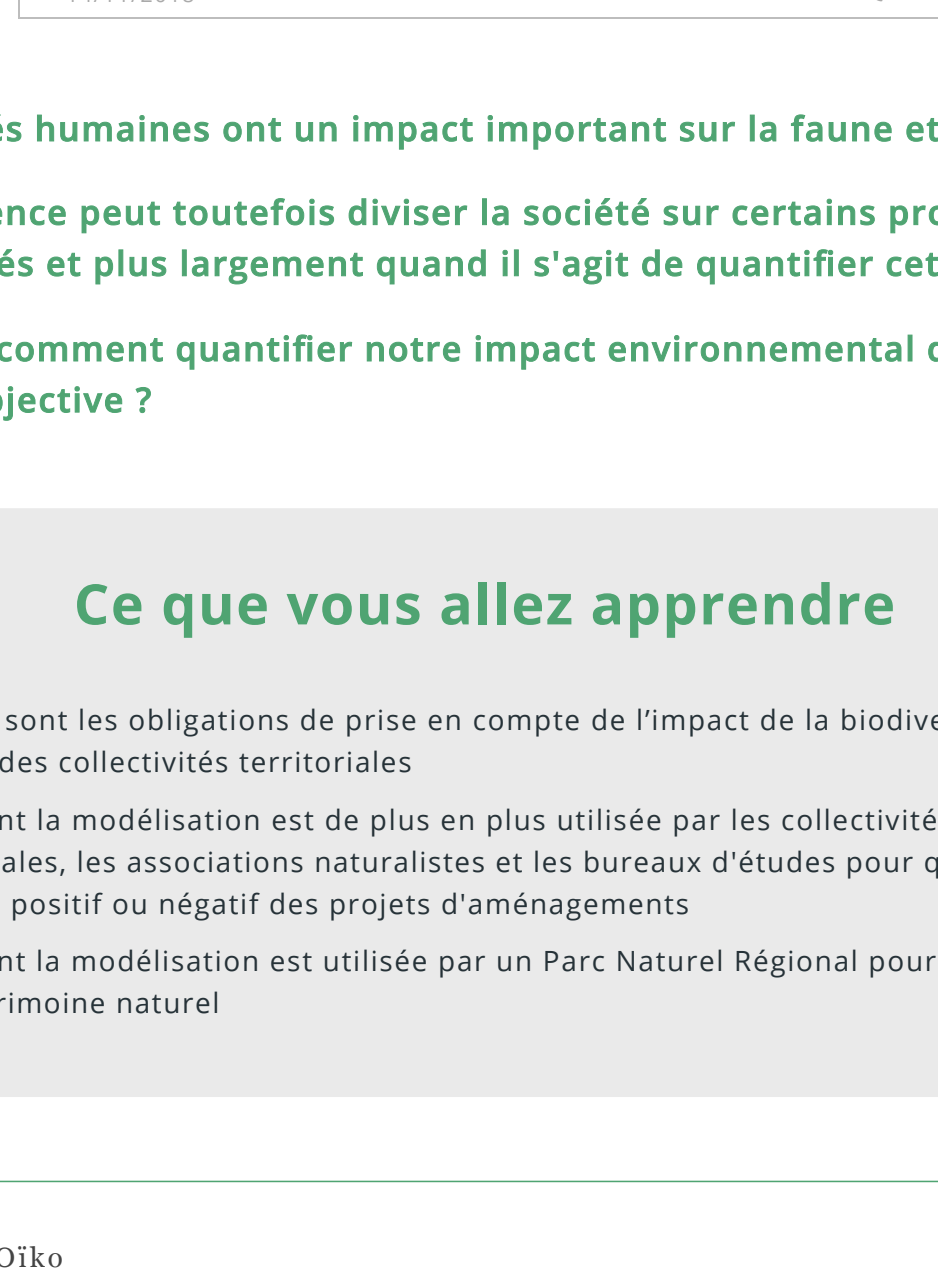


La simulation pour évaluer l'impact environnemental sur le vivant ?



Jérémie Cornuau
Docteur en écologie comportementale — TerrOïko



Renaturation de la rivière Traisen en Autriche
©Sébastien Leffaux

Expertise et recherche 25 minutes
14/11/2018 Q2

Les activités humaines ont un impact important sur la faune et la flore.

Cette évaluation peut toutefois diviser la société sur certains projets controversés et plus largement quand il s'agit de quantifier cet impact.

Mais alors comment quantifier cet impact environnemental de manière fiable et objective ?

Ce que vous allez apprendre

- Quelles sont les obligations de prise en compte de l'impact de la biodiversité des projets des collectivités territoriales
- Comment la modélisation est de plus en plus utilisée par les collectivités territoriales, les associations naturelles et les bureaux d'études pour quantifier l'impact positif ou négatif des projets d'aménagements
- Comment la modélisation est utilisée par un Parc Naturel Régional pour la gestion de son patrimoine naturel

“ TerrOïko Quantifier notre impact environnemental sur les êtres vivants de manière fiable et objective n'est pas chose facile. ”

CLICK TO TWEET

Quantifier notre impact environnemental sur les espèces : de quoi parle-t-on ?

Il s'agit de quantifier l'effet d'un changement dans le paysage sur la capacité des êtres vivants à se reproduire, à s'alimenter, à survivre, à bouger... En un mot : à vivre.

L'impact environnemental peut être négatif, comme la construction d'une autoroute ou d'une zone commerciale. Mais il peut également être positif, comme la suppression d'un barrage sur les cours d'eau ou la mise en place de haies en plaines agricoles.

Le saviez-vous ?

L'identification des milieux

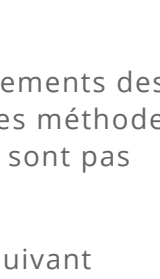
Les collectivités territoriales doivent identifier les espaces dans lesquels la biodiversité est la plus riche ou la mieux représentée et où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie (habitat de vie des espèces).

De plus, les collectivités territoriales doivent identifier les espaces qui permettent les déplacements des espèces entre ces habitats, appelés corridors. L'ensemble des habitats et des zones de déplacement forme un réseau écologique.

Ce réseau est pris en compte dans la **Trame verte et bleue** (TVB), dispositif qui vise à intégrer les enjeux de maintien de la **biodiversité** et les outils de planification et les projets d'aménagement.

- Les espaces identifiés comme habitats de vie des espèces sont appelés les réservoirs de biodiversité.
- Les espaces identifiés comme permettant les déplacements des espèces entre les réservoirs de biodiversité sont appelés des corridors écologiques.

La préservation et, si besoin, la restauration des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques est intégrée aux documents d'aménagement du territoire (PLU(i), SCOT, SRADDET).



Éviter — Réduire — Compenser

La prise en compte de la biodiversité doit être intégrée le plus tôt possible dans la conception d'un plan, programme ou d'un projet (que ce soit dans le choix du projet, de sa localisation, voire dans la réflexion sur son opportunité).

L'objectif est de réduire au maximum les répercussions négatives sur la biodiversité :

- Dans un premier temps, en évitant l'impact environnemental.
- Si l'évitement n'est pas possible, en réduisant les impacts que l'on ne peut éviter.
- Enfin, en compensant les impacts résiduels que les deux premières étapes n'ont pas permis de supprimer.

C'est la séquence **éviter, réduire et compenser (ERC)**.

Le défi de quantifier les impacts d'un projet, d'un programme ou d'un plan sur les espèces

Quantifier notre impact environnemental sur les êtres vivants de manière fiable et objective n'est pas chose facile.

La plupart des études reposent sur l'observation (présence ou absence) des espèces à enjeux sur le territoire visé et sur des avis d'experts.

Cependant, la présence d'une espèce donne une information relativement mince sur sa capacité à se maintenir dans le temps. Les avis d'experts souffrent eux d'un manque de standardisation et peuvent être vue comme peu objectifs lors de la concertation entre plusieurs parties prenantes d'un projet.

Bien sûr, il existe des méthodes plus poussées permettant de suivre les mouvements des espèces sur un territoire, grâce à des capteurs posés sur les individus. Mais ces méthodes onéreuses sont difficilement opérationnelles à des échelles importantes et ne sont pas applicables à toutes les espèces.

Dans l'idéal, il faudrait pouvoir **suivre l'évolution des espèces dans le temps**, imitant plusieurs scénarios d'aménagement, pour ensuite choisir le meilleur... impossible dans le monde réel.

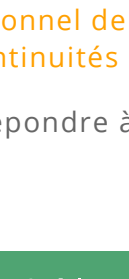
Mais si le test empirique est impossible, une autre solution peut être envisagée : simuler la vie des espèces !



Les auteurs de cet article

En plus de Jérémie Cornuau, cet article a été rédigé par deux autres membres de TerrOïko.

Sylvain Mouliherat



S. Mouliherat
© S. Mouliherat

Titulaire de deux masters, en écologie (Université François Rabelais, Tours) et en bio-statistiques et modélisation (université Paul Sabatier, Toulouse), Sylvain réalise son doctorat au CNRS de Moulis où il se spécialise dans l'étude et la simulation de la fonctionnalité des réseaux écologiques.

Co-fondateur de TerrOïko et créateur de SimOïko, il a appliqué cette technologie dans le cas de la planification territoriale (TVB), d'études d'impact (ERC) et de programmes de conservation (viabilité des populations).

Catherine de Roince

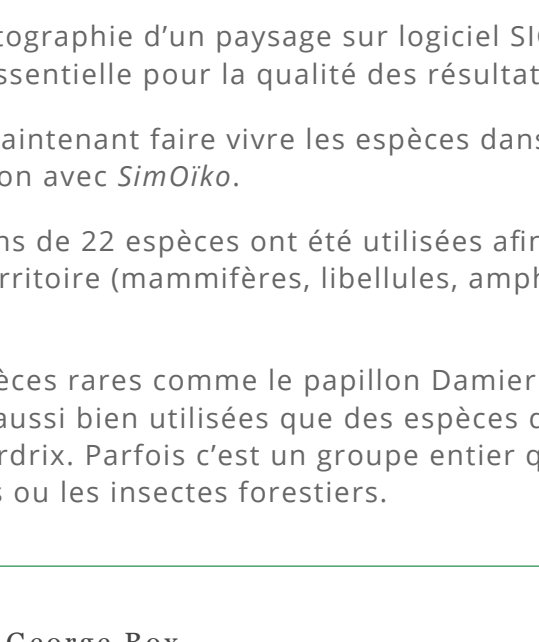


C. de Roince
© C. de Roince

De formation initiale ingénieur agronome, Catherine a réalisé son doctorat en agro-écologie (AgroParisTech, CTIFL et INRA).

Co-fondatrice et présidente de TerrOïko, elle allie son expertise en agronomie et en écologie à son savoir-faire en animation de réunion pour accompagner l'émergence de projets de développement territorial intégrant la biodiversité.

TerrOïko



Logo de TerrOïko
© TerrOïko

Créée en 2012, TerrOïko a pour objectif de mettre à la disposition des maîtres d'ouvrage, les outils et méthodologies développés par la recherche apportant aux études environnementales (fiabilité du diagnostic, rapidité de réalisation, optimisation des inventaires, outils d'aide à la décision, etc.).

Fort de ce savoir-faire scientifique, rare en ingénierie écologique, TerrOïko intervient en soutien technique des projets de gestion de la biodiversité et

réalise des études diagnostiques et prospectives pour la gestion des espaces naturels, la planification territoriale et les études d'impact.

Simuler la vie des espèces

Pour être utile, la simulation doit être réaliste, précise et opérationnelle.

Elle doit pouvoir reproduire sur ordinateur ce qu'il se passe dans la réalité pour les espèces. Et pour être scientifiques, les résultats doivent pouvoir être vérifiable par l'expérimentation ou l'échage critique.

Il s'agit donc d'être en mesure de pouvoir reproduire sur ordinateur l'essence même de ce qui constitue une population dans un paysage : des individus qui peuvent se reproduire entre eux et engendrer une descendance, qui peuvent se déplacer et échanger avec d'autres populations et survivre dans leur environnement, comme ils le feraient en conditions naturelles.

Il s'agit également de reproduire les comportements des individus, en particulier leur manière de se déplacer dans un paysage.



Pour reproduire la vie des espèces, SimOïko utilise des modèles où chaque individu se comporte en fonction de ses propres caractéristiques biologiques (modélisation individu centrée). Comme chaque espèce est différente, SimOïko utilise un paramétrage différent pour chacune d'entre elles. Ainsi, les résultats fournis par SimOïko sont issus de la modélisation de la vie des espèces.
© TerrOïko

Ce défi technologique est maintenant disponible à travers la **plateforme de simulation SimOïko**, développée par la jeune **entreprise universitaire TerrOïko**.

Elle permet d'estimer de manière fiable et précise l'impact environnemental de projets d'aménagement à travers plusieurs métriques :

- Effet sur les tailles des populations.
- Effet sur les probabilités de maintiens des populations.
- Effet sur le déplacement d'individus, c'est à dire le nombre de passages d'individus par unité de temps et de surface ou le nombre d'individus échangés entre populations.
- Effet sur la consanguinité et la différenciation génétique entre les populations.

Les résultats fournies par SimOïko sont similaires à celles utilisées quotidiennement par les naturalistes et les chercheurs en écologie.

Les modules de SimOïko ont donc pu être validés par **des données directement issues du terrain**.

De plus, le fait que SimOïko utilise les mêmes métriques et donc le même langage que les partenaires naturalistes et les chercheurs en écologie facilite grandement les discussions et la concertation autour des résultats.

Un exemple d'utilisation de SimOïko par le Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale

Le Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale et ses partenaires œuvrent à la protection des espèces de leur territoire, à travers la réalisation de différents programmes tels que la restauration de haies, de mares, des coteaux calcaires ou d'atténuation des impacts des infrastructures de transport.

Mais comment évaluer l'efficacité de ces actions sur les espèces et particulièrement sur la restauration des continuités écologiques ?

Comment établir un **programme opérationnel de poursuite de la reconquête des continuités écologiques** pour les espèces à venir ?

Pour répondre à ces objectifs, le Parc a utilisé la plateforme de simulation SimOïko.



Diversité des paysages sur le territoire du Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale.
© TerrOïko

Modéliser le paysage et choisir les espèces

La première étape a été de modéliser le paysage du Parc tel qu'il était en 2012, tel qu'il est aujourd'hui et tel que le Parc et ses partenaires souhaitent/souhaiteraient qu'il soit dans les années à venir.

Cela est possible en utilisant les logiciels de Système d'Information Géographique (SIG), dans lesquels chaque habitat est représenté par un polygone et un code bien spécifique.



Secteur des coteaux calcaires d'Acquin, de Seninghem et de Journy en photo aérienne (gauche), en images cartographiques numériques géoréférencées SCAN25 (centre) et sa digitalisation avec un logiciel SIG (droite). Le travail de digitalisation consiste à représenter par des polygones et sur ordinateur les différents habitats du territoire et d'attribuer un code spécifique à chaque milieu. Dans l'exemple ci-dessus, les forêts sont représentées en vert foncé, les prairies en vert clair, les zones agricoles en rose, les zones urbaines en rouge et le réseau routier en noir. La digitalisation du paysage est réalisée à partir de photographie aérienne et de prospection directement sur le terrain. SimOïko est un modèle spatialement explicite, car il permet de faire vivre les espèces sur des paysages numérisés et géoréférencés.
© TerrOïko

Si la cartographie d'un paysage sur logiciel SIG n'a rien d'innovant, elle n'en demeure pas moins essentielle pour la qualité des résultats. Essentielle mais pas suffisante !

Il faut maintenant faire vivre les espèces dans le paysage numérisé. C'est là qu'intervient la simulation avec SimOïko.

Pas moins de 22 espèces ont été utilisées afin de prendre en compte la diversité existante sur le territoire (mammifères, libellules, amphibiens, oiseaux, papillons, lézards, serpents, etc.).

Des espèces rares comme le papillon Damier de la succise, le triton crêté ou le muscardin ont été aussi bien utilisées que des espèces dites ordinaires, comme l'écureuil, le chevreuil ou le perruchon. Parfois c'est un groupe entier qui a été utilisé comme les criquets des milieux humides ou les insectes forestiers.

“ George Box Tous les modèles sont faux, mais certains sont utiles. ”

CLICK TO TWEET

Des animaux qui vivent dans un ordinateur

La seconde étape a donc consisté à simuler la vie des espèces sur le territoire (dynamique des populations, comportements, etc.).

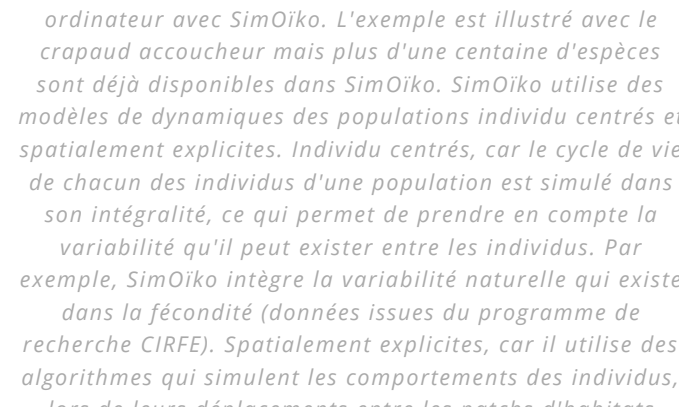
Dans un premier temps, les individus des espèces sont répartis dans leur milieu de vie et des densités définies selon la connaissance du territoire ou la littérature scientifique.

Puis, plusieurs générations d'individus vont vivre sur le territoire, en enchaînant comme dans la nature des phases de reproduction, de survie et de mouvement. Pour certaines espèces, ce n'est pas moins d'un million d'individus par génération qui se côtoient dans l'ordinateur !

Car pour être au plus proche des processus naturels, SimOïko simule chaque individu d'une population, en prenant en compte une certaine variabilité.

En effet, les individus peuvent avoir des comportements légèrement différents les uns des autres au sein d'une même espèce, comme ce que les naturalistes observent dans la nature.

Les paramètres du cycle de vie des espèces viennent de la littérature scientifique, ajustés aux données locales lorsqu'elles sont disponibles.



Paramètres utilisés pour reproduire la vie d'une espèce par ordinateur avec SimOïko. L'exemple est illustré avec le crapaud accoucheur mais plus d'une centaine d'espèces sont déjà disponibles dans SimOïko. SimOïko utilise des modèles de dynamiques des populations individu centrés et spatialement explicites. Individu centrés, car le cycle de vie de chacun des individus d'une population est simulé dans son intégralité, ce qui permet de prendre en compte la variabilité qu'il peut exister entre les individus. Par exemple, SimOïko intègre la variabilité naturelle qui existe dans la fécondité (énoncée issues du programme de recherche CIRPE). Spatialement explicites, car il utilise des algorithmes qui simulent les comportements des individus, lors de leurs déplacements entre les patches d'habitats favorables.
© TerrOïko

La prise en compte des comportements des espèces

Des algorithmes adaptés à chaque espèce permettent de reproduire les comportements de mouvement, de reproduction et de compétition entre les individus. Par exemple :

- L'argus bleu (petit papillon bleu des milieux ouverts) a tendance à effectuer des mouvements avec peu de grandes lignes droites (« papillonisme ») et longe les lisières, alors que l'agrion de mercure (un odonate des ruisseaux non pollués) réalise des déplacements en ligne droite, entrecoupés par des déplacements angulaires.
- Le muscardin (petit mammifère arboricole), quant à lui, ne s'approche pas trop des habitations, alors que cela ne pose pas de problème au crapaud accoucheur.

SimOïko intègre les algorithmes bien connus de marche aléatoire et de chemin de moindre coût, utilisés par les modèles de dilution érosion, coûts-déplacements et graphes paysagers.

Cependant, il a été mis en évidence par la recherche en écologie que ces algorithmes ne transcrivent pas bien les comportements réels de la plupart des espèces. En effet, les espèces ne se déplacent pas de manière aléatoire dans un territoire et n'utilisent pas forcément non plus les chemins les plus directs pour aller d'un habitat à un autre.

Aussi SimOïko intègre-t-il des algorithmes plus réalistes à l'instar du simulateur de mouvement stochastique (SMS), qui transcrit beaucoup mieux la manière dont les espèces se meuvent dans un territoire, en intégrant notamment les notions de capacités de perception du paysage (jusqu'à quelle distance l'espèce peut percevoir son environnement), de persistance directionnelle (tendance à rester dans une direction plutôt que de papillonner) et de mémoire des espèces.

Des résultats utiles pour la planification territoriale

Durant la simulation, l'ordinateur enregistre l'ensemble des mouvements des individus. Cela permet d'établir des cartes qui localisent les zones de passage préférentielles des espèces.

On parle alors de carte de trafic, c'est à dire la localisation du nombre de passages d'individus par unité de temps et de surface ou le nombre d'échanges d'individus entre les populations.

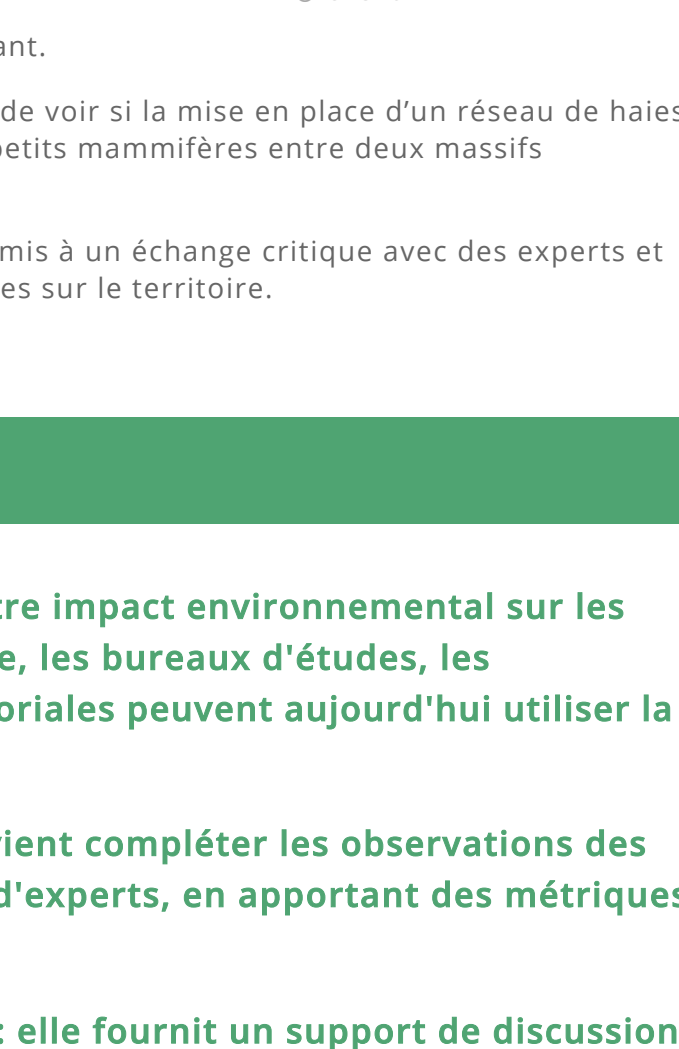
De plus, l'enregistrement du nombre d'individus observés dans les habitats par génération permet d'établir des cartes techniques de la taille des populations et de leurs probabilités d'extinctions respectives.

En comparant les résultats du trafic et des tailles de populations obtenus entre le paysage historique, actuel et celui souhaité dans les années à venir, il est possible d'évaluer l'impact environnemental des actions menées par le Parc et ses partenaires.

Ces résultats sont également un atout pour planifier des futures actions, en connaissance des implications qu'elles auront sur la survie et les mouvements des espèces. Par exemple, quantifier l'augmentation des mouvements d'amphibiens liée au creusement d'une nouvelle mare et comment cette nouvelle mare s'insèrera dans le réseau de mares existant.

Cette comparaison peut également permettre de voir si la mise en place d'un réseau de haies peut permettre d'augmenter les échanges de petits mammifères entre deux massifs forestiers.

Les résultats des simulations sont ensuite soumis à un échange critique avec des experts et comparés aux données d'inventaires disponibles sur le territoire.



Travail mené sur la trame des pelouses calcaires du Parc, en utilisant 5 espèces de papillons. En comparant les probabilités de maintien des espèces dans leurs habitats et leurs déplacements entre les paysages historiques (2012), actuels (2018) et souhaités dans les années à venir (2021), il est possible de sélectionner les projets les plus bénéfiques pour les espèces. En 2012, la survie des espèces et les mouvements entre les habitats étaient faibles, en raison d'une faible disponibilité en habitat de qualité pour les papillons. Les actions de restauration entre 2012 et 2018 sur le site Natura 2000 ont permis de fortement augmenter la survie et les déplacements des papillons. Une connexion a même été rétablie entre les coteaux d'Acquin et de Seninghem. La restauration future de l'ensemble des pelouses calcaires du secteur pourrait permettre de renforcer cette connexion et améliorer fortement l'état des populations.
© TerrOïko

Pour conclure

Face au défi de pouvoir quantifier notre impact environnemental sur les espèces de manière fiable et objective, les bureaux d'études, les associations ou les collectivités territoriales peuvent aujourd'hui utiliser la simulation.

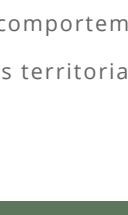
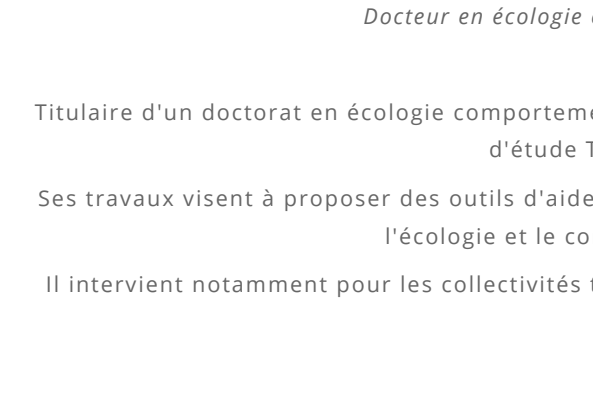
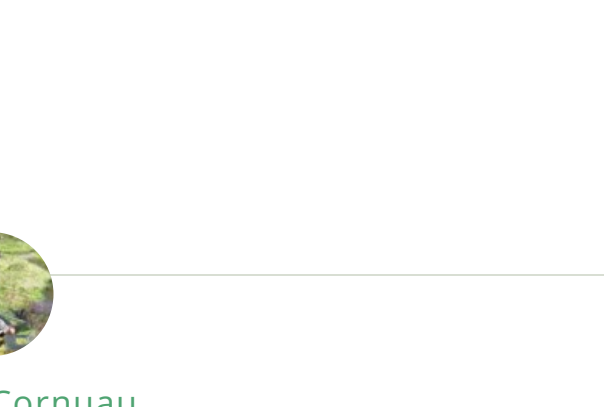
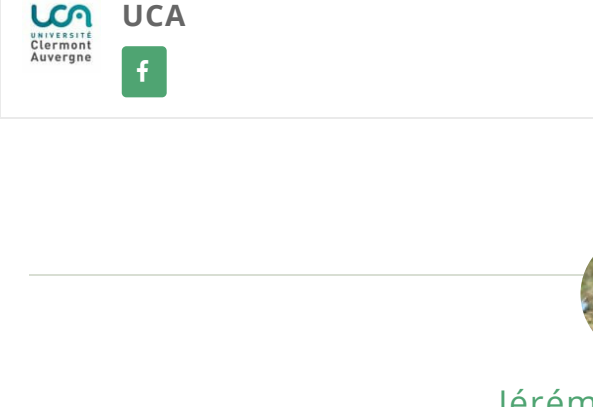
Cette nouvelle méthode en écologie vient compléter les observations des espèces en milieu naturel et les avis d'experts, en apportant des métriques fidèles à l'écologie des espèces.

La simulation facilite la concertation : elle fournit un support de discussion standardisé, fiable et objectif pour les projets de territoire.

De plus, la simulation est une aide précieuse pour la planification : elle permet de tester en amont de leur mise en place les programmes opérationnels de reconquête de la biodiversité.

Reste ensuite à passer le cap et mettre en pratique les conclusions et analyses faites à l'aide de la simulation.

Les spécialistes du sujet sont sur vos réseaux sociaux préférés



Jérémie Cornuau
Docteur en écologie comportementale — TerrOïko

Titulaire d'un doctorat en écologie comportementale de l'Université de Toulouse, il a rejoint le bureau d'étude TerrOïko en 2013.

Ses travaux visent à proposer des outils d'aide à la décision et à la planification intégrant pleinement l'écologie et le comportement des animaux.

Il intervient notamment pour les collectivités territoriales et les bureaux d'étude en environnement.