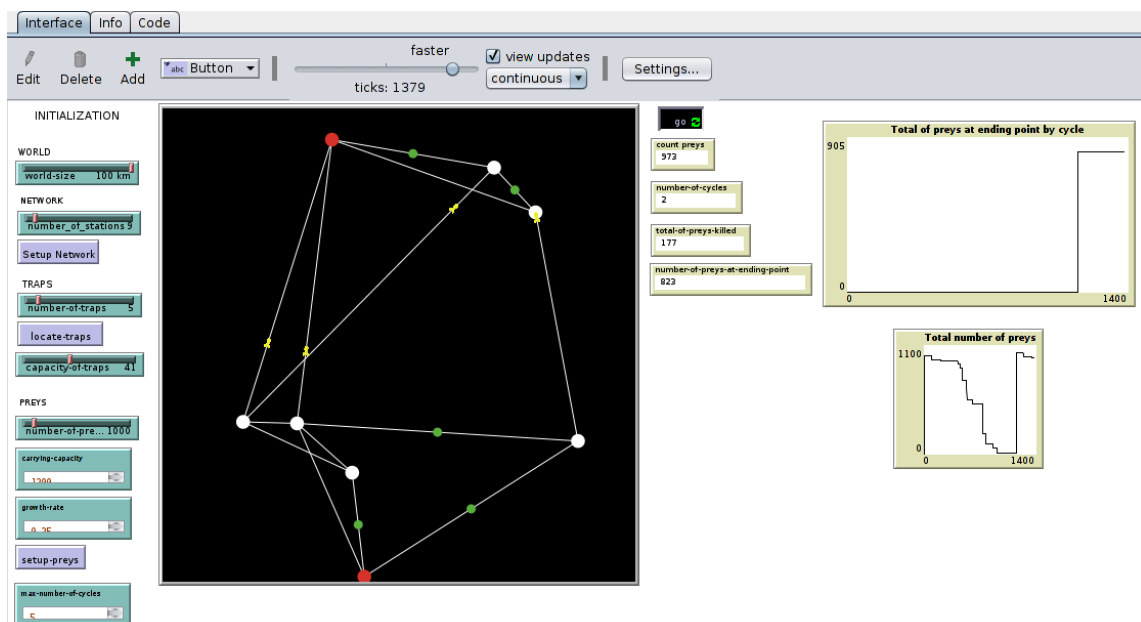
D - Exploration du modèle

1. Manipulation du modèle

Le modèle s'utilise selon l'explication donnée dans la partie précédente. Dans l'écran d'interface, les courbes correspondant :

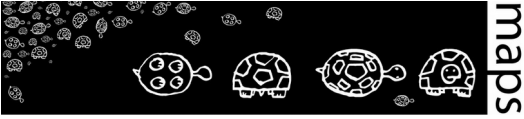
- Au nombre de proies parvenues au point d'arrivée à chaque cycle
- A l'effectif des proies au cours des cycles

Permettent de suivre les variables d'intérêt au cours de la simulation.



2. Exploration de l'espace des paramètres (optionnel)

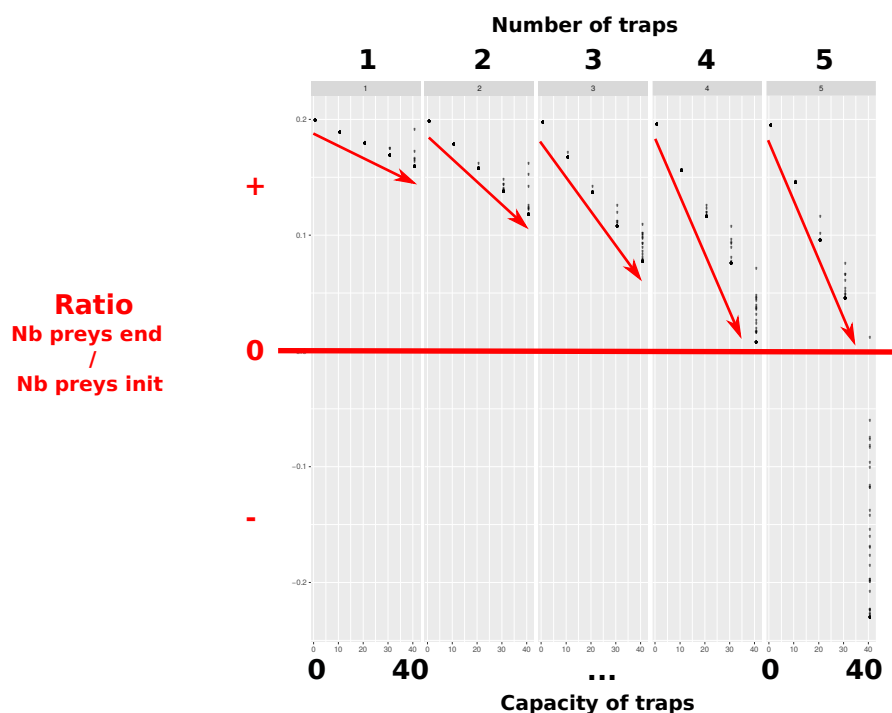
Nous avons réalisé une première analyse de sensibilité lors de MAPS 10 qui doit être poursuivie.

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

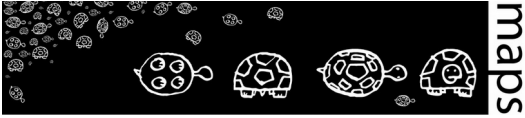
Nous avons pour cela utilisé le module « behavior space » proposé par NetLogo puis exporté les résultats sous R pour visualiser les données et réaliser les analyses statistiques.

Cette première analyse vérifie l'influence sur la dynamique du troupeau des attributs qui déterminent la stratégie de chasse :

- Nombre de pièges : varie de 1 à 5
- Capacité maximale des pièges : varie de 0 à 40 bêtes chacun



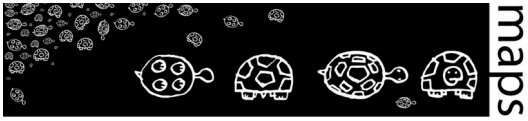
On mesure comme variable de sortie le ratio entre le nombre de proies à la fin d'une simulation comprenant 10 cycles et le nombre de proies initiales dans le troupeau, afin d'observer l'influence des attributs de la stratégie de chasse sur la résilience de la population.

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

On constate ici que le résultat conforte l'intuition :

- le ratio diminue lorsque la capacité des pièges augmente
- le ratio diminue d'autant plus vite lorsque le nombre de pièges augmente

Néanmoins, une plus grande gamme de valeurs sur ces attributs devrait être explorée, avec un nombre de répétitions plus grands pour chacun des couples de valeurs (ici 10 répétition). D'autres attributs devraient également être explorés, ainsi que leur relation avec la variable de sortie mesurant l'efficacité en termes de capture de la stratégie de chasse choisie.

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

E - Conclusion

Le modèle est utile pour représenter la dynamique d'une population dans un environnement spatialisé.

Il devrait permettre s'il est prolongé d'introduire des notions d'optimisation puisque nous travaillons sur deux compromis différents qui pourraient être explorés à l'aide d'algorithmes génétiques par exemple.

F - Perspectives (Optionnel)

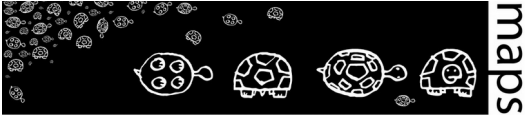
Ce modèle pourrait voir de nombreuses améliorations :

1) Optimisation

Comme indiqué en E, une démarche d'optimisation vis-à-vis de nos deux compromis d'intérêt (effort/efficacité, efficacité/résilience) pourrait être menée.

2) Introduction d'hétérogénéités spatiales et écologiques

Comme indiqué plus haut, les nœuds intermédiaires pourraient correspondre à des espaces de ressources pour les troupes, et être hétérogènes entre eux. Cela permettrait par exemple d'introduire par la suite des comportements au cours du cycle différents entre individus : par exemple les proies qui auront rencontré des habitats plus riches sur leurs parcours pourraient échapper plus facilement aux pièges (parce que plus en forme) ou se reproduire plus. Une forme de sélection de parcours pourrait aussi avoir lieu, parce que les proies passées par les meilleurs parcours seraient plus susceptibles de survivre, et en raison d'un possible effet « mémoire » de leur part, induisant en réponse un effet mémoire des chasseurs lors de la disposition des pièges et de leur capacité.

Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Huntraps	23/06/2017
		MAPS 10
		VERSION 0.1

De plus il serait possible de faire varier les attributs individuels des proies (vitesse, capacité à se sortir d'un piège ou à l'éviter, interactions lors des déplacements, grégarité lors du choix d'une nouvelle direction...) afin là encore de tester l'influence de propriétés individuelles sur la dynamique écologique et évolutive du troupeau comme sur les variables de résultats de la stratégie de chasse.

Il serait également possible de modéliser plus explicitement la population de chasseurs et le lien entre stratégie de chasse et effort de chasse. Par exemple quantifier l'effort potentiel en fonction de l'effectif des chasseurs et des règles de répartition de cet effort entre différentes stratégies portant sur les attributs de cette stratégie (nombre de pièges, capacités, mais aussi disposition car si les chasseurs sont plus nombreux on peut supposer qu'ils sont plus en mesure d'explorer leur environnement et donc en obtenir une meilleure connaissance).

Enfin il serait possible au vu de la généralité du modèle de calibrer l'environnement avec des données réelles spatiales ainsi que des données pour le modèle biologique (par exemple un modèle gazelle).