

Quels apports de la modélisation pour l'aide à la gestion de la renouée du Japon ?

Les modèles permettront-ils prochainement d'aider les gestionnaires à optimiser leurs stratégies d'intervention sur le terrain pour freiner l'invasion par les renouées asiatiques ?

C'est le pari que font les chercheurs d'Irstea en proposant un nouvel outil de modélisation qui permettra à terme de décrire la dynamique de croissance d'un massif de renouées soumis à différentes fréquences de fauche.



Les modèles sont une représentation simplifiée d'un phénomène. Lorsque ces représentations sont décrites en langage mathématique ou informatique, il est possible d'utiliser des développements théoriques (existants ou à créer) ou des simulations pour déduire de nouvelles propriétés du système modélisé.

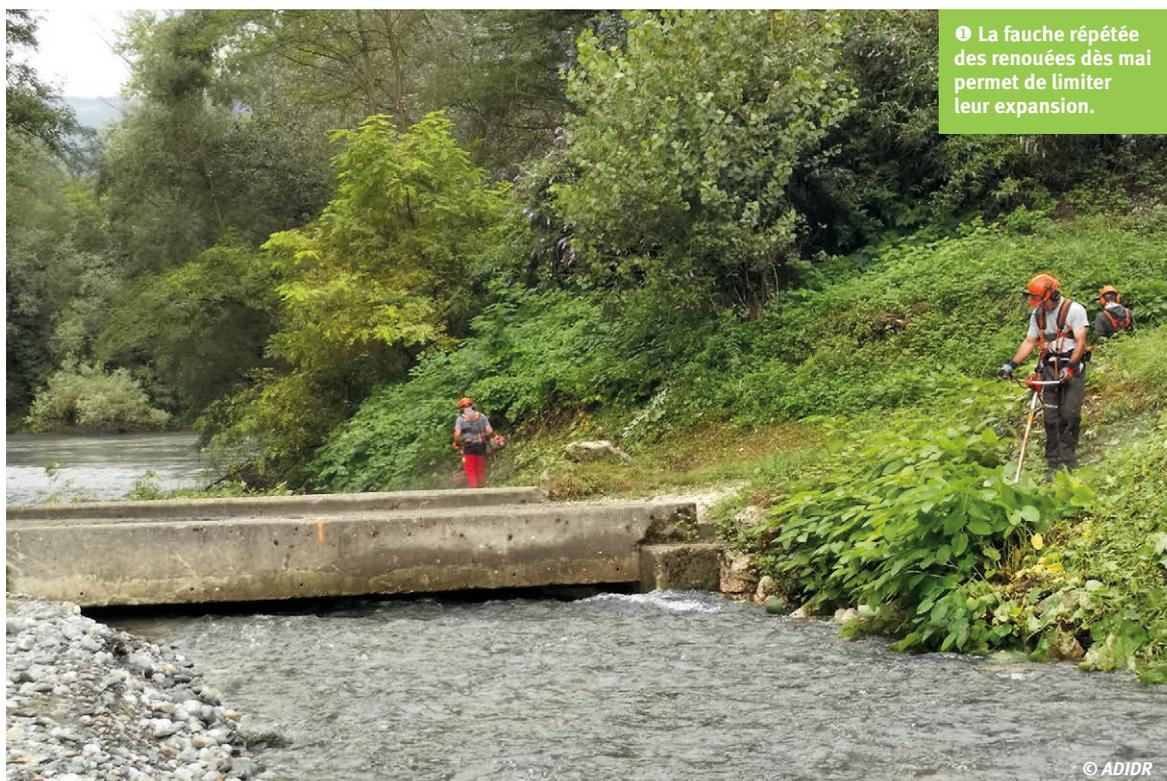
Partant d'une question d'écologie, la modélisation consiste à décrire la dynamique des grandeurs ou variables d'intérêt (par exemple, la croissance d'un arbre et des espèces voisines) ainsi qu'à formaliser les relations qui lient leurs évolutions (par exemple, l'évolution de leurs interactions de compétition, en fonction du temps et de paramètres climatiques). La question biologique originelle est alors traduite dans le formalisme utilisé, et l'étude du modèle permet de déduire ou simuler les évolutions dans le temps des valeurs de ces variables d'intérêt, qu'il faut finalement interpréter dans le cadre du phénomène modélisé.

Dans le cas des espèces exotiques envahissantes et de leur gestion, les modèles mathématiques permettent de mieux comprendre les déterminants essentiels de leur croissance et de leur propagation et donc d'aider à cibler les actions de gestion. Par exemple, on peut se demander s'il faut retirer en priorité les individus au cœur de la zone envahie, ou ceux à la périphérie. Une autre question peut être la répartition temporelle de l'effort : vaut-il mieux agir significativement en début de projet de gestion et ensuite contrôler l'invasion avec un effort plus faible, ou augmenter l'effort au cours du temps ?

Répondre à de telles questions nécessite des allers-retours entre terrain et théorie, les modèles s'alimentant des données réelles pour proposer des hypothèses qui doivent ensuite être testées *in situ*.

Trois exemples de modèles pour la renouée

Dans le cas de la renouée du Japon, plusieurs modèles décrivant la dynamique d'une tache ont été développés par différents laboratoires de recherche. Ils sont utilisés pour décrire la croissance clonale de la plante. Leur objectif est de reproduire un phénomène observé (la croissance d'une tache), et éventuellement d'étudier la sensibilité du modèle à certains paramètres, c'est-à-dire la manière dont l'incertitude sur la valeur des paramètres se traduit dans les réponses apportées par le modèle. Ainsi, Smith *et al.* (2007) modélisent le développement du réseau de rhizomes pour une tache. Il s'agit d'un modèle stochastique, c'est-à-dire intégrant une variabilité liée au hasard sous la forme d'événements aléatoires. Deux simulations ayant les mêmes conditions initiales peuvent ainsi avoir des résultats différents, représentant la diversité des observations. Ce modèle décrit notamment la direction de branchement du rhizome fils par rapport à celle du rhizome père (donnée par l'angle entre un segment de rhizome père et son fils). Ce modèle ne propose pas de stratégie de gestion et modélise le comportement d'une seule tache. Les auteurs observent que l'aire de la zone colonisée par les rhizomes croît proportionnellement au carré du temps écoulé. Quant à Dauer et Jongejans (2013), ils utilisent un modèle détermi-



niste, c'est à dire que deux simulations ayant les mêmes conditions initiales mènent à des résultats identiques. Leur modèle vise à prédire la survie et la croissance des taches de renouées définies comme des populations de tiges décrites par leur biomasse et leur taille. Ils ont analysé ce modèle pour identifier les gammes de valeurs des paramètres qui ont le plus d'effet sur la variation du taux de croissance des taches et concluent que les taches les plus dynamiques sont celles dont les tiges aériennes ont une valeur proche de la moyenne (entre 30 et 80 cm).

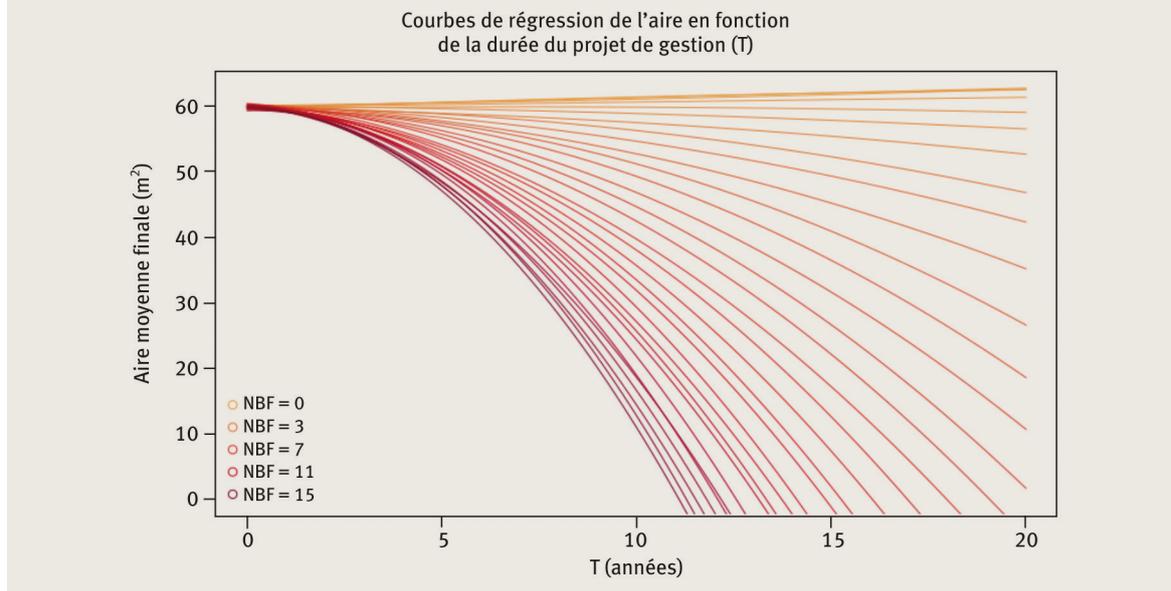
Rares sont les modèles qui s'intéressent à la gestion de la renouée du Japon. Néanmoins, Gourley *et al.* (2016) développent un modèle de lutte contre la renouée du Japon basé sur un insecte qui affaiblit la plante en se nourrissant de sa sève. Il s'agit d'un modèle déterministe qui décrit l'évolution du nombre d'insectes (larve et adulte), ainsi que celle de la biomasse totale des rhizomes et des tiges de la tache. L'objectif des auteurs est de savoir s'il est possible de contrôler l'invasion grâce à cet insecte, notamment en fonction de l'efficacité de sa consommation des parties végétatives des renouées. Ils montrent l'existence d'une valeur de cette vitesse de consommation en-dessous de laquelle la croissance de la tache de renouée est non bornée, et au-dessus de laquelle la tache est contrôlée.

Le modèle proposé pour décrire la dynamique de croissance d'une tache de renouée, avec fauche

Un modèle de dynamique de croissance des renouées asiatiques est actuellement en cours de développement à Irstea, en partenariat avec EDF. Baptisé MIMAK pour *Measure valued Individual based stochastic Model for*

Asian Knotweed, il est basé sur une approche stochastique et cherche à décrire le développement clonal d'une tache de renouée dès l'arrivée d'une propagule sur un site. Ce choix de modélisation va ainsi permettre d'évaluer la stratégie de gestion en fonction du niveau de prolifération. Le modèle est dit individu-centré : il décrit le comportement et l'évolution de chaque individu dans la population, l'individu ici étant une couronne, c'est-à-dire une portion de rhizome produisant une ou des tiges aériennes. Chaque couronne est caractérisée par deux informations : sa position dans le plan, et la biomasse du rhizome souterrain qui la relie à sa ou ses couronnes filles. Le modèle permet d'inclure des stratégies de gestion. C'est la fauche, une des techniques les plus couramment employées à l'heure actuelle, qui a été privilégiée (Breton, soumis). Les couronnes sont soumises à trois types d'événements : naissance (production de nouvelles couronnes), fauche (réduction de biomasse) et mort (dépendant de la biomasse). Le modèle permet de prédire les effets de la fauche sur la taille de la population de couronnes et sur la surface occupée par la tache de renouée. En particulier, trois stratégies de fauche sont testées dans le modèle : la fauche totale de la tache, la fauche partielle de la tache (i.e. seule une proportion de tiges aléatoirement choisies est fauchée) ou la fauche d'une zone fixe de la tache. La gestion par fauche partielle permet de tenir compte de l'efficacité de différents outils de fauche. En effet, une fauche à la main aurait une proportion proche de un, car toutes les tiges peuvent être coupées à la base, alors que la proportion associée à l'utilisation d'une machine, qui pourrait coucher des tiges au lieu de les couper, serait plus faible. La dernière gestion modélise le fait qu'une tache peut s'étendre sur différentes parcelles, et que le gestionnaire ne peut agir

- ❶ Évolution de l'aire moyenne finale d'une tache de renouée d'une taille initiale de 1 500 couronnes, en fonction de la durée du projet de gestion T (en années) et pour différentes fréquences de fauches NBF (nombre moyen de fauches par an).



► que sur sa propre parcelle. C'est par exemple le cas sur les bords de route, où une même tache de renouée peut être présente à la fois au bord de la chaussée et dans un champ contigu.

Perspectives

Le modèle MIMAK d'évolution d'une tache de renouée comporte dix paramètres (comme la distance de compétition intraspécifique, le taux de naissance et les biomasses maximales de rhizome souterrain) dont des estimations des valeurs ne sont pas toujours disponibles dans la littérature. Le travail de calibration consiste à déterminer quelles valeurs des paramètres du modèle liés à la dynamique de croissance de la renouée permettent de reproduire les observations, et avec quelle précision. La méthode consiste à comparer les sorties du modèle (c'est-à-dire la tache à la fin de la simulation, et précisément la position de chaque couronne), avec des données de terrain (aires et tailles observées en fonction des fauches réalisées). Nous sommes actuellement en phase de calibration du modèle, avec un jeu de données récolté dans les Alpes (Martin *et al.*, 2019). Une fois fixées les valeurs des paramètres de la dynamique de la plante, nous pourrions revenir à notre objectif initial : étudier l'influence des paramètres de gestion sur l'aire et la taille moyennes en fin de projet de gestion. À titre d'illustration des perspectives d'une telle étude, la figure ❶ présente des courbes qui pourraient être obtenues en analysant le modèle. Elles concernent l'influence de la durée de gestion sur l'aire de la tache (et ce pour différents nombres moyens de fauches par an), la taille de la population initiale étant quant à elle fixée.

Une telle étude permettrait de détecter la présence d'un seuil sur le nombre minimal de fauches à exécuter pour obtenir une diminution de l'aire moyenne finale. De tels résultats renseigneraient également sur la durée

minimale nécessaire pour obtenir une éradication (sur l'exemple de la figure ❶, il faudrait attendre au moins onze ans en fauchant au moins quinze fois par an). Enfin, s'intéressant à une durée de gestion fixée, ces courbes indiqueraient le gain (en terme de mètres carrés sur l'aire finale), à faucher une fois de plus par an.

Pour passer à l'échelle de la gestion de plusieurs taches, il faudra intégrer dans le modèle le phénomène de dispersion des rhizomes (en particulier, celle due à la fauche) car le caractère envahissant de la renouée du Japon repose principalement sur sa capacité de régénération (Sásik et Elias, 2006). ■

Les auteurs

François LAVALLÉE, Charline SMADI, Isabelle ALVAREZ et Sophie MARTIN

Université Clermont Auvergne, Irstea, UR LISC, Centre de Clermont-Ferrand, 9 avenue Blaise Pascal, CS 20085, F-63178 Aubière, France.

✉ francois.lavallee@irstea.fr

✉ charline.smadi@irstea.fr

✉ isabelle.alvarez@irstea.fr

✉ sophie.martin@irstea.fr

François-Marie MARTIN, Bjoern REINEKING et Fanny DOMMANGET

Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM, F-38000 Grenoble, France.

✉ francois.martin@irstea.fr

✉ bjoern.reineking@irstea.fr

✉ fanny.dommanget@irstea.fr



EN SAVOIR PLUS...

- BRETON, V., soumis, Effects of management on spatial distribution of *Fallopia spp.* along transport infrastructures, *Weed Research*.
- DAUER, J.T., JONGEJANS, E., 2013, Elucidating the population dynamics of Japanese knotweed using integral projection models, *PLoS one*, 8(9):e75181, disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3779190/>
- GOURLEY, S. A., LI, J., ZOU, X., 2016, A mathematical model for biocontrol of the invasive weed *Fallopia japonica*, *Bulletin of mathematical biology*, 78 (8), p. 1678-1702, disponible sur : <http://epubs.surrey.ac.uk/811237/>
- MARTIN, F.M., DOMMANGET, F., JANSSEN, P., SPIEGELBERGER, T., VIGUIER, C., EVETTE, A., 2019, Could knotweeds invade mountains in their introduced range? An analysis of patches dynamics along an elevational gradient, *Alpine Botany*, vol. 129, n° 1, p. 33-42.
- SÁSIK, R., ELIAS, P. Jnr, 2006, Rhizome regeneration of *Fallopia japonica* (Japanese knotweed)(Houtt.) Ronse Decr. I. Regeneration rate and size of regenerated plants, *Folia Oecologica*, 33 (1), p. 57-63.
- SMITH, J., WARD, J.P., CHILD, L.E., OWEN, M., 2007, A simulation model of rhizome networks for *Fallopia japonica* (Japanese knotweed) in the United Kingdom, *Ecological modelling*, 200(3), p. 421-432, disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.08.004>