<u>Optimisation de la protection du pompier</u>

•<u>Problématique :</u> Comment peut-on optimiser la veste du pompier afin d'allier protection, économies et impact environnemental faible tout en prenant en compte le stress thermique éventuel de ce dernier ? Peut-on prévoir l'évolution d'un feu de forêt, afin de maximiser la sécurité du pompier ?

•<u>Problème ciblé :</u> La protection du pompier passe aussi par la sûreté de ses déplacements lors des incendies. Ainsi, prévoir l'évolution des feux de forêt en fonction des facteurs extérieurs permettrait de rendre ce travail encore plus sûr, ne laissant plus place à l'effet de surprise qu'un incendie peut avoir.

KESLICK Malaury, MONFILS Lorine et NICOSIA Enzo

Plan

Présentation du fonctionnement de l'algorithme de base (programme 1)

•Programmes annexes nécessaires :

•liste(p) :

•Argument : probabilité p qu'un arbre prenne feu.

•Renvoie : une liste composée de 1(arbre normal) et de 2(arbre en feu), avec une probabilité p qu'un élément pris au hasard dans cette liste soit un 2.

•Schéma fonctionnel :

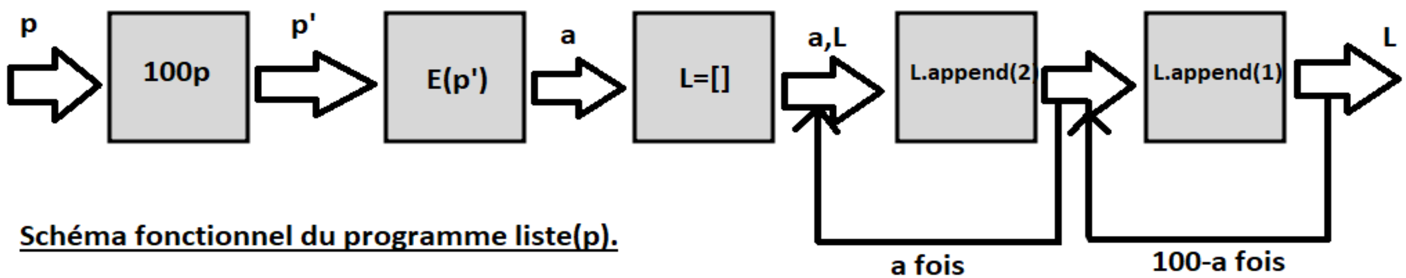


Schéma fonctionnel du programme liste(p).

Exemple d'exécution :

```
>>> liste(0.8)
[2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2,
2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2
, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]
```

liste1(p) :

Argument : densité p d'arbre dans une forêt

Renvoie : une liste composée de 0(vide) et de 1(arbre), avec une probabilité p qu'un élément pris au hasard dans cette liste soit un 1.

Schéma fonctionnel : Semblable au précédent avec 2←1 et 1←0.

Présentation du fonctionnement de l'algorithme de base

creation_foret_feu(n) :

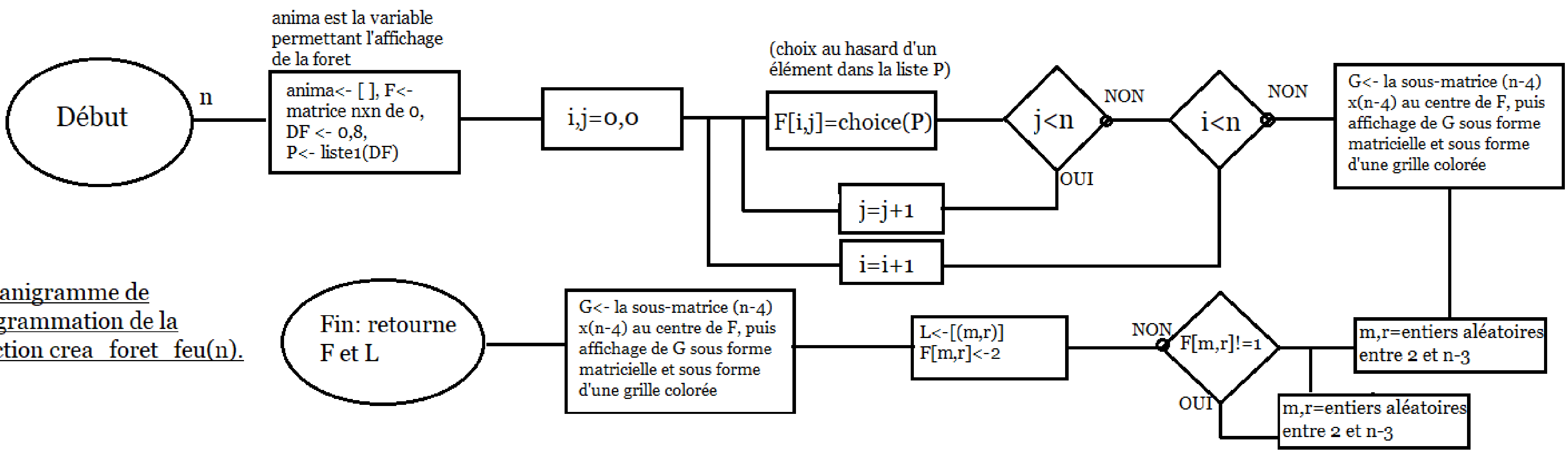
Argument : n, format de la matrice carrée qui représentera la forêt.

Hypothèse : La densité de la forêt est fixé dans le programme. Pour étudier l'influence de celle-ci, trois cas seront étudiés : 0.5, 0.

Affiche : la forêt créée, puis la forêt où un arbre a pris feu de manière aléatoire.

Renvoie : la matrice modélisant la forêt et son unique arbre enflammé, et la liste composée du couple de coordonnées de cet arbre.

Schéma fonctionnel :

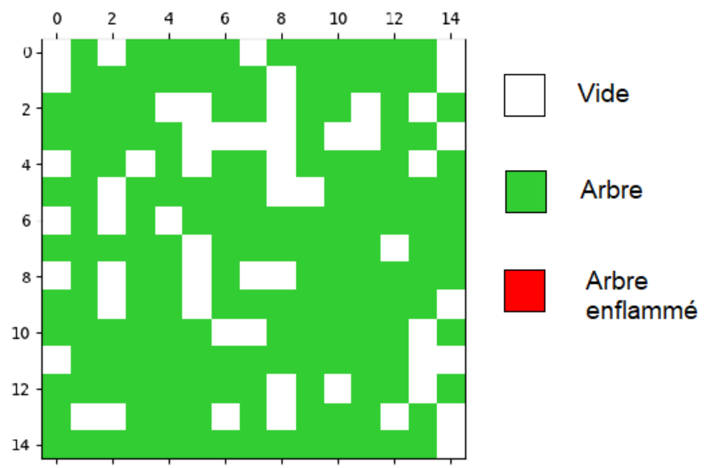


Organigramme de programmation de la fonction crea_foret_feu(n).

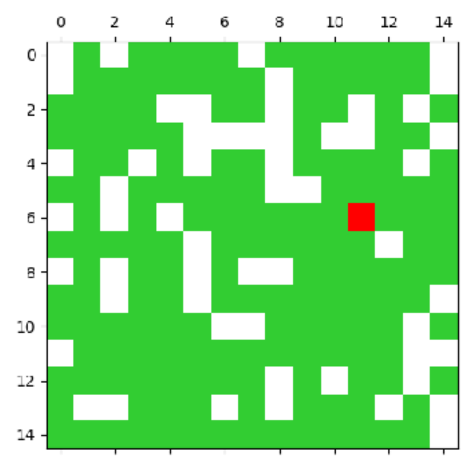
Présentation du fonctionnement de l'algorithme de base

- Exemple d’exécution :

```
>>> crea_foret_feu(19)
[[0 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0]
 [0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0]
 [1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1]
 [1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0]
 [0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0 1]
 [1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1]
 [0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]
 [1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1]
 [0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1]
 [1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0]
 [1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 1]
 [0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0]
 [1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 1]
 [1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 1 0]
 [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0]]
```




```
[[0 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0]
 [0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0]
 [1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1]
 [1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0]
 [0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0 1]
 [1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1]
 [0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1]
 [1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1]
 [0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1]
 [1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0]
 [1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 1]
 [0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0]
 [1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 1]
 [1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 1 0]
 [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0]]
```



Exemple d'exécution du programme crea_foret_feu, sur une matrice 15x15.

Présentation du fonctionnement de l'algorithme de base

•Programme principal :

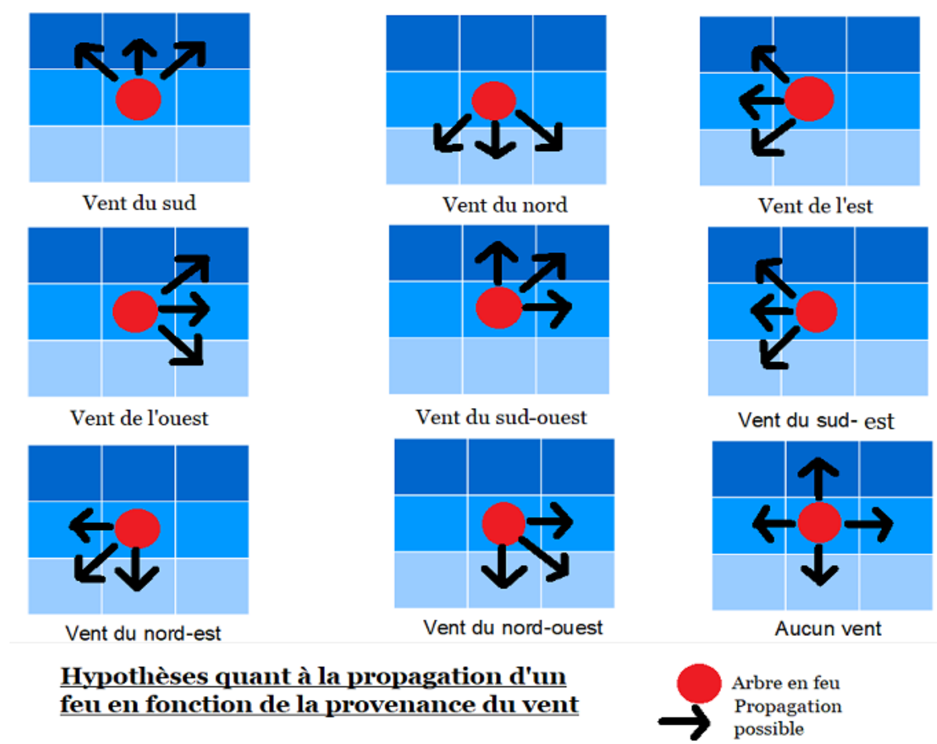
•propag(n,V) :

•Arguments : n, format de la matrice carrée qui représente la forêt et V, la provenance du vent à choisir parmi : Aucune 'A', nord 'N', sud 'S', est 'E', ouest 'O', nord-ouest 'NO', nord-est 'NE', sud-est 'SE' et sud-ouest 'SE'.

•Hypothèse : Sans aucun facteur extérieur, la probabilité qu'un arbre prenne feu est de 0,8.

•Affiche : les états successifs de la forêt jusqu'à ce que le feu ne se propage plus ou que l'utilisateur choisisse de mettre fin à la modélisation.

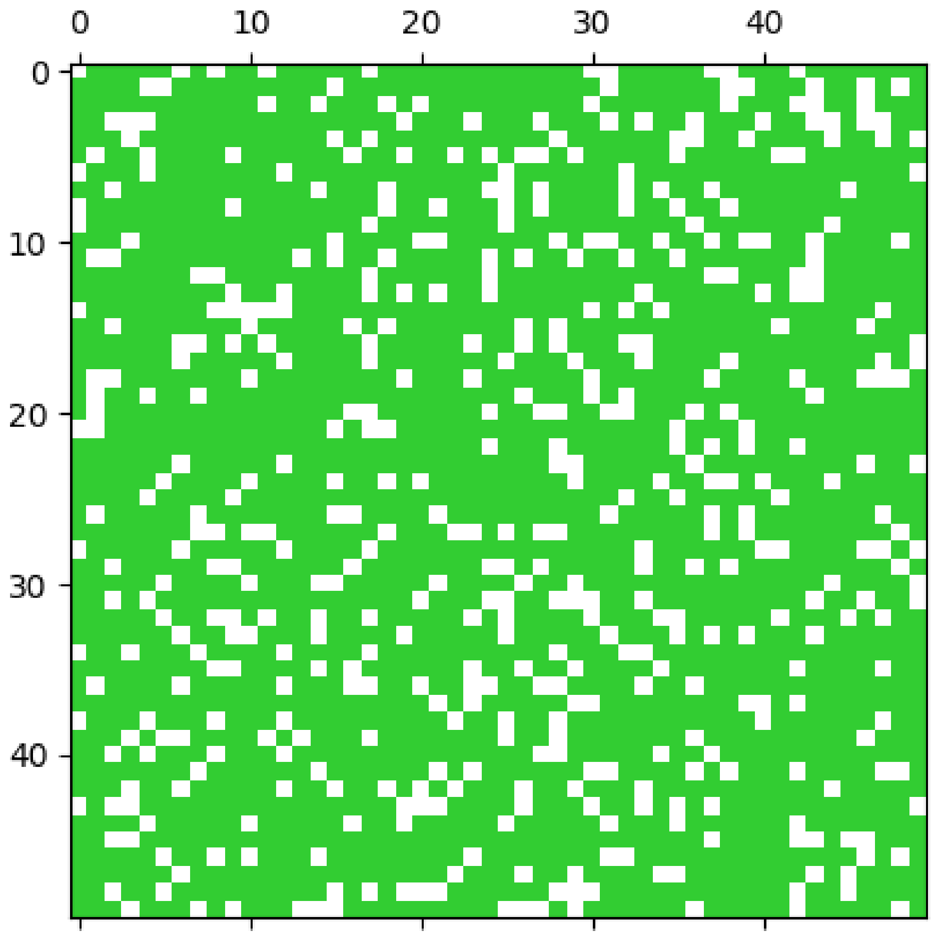
•Schéma fonctionnel : version papier

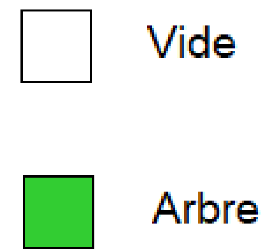


Hypothèses quant à la propagation d'un feu en fonction de la provenance du vent

Simulation de l'algorithme de base

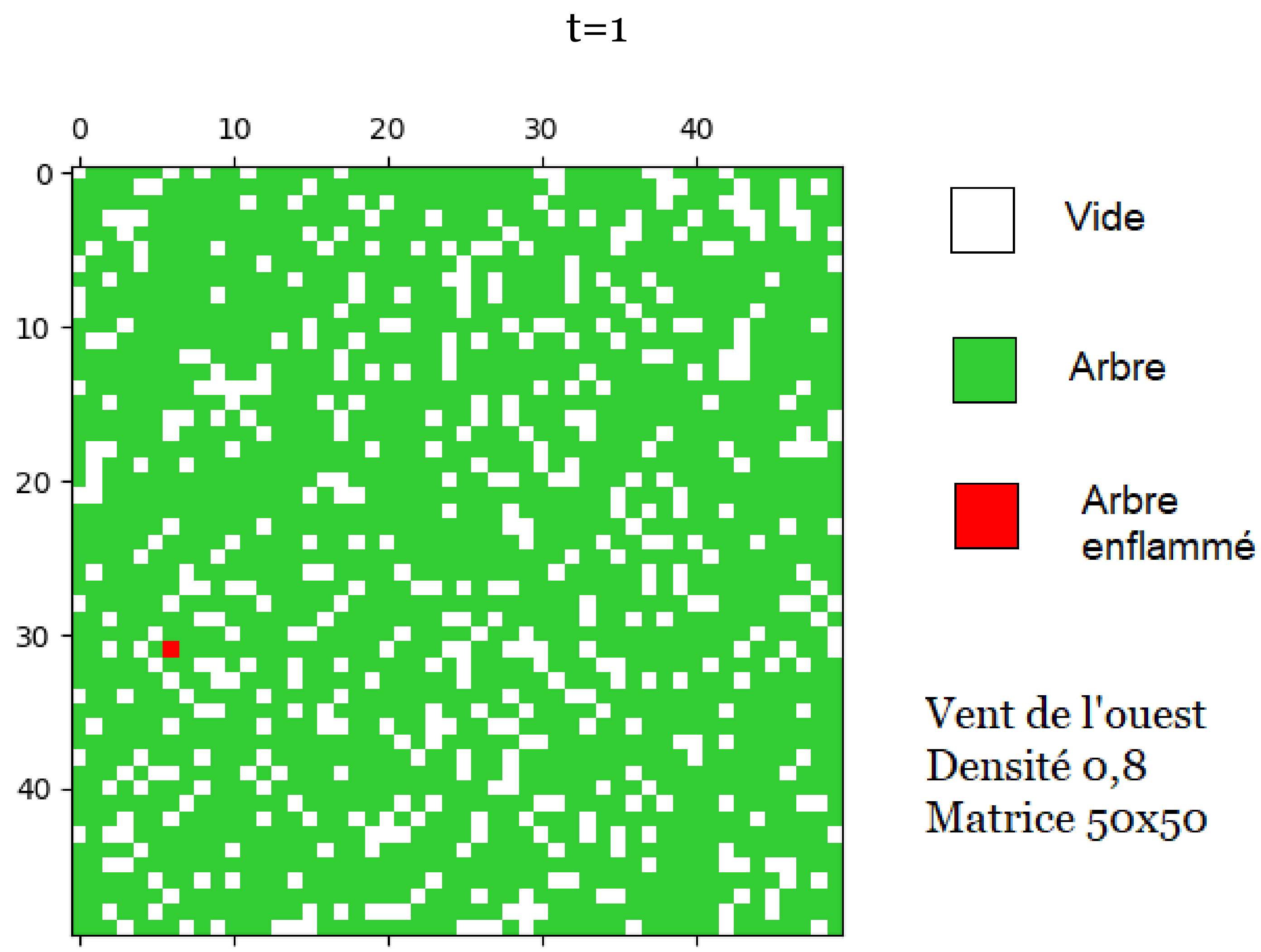
t=0





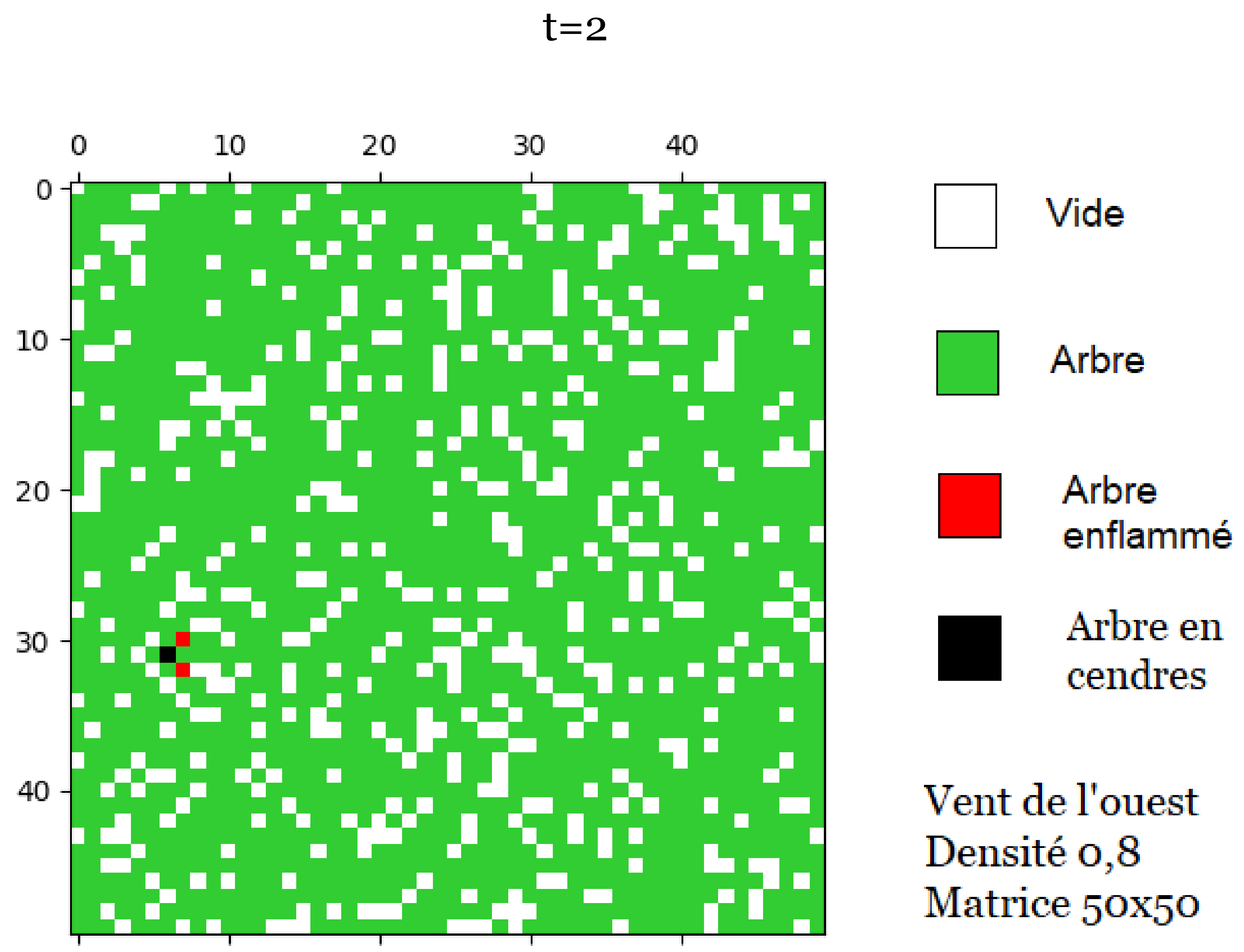
Vent de l'ouest
Densité 0,8
Matrice 50x50

Simulation de l'algorithme de base



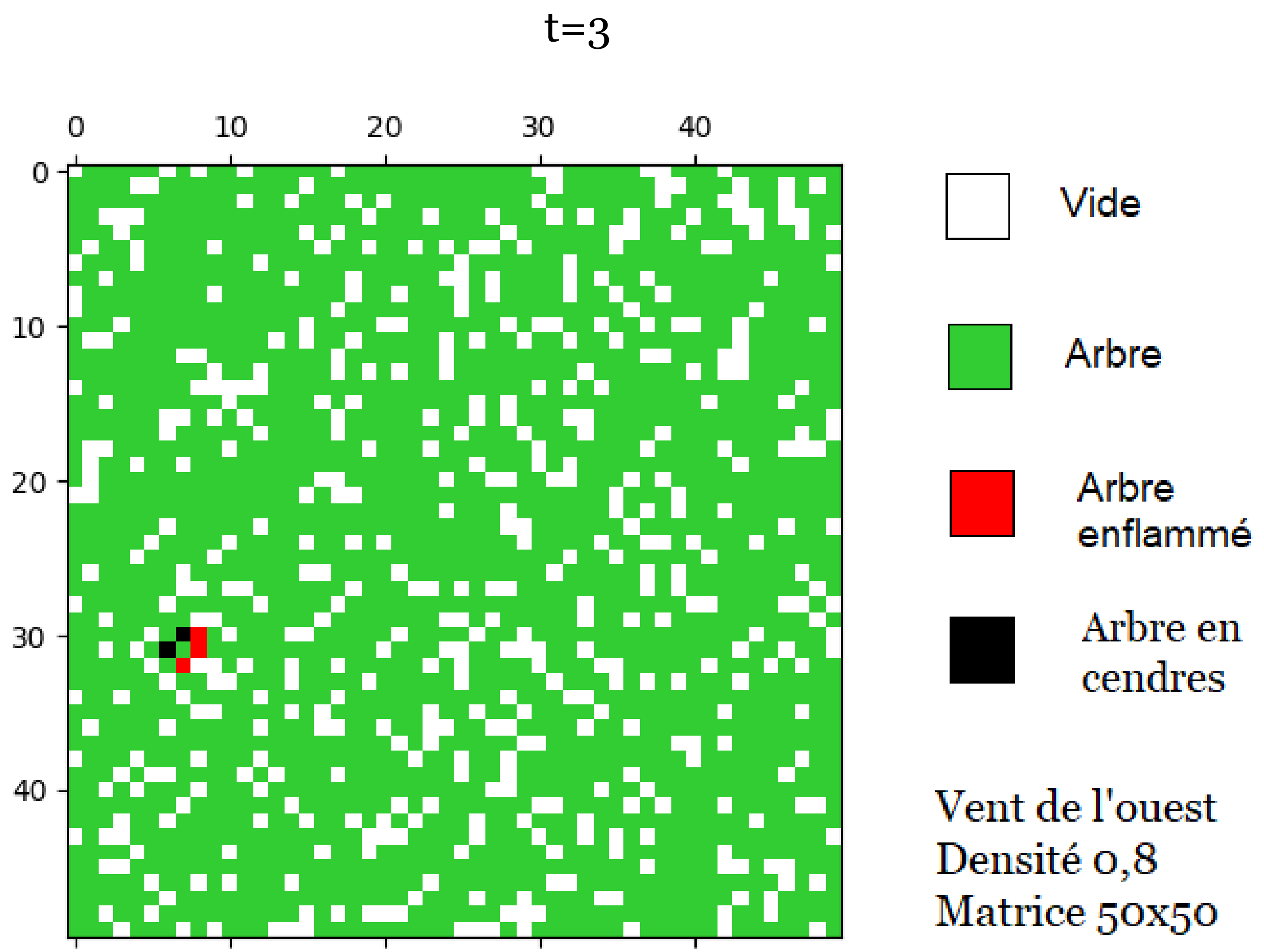
Vent de l'ouest
Densité 0,8
Matrice 50x50

Simulation de l'algorithme de base



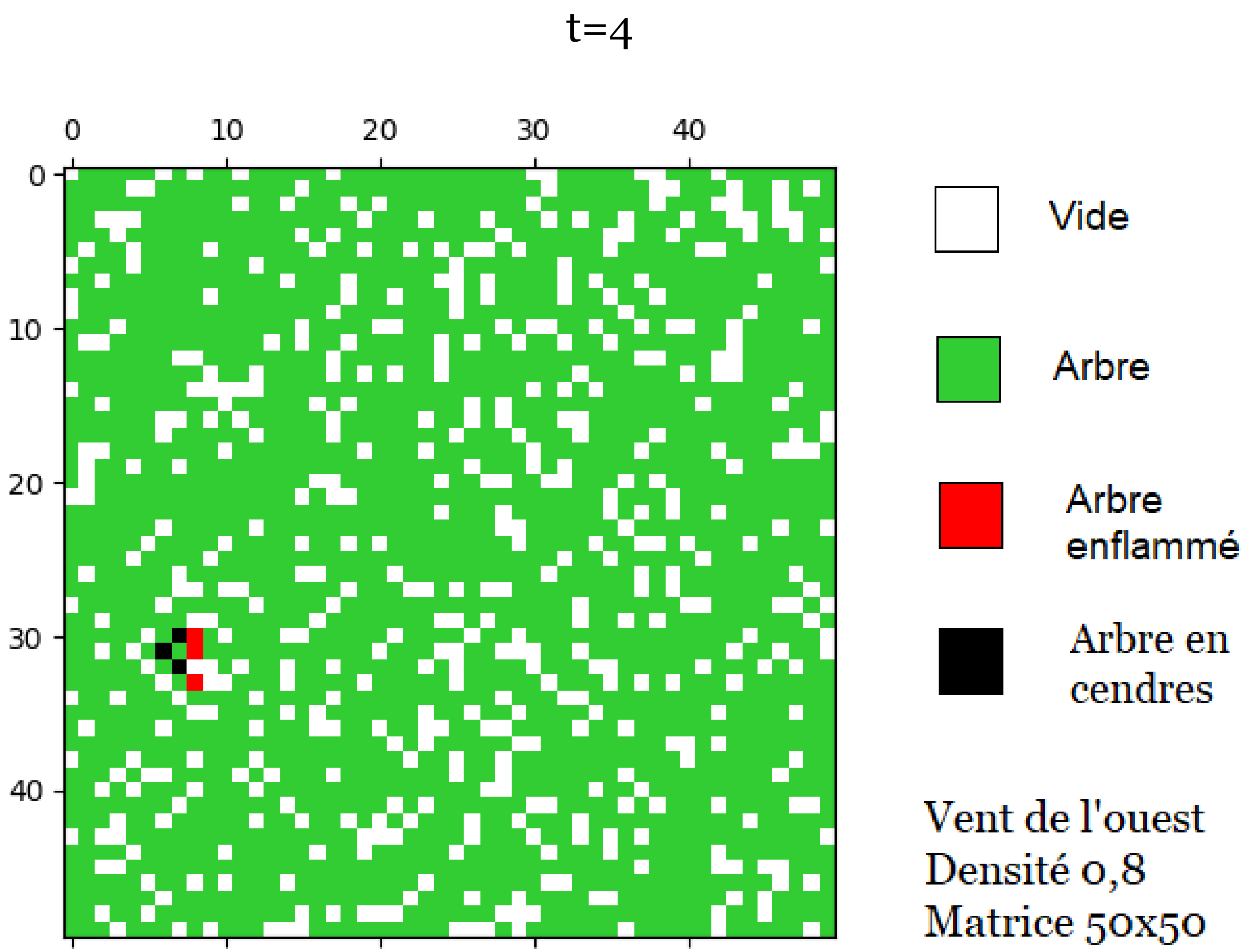
Vent de l'ouest
Densité 0,8
Matrice 50x50

Simulation de l'algorithme de base



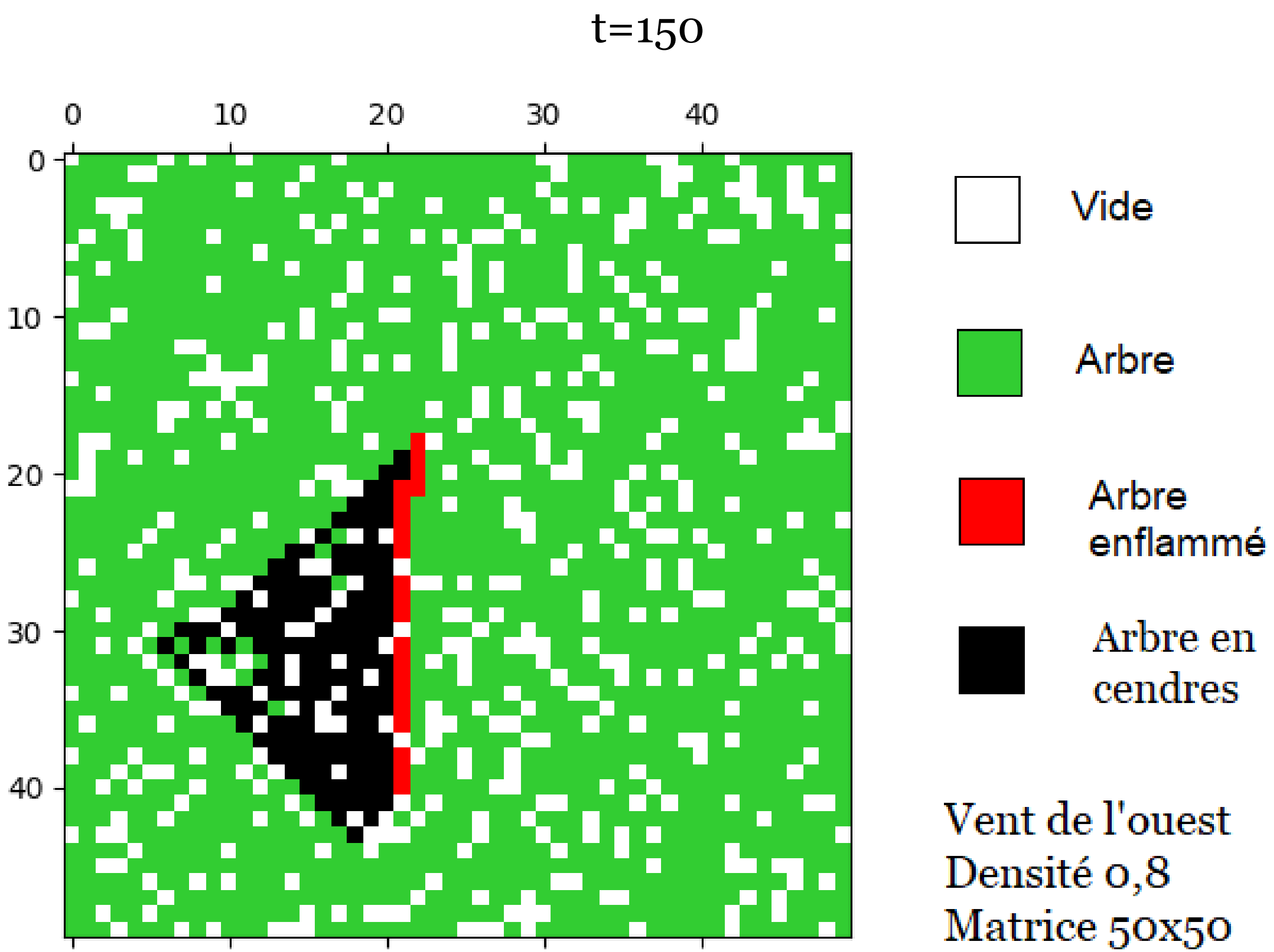
Vent de l'ouest
Densité 0,8
Matrice 50x50

Simulation de l'algorithme de base



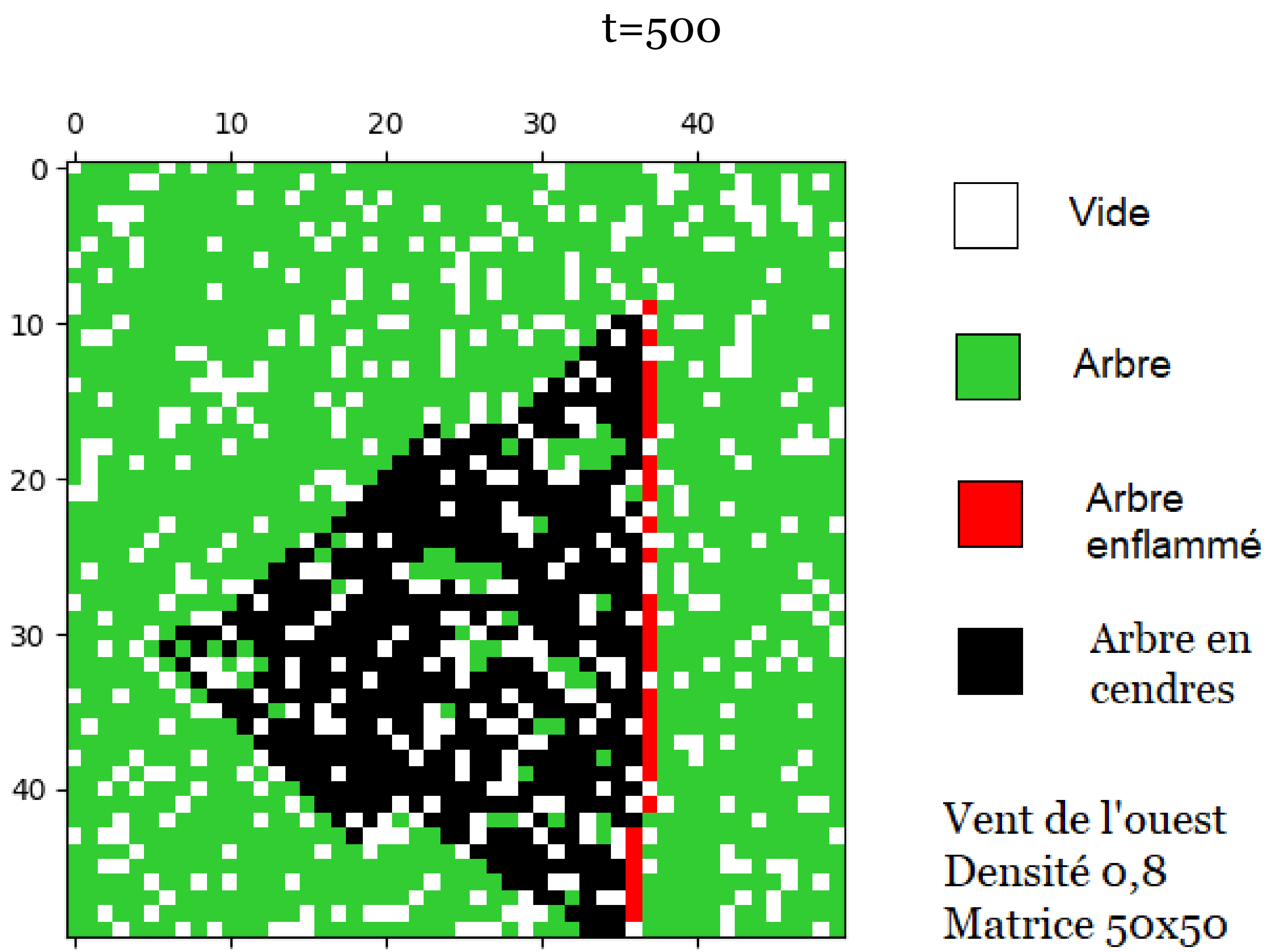
Vent de l'ouest
Densité 0,8
Matrice 50x50

Simulation de l'algorithme de base



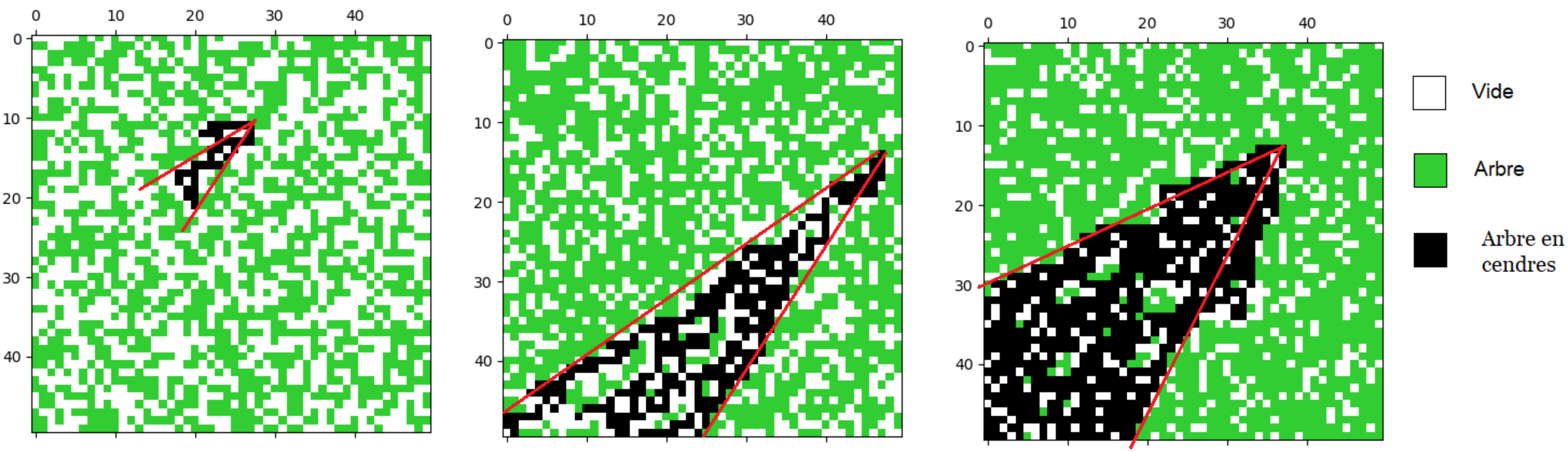
Vent de l'ouest
Densité 0,8
Matrice 50x50

Simulation de l'algorithme de base



Vent de l'ouest
Densité 0,8
Matrice 50x50

Simulation de l'algorithme de base : influence de la densité



Densité : 0,5
Arrêt de l'algorithme à t=34
Cône de propagation d'angle 25,71 degrés

Densité : 0,65
Arrêt de l'algorithme à t=295
Cône de propagation d'angle 23,3 degrés

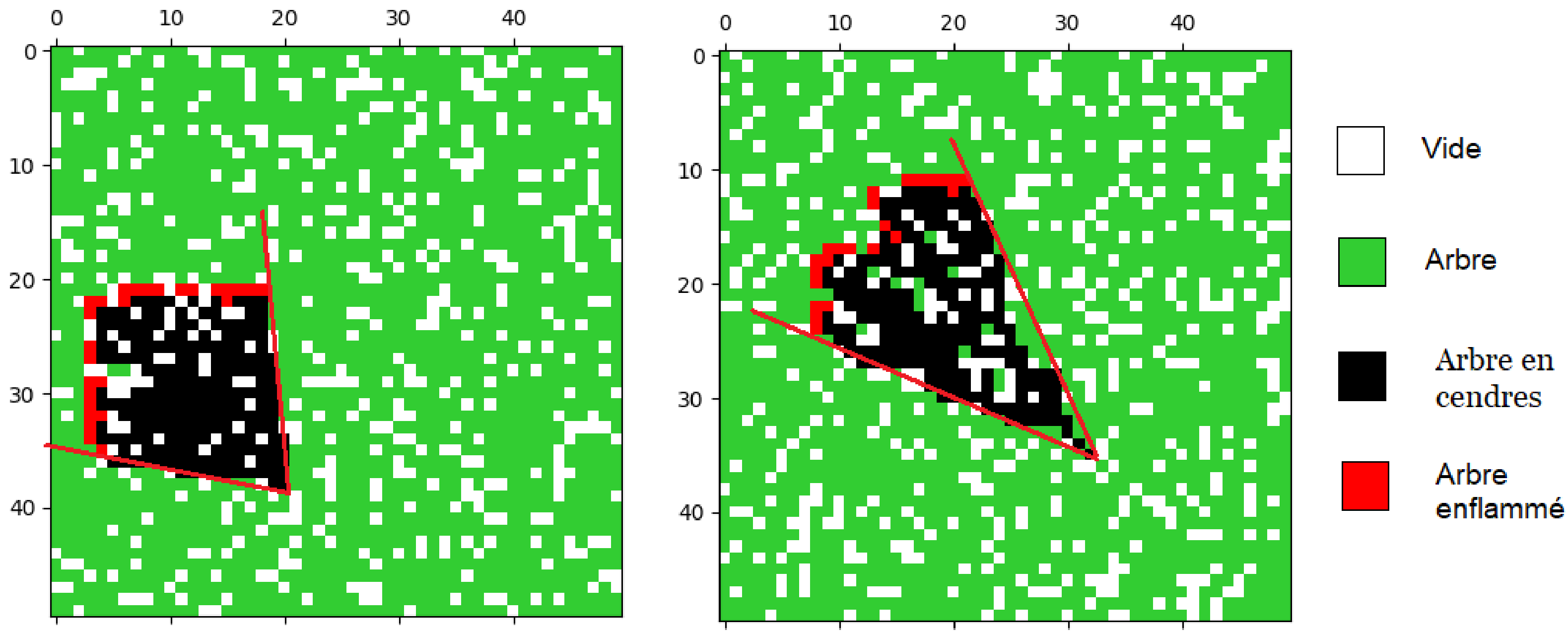
Densité : 0,8
Arrêt de l'algorithme à t=643
Cône de propagation d'angle 38,2 degrés

Propagation d'un feu de forêt modélisé sur une matrice 50x50, le vent provenant du nord-est, en fonction de la densité d'arbres.

Influence des facteurs extérieurs sur la propagation

•Influence du type de végétation : feuillus ou résineux(aussi appelés conifères) (programme 2).

• Les résineux prennent feu plus facilement que les arbres feuillus. Par manque de donnés quantitatives, je fais ici l'hypothèse qu'ils prennent forcément feu lorsqu'ils sont à proximité d'un arbre en feu, alors qu'un feuillu garde une probabilité de 0,8 de s'enflammer.



Résineux
Arrêt demandé à t=200
Cône de propagation d'angle 72,2 degrés

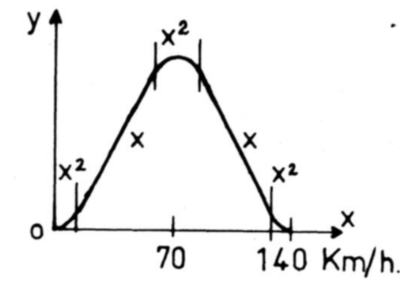
Feuillus
Arrêt demandé à t=200
Cône de propagation d'angle 42,3 degrés

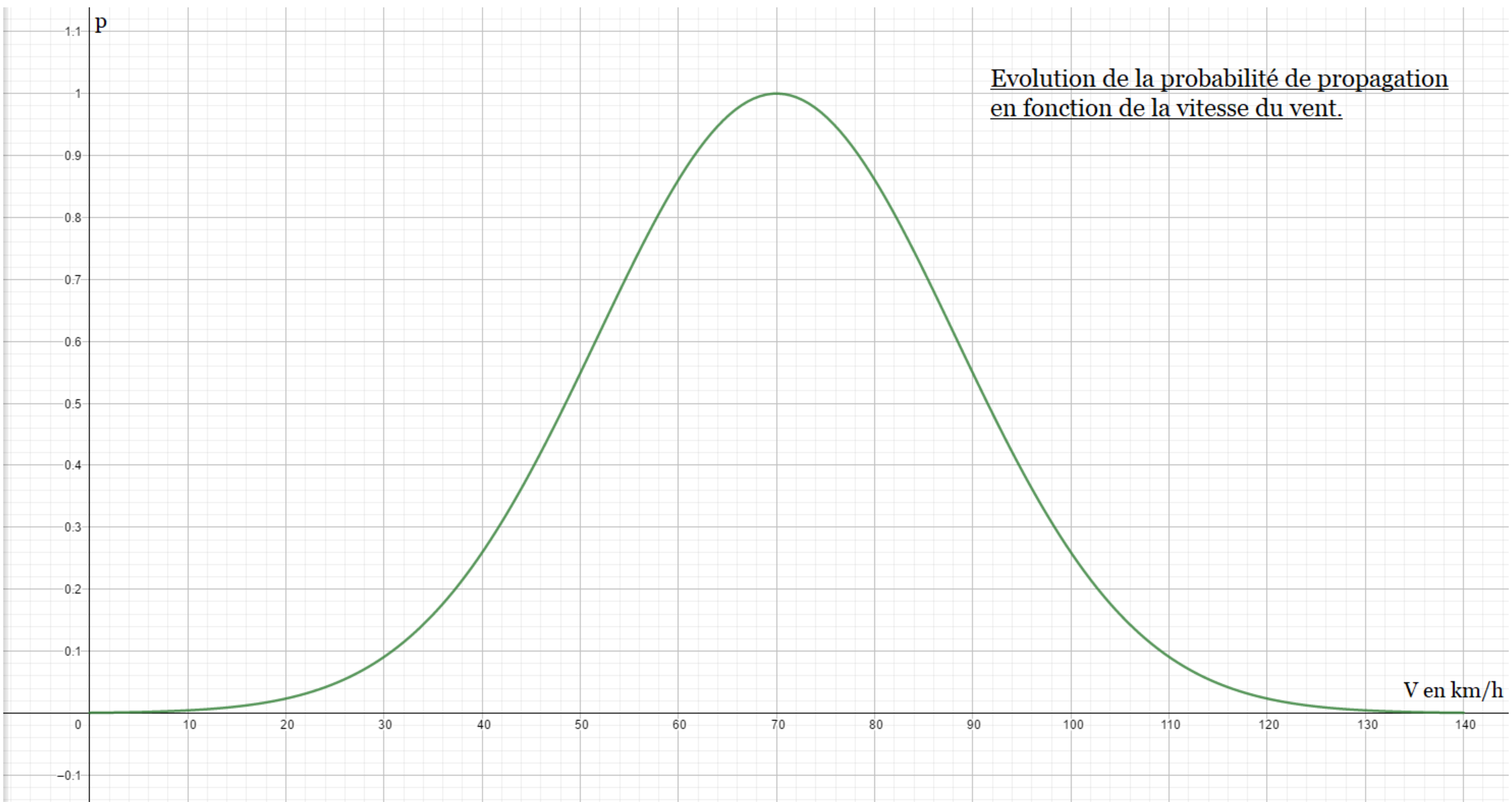
Propagation d'un feu de forêt, modélisé sur une matrice 50x50, le vent provenant du sud-est, en fonction du type de végétation.

Influence des facteurs extérieurs sur la propagation

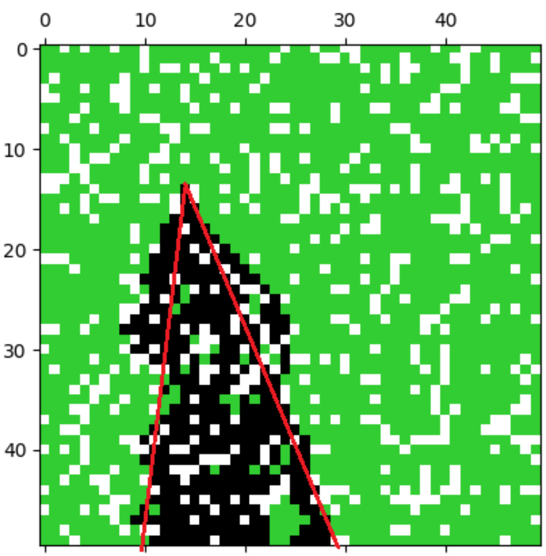
•Influence de la vitesse du vent (programme 3).

•Hypothèse de travail en relation avec un graphe trouvé dans
feux de forêts en région méditerranéenne. Théorie de la
moyens de lutte efficaces, de J.-Ch Drouet : la
est liée à la vitesse du vent v par la relation p=ex

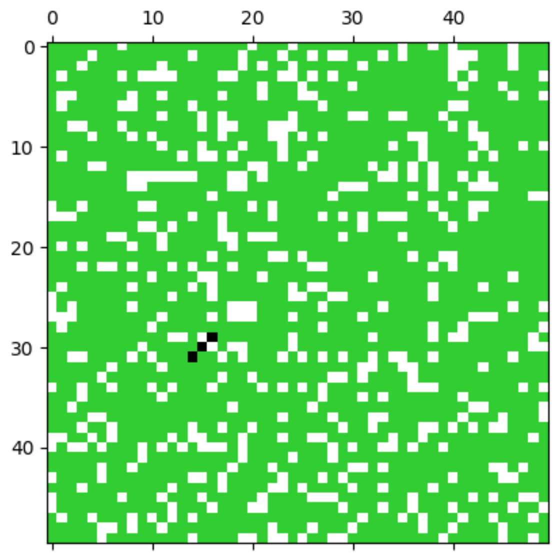




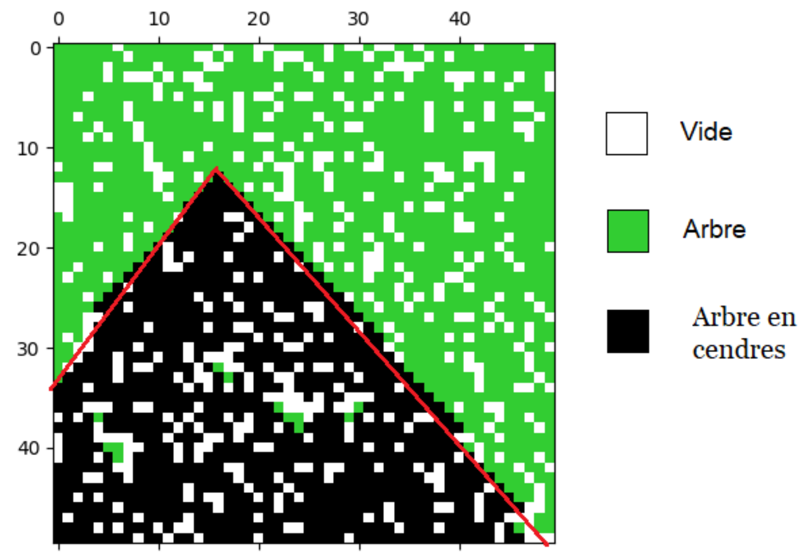
Influence des facteurs extérieurs sur la propagation



55 km/h p~0,7
Arrêt de l'algorithme à t=332
Cône de propagation d'angle 29,6 degrés



100 km/h p~0,25
Arrêt de l'algorithme à t=3
Cône de propagation inexistant



70 km/h p=1
Arrêt de l'algorithme à t=871
Cône de propagation d'angle 81,2 degrés

Propagation d'un feu de forêt, modélisé sur une matrice 50x50, le vent provenant du nord, en fonction de la vitesse du vent.

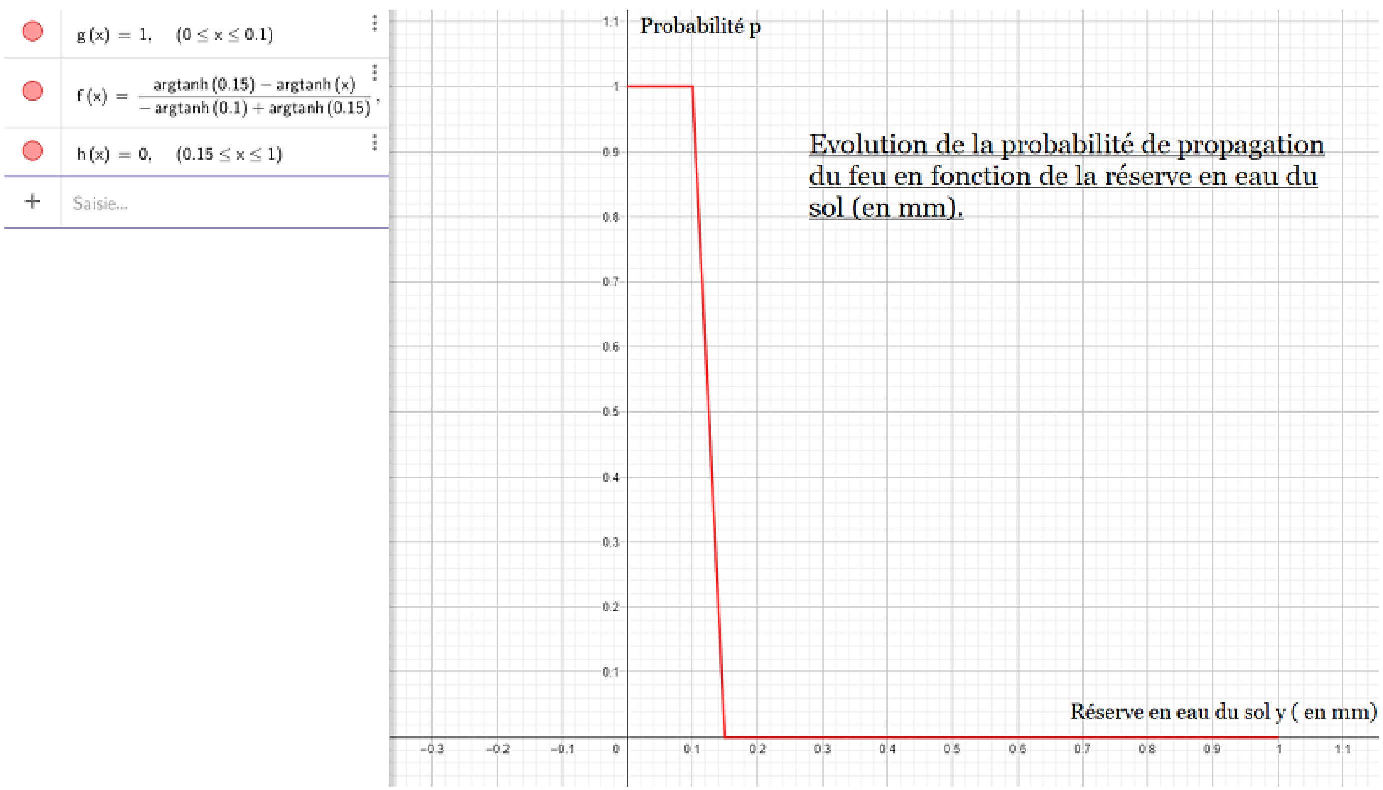
Influence des facteurs extérieurs sur la propagation

•Influence de la réserve en eau du sol (programme 4).

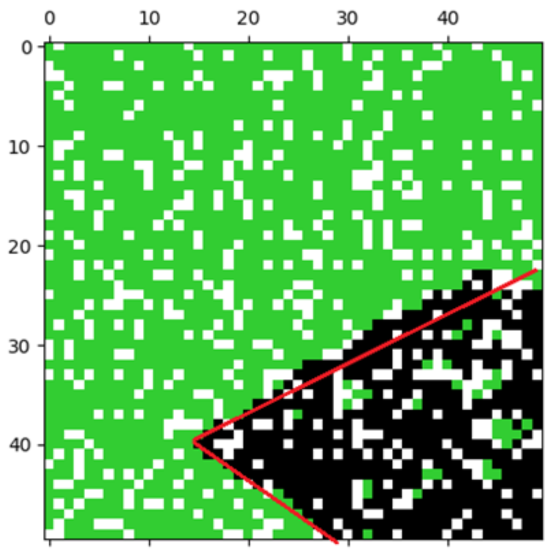
•Hypothèse de travail en relation avec les propos de J.-Ch Drouet dans Les feux de forêts en région méditerranéenne. Théorie de la propagation et moyens de lutte efficaces : la probabilité de propagation p est liée à la réserve en eau du sol y par :

•p=(argth(0,15)-argth(y))/(argth(0,15)-argth(0,1))

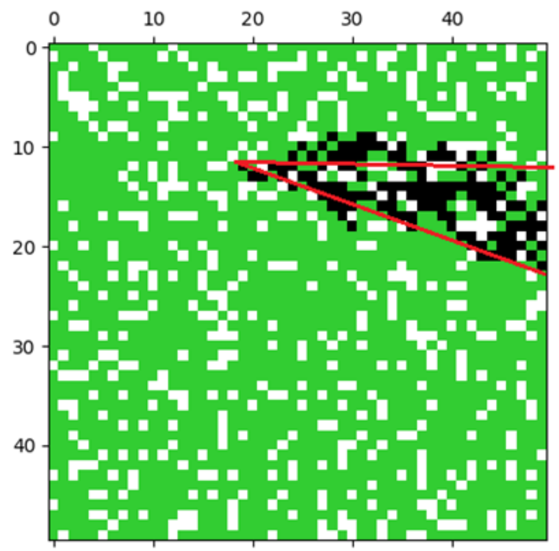
•y appartenant à l'intervalle [0.1,0.15], et p valant 1 si y<0,10 et 0 si y>0,15. De cette manière, la probabilité vaut 0 en 0,15m à 10^{-5} près, et vaut 1 en 0,10m, et décroit suivant un arc de tangente hyperbolique entre ces deux valeurs.



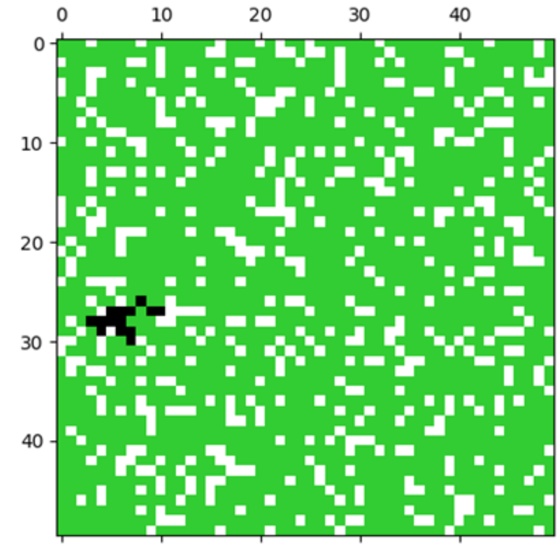
Influence des facteurs extérieurs sur la propagation



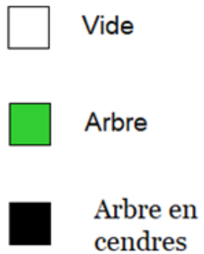
110 millimètres p~0,8
Arrêt de l'algorithme à t=489
Cône de propagation d'angle
60 degrés



120 millimètres p~0,6
Arrêt de l'algorithme à t=128
Cône de propagation d'angle
17,4 degrés



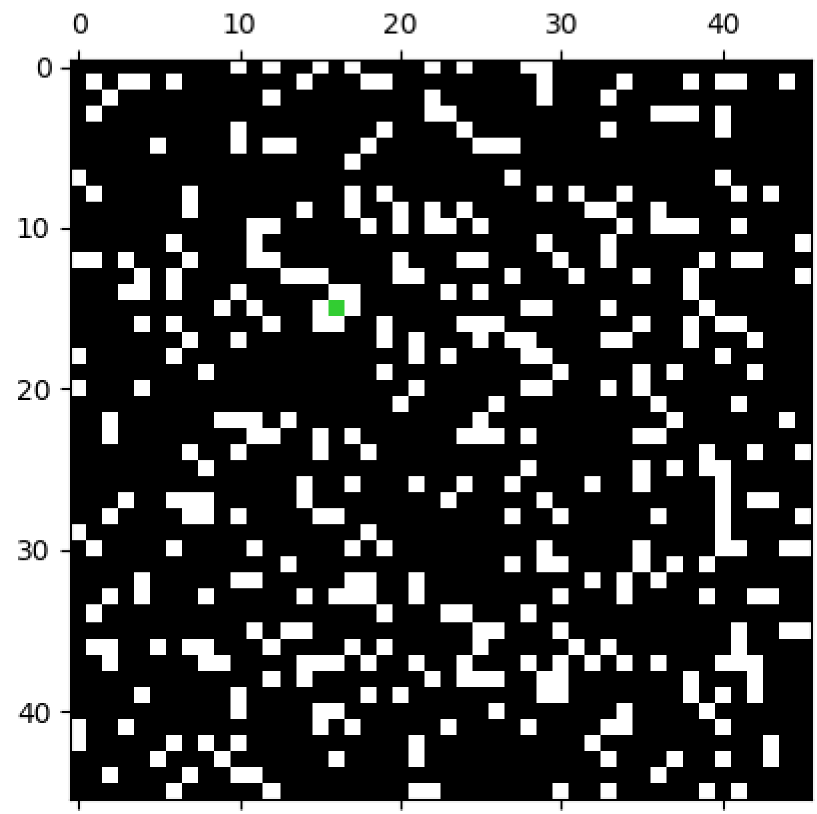
130 millimètres p~0,4
Arrêt de l'algorithme à t=14
Cône de propagation inexistant



Propagation d'un feu de forêt modélisé sur une matrice 50x50, le vent provenant de l'ouest, en fonction de la réserve en eau du sol.

Est-il possible que tout brûle ?

- Un exemple :
- L'intégralité de la forêt modélisée brûle lorsque la probabilité de propagation est maximale.
- → Vent : Aucun
- → Forêt de résineux
- → Mise en feu de l'arbre au centre
- de la forêt
- → Forêt intégralement brûlée à t=1930



Conclusion

•**Pistes pour renforcer la sécurité des pompiers lors d'un incendies de forêts :**

•→ Rendre les forêt plus sûres avant même qu'un incident n'arrive : en contrôlant le niveau des nappes phréatiques ; en cherchant un système permettant de protéger les forêts de vents à risques ; en considérant l'idée d'abattre certaines parties de forêts afin de sauver celles restantes, notamment en privilégiant les forêts de feuillus aux forêts de conifères.

•→ Anticiper les déplacements humains sur le terrain : plus la probabilité de propagation est haute, plus le feu se répandra sur une large zone mais il progressera moins vite dans la direction du vent. Au contraire, une probabilité faible implique un cône de propagation étroit mais une expansion spatiale rapide dans le direction du vent. Ce sont donc des incendies qui ne s'affrontent pas de la même manière, et savoir à l'avance à quel type de propagation le pompier va faire face pourrait être décisif, autant au niveau de sa sécurité, que de l'efficacité de l'intervention.

Annexe

- Calcul de la complexité de liste(p) et de crea_foret_feu(n):
- On fixe que l'on prend une unité de temps pour :
- → Une opération élémentaire
- → Une affectation
- → Une comparaison
- → L'appel d'une fonction déjà intégrée dans python.
- → Un affichage
- C(liste)=104
- C(crea_foret_feu)= $7n^2+o(n^2)$ dans le pire des cas
- = $2n^2+o(n^2)$ dans le meilleur des cas

Annexe

•10 simulation sur des matrices 10x10 amènent à une densité d'arbre moyenne de 0,805.

•Plus le format de la matrice augmentera, plus cette densité se rapprochera encore plus de 0,8 : c'est la loi faible des grands nombres : lorsque l'on répète un grand nombre de fois des expériences indépendantes (ici on se ramène à un schéma de Bernoulli avec comme succès l'obtention d'un 1 et comme échec l'obtention d'un 0), la moyenne des valeurs va tendre vers l'espérance (ici la densité fixée : 0,8).

•Expression de la loi et démonstration :

Théoreme 1 (Loi faible des grands nombres). *Soit $X_1, X_2, \ldots, X_n$ n variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées d'espérance commune μ et de variance commune $\sigma^2 < \infty$. On pose $\bar{X}_n = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$ la moyenne empirique. Alors*

$$\forall \varepsilon > 0, \quad \lim_{n \to +\infty} \mathbb{P}\left\{|\bar{X}_n - m| > \varepsilon\right\} = 0$$

Démonstration. Le théorème se montre en utilisant l'inégalité de Tchebychev :

$$\mathbb{P}\left\{|\bar{X}_n - \mathbb{E}\{\bar{X}\}| > \varepsilon\right\} \leq \frac{\operatorname{Var}\left\{\bar{X}_n\right\}}{\varepsilon^2}$$

avec

$$\mathbb{E}\{\bar{X}\} = \mathbb{E}\left\{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i\right\} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\mathbb{E}\left\{X_i\right\} = \mu$$

et, parce que les X_i sont indépendantes,

$$\operatorname{Var}\left\{\bar{X}\right\} = \operatorname{Var}\left\{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i\right\} = \frac{1}{n^2}\sum_{i=1}^{n}\operatorname{Var}\left\{X_i\right\} = \frac{\sigma^2}{n}$$

Par conséquent $\mathbb{P}\left\{|\bar{X}_n - \mathbb{E}\{\bar{X}\}| > \varepsilon\right\} \leq \frac{\operatorname{Var}\left\{\bar{X}_n\right\}\sigma^2}{n\varepsilon^2}$ et donc

$$\lim_{n \to +\infty} \mathbb{P}\left\{|\bar{X}_n - m| > \varepsilon\right\} = 0$$