

# UC5\_06 : Programmation Orientée Objet pour la modélisation du Vivant

## Sujets de projet

Pour ce projet vous travaillerez en binôme.

Quatre sujets vous sont proposés :

1. Propagation du bâillement dans la porcherie
2. Propagation d'un feu de forêt
3. Proie – Prédateur
4. Invasion de cirses

Pour chacun de ces sujets, nous vous demandons de modéliser une situation initiale puis l'évolution de la situation, en utilisant les outils de programmation orientée objet enseignés la première semaine du module. Il est également demandé de montrer cette évolution à l'aide d'une interface graphique. L'évaluation portera sur deux aspects : le code rendu et une courte présentation orale (10mn) de votre projet, avec un temps de parole équitablement réparti au sein du binôme. La présentation devra être d'autant plus claire que les examinateurs ne poseront aucune question. Votre présentation devra contenir une démonstration de votre réalisation et l'explication de deux aspects de votre code source.

Vos codes source seront à rendre par l'intermédiaire de la plateforme eCampus. Vous devrez également rendre un document synthétique correspondant à un manuel utilisateur c'est-à-dire expliquant comment vous avez modélisé le problème, quelles sont les fonctionnalités développées et comment réaliser de nouvelles simulations.

## Sujet 1 : Propagation du bâillement chez le porc

Si le bâillement spontané est un phénomène ancien chez les vertébrés, le bâillement contagieux n'est apparu que chez des espèces avec un comportement social très évolué et pourrait refléter une connexion émotionnelle entre les individus. Ce phénomène a été étudié chez le cochon domestique dans l'étude suivante.

[https://www.nature.com/articles/s41598-020-80545-1?](https://www.nature.com/articles/s41598-020-80545-1?fbclid=IwAR2PwFyFIlz9o8hrRO6SGIxeInnif24whe6BfEbKqUU6v1VHaZrPVPbHeSA)

[fbclid=IwAR2PwFyFIlz9o8hrRO6SGIxeInnif24whe6BfEbKqUU6v1VHaZrPVPbHeSA](https://www.nature.com/articles/s41598-020-80545-1?fbclid=IwAR2PwFyFIlz9o8hrRO6SGIxeInnif24whe6BfEbKqUU6v1VHaZrPVPbHeSA)

D'après cette étude, les principaux facteurs influençant la propagation du bâillement sont : le sexe de l'animal, son âge, la distance entre deux individus, l'appartenance à une même fratrie.

Nous vous proposons ici, en vous appuyant sur les résultats de cette étude, de modéliser la propagation du bâillement en vous basant sur les règles suivantes :

1. Si l'individu qui bâille est un mâle, la probabilité que les individus autour de lui se mettent à bâiller est de 40 %. En revanche, si l'individu est une femelle, la probabilité de transmettre le bâillement est de 28 %.
2. La fréquence de contagion à des individus à moins de 1m de l'émetteur du bâillement est de 65 %. Entre 1 et 10m, la fréquence de contagion est de 20 %, au-delà de 10m, cette fréquence est de 25 %.
3. La réponse médiane associée à l'âge de l'individu qui répond au bâillement pourra également être implémentée (cf figure 6b de l'article)

Age	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20	21	22
Fréquence réponse	52 %	5 %	10 %	15 %	45 %	40 %	20 %	13 %	80 %	82 %	68 %	25 %	60 %

Ainsi, par exemple, si un cochon mâle bâille et qu'un cochon de 13 mois est à moins de 1m, alors on a  $p(\text{transmis}) = 0,4 \times 0,65 \times 0,45 = 11,7 \%$

Plusieurs cochons peuvent bâiller en même temps de façon indépendante. Les bâillements de plusieurs individus ont un effet qui s'additionne sur les cochons qui ne bâillent pas. Plusieurs bâillements indépendants peuvent arriver dans l'élevage.

Afin de simplifier la modélisation, nous choisissons de ne pas prendre en compte la notion de fratrie et d'ajouter les règles suivantes : si un cochon a bâillé au temps  $n$ , il ne peut plus bâiller pendant 3 pas de temps ( $n+1$ ,  $n+2$ ,  $n+3$ ). Également, une source qui est émettrice au temps  $n$  (i.e. qui bâille au temps  $n$ ), ne l'est plus au temps  $n+1$ . Et un récepteur au temps  $n$  (cochon qui se met à bâiller) ne devient émetteur qu'au temps  $n+1$ .

Au delà de cette propagation du bâillement, les cochons ne sont pas immobiles. En effet, ils peuvent se déplacer aléatoirement de 1m (direction horizontale ou verticale). Deux cochons ne peuvent pas être à la même position.

La partie du projet décrite au-dessus, correspond à la base du projet, qui doit être modélisée telle que décrite. Cependant ce projet laisse place à une certaine originalité, aussi vous pouvez choisir d'ajouter des règles supplémentaires dès lors qu'elles n'entrent pas en contradiction avec celles qui ont été énoncées ci-dessus. Par exemple, il est possible d'ajouter une notion d'âge : toutes les 30 itérations, les cochons peuvent prendre un mois d'âge supplémentaire. Lorsqu'un cochon atteint 23mois, s'il a dans son entourage un cochon de sexe opposé, il se reproduit puis sort de l'élevage. S'il est entouré de cochon du même sexe, alors il est retiré de l'élevage sans se reproduire. Un autre exemple serait que les cochons les plus jeunes cherchent à être proches d'un cochon plus âgé pour se rassurer (ce qui influera forcément sur la propagation du bâillement).

La modélisation peut également être enrichie, en proposant différentes conditions d'initialisation (taille de la porcherie, nombre de cochons initiaux, nombre d'émetteurs initiaux et d'émetteurs spontanés au cours de la modélisation).

## Sujet 2 : Propagation d'un feu de forêt :

Le massif forestier des Landes est une forêt cultivée plantée au 19<sup>e</sup> siècle en vue d'assainir et de développer la Gascogne. Son impact socio-économique, mais également écologique est considérable pour l'Aquitaine (C.A. de la filière bois : 260 millions d'euros). Le pendant négatif du fait que cette forêt est artificielle consiste en le manque de moyens pour protéger ce patrimoine forestier des incendies.

Nous vous proposons ici de modéliser la propagation d'un feu de forêt et sa maîtrise éventuelle par l'homme.

9 départs d'incendie sur 10 sont d'origine humaine. Sur ces 9/10<sup>e</sup> de départ d'origine humaine, près de la moitié sont des actes de malveillance. Les périodes printanières et estivales présentant des températures plus élevées et une végétation plus sèche, augmente le risque de départ d'incendie. La densité arboricole également. Il est ici proposé de modéliser des départs de feux naturels et d'origine humaine.

Un départ de feu ne peut se faire que si la teneur en eau de la parcelle est suffisamment faible :

Teneur en eau	>50 %	30 % < TE < 50 %	15 % < TE < 30 %	7 % < TE < 15 %	< 7 %
Probabilité que la parcelle prenne feu	nulle	Faible < 20 %	Modérée 20 % à 50 %	élevée 50 % à 80 %	extrême > 80 %

N.B. : Si les qualificatifs de probabilité de déclenchement d'un incendie sur une parcelle proviennent d'une source fiable ([www.mediaforest.net](http://www.mediaforest.net)) les pourcentages alloués sont arbitraires pour les besoins du projet. Ainsi, il est possible de les modifier pour les besoins de votre projet, dès lors que cela correspond approximativement aux qualificatifs renseignés.

Une fois qu'une parcelle a pris feu au temps n, on considère que cette parcelle est émettrice au temps n+1. Cela signifie que depuis cette parcelle, il peut y avoir une propagation initiale. La propagation du feu suit les règles suivantes :

Teneur en eau	>50 %	30 % < TE < 50 %	15 % < TE < 30 %	7 % < TE < 15 %	< 7 %
Proba de propagation avec une vitesse du vent à 10m de 0 à 20km/h	Faible < 20 %	Faible < 20 %	Faible < 20 %	modérée 50 % à 80 %	Modérée 20 % à 50 %
Proba de propagation avec une	Modérée 20 % à	Modérée 20 % à 50 %	élevée 50 % à 80 %	élevée 50 % à 80 %	extrême > 80 %

vitesse du vent à 10m de 20 à 40km/h	50 %				
Proba de propagation avec une vitesse du vent à 10m plus de 40km/h	élevée 50 % à 80 %	élevée 50 % à 80 %	élevée 50 % à 80 %	extrême >80 %	extrême >80 %

N.B. : Si les qualificatifs de probabilité de propagation initiale d'un incendie sur une parcelle proviennent d'une source fiable ([www.mediaforest.net](http://www.mediaforest.net)) les pourcentages alloués sont arbitraires pour les besoins du projet. Ainsi, il est possible de les modifier pour les besoins de votre projet, dès lors que cela correspond approximativement aux qualificatifs renseignés.

Selon la saison et le mois, la plage horaire de risque d'incendie est plus ou moins étendue :

	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h-21h
MARS	M	E	E	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX		
AVRIL	M	E	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX,E	
MAI	F,M	E	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX,E	
JUIN	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX,E	
JUILLET	E	E	E	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	E
AOUT	E	E	E	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	E
SEPT.	M	E	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX	EX,E	
OCT.	F	F,M	M,E	E	E	E	E	E	E	E	E,M	
NOV.		F	F	F	F	F	M	M	M			

F = Faible (<20%) ; M = Moyen (20 à 50%) ; E = Élevé (50 à 80%); EX = Extrême (>80%)

Il sera donc possible de prendre cette donnée temporelle en compte dans la propagation du feu.

Il existe cependant des moyens permettant de réduire le risque de propagation d'incendie, comme par exemple l'ajout de barrière coupe-feu, ou encore l'extinction de feu à l'aide d'eau. L'eau peut être supplémentée en mouillant ou en moussant pour maximiser son pouvoir extincteur.

Les cinq moyens à notre disposition pour éteindre le feu sur une parcelle sont donc :

1. 1/ la barrière pare-feu : la largeur d'un pare-feu doit être égale à 1,5 fois la hauteur des flammes pour que les radiations thermiques ne transmettent pas le feu de part et d'autre de la coupure de combustible. Nous simplifierons ici en considérant qu'un pare-feu fait la taille de 2 parcelles. Nous considérerons également que 2 pare-feux de la taille de une parcelle espacés d'une parcelle de haies d'arbres sont plus efficaces qu'un seul pare-feu de deux 2 parcelles. Un pare-feu n'éteint pas le feu, il contrôle sa trajectoire.
2. 2/ des lances à incendie d'eau. Celles-ci peuvent être disposées n'importe où. On considèrera arbitrairement que l'efficacité (i.e. extinction du feu sur la parcelle arrosée) de la lance à incendie d'eau est de 50 % en cas de vent faible, 30 % pour un vent de 20 à 40km/h, de 20 % en cas de vent supérieur à 40km/h.
3. des lances à incendie d'eau + mouillant (multiplie par 2 ou 3 le pouvoir extincteur de l'eau pour une concentration de 2/1000)
4. des lances à incendie spécifique - eau + moussant : en arrosage sur la périphérie des feux (bande de 4m de large) de façon à éviter les reprises et faciliter la garde du feu ; en attaque indirecte pour traiter le feu sur des points d'appuis ou pare-feu chimiques. Ces lances à incendie ne pourront être placées qu'à proximité d'un pare-feu ou en bordure de forêt.
5. Intervention de pompiers sur les parcelles en périphérie de l'incendie. Les pompiers peuvent avoir à disposition les moyens 2. et 3.

Plusieurs départs de feu peuvent avoir lieu de façon indépendante, à plusieurs moments durant la modélisation.

Il sera intéressant de noter le nombre de parcelles brûlées, le nombre de parcelles non brûlées, si le feu a pu être maîtrisé à l'instant  $t$  ou non.

La partie du projet décrite au-dessus, correspond à la base du projet, qui doit être modélisée telle que décrite. Cependant ce projet laisse place à une certaine originalité, aussi vous pouvez choisir d'ajouter des règles supplémentaires dès lors qu'elles n'entrent pas en contradiction avec celles qui ont été énoncées ci-dessus. Par exemple, une parcelle brûlée peut redevenir boisée au bout de  $X$  itérations.

Il est possible de tester plusieurs situations initiales (changer la taille de la forêt et le nombre de moyens mis en œuvre).

### **Sujet 3 : Le mode de chasse anecdotique du coyote et du blaireau**

**Une découverte scientifique des plus surprenantes est le mode de chasse collaboratif du coyote et du blaireau. En effet, pour maximiser leur chance de capturer une proie, ces deux prédateurs s'associent durant les beaux jours, pour allier leurs différents atouts de chasseurs.**

**source : <https://www.nationalgeographic.fr/animaux/2020/02/le-coyote-et-le-blaireau-une-amitie-qui-fascine-les-scientifiques>**

Nombre de prédateurs :  $C + B$

Nombre de coyotes :  $C$

Nombre de blaireaux :  $B$

Nombre de proies :  $Y + Z$

Nombre de chiens de prairies :  $y$

Nombre d'écureuils roux américains :  $E$

Nombre de haies :  $Z$

Taille de la parcelle :  $N \times M \text{ m}^2$

Étant donné une prairie contenant  $Z$  haies dans laquelle se déplacent  $C$  coyotes,  $B$  blaireaux,  $y$  chiens de prairies et  $Z$  écureuils. Les proies peuvent se protéger des prédateurs en se cachant derrière une haie.

Les blaireaux et les coyotes en saisons printanière et estivale s'associent pour pouvoir chasser ensembles. En effet, les blaireaux ont un atout lorsqu'ils chassent pour creuser, mais sont lents lorsqu'il s'agit de courir. Au contraire, le coyote est moins efficace que le blaireau lorsqu'il s'agit de creuser mais est un bon coureur. Aussi, à eux deux, ils maximisent leurs chances d'attraper des proies. Lorsqu'ils chassent ensembles, seul l'un des deux prédateurs mange. En saisons automnale et hivernale, blaireaux et coyotes peuvent éventuellement devenir prédateurs l'un pour l'autre.

Les proies sont les chiens de prairies et les écureuils. Les chiens de prairie vivent en colonie, alors que les écureuils se déplacent de façon plus solitaire.

Les prédateurs se déplacent au temps  $n$  et les proies au temps  $n+1$ . Les prédateurs peuvent se déplacer horizontalement, verticalement et en diagonale de 1 à 5m (on considèrera que chaque case correspond à 1m). En revanche, les proies ne peuvent se déplacer que verticalement et horizontalement de 1 à 3 unités de distance. Les proies sont attirées par les haies qui se trouvent jusqu'à 4 unités de distance d'elles.

Selon la distance entre la proie et le prédateur, la probabilité de capture n'est pas la même. Également, selon si le prédateur (blaireau ou coyote) est seul ou avec un prédateur appartenant à l'autre espèce les probabilités de capture varient. On considère que deux prédateurs sont ensembles s'ils sont à distance maximale de 2m.

Distance proie – prédateur (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9+	15+
Probabilité de capture coyote seul sur écureuil	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,07	0,03	0
Probabilité de capture coyote seul sur chien de prairie	0,7	0,6	0,55	0,5	0,4	0,2	0,1	0,05	0,01	0,01
Probabilité de capture blaireau seul sur écureuil	0,45	0,38	0,27	0,27	0,22	0,19	0,07	0,05	0	0
Probabilité de capture blaireau seul sur chien de prairie	0,8	0,78	0,6	0,45	0,3	0,22	0,12	0,06	0,01	0
Probabilité de capture coyote + blaireau sur écureuil	0,8	0,75	0,75	0,6	0,6	0,57	0,57	0,57	0,53	0,52
Probabilité de capture coyote + blaireau sur chien de prairie	0,98	0,95	0,93	0,85	0,83	0,77	0,66	0,63	0,61	0,59

Si une haie se trouve sur la trajectoire entre la proie et le prédateur, alors la probabilité que le prédateur détecte la proie diminue de 20 % (ou devient nulle si la proie est à plus de 7m de distance du prédateur).

Si le prédateur a capturé une proie, il se retrouve à la position de la proie, et ne capture pas d'autres proies pendant 2 itérations (1 itération = 24h). Il passe alors à l'état de prédateur repus pour 3 itérations. Il peut cependant toujours aider un autre prédateur à chasser.

Si le prédateur rate sa proie alors il se retrouve dans le voisinage de la proie (+1 ou -1 en abscisse et/ou en ordonnée de la position de la proie).

Lorsque deux prédateurs chassent ensemble : si l'un d'eux est repus alors automatiquement, lors d'une capture, la proie est pour le prédateur ayant faim. Si aucun n'est repus, le prédateur qui mange sera dans 90 % des cas celui qui est le plus loin de la proie, et dans 10 % des cas, celui qui est le plus proche (en effet, la proie n'aura pas anticipé la présence du deuxième prédateur, ce qui affecte sa stratégie de fuite).

Le programme s'arrête alors soit lorsque toutes les proies ont été dévorées, soit lorsqu'il n'y a plus de prédateurs, soit lorsque le nombre de proies prédateurs est stable sur 30 tours, soit lorsque l'utilisateur décide d'arrêter le programme. A la fin, le programme doit renseigner le nombre de proies restantes ainsi que le nombre de prédateurs actifs, et le nombre de prédateurs au repos, ainsi que le temps de modélisation en jours (éventuellement en mois , années selon le programme).

La partie du projet décrite au-dessus, correspond à la base du projet, qui doit être modélisée telle que décrite. Cependant ce projet laisse place à une certaine originalité, aussi vous pouvez choisir d'ajouter des règles supplémentaires dès lors qu'elles n'entrent pas en contradiction avec celles qui



ont été énoncées ci-dessus. Par exemple, le prédateur peut être attiré par des proies isolées ou au contraire par des troupeaux. On peut rajouter de la reproduction chez les proies et chez les prédateurs. Également, on peut considérer qu'un prédateur qui n'a rien attrapé en 10 itérations meurt de faim. La prédation saisonnière pourra aussi être appréhendée (en mettant en état d'hivernation les chiens de prairies et en mettant en compétition les prédateurs). Différentes modélisations avec des conditions initiales variables peuvent être envisagées.

Pour aller plus loin :

Les chiens de prairie vivent en colonie, alors que les écureuils se déplacent de façon plus solitaire. Si un chien de prairie se sent en danger, il peut alors émettre un signal sonore pour prévenir le reste de la colonie de la présence d'un prédateur. Un chien de prairie détecte un danger dans un rayon de 5m avec les probabilités suivantes :

Distance proie - prédateur (m)	1	2	3	4	5
Probabilité de détection danger	0,8	0,7	0,6	0,5	0,2

Les autres chiens de prairie de la colonie entendent un signal de danger dans un rayon de 5 m avec la probabilité suivante :

Distance entre l'émetteur de signal et le chien de prairie récepteur du signal (m)	1	2	3	4	5
Probabilité de détection danger	1	0,85	0,6	0,2	0,1

On peut considérer que dans 40 % des cas la capture d'un chien de prairie dépend d'un lancement de signal et non pas de la probabilité de capture (si le signal est émis et reçu alors la proie échappe à la capture), et que le reste du temps, le tableau des probabilités de capture s'applique. On pourra également chercher à modéliser le caractère grégaire des chiens de prairie (et le chien de prairie capturé, pourrait également ne pas être un lanceur d'alerte de danger).

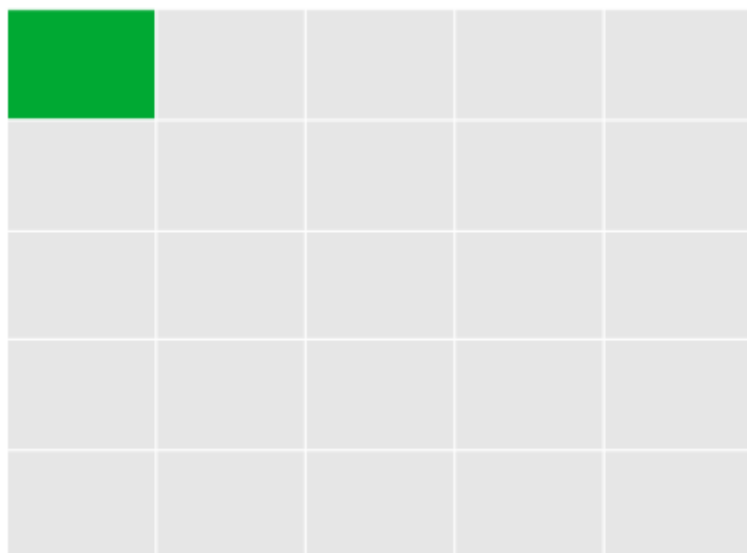
#### 4. Invasion de cirses

La cirse des champs, *Cirsium arvense*, est une plante vivace, très appréciée par les insectes, mais cependant beaucoup moins populaire chez les agriculteurs. Et pour cause, cette plante est particulièrement envahissante notamment grâce à son double mode de reproduction : une reproduction sexuée et une reproduction végétative grâce à la présence de rhizomes. C'est ce deuxième mode de prolifération qui rend la plante si envahissante : le système racinaire peut proliférer de 4 à 5 m par an, et chaque racine coupée peut donner naissance à un nouveau pied de cirse. Cette plante est déclarée nuisible parce que sa présence dans un champ entraîne une perte de rendement : 16 plants de cirses au m<sup>2</sup> entraîneraient jusqu'à 19 % de perte pour le blé et 12 % pour les fèves.

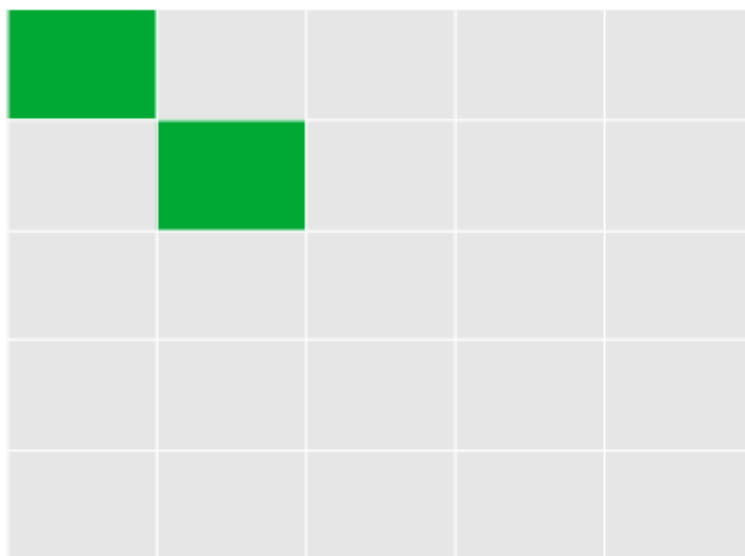
Au printemps et en été, les cirses se reproduisent tous les 3 jours par voie racinaire (reproduction végétative), et tous les 5 jours par voie aérienne (reproduction sexuée). La reproduction végétative se fait forcément dans un voisinage direct de la cirse, alors que la reproduction sexuée peut avoir lieu dans un voisinage de 5 unités de mesures.

Exemple :

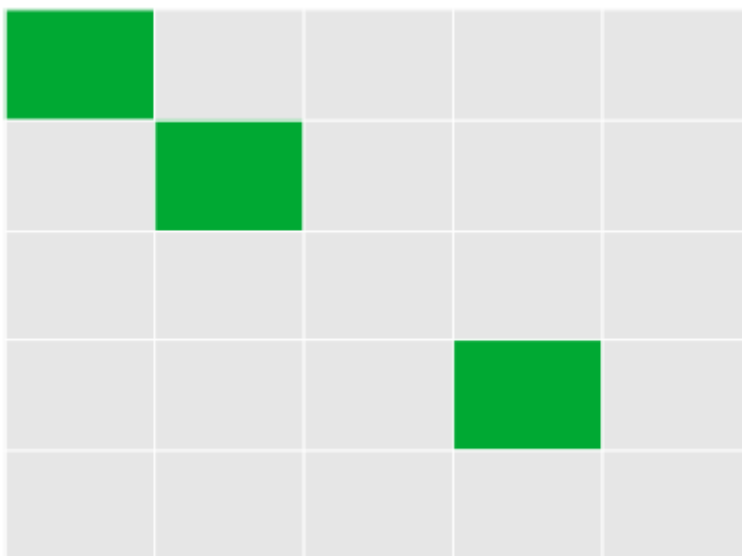
J1 :



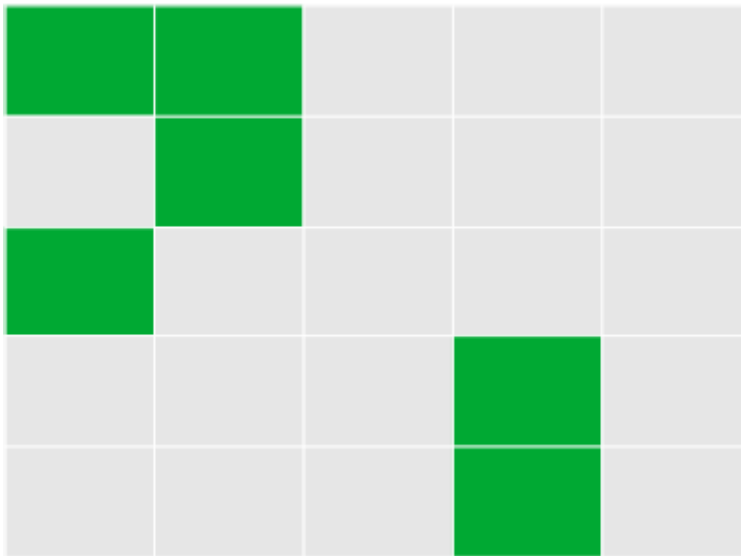
*J2 : Reproduction végétative*



*J5 : Reproduction sexuée : (distance max: 5 unités avec la 1ere cirse)*

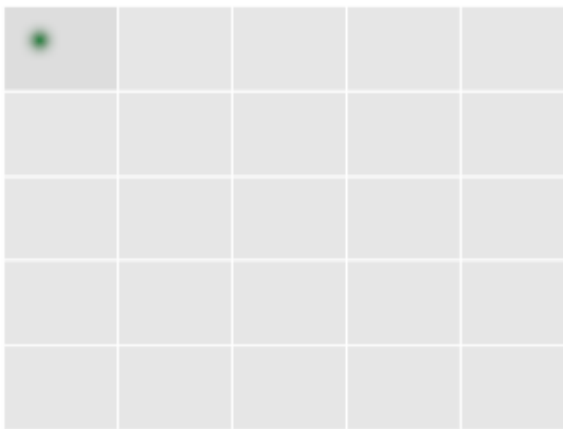


### *J6 : Reproduction végétative :*



*Le choix de représentation ici par carré est surtout pour que l'information soit très visuelle. Vous pouvez choisir de représenter les cirses par un carré, ou par un point dans l'unité de mesure.*

### *Exemple : J1*



*En automne et en hiver, seuls les rhizomes persistent, les cirses sont indétectables et se reproduisent pas rhizome très lentement (1 tous les 40 jours).*

*Vous pouvez dans un premier temps, modéliser la vitesse à laquelle les cirses auront colonisé tout le champ, sans intervention humaine pour lutter contre leur propagation. La parcelle est de taille NxM (vous pouvez soit fixer la taille de la parcelle, soit laisser le choix à l'utilisateur de renseigner les dimensions de la parcelle).*

Afin de limiter la perte de rendements des cultures liées aux cirses, l'exploitant décide de détecter par voie aérienne les cirses à l'aide de drones et de traiter de façon localisée à l'aide d'herbicides. Le but de la détection à l'aide de drones est d'éviter de répandre de l'herbicide sur toute la parcelle, en localisant les adventices.

Pour cela, deux drones sont déployés. Leur localisation initiale est déterminée aléatoirement. Les drones se déplacent soit horizontalement soit verticalement

. Le drone a trois vitesses de déplacement :

- lent : une unité spatiale en une unité de temps,
- modéré : deux unités spatiales en une unité de temps,
- rapide : trois unités spatiales en une unité de temps. Plus le drone va vite, moins il est précis dans la détection des adventices

vitesse	Lent	Modéré	rapide
Détection d'adventices	80 %	70 %	55 %

Ensuite, si l'adventice est détecté, un herbicide sera appliqué avec une efficacité de 65 %.

La modélisation s'arrête soit lorsqu'il n'y a plus d'adventices, soit quand leur quantité est stable sur au moins 20 pas de temps soit quand l'utilisateur choisi de l'interrompre. Vous pourrez fournir différentes statistiques sur l'efficacité des drones en fonction de la taille de la parcelle, du nombre de cirses en début de modélisation, en fonction des vitesses choisies pour chaque drone et de leur emplacement initial.

Pour aller plus loin, un peu de bibliographie :

- Rasmussen, J & Nielsen, J (2020). A novel approach to estimating the competitive ability of *Cirsium arvense* in cereals using unmanned aerial vehicle imagery. *Weed Research* 60, 150- 160.
- Blumenthal, D., & Jordan, N. (2001). Weeds in field margins: A spatially explicit simulation analysis of Canada thistle population dynamics. *Weed Science*, 49(4), 509-519. doi:10.1614/0043-1745(2001)049[0509:WIFMAS]2.0.CO;2