



## Equilibre et résilience d'un écosystème

### Dossier 3 : Perturbation et résilience d'un écosystème

définition ? L'écosystème forestier est un ensemble en équilibre dynamique dans lequel existent des successions écologiques. Même sans l'action de l'homme, il évolue dans le temps et dans l'espace et son équilibre est susceptible d'être bousculé à tout moment par des facteurs internes et externes. En effet, cet écosystème complexe peut être affecté par diverses perturbations naturelles, telles que les incendies, les maladies des arbres ou les impacts humains et, selon les situations, retrouver ou non son état initial par la suite. Est-ce qu'une catastrophe naturelle ou une maladie, en détruisant une partie des organismes vivants dans l'écosystème, met celui-ci en péril ? Quelles caractéristiques de cet écosystème limitent l'impact des perturbations ? Comment une forêt surmonte-t-elle ces épreuves ? TB

Dans l'espace forestier, les arbres ont un rôle majeur puisqu'ils structurent l'écosystème et conditionnent son équilibre. Sans intervention humaine ou perturbation majeure, les arbres dans une forêt grandissent, vieillissent puis meurent. Mais cet écosystème se modifie constamment et peut être affecté par de nombreuses perturbations naturelles. Parmi ces menaces qui peuvent mettre en danger la biodiversité de tout l'écosystème, il y a les incendies. Ils touchent régulièrement les forêts et leurs causes naturelles sont plutôt minoritaires. Les activités humaines sont souvent à l'origine de la plupart des incendies de forêt. Sur le moment, il s'agit d'épisodes catastrophiques qui détruisent le biotope mais aussi la biocénose en interaction avec ce milieu. Néanmoins, à long terme, les chercheurs ont montré que ces feux, s'ils ne sont pas trop fréquents, peuvent avoir un effet bénéfique pour l'écosystème. B

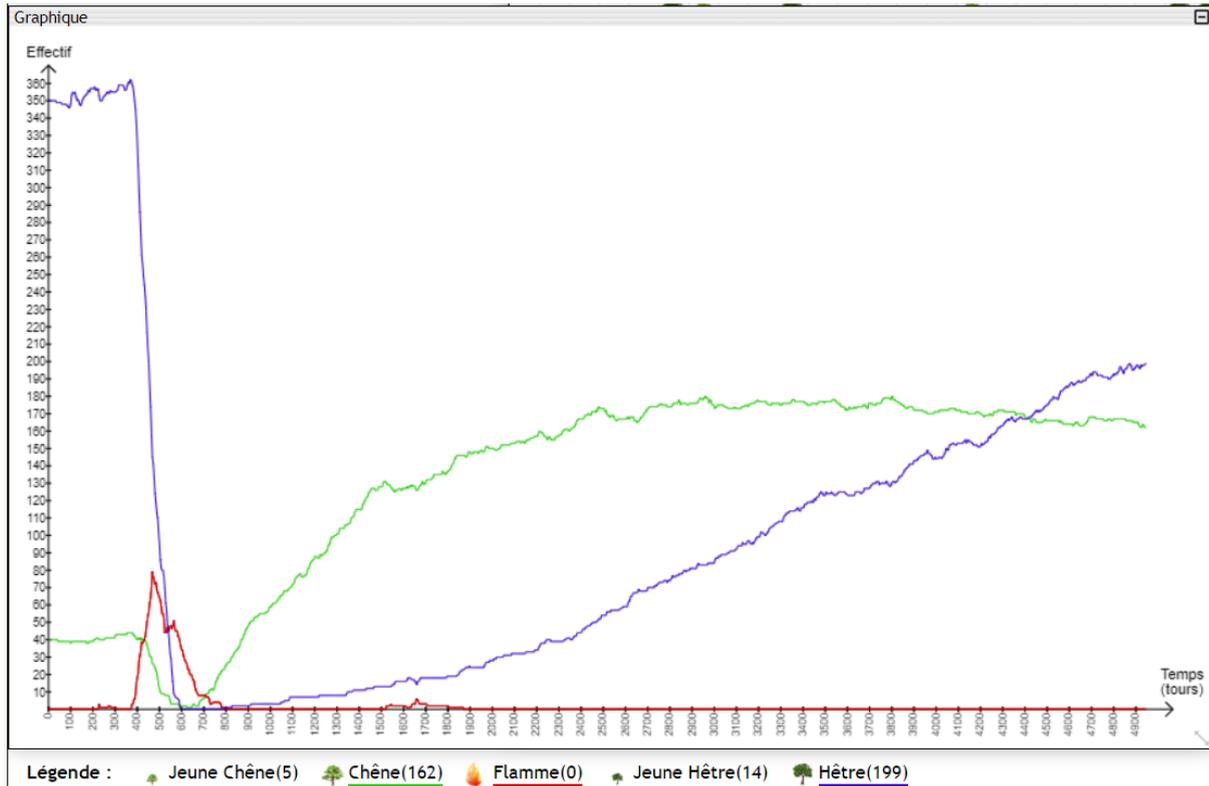
On cherche à montrer par la modélisation, que les incendies peuvent, dans une certaine mesure, contribuer à maintenir une certaine biodiversité. Dans la continuité du dossier 1, on effectue des simulations à partir d'une forêt mixte dans laquelle hêtres et chênes, 2 espèces qui partagent les mêmes exigences écologiques, sont en quantités égales. Pour simuler des incendies réguliers, on utilise le modèle 3 auquel on a ajouté un nouvel agent aux 4 agents initialement présents : ce nouvel agent nommé "*Flamme*" a une demi-vie limitée afin que le feu finisse par s'éteindre tout seul. L'effectif initial de cet agent est de 0, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'incendie au départ. Ce nouveau modèle ajoute :

- des règles de *combustion* pour chaque agent (hêtre, jeune hêtre, chêne, jeune chêne) du type :

$$\text{Flamme} + \text{chêne} = \text{Flamme} + \text{Flamme} + \text{Flamme}$$

- une règle "*Incendie spontané*" de type "*Génération spontanée*" afin que des incendies se propagent spontanément. Cette règle fera apparaître, avec une probabilité très faible, une flamme.

On lance le modèle 3 et on obtient le graphique suivant qui montre les conséquences d'un incendie sur la chênaie-hêtraie :



**Graphique représentant les résultats de la modélisation de l'impact d'un incendie dans une chênaie-hêtraie durant 4900 tours**

Avant l'incendie, on remarque que les chênes (courbe verte) sont en faible nombre, la chênaie-hêtraie étant largement dominée par les hêtres (courbe bleue). Durant l'incendie (courbe rouge), qui démarre à 400 tours, et prend fin à 700 tours avec un pic d'intensité maximale à 500 tours, on observe une chute brutale du nombre d'arbres dans la forêt, chênes et hêtres confondus, l'incendie les ayant ravagés créant ainsi un terrain quasi nu.

A l'issue de l'incendie, on constate que la courbe des chênes, qui dessinait un plateau représentant un faible effectif d'une quarantaine d'arbres avant l'incendie, repart à la hausse pour atteindre un effectif de 180 arbres dépassant largement les hêtres jusqu'à 4400 tours où la tendance s'inverse. Les chênes, qui étaient devenus rares, deviennent donc fréquents à la fin de l'incendie, durant une certaine période, le temps que les hêtres s'installent, mais cette tendance ne dure pas et les hêtres finissent par reprendre le dessus. Comme on l'a vu précédemment, le chêne, qui a besoin de lumière intense pour sa croissance, est habituellement en compétition pour la lumière avec le hêtre qui, au contraire, est très tolérant à l'ombrage. **TTB**

A la lecture de ce graphique, on note que les espèces d'arbres qui se réinstallent les premières après un incendie sont les chênes : ce sont des espèces "pionnières" qui, étant héliophiles, bénéficient du fait qu'on parte d'un environnement dégagé par l'incendie, dans lequel il n'y a pas encore de compétition pour la lumière. On en déduit que les incendies contribuent à favoriser l'installation d'espèces héliophiles comme le chêne qui, sans ces perturbations naturelles, risquent d'être vite submergées par les espèces sciaphiles comme le hêtre. En ce sens, les incendies, s'ils ne sont pas trop fréquents, contribuent, dans une certaine mesure, à maintenir une certaine biodiversité dans l'écosystème forestier puisqu'ils ont permis un retour du chêne. **définition ?**

**TB**



L'écosystème forestier a donc une capacité de résilience face à un incendie, qui lui permet, dans la majorité des cas, de retrouver un équilibre avec le temps grâce à la diversité des êtres vivants et à leurs préférences écologiques. Cette résilience se définit comme la capacité d'un écosystème à se réparer et à retrouver son état initial à la suite d' une perturbation.

Il est possible d'élargir cette notion de résilience en y intégrant une autre forme de perturbation : une maladie touchant les arbres, le chancre du hêtre. Il s'agit d'une maladie causée par une cochenille et un champignon nommé *Nectria ditissima*, parasite spécifique du hêtre. L'extension de la maladie provoque une diminution de la croissance de l'arbre, un dessèchement et une mortalité plus ou moins rapide. Cette perturbation peut bouleverser l'équilibre de l'écosystème forestier. **TB**

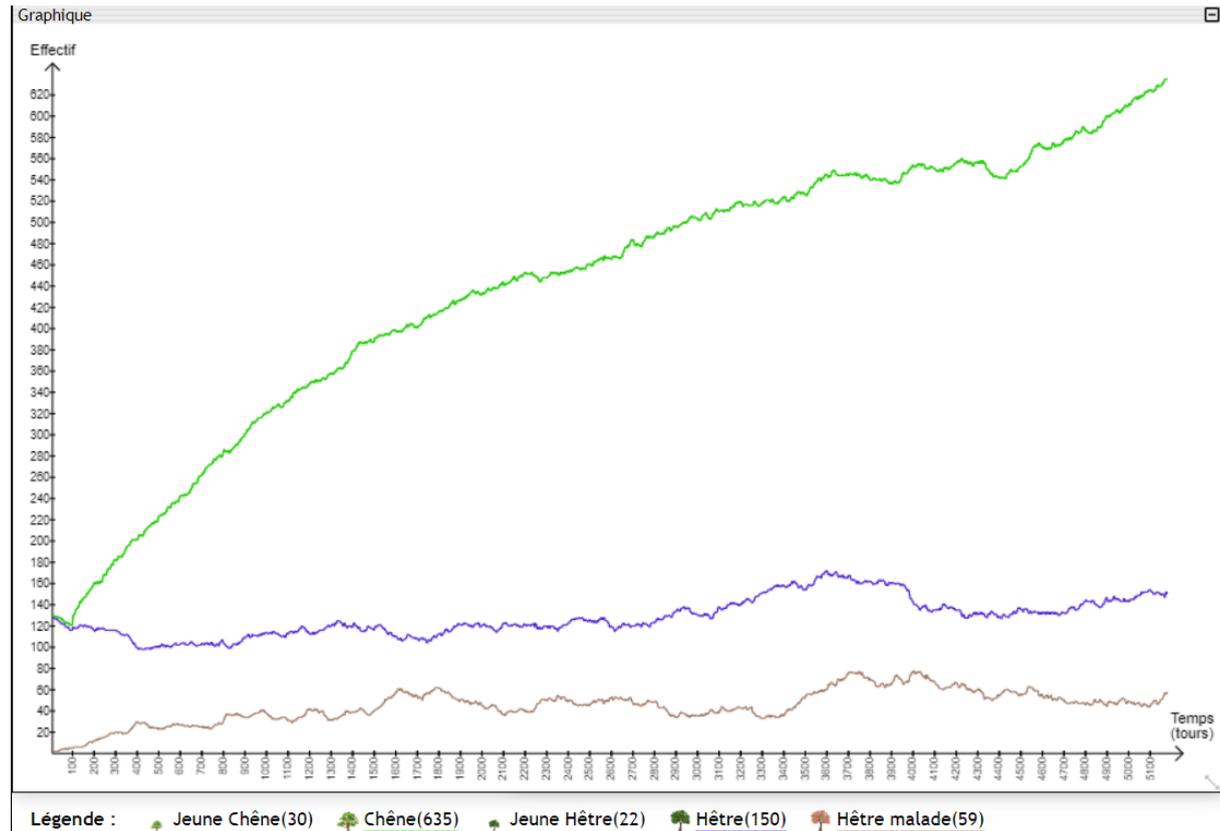
D'après les sylviculteurs, les chênaies-hêtraies sont plus résilientes face aux maladies que les hêtraies sans chêne. On cherche à vérifier cette résilience par la modélisation. Pour cela, on repart du modèle 1 (sans compétition ni incendie) afin de ne tester qu'un seul facteur à la fois. On ajoute à ce modèle initial un nouvel agent "*Hêtre malade*" qui n'aura qu'une demi-vie de 200 tours. On ajoute aussi 2 nouvelles règles :

- une règle de *contamination aléatoire* : 1% de chance qu'un hêtre sain au hasard développe la maladie

- une règle de *contagion directe* : hêtre malade + hêtre sain = 2 hêtres malades

Pour tester l'hypothèse des sylviculteurs, on doit réaliser 2 simulations : un premier modèle avec une forêt mixte de chênes et de hêtres et un deuxième modèle avec une hêtraie simple.

On lance le **1er modèle avec une forêt mixte** et on obtient le graphique suivant :

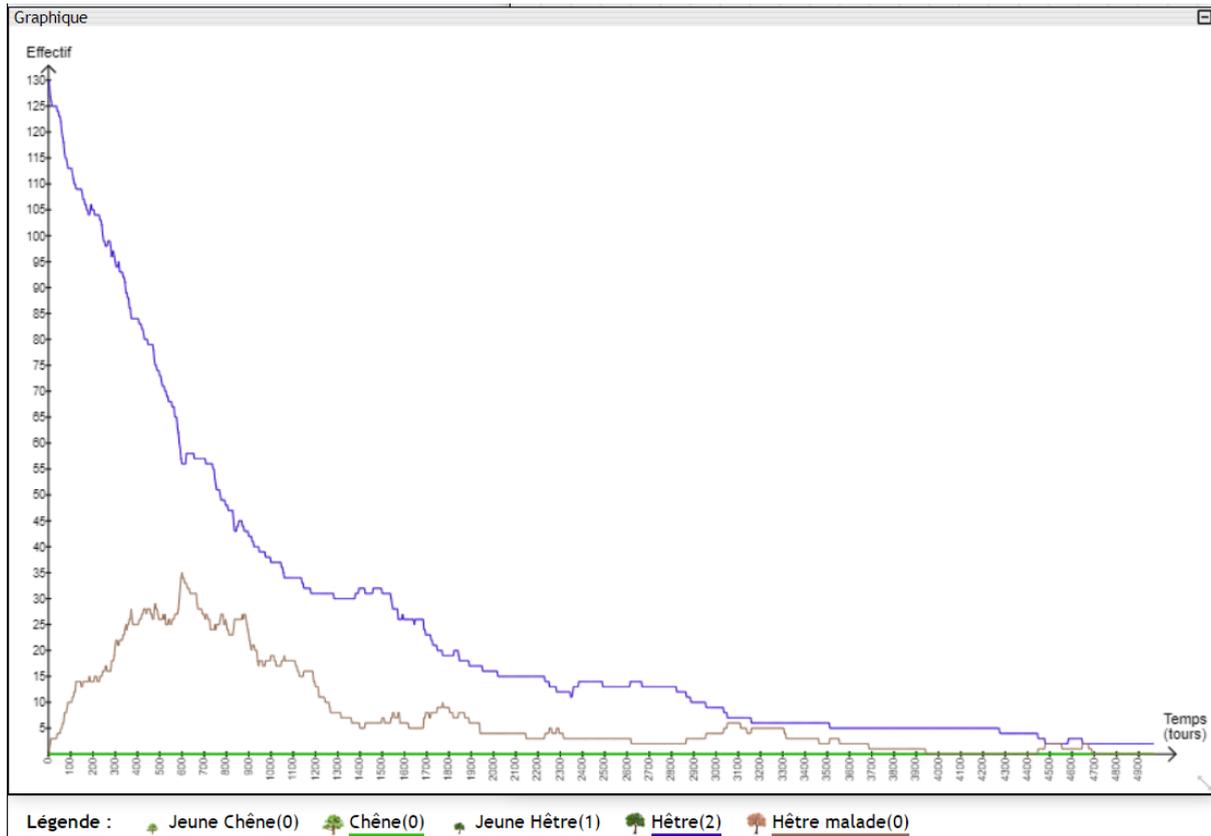


**Graphique représentant la modélisation de la maladie du chancre du hêtre sur une forêt mixte durant 5100 tours**

Dans la chênaie-hêtraie, on remarque que l'impact de la maladie du chancre est relativement faible : La courbe des hêtres malades (courbe marron) reste basse, elle ne dépasse pas la cinquantaine d'arbres touchés, tandis que celle des hêtres sains (courbe bleue) atteint le triple de cet effectif et celle des chênes est la plus croissante des trois courbes qu'elle domine très largement (courbe verte) jusqu'à la fin des 5100 tours du graphique. On en déduit que le mélange d'arbres réduit l'impact de la maladie du chancre sur le hêtre.

en comparant avec quel témoin ?

Pour ce qui est du **2e modèle, celui de la hêtraie sans chêne**, on réduit à 0 les effectifs des agents "chêne" et "jeune chêne" pour ne laisser que les hêtres et on supprime la règle de *germination des chênes*. On obtient le graphique suivant :



**Graphique représentant les résultats de la modélisation de la maladie du chancre du hêtre sur une hêtraie sans chêne durant 4900 jours**

On remarque que la contamination par la maladie est extrêmement rapide : la courbe des hêtres sains, (courbe bleue) très élevée au départ, décroît brutalement jusqu'à atteindre un effectif nul, les hêtres malades ayant contaminé très rapidement ceux qui étaient sains au départ. La maladie a été foudroyante et aucun hêtre n'a survécu.

On en déduit que le fait d'associer des hêtres avec d'autres arbres, ici les chênes, réduit les chaînes de transmission de la maladie. Ces arbres servent de barrière physique pour limiter la propagation de cette maladie qui n'attaque que les hêtres. On en conclut que l'hypothèse des sylviculteurs est vérifiée puisque la présence du chêne dans la forêt augmente la résilience face à la maladie du chancre du hêtre. Ce constat montre que plus la biodiversité d'un écosystème est grande, plus cet écosystème est résilient. Ainsi, le mélange des 2 espèces d'arbres, chêne et hêtre, a des effets positifs sur l'écosystème tout entier et donc sur sa biodiversité. **B**

Pour conclure, après des perturbations comme les incendies, les forêts sont la plupart du temps capables de se régénérer. Certaines espèces tirent un bénéfice de l'espace mis à nu par les flammes, comme les chênes, qui en tant qu'espèce pionnière vont coloniser très rapidement le milieu sans souffrir de la concurrence des autres végétaux. On reverra alors venir une biodiversité qui avait disparu avec le retour du chêne. En cas de perturbation par les maladies comme le chancre du hêtre, la coexistence de plusieurs espèces d'arbres, ici chênes et hêtres, permet de bloquer rapidement la contamination si on a une bonne proportion de chênes. La résilience d'un écosystème est liée à sa biodiversité : plus un écosystème contient une grande diversité d'espèces, mieux il résistera aux perturbations. Toutefois, tout écosystème reste fragile et a une capacité de résilience jusqu'à un certain



seuil de perturbation. C'est pourquoi il est important de réduire les impacts humains sur le fonctionnement des écosystèmes dont on exploite les ressources (forestières par exemple). Pour trouver un équilibre entre le maintien de la biodiversité et nos activités économiques, il faut garder à l'esprit que notre santé dépend de celle des écosystèmes qui nous entourent.

TB