HAL open science

Les sentinelles du climat - Effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine

Sauret Gabrielle, Mallard Fanny, Berroneau Matthieu, Berroneau Maud, Bulté Sandy, d'Amico Franck, David Rémi, Glad Anouk, Guillon Michaël, Hugon Floren, et al.

To cite this version:

Sauret Gabrielle, Mallard Fanny, Berroneau Matthieu, Berroneau Maud, Bulté Sandy, et al.. Les sentinelles du climat - Effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine. Association Cistude Nature. 2022, pp.69. hal-03947645

HAL Id: hal-03947645

https://hal.science/hal-03947645v1

Submitted on 19 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

les sentinelles du climat

Effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine

Synthèse des premiers résultats 2016 - 2021

Coordination de l'ouvrage
Gabrielle Sauret & Fanny Mallard

Rédacteurs
Matthieu Berroneau, Maud Berroneau, Sandy Bulté, Franck d'Amico, Rémi David, Anouk Glad, Michaël Guillon, Floren Hugon, Olivier Lourdais, Émilie Loutfi, Fanny Mallard, Kévin Romeyer, Gabrielle Sauret

les sentinelles du climat

Effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine

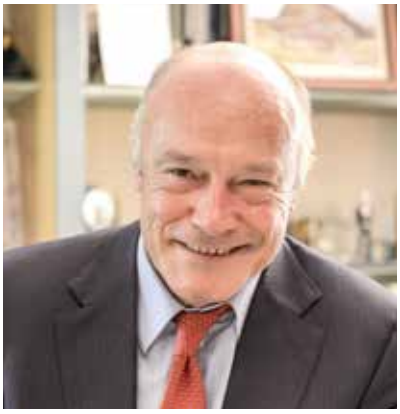
Synthèse des premiers résultats 2016 - 2021

Coordination de l'ouvrage
Gabrielle Sauret & Fanny Mallard

Rédacteurs
Matthieu Berroneau, Maud Berroneau, Sandy Bulté, Franck d'Amico, Rémi David, Anouk Glad, Michaël Guillon, Floren Hugon, Olivier Lourdais, Émilie Loutfi, Kévin Romeyer, Fanny Mallard, Gabrielle Sauret

Illustrations
Collectif d'artistes Sauvage Garage

Mars 2022



© Région Nouvelle-Aquitaine - Alban Gilbert

Alain ROUSSET

Président du Conseil régional de Nouvelle-Aquitaine

Le changement climatique, très largement conséquence des activités humaines, est un facteur majeur de déclin de la biodiversité dans le monde. En Nouvelle-Aquitaine, avec l'aide des scientifiques, nous avons objectivé le changement climatique avec le rapport Acclimaterra et la dépendance de notre société à la biodiversité avec le rapport Ecobiose. Et nous traduisons les actions de la transition écologique dans la mise en œuvre de la feuille de route Néo Terra.

Dans le même temps, la Région a soutenu l'association Cistude Nature dans la mise en place du programme des sentinelles du climat qui étudie les effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine. Ce programme s'appuie sur le suivi d'une vingtaine d'espèces indicatrices dans des milieux particulièrement sensibles de la région : milieu dunaire, hêtraies de plaine, milieux humides, milieux de montagne et pelouses sèches. Il est vrai que la Nouvelle-Aquitaine est particulièrement étendue et riche d'écosystèmes des plus variés.

Ce programme des sentinelles du climat, coordonné par l'association Cistude Nature, s'est lui-même appuyé sur de nombreuses expertises naturalistes, physiques, mathématiques, des laboratoires de recherche, des associations, des syndicats mixtes de la région…

Plus de 250 sites assurant une grande couverture géographique couplés à la mise en place de 150 stations météorologiques locales, ont servi à la réalisation du diagnostic qui a nourri un riche rapport scientifique ici résumé. Le programme s'appuie également sur le développement d'outils de médiation pour diffuser l'information scientifique auprès du public (vidéos, exposition, livrets pédagogiques…).

La Région Nouvelle-Aquitaine a mobilisé 1,4 million d'euros de fonds régionaux et 2,3 millions d'euros de l'Union Européenne dans le cadre du FEDER en partenariat avec les départements de la Gironde et des Pyrénées-Atlantiques.

Nul ne doute que ce premier diagnostic nourrira les actions de conservation des espèces sentinelles et de leurs habitats naturels, actions collectives nécessaires à l'adaptation au changement climatique avec la coopération des gestionnaires d'espaces naturels.

Nous sommes fiers, avec l'association Cistude Nature, que ce programme des sentinelles du climat serve d'exemple à des actions similaires dans d'autres régions comme en Occitanie aujourd'hui ou bientôt sans doute en Normandie ou en Bretagne.

Pascale GOT

Conseillère Départementale du canton du Sud-Médoc, Gironde.

Vice-Présidente du Conseil Départemental de la Gironde, chargée de la protection de l'environnement, des espaces naturels sensibles et de la gestion des risques.

L'érosion de la biodiversité est observée par les scientifiques depuis plus de 30 ans. Une 6ème grande extinction pourrait survenir selon certains d'entre eux. C'est dans ce contexte que l'association girondine Cistude Nature, basée au Haillan, a proposé en 2016 la mise en place d'un programme pluriannuel d'étude des conséquences du changement climatique sur la biodiversité en Région Nouvelle-Aquitaine. L'élément clé de ce programme réside dans le suivi d'habitats et d'espèces bio-indicatrices, à l'échelle de la région.

En effet, la compréhension des impacts du changement climatique sur la biodiversité à l'échelle locale est essentielle pour orienter les politiques environnementales. Le manque de connaissances a amené au développement du programme les *sentinelles du climat.*

Les impacts locaux du changement climatique sur la biodiversité présente sur nos territoires y sont étudiés à partir d'indicateurs utilisant, pour chaque milieu naturel sensible, des espèces à capacité de déplacement faible, appelées les *sentinelles du climat. En Gironde, les milieux naturels soumis aux pressions du changement climatique vont de la dune atlantique aux zones humides de la forêt des Landes, en passant par les forêts relictuelles de hêtres du Ciron.*

Les objectifs de ce programme, porté par l'association, en collaboration avec 60 structures publiques ou privées (collectivités, associations, conservatoires, unités de recherche…), étaient de :

Suivre les impacts du changement climatique pour établir un état de référence pour les générations futures.

Modéliser avec les données disponibles les potentielles conséquences futures jusqu'en 2100.

Montrer la science en construction et sensibiliser les citoyens à la thématique « changement climatique et biodiversité ».

223 sites étaient suivis sur la Région Nouvelle-Aquitaine, dont 80 en Gironde. 16 de ces sites sont des Espaces Naturels Sensibles (ENS) départementaux ou locaux, sur lesquels le Département porte son attention parfois depuis plusieurs décennies.

Le soutien et l'implication du Département de la Gironde à ce programme s'inscrit dans la politique volontariste du Département pour la préservation de la biodiversité, par l'aide aux porteurs de projets s'inscrivant dans les politiques nationales de connaissance et de préservation de la biodiversité, par la dynamique de sa politique en faveur des Espaces Naturels Sensibles et des milieux aquatiques, par son soutien à la sensibilisation de tous et à la diffusion de la connaissance.

Les résultats des 6 années du programme les *sentinelles du climat sont probants et permettent de dégager des tendances sur l'évolution de la biodiversité et du climat. Ces éléments de connaissance et de compréhension des phénomènes en cours permettent d'engager la réflexion, les échanges entre acteurs autour des actions à engager pour atténuer les effets du changement climatique sur la biodiversité.*

Bénédicte LUBERRIAGA

Élue du Département des Pyrénées-Atlantiques, déléguée aux Espaces Naturels Sensibles.

Le dérèglement climatique est une évidence. Chaque trimestre connait désormais son lot de perturbations. Juste pour garder en mémoire l'année qui vient de s'écouler, rappelons les grands incendies en février 2021 sur le sud Pays basque, les gels tardifs au printemps sur les plantations de kiwis, la température de l'eau anormalement élevée en avril ayant généré l'émergence d'algues vertes en mer, les inondations sur le pays « charnègue » en décembre, des glissements de terrain sur les falaises littorales urbanisées, les chutes de neige en quantité anormale sur le massif pyrénéen.

Ce qui marque aujourd'hui les esprits de nos concitoyens est bien plus la variabilité, l'imprévisibilité, l'intensité des phénomènes naturels que le réchauffement climatique en lui-même. Cela rend l'adaptation de nos sociétés et les réponses bien délicates à mettre en œuvre.

Voilà maintenant 10 ans, notre attention avait déjà été attirée par le rapport le Treut, dont l'objet était de faire la synthèse des connaissances scientifiques sur le sujet. Un peu plus tard, 240 chercheurs de Nouvelle-Aquitaine sont venus préciser et confirmer ces conclusions sur le territoire de la Nouvelle-Aquitaine.

Mais, force avait été de constater que ces rapports n'avaient pas permis de mettre en lumière les effets de ce dérèglement sur un pan important du fonctionnement de nos territoires, à savoir la biodiversité. Ceci, alors même que de simples observateurs pouvaient, au quotidien, entrevoir des anomalies dans le fonctionnement de la nature.

C'est pourquoi, le Département a répondu favorablement à l'initiative portée par l'association Cistude Nature, autour de laquelle est venu s'agréger l'ensemble de la communauté naturaliste aquitaine. Ceci pour porter une démarche scientifique sur notre territoire, qui plus est originale par le fait de s'intéresser aux espèces à faible capacité de déplacement.

Au terme de ces 6 années de travaux, on ne peut que s'enorgueillir des résultats, singulièrement sur la partie du massif pyrénéen qui est la nôtre. Grenouille des Pyrénées, Lézard de Bonnal, Marmotte, Bourdons des Pyrénées, Hêtre sont autant d'espèces qui ont été suivies dans leurs changements de comportement, leurs rythmes de vie, leurs déplacements. Déjà, des effets sont palpables. Le recours aux outils mathématiques nous permet d'appréhender l'avenir.

Observer pour comprendre, telle est la démarche qui a été engagée. Sur ce point, nous accueillerons durant toute l'année 2022 sur notre territoire, l'exposition Sentinelles du climat qui synthétise et donne à voir auprès de la population, l'essentiel des résultats de ce travail.

Mais, comprendre pour agir doit devenir surtout notre priorité. Il faudra probablement imaginer de nouvelles solutions en fragmentant les espaces naturels en de micro-habitats et en créant des corridors écologiques, accueillir des espèces nouvelles, prendre l'attache de territoires hôtes pour des transferts… Bref, bousculer notre manière d'agir.

Ce document est la synthèse de l'ouvrage

Les sentinelles du climat
- Tome X -
Réponses des espèces animales et végétales face au changement climatique et pistes d'actions de conservation de la biodiversité en région Nouvelle-Aquitaine

Vous y retrouverez le détail des résultats et des analyses.

Chaque partie a été synthétisée par un ou plusieurs auteurs. Elles ont fait l'objet d'un travail de collaboration important dans leur rédaction complète. Sans ces contributeurs*, cette synthèse n'existerait pas.

*Sylvain Bonifait, Aurélien Caillon, Nicolas Leblond, Grégory Caze, Anthony Le Fouler, Marta Infante-Sanchez, Jean-Claude Abadie, Aurélien Belaud, Laurent Chabrol, Isabelle Charissou, Clément Clero, Théo Emeriau, Frédéric Fy, Anna Hover, Pierre Lafon, Sophie Laugareil, Mickaël Mady, Olivier Nawrot, Ludovic Olicard, Jérémie Pioch, Emilie Vallez, Pierre-Yves Gourvil, Mathieu Molière, Romain Chambord, Simon Caubet, Benoit Duhazé, Thomas Gachet, Dominique Galland, Florent Hervouet, David Lessieur, David Soulet, Jérémy Rostand, Gilles Bailleux, Florent Beck, Amélie Bertolini, Bertrand Couillens, Nicolas Déjean, Béatrice Ducout, Sébastien Labatut, Justine Poujol, Yann Sellier, Emma Valadas, Imanol Amestoy, Carine Bidegaray, Lola Boile, Nicolas Bonnin, Florian Doré, Anaïs Dufau, Vincent Duprat, Andoni Ercinlbengoa, Christophe Fréchaut, Emilie Fumey, Akaren Goudiaby, Gilles Granereau, Paul Haettel, Joan Hochet, Xenia Jost, Eric Lesparpe, Séverine Marichal, Ennaloël Mateo-Espada, Martine Percelay, Mathilde Poussin, Audrey Ratié, Lisa Richard, Christal Robert, Paul Tourneur, Laura Cazade, Stéphanie Darblade, Ludivine De Castro, Elisabeth Mercader, Philippe Legay, Association Locusta, Gaëlle Caublot, Gaëlle Micheli, Mariana Miranda, Théo Constant, Maxime Quetin, Dylan Fournier, Valentin Lasserre, Anthony Prevost, Claire Caldier, Loreyna Gregoire, Xavier Gautron, Oscar Hadj-Bachir, Chloé Dugast, Mégane Chapelet, Maximilien Lavagna, George Brusch, Rodrigo Gavira, Robin Viton, Jean-François le Galliard, Chloé Chabaud, Andréaz Dupoué, Jean Clobert, Gabriel Blouin Demer, Frédéric Lagarde, Luc Clément, Thomas Ruys, Emmeline Lobry, Laurent Couderchet

Table des matières

Le programme les sentinelles du climat 11

Sensibilité de la flore de Nouvelle-Aquitaine au changement climatique 15

Suivi et évolution de communautés végétales sensibles au changement climatique 19

Évolution de la diversité des papillons en réponse au changement climatique 23

Évolution phénologique de l'Azuré des mouillères et de sa plante hôte, la Gentiane des marais 27

Mise en place d'un protocole de suivi des réponses des orthoptères de montagne face au changement climatique 31

Évolution spatiale des cortèges d'odonates des lagunes des Landes de Gascogne 35

Rôle des milieux humides pour atténuer les effets du changement climatique : Rainette ibérique et Rainette verte 39

La Grenouille des Pyrénées, une espèce fragile sous menaces multiples 43

Importance des microhabitats climatiques pour le Lézard ocellé en milieu arrière-dunaire 47

Rôle des milieux humides pour atténuer les effets du changement climatique dans le cas du Lézard vivipare 51

Les lézards gris de montagne : la course au sommet 55

Rôle des milieux humides pour atténuer les effets du changement climatique : Vipère péliade et Vipère aspic 59

La Marmotte des Alpes : un habitat en réduction et une dynamique familiale complexe 63

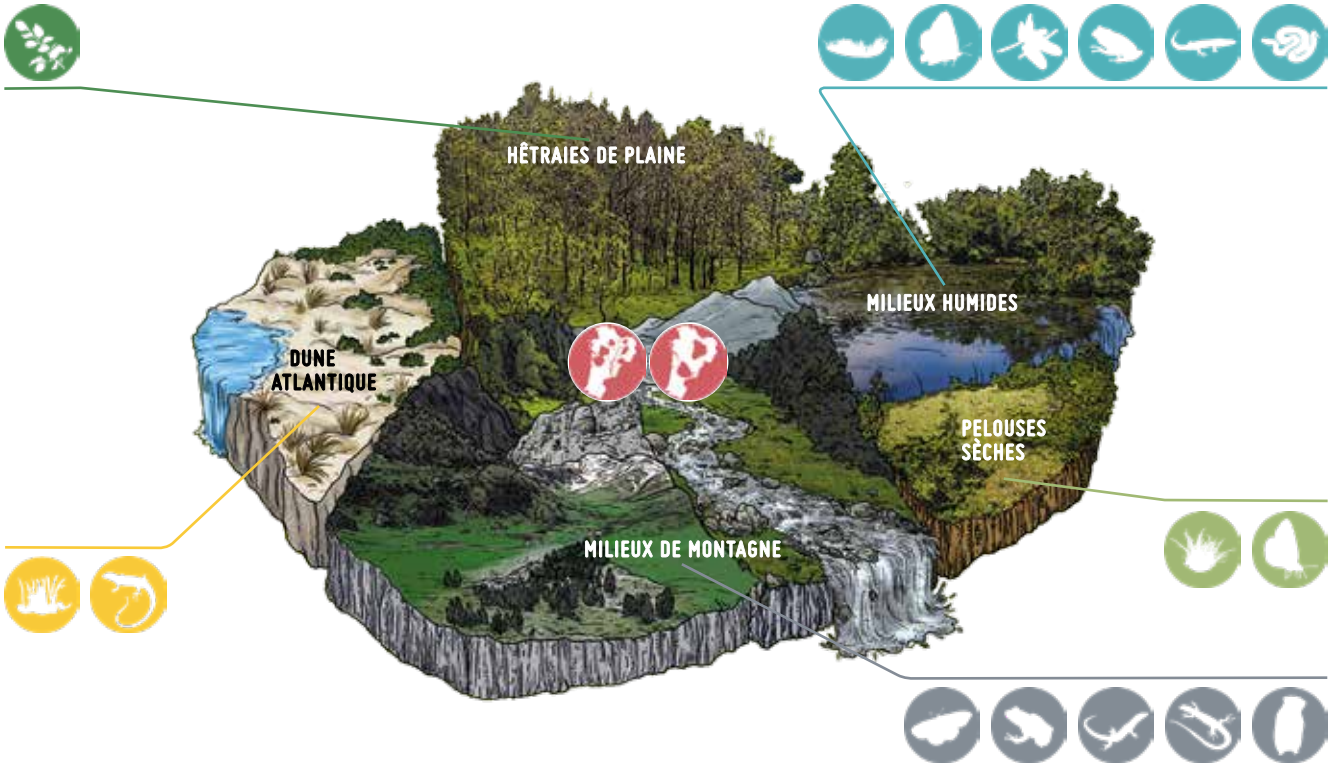
Des espèces aux écosystèmes : vers la préservation du vivant face au changement climatique 67

Le programme les sentinelles du climat

Gabrielle Sauret
Cistude Nature

Les sentinelles du climat est un programme d'étude des effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine. Il s'est déroulé entre 2016 et 2021.

Il s'appuie sur le suivi d'espèces indicatrices (ou espèces sentinelles du climat) qui sont observées dans 5 milieux naturels de la région, particulièrement sensibles au changement climatique : la dune atlantique, les hêtraies de plaine, les milieux humides, les milieux de montagne et les pelouses sèches des coteaux calcaires.



Ce programme, conçu et coordonné par l'association Cistude Nature, est mis en œuvre par de nombreuses structures qui ont mis en commun leurs expertises naturalistes, écologiques, mathématiques.

Ce sont des associations et des syndicats mixtes : le Conservatoire Botanique National (CBN) Sud-Atlantique, en lien avec le CBN Massif central et le CBN Pyrénées-Midi-Pyrénées, le Conservatoire des Espaces Naturels de Nouvelle-Aquitaine, le Groupe Mammologique et Herpétologique du Limousin, la Société Entomologique du Limousin.

Les laboratoires de recherche qui accompagnent le programme sont le Laboratoire de Mathématiques et leurs Applications de l'Université de Pau-Pays de l'Adour, l'UMR Passages de l'Université Bordeaux Montaigne et le Centre d'Études Biologiques de Chizé du CNRS.

D'autres structures sont parties prenantes de ce programme et participent à sa réussite. Nous les en remercions.

À partir de **suivis scientifiques réalisés sur 223 sites** répartis dans toute la région, couplés à la mise en place de 184 stations météorologiques locales, des premières pistes exploratoires sur les impacts du changement climatique émergent.

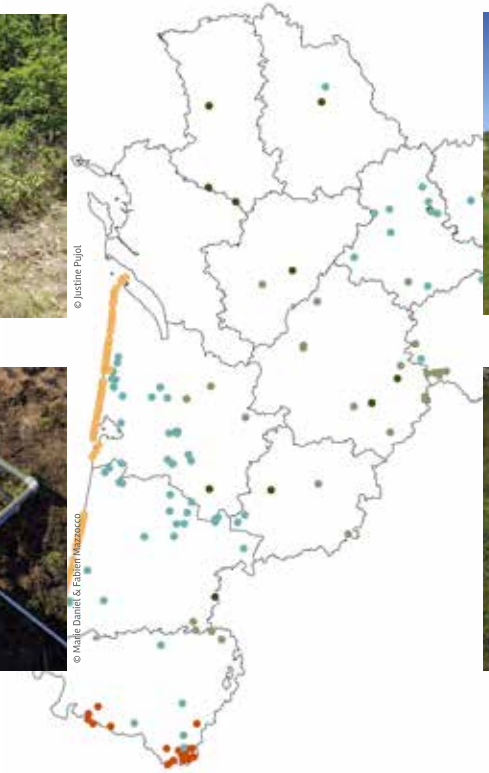
La mise en œuvre répétée dans le temps de protocoles établis pour chaque espèce sentinelle permet de suivre l'évolution des effectifs des populations selon des gradients altitudinaux (en montagne) ou latitudinaux (en plaine). Elle permet aussi de suivre le succès reproducteur de certaines espèces sentinelles ou de travailler sur l'évolution de la composition de cortèges d'espèces.

© Justine Pujol

Suivi le long de transects

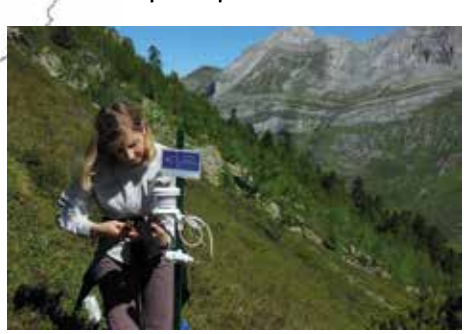
© Maelle Daniel & Fabien Mazzocco

Suivi par quadrats



© Justine Pujol

Suivi depuis des points d'observation



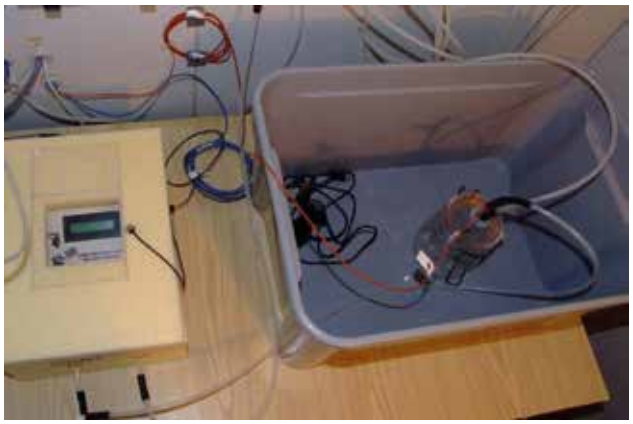
© Cistude Nature

Mise en place des stations météorologiques

Ces suivis sont complétés par l'analyse des effets des conditions environnementales sur la physiologie et le comportement des individus de quelques-unes des espèces sentinelles. On parle alors de **modélisation mécanistique**.

Des expériences ont été menées en laboratoire dans des enceintes climatiques, permettant de contrôler la température et l'humidité de l'environnement dans lequel se trouve un individu, mais aussi de lui proposer des éléments lui permettant de moduler son comportement.

D'autres expériences ont eu lieu *in natura*. Des modèles biomimétiques, dont la température interne se comporte comme celle du corps d'un individu, ont été disposés dans le milieu naturel de manière à reproduire le choix préférentiel des individus pour certains microhabitats. Ce type d'expérience permet de comprendre l'effet du milieu sur la température corporelle d'espèces ectothermes, dont la température interne dépend des conditions extérieures.



© Olivier Lourdais

Mesures en laboratoire

© Franck d'Amico

Modèles biomimétiques

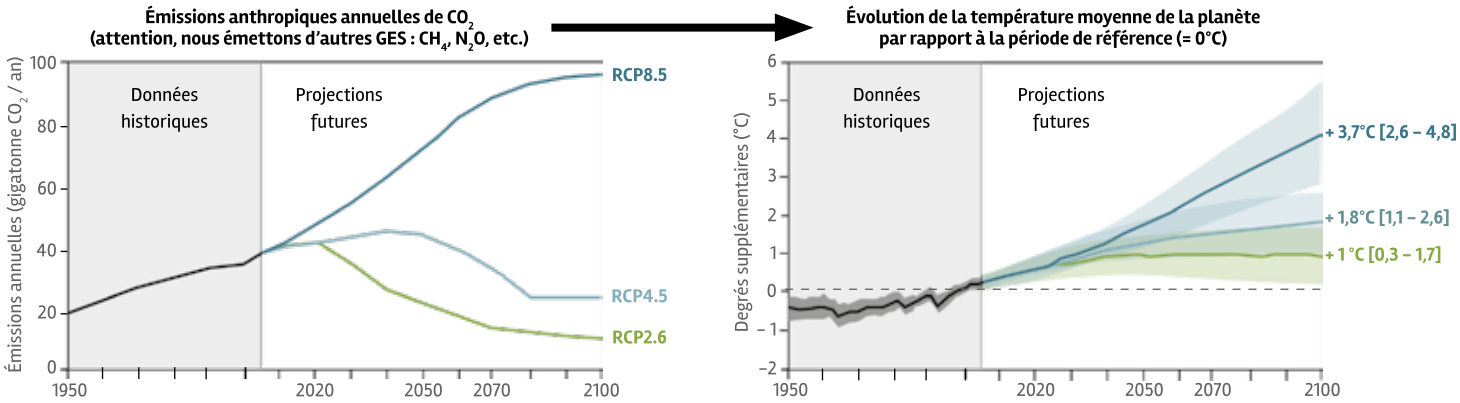
Enfin, une analyse des données de présence des espèces sur l'ensemble de la région Nouvelle-Aquitaine, corrélées aux données climatiques existantes, a été réalisée. Il s'agit ici d'une **modélisation corrélative**.

Les données de présence des espèces sont issues des bases de données régionales, liées aux sciences participatives ou au Système d'Information de l'iNventaire du Patrimoine Naturel (SINP).

Les données climat proviennent de la plateforme Drias[les futurs du climat] de Météo France, tant pour les données historiques que pour les modélisations projectives de l'évolution des paramètres climatiques selon les scénarios du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC).

Dans cette synthèse, les projections présentées sont principalement celles réalisées pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, et ponctuellement du scénario RCP2.6. Chacune correspond à une trajectoire d'émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) envisagée par le GIEC jusqu'en 2100 (graphes ci-dessous). Ces scénarios ont été bâtis en 2013. Le scénario RCP2.6 est aujourd'hui peu réaliste en raison des trajectoires actuelles d'émissions de gaz à effet de serre et de l'augmentation déjà constatée de la température moyenne de la planète (+ 1°C).

Les résultats sont présentés pour 3 horizons temporels plus ou moins proches : 2050, 2070 et 2100.



Des données environnementales ont pu être ajoutées aux modèles afin d'affiner les projections. Certaines sont indépendantes de l'évolution de nos sociétés (topographie, géologie, pédologie en partie), d'autres non (occupation des sols, zones humides par exemple). Pour ces dernières, il n'existe pas de projection de leur évolution future. Ceci constitue une première limite aux projections géographiques effectuées.

Il y en a d'autres. Par exemple :

- Les continuités ou discontinuités écologiques nécessaires au déplacement des espèces ne sont pas intégrées.
- Les capacités de dispersion des espèces ne sont pas prises en compte.
- Les interactions entre espèces peuvent aussi limiter leur capacité à s'implanter ailleurs. Ce paramètre n'est pas modélisé ici.
- Les données climatiques disponibles ont une résolution bien moins fine que celle des données de présence.

Ces projections donnent ainsi des tendances à l'augmentation ou la diminution de secteurs dont le climat serait potentiellement favorable aux espèces, mais n'indiquent pas les aires de répartition futures des espèces, bien que les modèles utilisés dans ce programme se nomment Modèles de Répartition des Espèces (SDM en anglais).

©Thomas Beudin–CBNSA

Panicaut maritime , *Eryngium maritimum*

© Kévin Romeyer–CBNSA

Utriculaire citrine , *Utricularia australis*

© Jean-Claude Abadie–CBNSA

Phalangère à fleurs de lys , *Anthericum liliago*

© Émilie Vallez–CBNSA

Muguet de mai , *Convallaria majalis*

Sensibilité de la flore de Nouvelle-Aquitaine au changement climatique

Rémi David & Kévin Romeyer
Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique

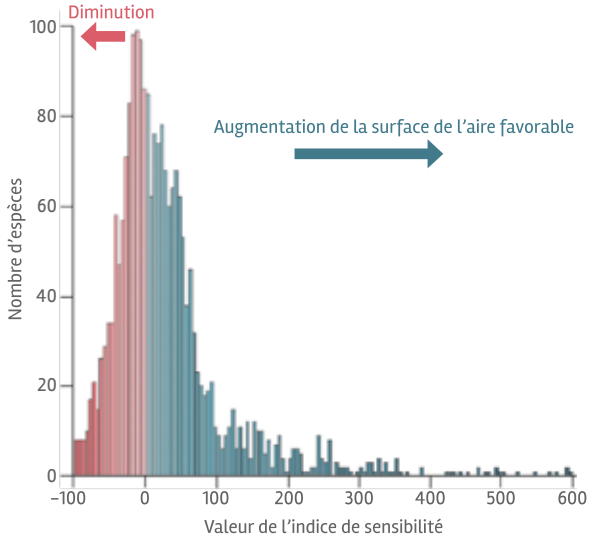
Les projections de l'évolution future des aires d'affinité climatique des plantes mettent en évidence de fortes disparités selon les espèces (leurs aires climatiques favorables s'étendent ou se réduisent) et selon les territoires (augmentation de la richesse spécifique le long des couloirs de la Garonne et de la Dordogne, diminution dans les secteurs de basse montagne en Limousin et sur le piémont pyrénéen). Globalement, les cortèges actuellement présents seraient fortement modifiés à l'avenir.

L'un des objectifs phares définis pour la flore était de parvenir à déterminer des indices de sensibilité climatique relatifs aux espèces végétales de la région Nouvelle-Aquitaine. Ils ont pu être produits à l'issue d'une phase de projection de la répartition spatiale actuelle et future de 2181 espèces végétales, soit les espèces pour lesquelles le nombre de données est suffisant pour construire des modèles. Ce sont 1240 espèces qui n'ont pas pu faire l'objet d'analyses.

Pour chacune des plantes, le total de l'aire de présence potentielle prédite en Nouvelle-Aquitaine pour chaque combinaison de scénarios (3) et d'horizons (3) est comparé à ce même total obtenu pour la période actuelle. On conserve ensuite la médiane de ces 9 valeurs pour aboutir à un indice de sensibilité climatique traduisant l'évolution supposée de la superficie totale climatiquement favorable pour l'espèce en Nouvelle-Aquitaine (graphe ci-contre).

Par exemple, un indice de -50 correspond à une perte de moitié de son aire de présence potentielle actuelle. Un indice de 100 correspond à un doublement de l'aire de présence potenielle actuelle.

Histogramme des fréquences par valeur d'indice de sensibilité climatique



Ces résultats ont ensuite été réemployés pour générer des cartes d'évolution de plusieurs indicateurs et, ainsi, proposer des hypothèses quant à l'évolution de la flore régionale, en fonction des différents scénarios envisagés pour les changements climatiques futurs. Il ressort de ces résultats quelques enseignements principaux (tableau ci-dessous).

Pour l'horizon 2100, les **taux d'extinction régionale** sont estimés à 0,1 % du cortège floristique actuel pour le scénario RCP2.6, et atteignent 3,2 % pour le RCP8.5. On parle d'extinction locale quand plus de 99 % de l'aire de présence potentielle d'une espèce est perdue.

Si l'on s'intéresse à la proportion d'**espèces atteignant des niveaux critiques**, soit la perte de plus de 90 % de leur aire régionale de présence potentielle actuelle, ce sont alors 0,6 % des espèces qui seraient concernées pour le RCP2.6, et jusqu'à 10,7 % du cortège initial pour le RCP8.5.

À l'opposé, toute une partie des plantes de Nouvelle-Aquitaine connaitrait une **extension des secteurs qui leur sont climatiquement favorables**. Ce cas de figure correspondrait même à la majorité des espèces, avec 58,6 % des plantes concernées pour le RCP2.6 et 55,2 % pour le RCP8.5.

Statut des espèces en fonction de différents seuils d'évolution des aires climatiques favorables potentielles

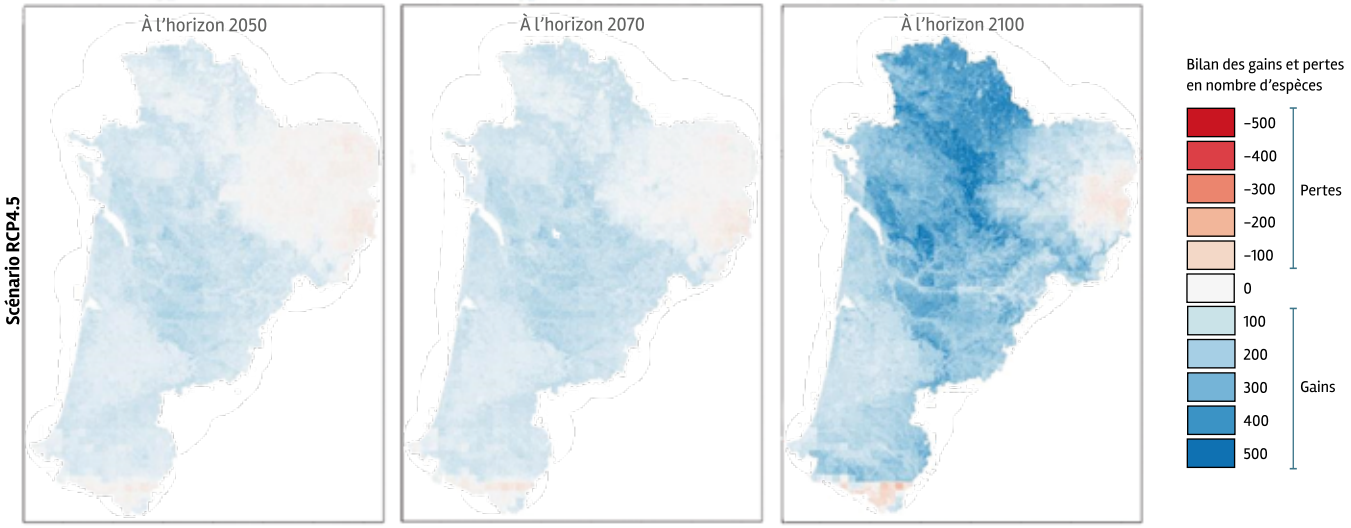
		RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
		2050	2070	2100	2050	2070	2100	2050	2070	2100
% d'espèces en	extinction	0,1 %	0,2 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	1,7 %	0,2 %	1,2 %	3,2 %
	critique	0,4 %	1,1 %	0,6 %	0,5 %	0,4 %	4,3 %	0,4 %	4,0 %	10,7 %
	régression	34,4 %	40,6 %	41,4 %	39,6 %	37,9 %	42,5 %	41,7 %	42,9 %	44,8 %
	progression	65,6 %	59,4 %	58,6 %	60,4 %	62,1 %	57,5 %	58,3 %	57,1 %	55,2 %
	doublement	10,0 %	15,4 %	12,6 %	9,2 %	11,5 %	26,4 %	9,4 %	23,3 %	31,0 %

En Nouvelle-Aquitaine, le bilan global qui résulterait de ces évolutions serait celui d'une augmentation de la richesse spécifique dans la plupart des mailles 1x1 km de la région, avec toutefois des tendances locales qui pourraient s'opposer (cartes ci-dessous).

Ainsi, la diversité pourrait globalement augmenter pour les zones situées sur l'axe sud-est/nord-ouest de la région, entre les parties orientales de la Dordogne et du Lot-et-Garonne et la plupart des zones comprises entre Poitou-Charentes et Gironde.

Elle devrait en revanche décroitre sur la majeure partie du Limousin et aux altitudes moyennes des vallées d'Aspe et d'Ossau.

Cartes des bilans des gains et des pertes (en nombre d'espèces) en région Nouvelle-Aquitaine

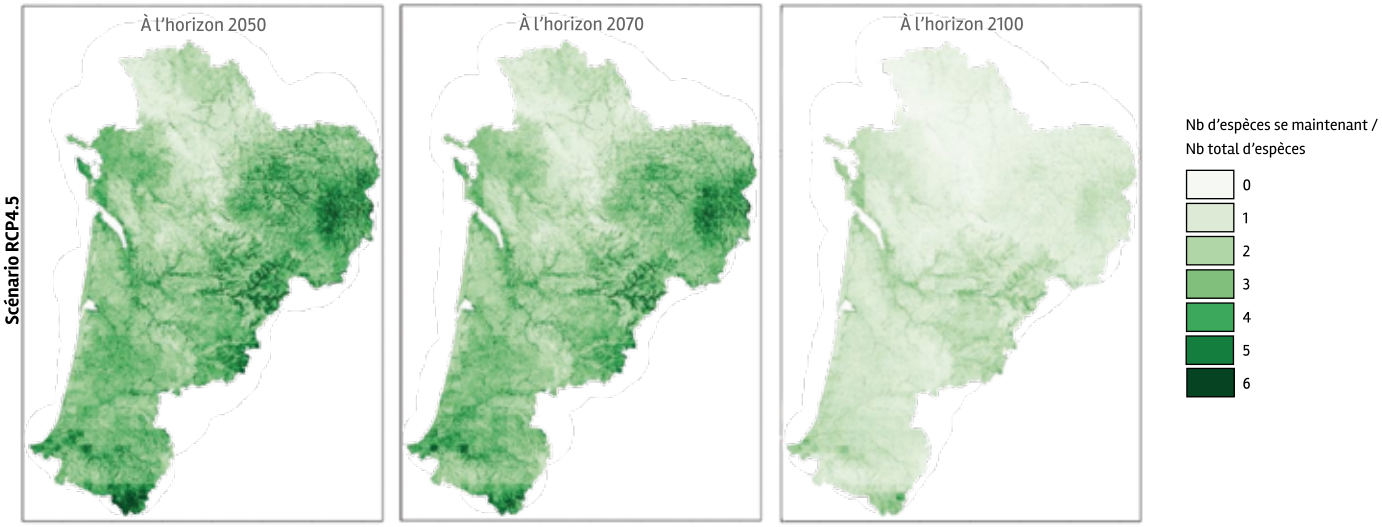


Les zones de plus grande stabilité des cortèges floristiques vis-à-vis de la période actuelle se concentreraient autour du plateau de Millevaches, dans les hautes vallées pyrénéennes, le Périgord noir entre Vézère et Dordogne, le piémont basque, le littoral charentais et le Pays de Serres entre les vallées du Lot et de la Garonne.

À l'échelle de la région et à l'horizon 2100, la composition médiane des cortèges pourrait évoluer de la manière suivante :

- pour le scénario RCP2.6, les espèces déjà présentes au cours de la période actuelle représenteraient plus du double de celles nouvellement installées au sein des mailles,
- pour le scénario RCP4.5 (cartes ci-dessous), les cortèges seraient composés pour moitié d'espèces nouvellement arrivées dans les mailles,
- pour le scénario RCP8.5, les espèces déjà présentes au cours de la période actuelle représenteraient nettement moins de la moitié de celles nouvellement installées au sein des mailles.

Cartes de la stabilité des cortèges floristiques dans chaque maille de Nouvelle-Aquitaine



Pour interpréter ces résultats, il ne faut pas perdre de vue les diverses limites associées à cette étude. En premier lieu, il faut rappeler que ni les capacités de migration des espèces végétales, ni les continuités ou discontinuités écologiques tout au long de leur parcours théorique de migration ne sont prises en compte dans ces modèles. De même, les multiples interactions entre espèces qui surviendraient, non seulement au cours de la migration mais aussi au sein des zones d'arrivée, ne sont pas intégrées aux différentes étapes du processus de production de ces cartes d'indicateurs.

Néanmoins, les tendances mises en lumière par ces résultats devraient nous permettre d'approfondir les réflexions sur les différentes approches de la conservation et de la gestion du patrimoine naturel. Dans cette optique, il est proposé ici de cibler en premier lieu les zones de plus grande stabilité des cortèges floristiques, pour favoriser le maintien d'écosystèmes fonctionnels déjà connus qui seraient à même de perdurer malgré les importants changements climatiques qui surviendraient au cours du XXIème siècle.

© Matthieu Berroneau

Forêt à Hêtre

Suivi et évolution de communautés végétales sensibles au changement climatique

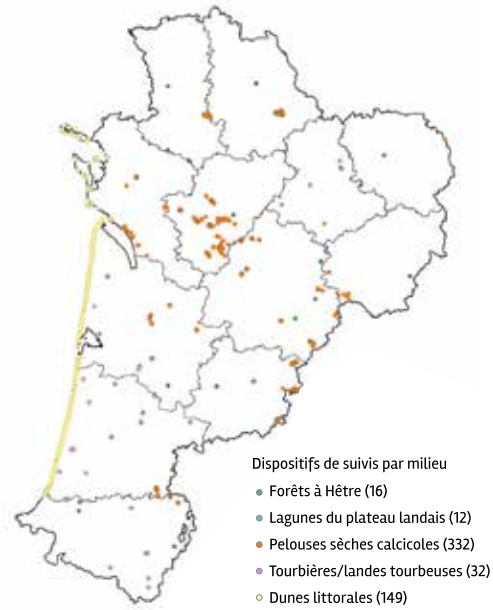
Kévin Romeyer & Rémi David
Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique

Depuis 2016, le réseau de suivi des communautés végétales a permis de mettre en évidence de 1ères tendances d'évolution des cortèges floristiques. Des prémices de méditerranéisation s'observent sur les pelouses sèches des coteaux calcaires. Les espèces typiques des milieux humides fragiles sont moins abondantes. La poursuite des suivis engagés est indispensable, mais n'empêche pas de travailler sur les continuités écologiques entre ces différents milieux, pour favoriser leur résistance et leur résilience.

La flore et les communautés végétales de Nouvelle-Aquitaine pourraient subir d'importants bouleversements dans le futur en lien avec le changement climatique. Des modifications phénologiques* et des difficultés de développement pour un certain nombre d'espèces, des substitutions de cortèges et enfin des modifications d'aire de répartition sont des réponses déjà en partie attestées ou attendues.

Afin de mesurer les conséquences du changement climatique sur la vitesse et l'intensité de l'évolution de la flore régionale, un réseau de surveillance a été déployé sur un nombre important de sites hébergeant des communautés végétales sensibles (carte ci-contre). Il englobe les sites du programme *les sentinelles du climat* mais aussi d'autres dispositifs du CBN Sud-Atlantique.

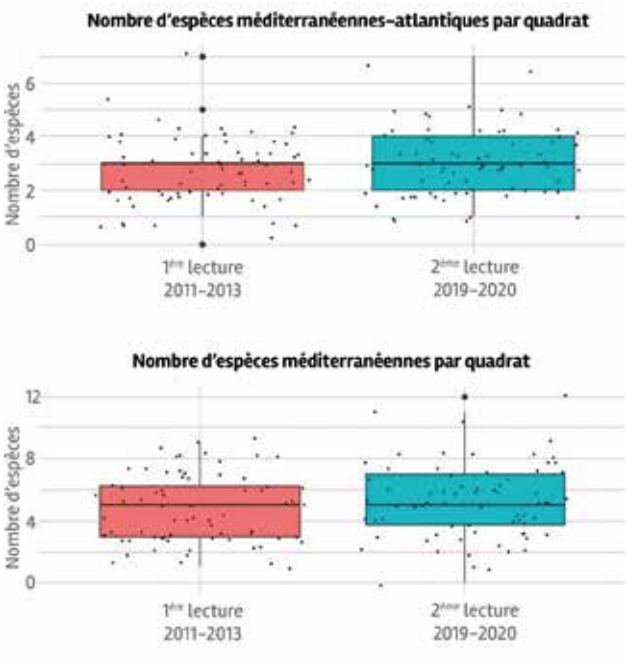
Les pelouses calcicoles, les végétations de dunes littorales, les hêtraies de plaine, les tourbières et les gazons amphibies des Landes de Gascogne ont donc vocation à être suivis sur le long terme à travers ce réseau. Des protocoles et des méthodes standardisés sont repris ou développés spécifiquement pour répondre aux problématiques d'évolution des cortèges floristiques et de facteurs explicatifs.



* Phénologie : étude des phénomènes périodiques chez les végétaux et les animaux, en relation avec les variations climatiques saisonnières.

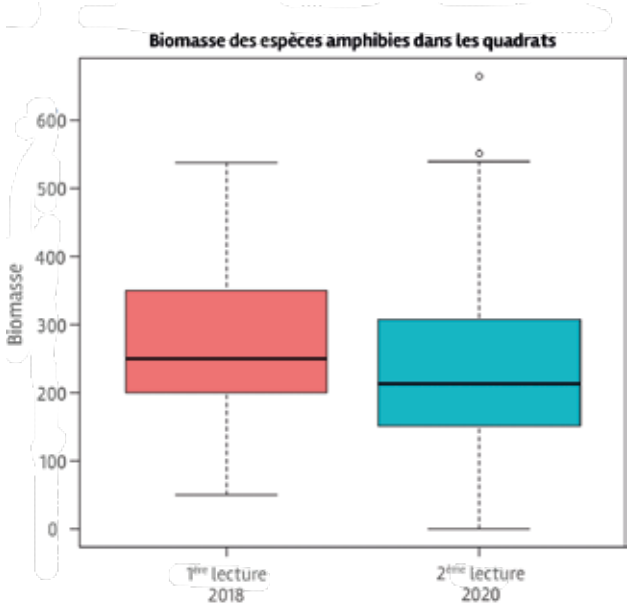
Des premières analyses, réalisées à partir de la relecture des dispositifs de suivis sur des pas de temps de 2 à 6 ans selon les milieux, permettent de pointer des changements significatifs pour certains indicateurs.

Ainsi, une fermeture des milieux par des espèces préforestières (ourlification) et des prémices de méditerranéisation des cortèges floristiques sont décelées en **pelouses calcicoles** (graphes ci-dessous).



Pour les **tourbières**, on constate une certaine stabilité de la flore mais le développement de ligneux est à signaler.

Dans le cas des **lagunes du plateau landais**, les gazons amphibies souffrent déjà avec une nette diminution de leur biomasse (graphe ci-dessous) et une colonisation par la Molinie, *Molinia caerulea*, indicatrice d'un relatif assèchement.



L'approche par modélisation et projection des aires climatiquement favorables aux espèces et végétations dans le futur apporte des informations complémentaires sur l'évolution potentielle des cortèges suivis. Les **hêtraies de plaine**, avec en premier lieu le Hêtre, *Fagus sylvatica*, et plusieurs de ses espèces compagnes, tendraient vers une régression nette des conditions favorables à leur développement (cartes ci-contre).

À l'inverse, certaines espèces thermophiles (soit des espèces qui ont besoin de températures élevées pour leur développement) indigènes ou exotiques pourraient s'étendre largement, en particulier sur les dunes et les coteaux calcaires.

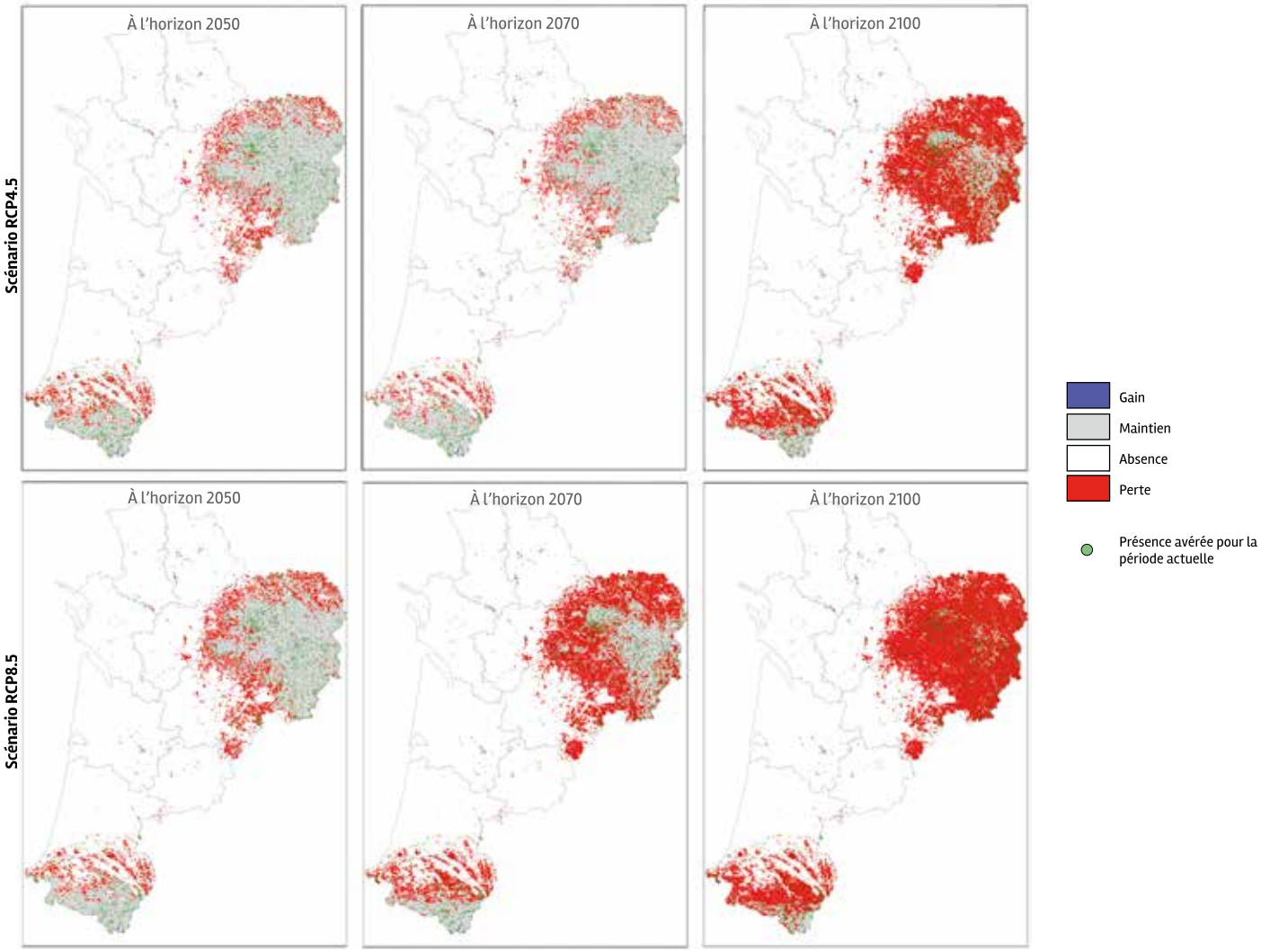
Les effets du changement climatique sur la biodiversité végétale sont complexes à appréhender. L'une des raisons principales à cela réside dans les capacités de résistance et de résilience des espèces végétales. Ainsi, les changements de conditions climatiques et les modifications floristiques qui en découlent s'avèrent parfois décorrélés au niveau temporel : la réponse des espèces est décalée dans le temps par rapport au changement climatique observé. Ce laps de temps entre les 2 types de variations, climatique et floristique, définit la dette climatique des cortèges.

Une meilleure compréhension des facteurs sous-jacents à ce phénomène est un enjeu important dans le contexte d'une accélération du changement climatique au XXIème siècle. En cela, le réseau de surveillance des communautés végétales de Nouvelle-Aquitaine offre un intérêt majeur.

Le programme *les sentinelles du climat* a contribué à la formation d'un réseau de surveillance indispensable. Il reste en cours de structuration et en constante évolution. Ses diverses lacunes pourront être comblées au fil du temps par des compléments d'échantillonnage et une meilleure prise en compte des pressions. Bien qu'imparfait et présentant certaines limites, l'existence de ce réseau demeure un atout indispensable pour évaluer les effets du changement climatique sur certaines végétations sensibles.

Afin de favoriser le maintien des espèces et des communautés sensibles au sein de zones refuges, et de faciliter leur migration vers de nouveaux secteurs favorables, les continuités écologiques et le maintien des conditions microclimatiques constituent des enjeux primordiaux de conservation et de résilience. Ces aspects mériteraient des études spécifiques pour une meilleure connaissance et compréhension, et des mesures de gestion et de préservation efficientes.

Évolution des aires climatiques favorables au Hêtre par rapport au présent



© Emma Valadas

Apollon

Évolution de la diversité des papillons en réponse au changement climatique

Fanny Mallard
Cistude Nature

Les premières tendances sur l'évolution des cortèges de papillons en Nouvelle-Aquitaine mettent en évidence une diminution future des effectifs et des aires climatiques favorables aux espèces actuellement présentes. Ceci s'observe sur les sites suivis, tant sur les pelouses sèches qu'en montagne ou dans les landes humides. Des espèces emblématiques, comme l'Apollon, pourraient disparaître localement. Leur préservation nécessite de travailler dès aujourd'hui à la conservation de leurs habitats, mais aussi sur les continuités écologiques entre ces habitats.

La littérature scientifique indique que les espèces de papillons ont répondu le plus aux pressions du changement climatique, notamment en modifiant leurs aires de répartition vers le nord ou vers de plus hautes altitudes.

En région Nouvelle-Aquitaine, pour étudier cette évolution, nous nous appuyons sur 2 échelles principales. L'échelle macroclimatique correspond à l'influence des conditions climatiques globales sur la présence des espèces. À l'échelle mésoclimatique, les études portent sur l'influence des conditions stationnelles sur les populations présentes sur un site donné.

À l'échelle macroclimatique, pour chaque espèce de papillon, des cartes de gain/perte potentiels de zones climatiquement favorables entre le présent et le futur sont créées.

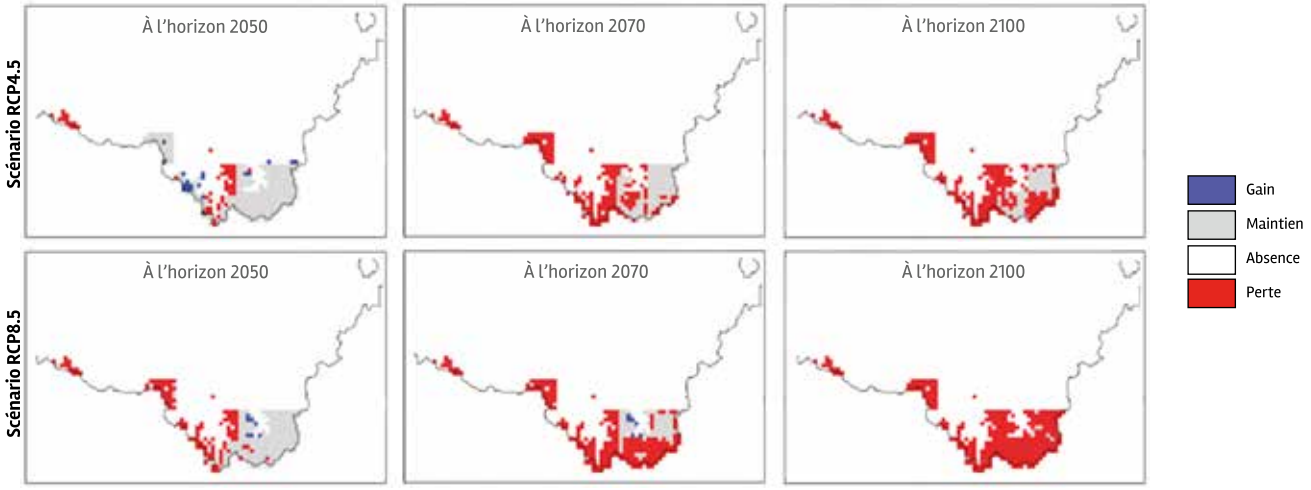
Les résultats exploratoires montrent que les zones favorables aux espèces typiques des pelouses calcicoles, pourtant adaptées aux conditions des milieux chauds et secs, auraient tendance à diminuer avec l'augmentation des températures extrêmes. Le Nacré de la Filipendule, *Brenthis hecate*, en est un exemple, avec un déplacement des secteurs potentiellement favorables au nord et à l'est (Poitou-Charentes et frange limousine).

Les espèces de milieux humides montrent une sensibilité importante à l'augmentation des températures supérieures à 35°C. C'est le cas pour l'Azuré des mouillères, *Phengaris alcon*, qui pourrait ne plus trouver de conditions favorables en Gironde.

Les conditions favorables aux espèces strictement montagnardes, comme l'Apollon, *Parnassius apollo*, semblent se réduire (cartes ci-dessous).

Elles diminueraient de 73 à 97 % en 2100 en lien avec la diminution du nombre de jours d'enneigement en dessous de 50 jours par an.

Évolution des aires climatiques favorables à l'Apollon par rapport au présent



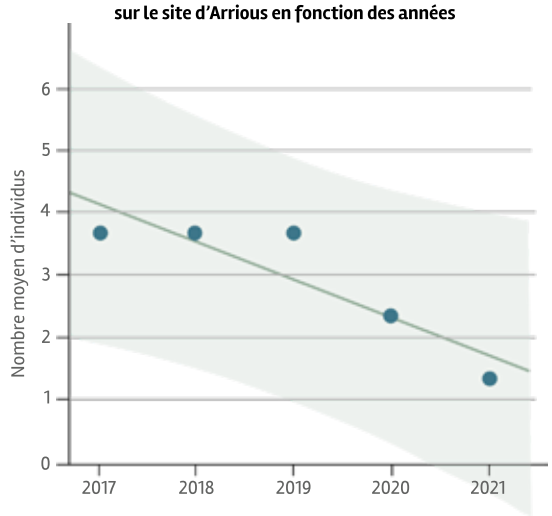
À l'échelle mésoclimatique, un réseau de suivis de l'abondance des espèces permet d'étudier l'évolution des populations. Sur chacun des 23 sites de suivis, des mesures climatiques locales sont réalisées en continu.

L'étude des effectifs au cours des dernières années montre que l'année 2019, très chaude (températures maximales de 40°C en moyenne), a été défavorable pour les espèces abondantes des pelouses calcicoles comme l'Azuré commun, *Polyommatus icarus*. Cela conforte les hypothèses de modélisation sur les conséquences des températures extrêmes sur les papillons de ce milieu.

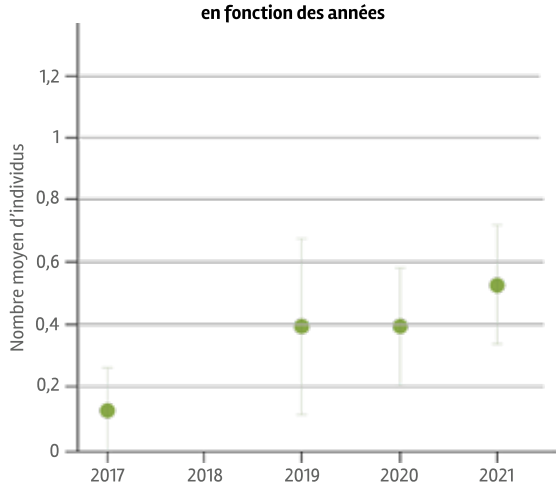
En landes humides, les observations sur le terrain ont montré une corrélation entre la diminution de la diversité des espèces peu abondantes (pour lesquelles 1 ou 2 individus sont observés), des températures plus chaudes (températures maximales supérieures en 2017) et des périodes sèches au printemps (comme en 2017).

En montagne, sur le site d'Arrious, une baisse des effectifs d'Apollon est remarquée depuis 2017 (graphe ci-contre, en haut). Ce constat inquiétant devra être confirmé par la poursuite des suivis. Globalement, la moyenne du nombre d'espèces strictement inféodées au milieu montagnard sur l'ensemble des sites est continuellement en baisse depuis 2018. Par ailleurs, le nombre d'observations de Demi-Deuil, *Melanargia galathea*, espèce de plaine, augmente (graphe ci-contre, en bas). De manière générale, des effectifs plus importants d'espèces de plaine ont été notés en 2019, année où les niveaux de température ont été les plus élevés, potentiellement plus favorables à leur croissance.

Évolution du nombre moyen d'Apollon sur le site d'Arrious en fonction des années



Évolution du nombre moyen de Demi-Deuil en fonction des années



Malgré les limites et incertitudes de ces premiers résultats, des tendances globales se dégagent peu à peu.

Les populations de papillons des pelouses calcicoles diminueraient avec l'augmentation des températures extrêmes. Le maintien ou la recréation des continuités écologiques sont indispensables à leur maintien. La présence d'îlots de fraicheur pourrait atténuer les effets de l'augmentation des températures. Des espèces communes des pelouses, comme le Bel Argus, *Lysandra bellargus*, identifiées comme potentiellement sensibles au changement climatique, pourraient être mises en avant dans la gestion actuelle pour anticiper la baisse des populations.

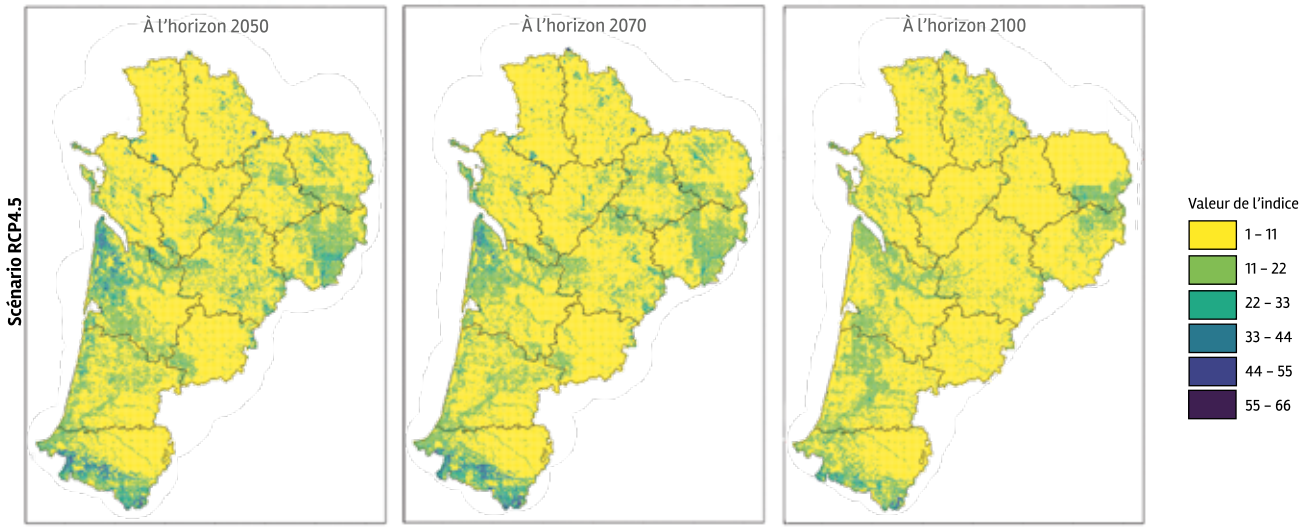
Les résultats ont montré une forte vulnérabilité des papillons des landes humides à la hausse des températures et à la sécheresse de l'air. Ils mettent en avant l'importance du paramètre humidité. La gestion de ce type de milieu doit permettre de créer des refuges microclimatiques, soit une mosaïque d'habitats. En parallèle, la gestion doit permettre le maintien d'un régime hydrologique suffisant ; la restauration et l'augmentation de surface ; la création de connexions entre les habitats humides ; le renforcement de la conservation des espèces protégées en forte diminution.

Le changement climatique n'est pas la seule pression humaine impactant les populations. En montagne par exemple, sur le site d'Arrious, une baisse régulière des effectifs de l'Apollon depuis 2019 a été démontrée. Elle pourrait cependant être imputée au changement de modalité d'utilisation du site. En effet, la qualité des habitats semble se dégrader sur le site en raison d'un surpâturage. À l'étage alpin, le surpâturage et l'écobuage régulier doivent être évités pour protéger les sedums et les joubarbes, les plantes hôtes de l'Apollon, qui sont sensibles à la structuration végétale. Enfin, la lutte contre les espèces envahissantes et indésirables pour l'écosystème doit être intensifiée sur l'ensemble des milieux.

Dans ce programme, le développement exploratoire d'indices de refuges climatiques pour les papillons, définis à partir des enjeux actuels de conservation a été proposé (cartes ci-dessous). Plus l'indice est élevé (couleur foncée), plus la zone d'accueil présenterait un climat potentiellement favorable pour les espèces protégées, patrimoniales ou pour la diversité des papillons. Les différentes zones refuges en 2100 correspondraient au Nord-Médoc, aux cours d'eau de la région et aux montagnes pyrénéennes atlantiques.

Malgré les limites et les incertitudes de cet indice, il permet de repenser la conservation actuelle et de poser de nouvelles perspectives de recherche. Quels secteurs doivent être prioritaires pour la conservation : les secteurs stables, les secteurs où la diversité chute ou inversement, ou les secteurs de refuges pour les espèces actuellement patrimoniales ?

Cartes des indices des refuges climatiques pour les papillons en région Nouvelle-Aquitaine



© Justine Pujol

Chenille et œufs d'Azuré des mouillères sur un bourgeon de Gentiane des marais

Évolution phénologique de l'Azuré des mouillères et de sa plante hôte, la Gentiane des marais

Sandy Bulté
Cistude Nature

Le maintien de la synchronie des cycles de vie de l'Azuré des mouillères et de sa plante hôte est nécessaire au succès reproductif du papillon. Au cours des 4 années de suivi, les cycles de développement des 2 espèces ne semblent pas décalés au sein de chaque site. On observe en revanche des différences dans les dates de déclenchement des phases étudiées, plus précoces dans les sites les plus frais, en montagne et dans le Pays basque. Le changement climatique pourrait entrainer une réduction des secteurs climatiquement propices à la présence de l'Azuré des mouillères et de sa plante hôte.

L'Azuré des mouillères, *Phengaris alcon alcon*, est une espèce spécialiste, au cycle biologique complexe qui nécessite à la fois la présence d'une plante hôte, la Gentiane des marais, *Gentiana pneumonanthe*, et de fourmis hôtes du genre *Myrmica*. Il est inféodé aux landes et aux prairies humides, tourbeuses à paratourbeuses.

Plusieurs études ont montré l'existence d'un décalage des phénologies printanières des insectes vers des dates plus précoces. Ces décalages ne se font pas au même rythme selon les taxons ou le niveau trophique. Par exemple, la phénologie des papillons s'adapte trois fois plus rapidement que celle des plantes. De tels décalages peuvent conduire à une asynchronie d'une partie des cycles de développement de ces espèces en interaction, avec des conséquences plus ou moins importantes sur la dynamique des populations.

Dans ses premiers stades larvaires, l'Azuré des mouillères se nourrit exclusivement des bourgeons et des fleurs de la Gentiane des marais. Un décalage important entre la ponte du papillon et la floraison de sa plante hôte pourrait à terme impacter négativement ses populations. En partant de ces constats, s'est posée la question de l'évolution de la phénologie de l'Azuré des mouillères et de son unique plante hôte en Nouvelle-Aquitaine, la Gentiane des marais, et du maintien de leur synchronie.

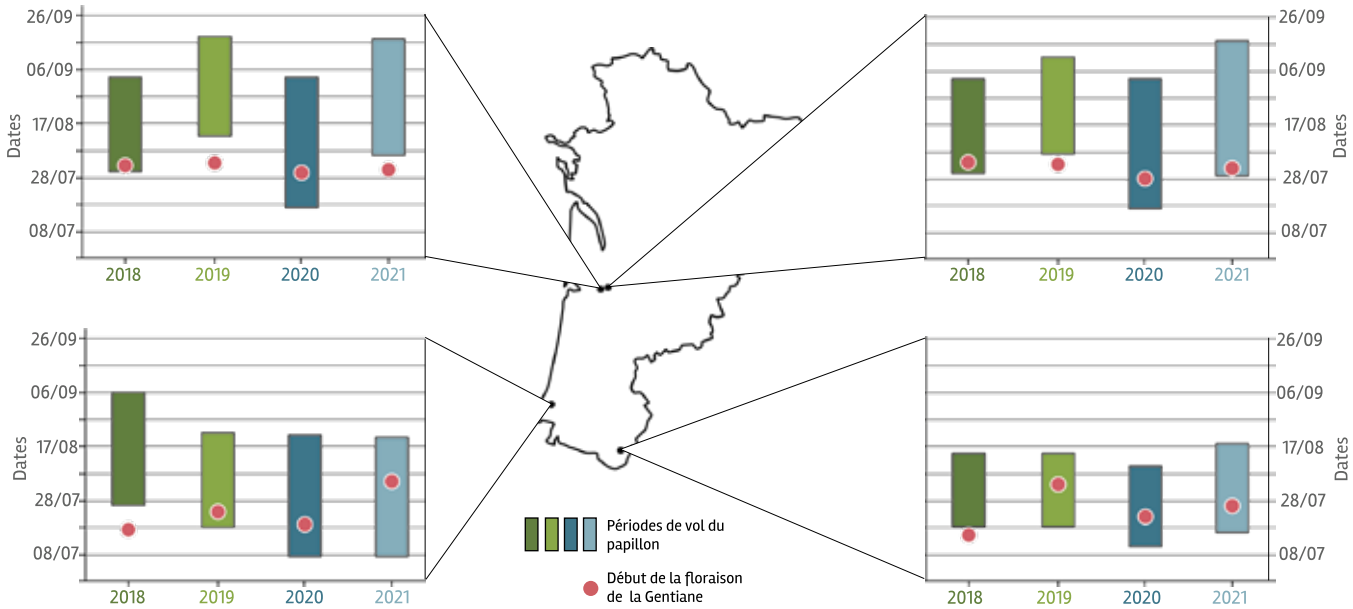
Pour répondre à cette problématique, un protocole de suivis a été mis en place sur 4 sites en Nouvelle-Aquitaine depuis 2018, avec l'ajout d'un 5ème en 2021. Il repose sur un comptage hebdomadaire des pieds et des hampes de Gentiane des marais ainsi que des œufs du papillon dans des quadrats de 100 m².

Au cours des quatre années de suivis, les résultats ont montré des évolutions phénologiques variables selon les sites, avec toutefois un début de vol du papillon et un début de bourgeonnement qui semblent plus précoces sur les sites aux conditions les plus humides et les plus fraiches (graphes ci-dessous), comme observés dans d'autres études.

D'après l'analyse des données des stations météorologiques, il semblerait que les températures hivernales et estivales, ainsi que les humidités relatives hivernales, printanières et estivales jouent un rôle sur l'apparition du début du bourgeonnement et de la floraison de la Gentiane des marais. Plus il ferait chaud en hiver, plus le début du bourgeonnement serait précoce. Plus les températures seraient faibles et l'humidité relative élevée au printemps et en été, plus la floraison serait précoce.

En comparant les phénologies des deux espèces (graphes ci-dessous), les résultats ont montré, sur les 2 sites girondins, une émergence du papillon simultanée ou postérieure au début du bourgeonnement témoignant d'une bonne synchronie. En revanche, sur les 2 sites pyrénéens, cette synchronie semble moins bonne puisque le papillon émerge souvent avant le début du bourgeonnement de sa plante hôte. Concernant la durée de vol du papillon, elle semble suivre la même tendance sur l'ensemble des sites. Elle a été allongée d'une à quelques semaines lors de ces deux dernières années. Cette augmentation de la période d'activité, en plus du décalage, pourrait également être une réponse au changement climatique dans le futur.

Estimation des périodes de ponte de l'Azuré des mouillères et du début de bourgeonnement de la Gentiane des marais sur 4 sites de suivis



L'impact du changement climatique sur la phénologie de nombreuses espèces est désormais bien connu, mais son interprétation reste souvent difficile. De nombreux biais subsistent dans les méthodes utilisées pour mesurer les décalages phénologiques, comme c'est le cas ici.

Par ailleurs, en sus de l'asynchronie avec sa plante hôte, de nombreux facteurs peuvent influer sur la dynamique des populations d'Azuré des mouillères. Leur prise en compte entrainerait un alourdissement du protocole alors même qu'il nécessite déjà un temps d'investigation sur le terrain très important. En conséquence, la poursuite de l'étude de la synchronie phénologique des deux espèces serait à privilégier et des ajustements du protocole seraient à effectuer dans ce sens afin de l'axer sur cette unique problématique et de le simplifier.

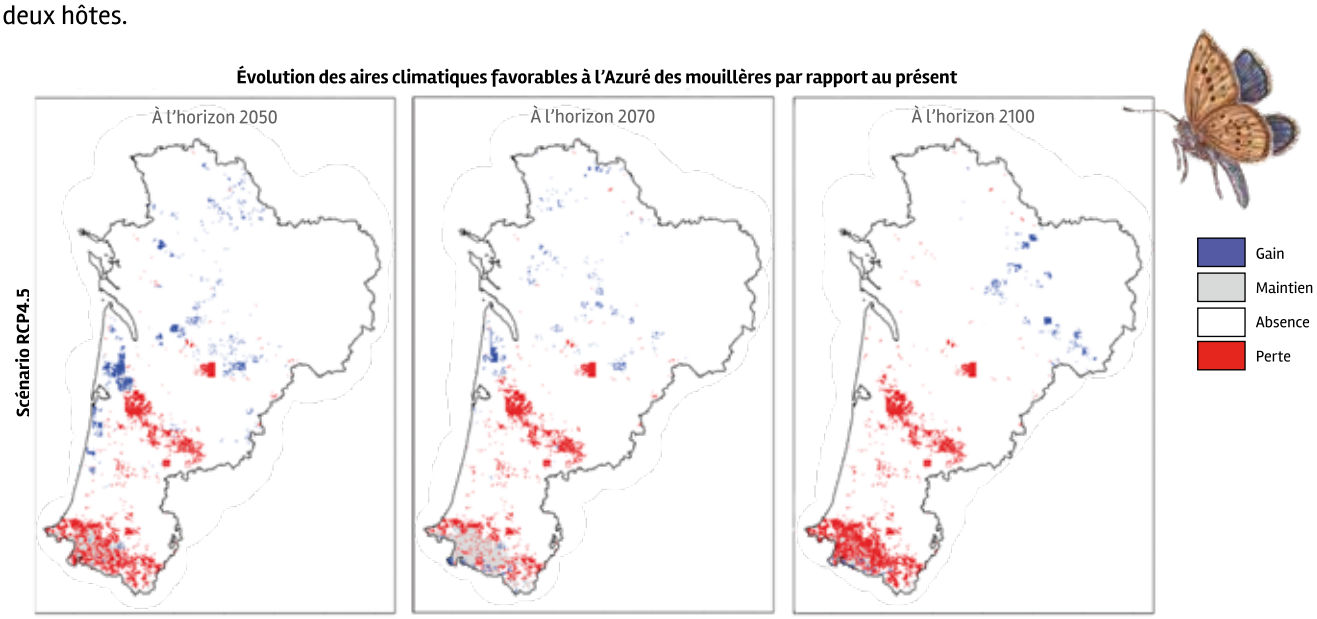
Outre la modification de la phénologie des organismes, le déplacement géographique des populations vers des conditions plus favorables est également une des réponses possibles au changement climatique.

Les populations d'Azuré des mouillères pourraient fortement régresser avec le changement climatique, comme le suggère les résultats des modèles corrélatifs de répartition (cartes ci-dessous). Des zones refuges climatiques sembleraient se dégager dans les massifs montagneux en supposant que l'espèce puisse remonter en altitude et y trouver son habitat favorable avec ses deux hôtes.

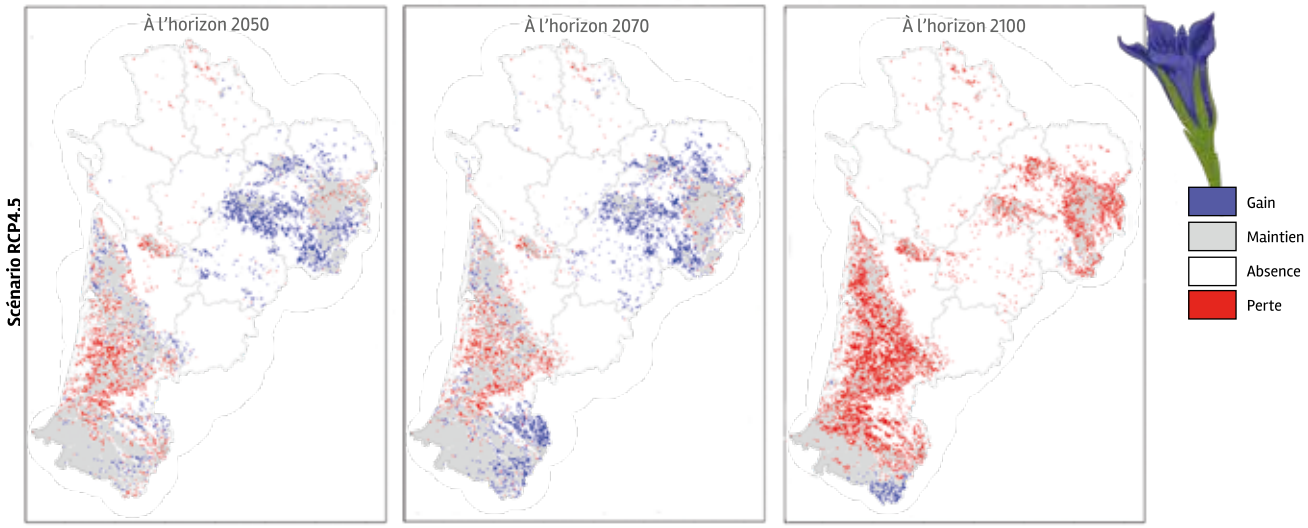
Les modèles suggèrent également une régression des zones climatiquement favorables à la Gentiane des marais, les massifs montagneux présentant encore des conditions climatiques favorables à cette plante (cartes ci-dessous).

Toutefois, ces modèles sont encore lacunaires puisqu'ils ne prennent pas en compte un certain nombre de facteurs, comme notamment l'interaction du papillon avec ses hôtes, leurs capacités de migration ou l'évolution de l'occupation du sol.

Évolution des aires climatiques favorables à l'Azuré des mouillères par rapport au présent

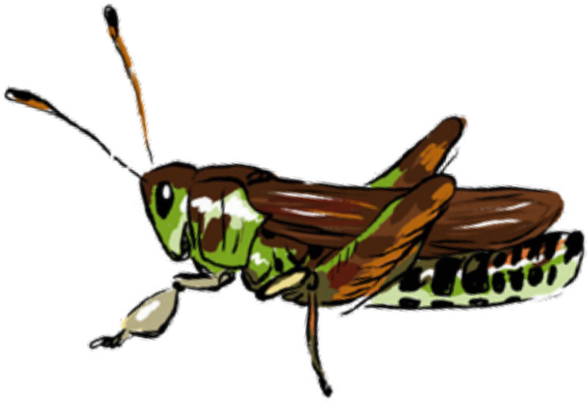


Évolution des aires climatiques favorables à la Gentiane des marais par rapport au présent



© Émilie Lourti

Gomphocère des alpages



Mise en place d'un protocole de suivi des réponses des orthoptères de montagne face au changement climatique

Émilie Loutfi & Anouk Glad
Cistude Nature

Trois protocoles de suivis des orthoptères de montagne ont été testés entre 2018 et 2021. Les effets du changement climatique sur ces insectes phytophages pourraient s'observer par la modification des limites altitudinales propres à chaque espèce. En parcourant chaque année des transects situés entre 500 et 1500 m, en voiture à basse et moyenne altitude et à pied à haute altitude, l'évolution de la répartition altitudinale des orthoptères pourra être mise en évidence.

Les orthoptères sont des insectes très sensibles à la température. Le nombre et la diversité des espèces décroissent avec la latitude et l'altitude, et seules quelques espèces se rencontrent au nord dans des zones subarctiques ou à haute altitude. D'une façon générale, le changement climatique agit sur le développement, la survie, l'abondance et la répartition des insectes herbivores que sont les orthoptères.

Plusieurs études ont montré un élargissement des aires de répartition de certaines espèces, par exemple le Conocéphale bigarré, *Conocephalus fuscus*. Cette espèce a considérablement étendu son aire au nord de l'Europe occidentale. De plus, la zone de répartition de certaines espèces aurait tendance à s'étendre en altitude. Pour d'autres, l'aire de répartition peut être amenée à se réduire.

Les espèces caractéristiques des milieux froids sont particulièrement sensibles au changement climatique, comme celles présentes dans les pelouses de montagne. Le cortège d'orthoptères présents dans ces habitats pourrait se modifier, certaines espèces pouvant y apparaître ou en disparaître sous les effets du changement climatique.

Par exemple, le Gomphocère des alpages, *Gomphocerus sibiricus*, mentionné en 1990 dans la Vallée de Benasque (Pyrénées espagnoles) dès 1400 m, n'est annoncé qu'à partir de 1800 m en 2009, soit 19 ans plus tard.

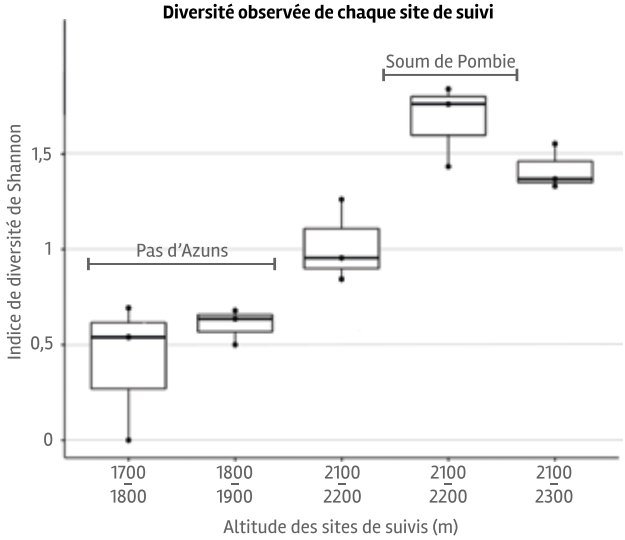
Ainsi, on pose l'hypothèse que cette espèce, à l'instar des autres orthoptères strictement montagnards, effectuera une remontée progressive vers des altitudes plus élevées afin de se maintenir dans son optimum thermique, tant qu'elle y trouve des habitats favorables. En parallèle, des espèces présentes à basse altitude pourraient profiter du changement climatique pour occuper des altitudes plus élevées.

Différents protocoles ont été testés afin de définir la méthode la plus adaptée à l'étude de ces changements :

- suivis acoustiques et suivis par fauche sur des transects courts de 100 m à haute altitude (1700 à 2300 m),
- suivis acoustiques diurnes sur des transects longs suivant un gradient altitudinal au-dessus de 1700 m,
- suivis acoustiques nocturnes sur des transects voiture par enregistrement des stridulations des sauterelles à basse et moyenne altitudes, entre 500 et 1800 m.

La méthode des transects courts permet de caractériser les cortèges d'orthoptères de chaque site suivi. L'analyse des premiers résultats sur trois années montre des différences de diversité entre les sites prospectés (graphe ci-contre). Le Soum de Pombie est le site avec le plus de diversité tandis que les sites du Pas d'Azuns sont ceux avec la diversité en orthoptères la plus faible. Ces différences peuvent être dues à la différence d'altitude mais aussi à d'autres facteurs, tels que la localisation au sein du massif (exposition sud et proximité immédiate des versants espagnols pour le Soum de Pombie), le type de végétation ou l'intensité du pâturage.

Diversité observée de chaque site de suivi

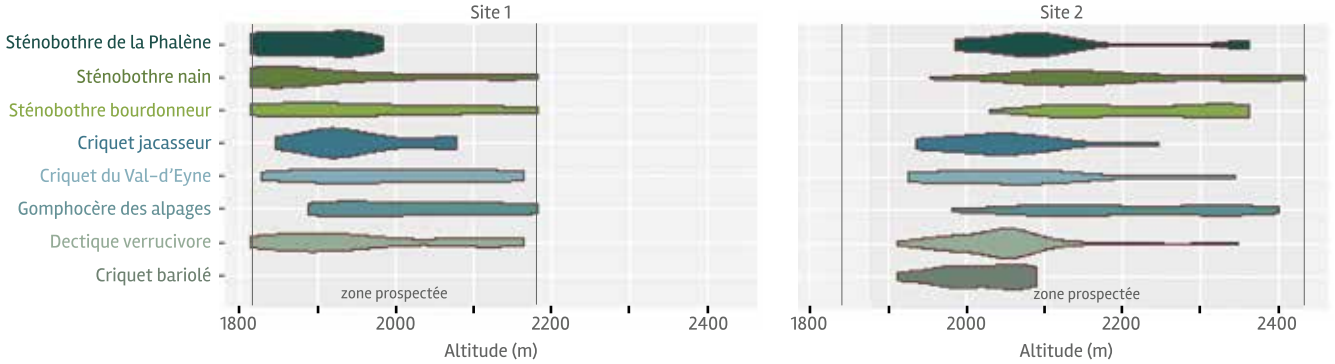


Les transects longs permettent la couverture d'une plus large variation altitudinale, et donc la détection d'espèces ayant des exigences écologiques et climatiques plus variées.

Les premiers résultats (graphiques ci-dessous) montrent que certaines espèces ne sont observées qu'à haute altitude, telles que le **Gomphocère des alpages**, observé entre 1888 m et 2401 m. D'autres espèces sont plutôt de moyenne altitude (le **Criquet jacasseur**, *Stauroderus scalaris*, le **Dectique verrucivore**, *Decticus verrucivorus* ou le **Criquet bariolé**, *Arcyptera fusca*).

Ces graphiques montrent également que certaines de ces espèces de moyenne altitude peuvent faire des incursions à plus haute altitude, la majorité des effectifs de la population restant à moyenne altitude. C'est le cas par exemple du **Dectique verrucivore**, particulièrement visible sur le second site. À l'inverse, une espèce comme le **Criquet bariolé** n'est pas présente à haute altitude.

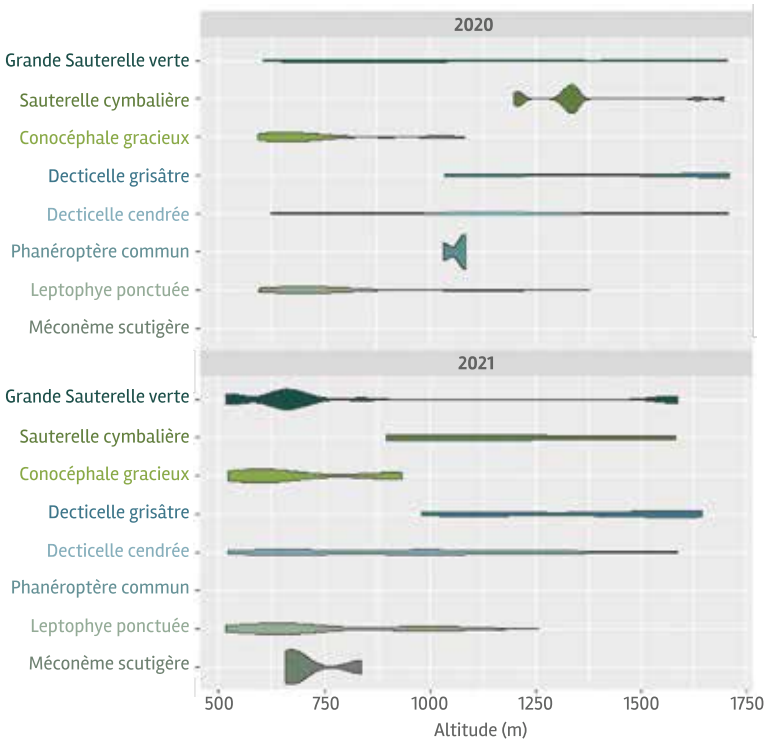
Répartition altitudinale des espèces le long des transects longs sur 2 des sites de suivis



Ces premiers résultats à haute altitude peuvent être complétés par les données issues des transects parcourus en voiture à basse et moyenne altitudes. Ces transects, parce qu'ils sont nocturnes, permettent d'étudier d'autres espèces d'orthoptères peu détectées de jour. Pour exemple, les passages sur le transect reliant le col d'Aubisque à Laruns présentent la répartition altitudinale des espèces contactées en 2020 et 2021 (graphe ci-dessous). Certaines espèces sont très ponctuelles (le **Méconème scutigère**, *Cyrtapsis scutata* ou le **Phanéroptère commun**, *Phaneroptera falcata*).

Pour les autres espèces, on retrouve des espèces de basse altitude (le **Conocéphale gracieux**, *Ruspolia nitidula* et la **Leptophye ponctuée**, *Leptophyes punctatissima*) et des espèces de moyenne altitude (la **Decticelle grisâtre**, *Platycleis albopunctata* et la **Sauterelle cymbalière**, *Tettigonia cantans*). Deux espèces sont présentes sur l'ensemble du transect : la **Decticelle cendrée**, *Pholidoptera griseoaptera* et la **Grande Sauterelle verte**, *Tettigonia viridissima*.

Répartition altitudinale des espèces le long du transect voiture d'Aubisque à Laruns



Si, pour le moment, la composition des cortèges ou la présence des espèces le long d'un gradient altitudinal ne peuvent être mises en lien avec le changement climatique, la poursuite des suivis permettra de mesurer les évolutions possibles de ces cortèges. Les suivis par transects longs semblent les plus adaptés à l'étude des effets du changement climatique sur la répartition altitudinale des espèces, parce qu'ils permettent d'avoir une vision plus globale à l'échelle du site et de couvrir une plus importante gamme de cortège d'espèces.

© Stéphanie Augras

Site de suivi des orthoptères

© Akaren Goudiaby

Leucorrhine à front blanc, *Leucorrhina albifrons*

Évolution spatiale des cortèges d'odonates des lagunes des Landes de Gascogne

Anouk Glad
Cistude Nature

Le cortège des odonates des lagunes des Landes de Gascogne pourrait être modifié par le changement climatique. À l'avenir, des espèces différentes de celles présentes aujourd'hui pourraient coloniser ces milieux humides si particuliers. On observe en effet que l'abondance de certaines espèces, comme le Leste des bois, décroit avec l'augmentation de la température.

Les lagunes, écosystèmes aquatiques uniquement présents sur le plateau landais, sont des habitats remarquables des points de vue écologique, géologique, paysager et culturel. Elles abritent des cortèges patrimoniaux d'espèces animales et végétales. Comme d'autres milieux humides, elles sont particulièrement vulnérables face aux changements globaux, dont le changement climatique, en particulier au travers des altérations du régime hydrique ou de l'augmentation des températures.

Les odonates, comme les autres espèces, ont des exigences écologiques précises, parfois en lien avec le climat, telles que la température de l'eau, sa teneur en oxygène ou la disponibilité en eau douce. Le changement climatique peut entrainer la régression voire l'extinction locale de certaines espèces, ou, au contraire, la progression d'espèces associées à des températures plus chaudes, comme le Trithémis annelé, *Trithemis annulata*, originaire d'Afrique, désormais bien implanté en France et notamment en ex-Aquitaine.

Afin d'analyser ces phénomènes en Nouvelle-Aquitaine, l'étude des cortèges d'odonates est divisée en deux parties.

16 lagunes sont prospectées plusieurs fois par an de façon à suivre l'évolution des cortèges présents. Le nombre d'adultes de chaque espèce observée est noté. Les exuvies* sont récoltées et identifiées. Ces suivis sont couplés avec la pose de stations météorologiques mesurant la température et l'humidité toutes les heures.

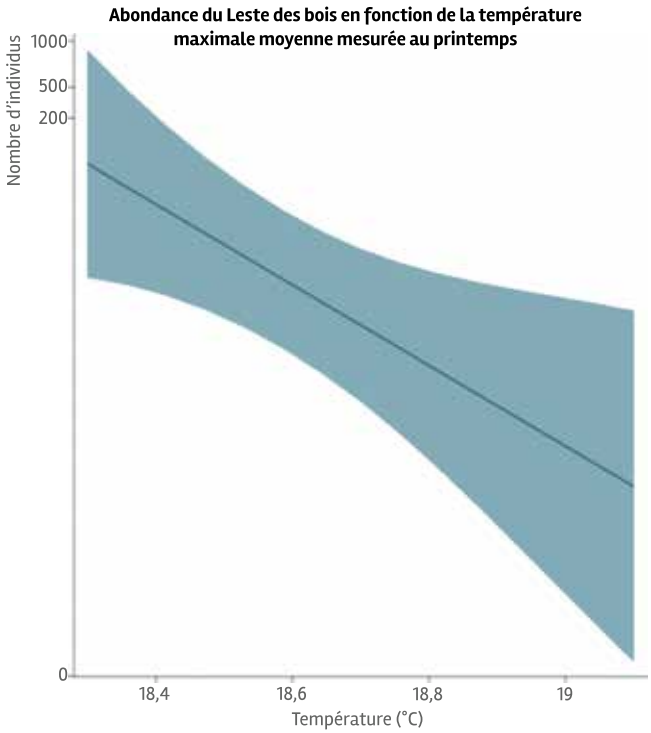
En parallèle, la répartition des odonates a été modélisée, en lien avec des variables climatiques, pour tenter de projeter les aires climatiques favorables à ces espèces selon les scénarios climatiques futurs du GIEC. Des indices de vulnérabilité face au changement climatique ont été construits.

* Exuvie : enveloppe que quitte l'adulte à la dernière mue.

L'analyse des données issues des stations météorologiques des lagunes suivies montre que les sites sont très semblables climatiquement, mais que les années sont très différentes entre elles. Les saisons 2018 et 2020 ont été plus fraiches et humides que l'année 2019. L'année 2020 a été caractérisée, en particulier, par une forte pluviométrie printanière, et donc des niveaux d'eau importants.

Au sein des cortèges d'odonates, on observe une diversité plutôt stable sur les 3 années de suivi (de 2018 à 2020) pour chacun des sites, mais l'abondance des individus de chaque espèce varie selon les années. Ces variations pourraient être liées à de potentiels effets des conditions météorologiques particulières à chaque année.

Par exemple, pour le Leste des bois, *Lestes dryas*, des températures plus chaudes au printemps et en été ne semblent pas favorables (graphe ci-contre).



Pour compléter les suivis sur sites, une étude sur les espèces d'odonates de Nouvelle-Aquitaine a été réalisée. À l'aide de modèles prenant en compte différents scénarios de climats futurs possibles, l'évolution des secteurs potentiellement favorables à 53 espèces d'odonates actuellement présentes en Nouvelle-Aquitaine a été étudiée. Il ne s'agit pas de l'ensemble des espèces présentes, car le nombre de données pour certaines est trop faible pour produire un modèle fiable.

Selon les scénarios, les secteurs présentant des conditions climatiques favorables se réduisent, voire disparaissent, pour 24 % à 32 % des espèces étudiées.

Pour d'autres (24 à 30 % des espèces actuellement présentes), les conditions climatiques propices à leur présence pourraient être plus largement réparties sur le territoire. Parmi ces espèces, certaines sont présentes sur les lagunes. Pour 8 d'entre elles, les conditions climatiques seraient plus largement appropriées à l'horizon 2100, comme pour le Sympétrum méridional, *Sympetrum meridionale*.

En revanche, pour 15 des espèces fréquentant les lagunes, les secteurs climatiquement favorables se réduiraient, comme pour l'Aeshne bleue, *Aeshna cyanea*, la Grande Aeshne, *Aeshna grandis*, ou l'Agrion délicat, *Ceriagrion tenellum*.

À partir de ces projections, une étude de la diversité des espèces par maille de 1 x 1 km a été conduite, en analysant la similarité entre les espèces actuellement présentes et les projections d'aires climatiques potentiellement favorables dans le futur selon les scénarios de changement climatique.

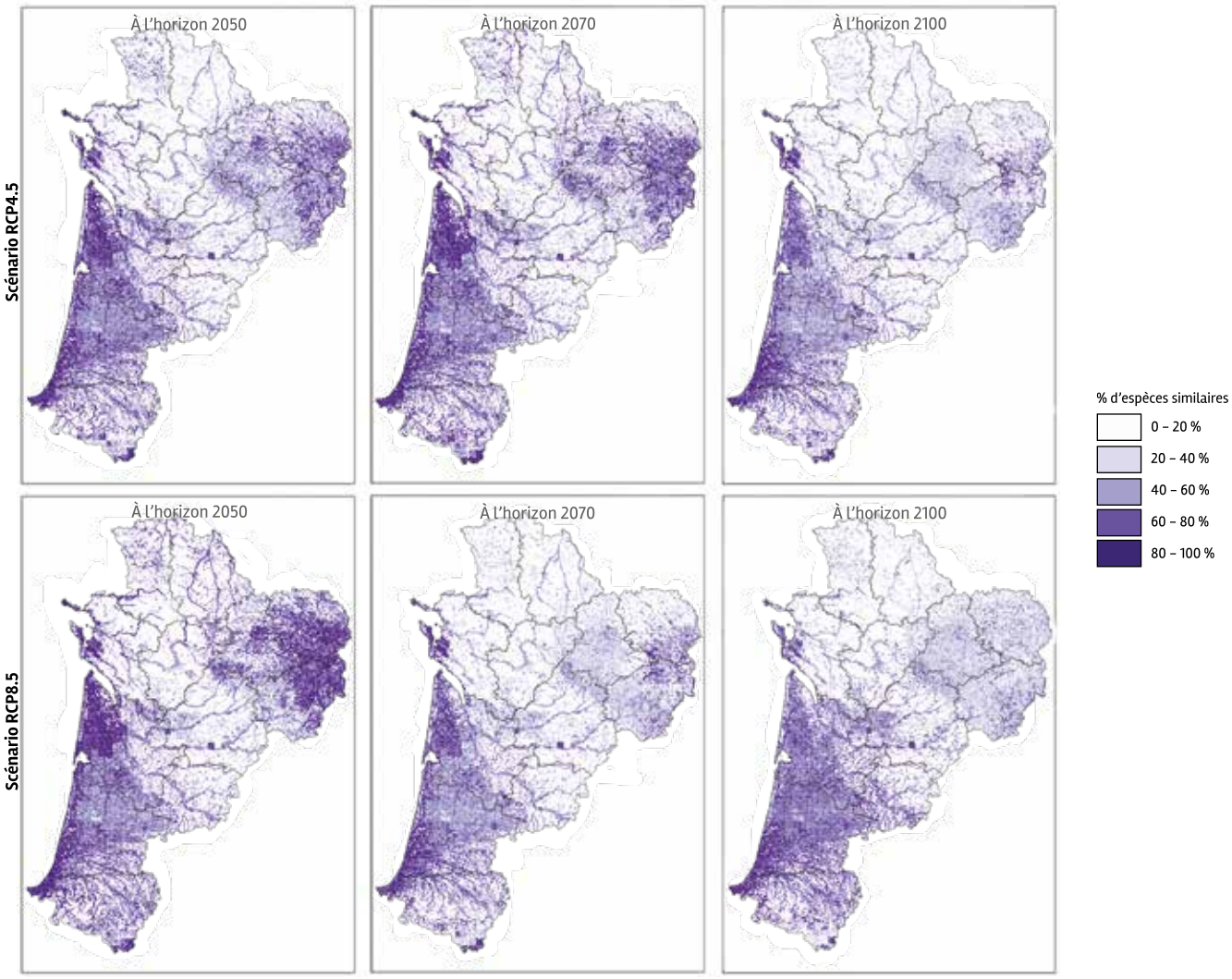
Il est probable que les cortèges soient fortement modifiés dans de nombreux secteurs de la région (cartes ci-contre : plus la zone est claire, plus les espèces présentes à un endroit donné seraient différentes à l'avenir).

Les suivis des cortèges d'odonates doivent être poursuivis. En effet, la durée du cycle de vie de ces espèces (qui restent au stade larvaire pendant 1 à 3 ans) pourrait engendrer un décalage des impacts du climat sur les abondances observées. De plus, d'autres facteurs pourraient être étudiés en lien avec le changement climatique (température de l'eau, régime hydrique) mais aussi avec les autres pressions anthropiques sur les lagunes, comme la qualité de l'eau ou les perturbations (travaux, espèces envahissantes, etc.).

© Akaren Goudiaby

Leste des bois

Cartes de similarité des cortèges d'odonates entre le présent et les projections futures



© Matthieu Berroneau

Rainette ibérique

Rôle des milieux humides pour atténuer les effets du changement climatique : Rainette ibérique et Rainette verte

Maud Berroneau, Michaël Guillon & Olivier Lourdais
Cistude Nature / CNRS-Centre d'Étude Biologique de Chizé

Les suivis de terrain et les expériences en laboratoire montrent l'importance d'une hygrométrie élevée pour la Rainette ibérique et la Rainette verte, comparées à la Rainette méridionale. Ce paramètre explique la répartition des 3 espèces en Nouvelle-Aquitaine. Les études expérimentales mettent aussi en avant la capacité adaptative de la Rainette ibérique qui régule ses pertes en eau grâce à son comportement. Le changement climatique aura un impact drastique sur les secteurs favorables à l'avenir pour la Rainette ibérique et la Rainette verte, espèces de milieux frais.

En Nouvelle-Aquitaine, 3 espèces de rainettes à affinités climatiques et répartitions contrastées sont présentes.

La Rainette ibérique, *Hyla molleri*, est une espèce qui se reproduit dans les milieux humides et frais du Massif landais, type « lagunes ». En France, elle se cantonne au bassin aquitain. Ses habitats préférentiels sont sujets aux perturbations climatiques comme l'assèchement brutal et la modification de la flore représentative des zones humides du Massif landais.

La Rainette verte, *Hyla arborea*, possède une répartition septentrionale étendue dont la limite sud atteint le Massif central.

La Rainette méridionale, *Hyla meridionalis*, est une espèce d'affinité méditerranéenne, et donc plus thermophile, qui pénètre toutefois sur certaines lagunes où elle s'observe alors en syntopie* avec la Rainette ibérique.

Nos travaux de recherche sont menés sur ces trois espèces afin de développer une approche intégrée à différents niveaux d'affinités climatiques (atlantique/médio-européen *versus* méditerranéen).

Des suivis naturalistes sur des sites d'étude permettent de visualiser les tendances évolutives de la répartition et l'abondance de la Rainette ibérique dans le Massif landais et de la Rainette verte en Limousin, en lien avec d'éventuelles variations climatiques, mais aussi d'observer la progression de la Rainette méridionale.

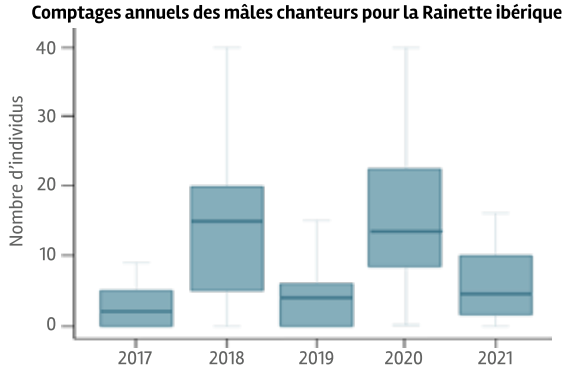
* Espèces présentes au même endroit au même moment.

En parallèle, nos travaux de recherche ont pour objectif de comprendre les déterminants de la répartition de ces trois espèces à partir des données de présence (observations) issues des différents observatoires infrarégionaux. Notre hypothèse principale est qu'un contraste des niches thermiques/hydriques et physiologiques de chaque espèce permet d'expliquer leur répartition parapatrique* en Nouvelle-Aquitaine.

Dans ce contexte, il est important d'identifier les paramètres physiologiques et comportementaux proximaux qui sous-tendent les adaptations climatiques propres aux espèces, et également d'explorer les déterminants climatiques de la répartition et de l'importance des gradients environnementaux.

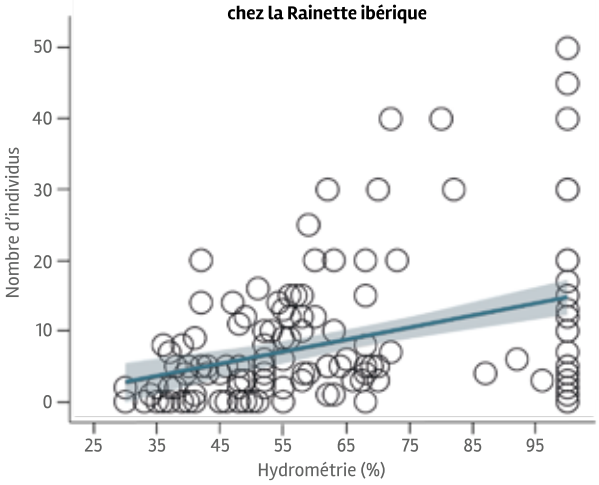
Les analyses menées sur les 5 premières années de suivi, soulignent des variations interannuelles importantes du nombre de mâles chanteurs détectés. Pour la Rainette ibérique, ces variations sont étroitement liées aux conditions météorologiques et aux précipitations : le nombre de mâles chanteurs en activité était très faible durant les années sèches et chaudes, comme 2017 et 2019 (graphe ci-contre).

Comptages annuels des mâles chanteurs pour la Rainette ibérique

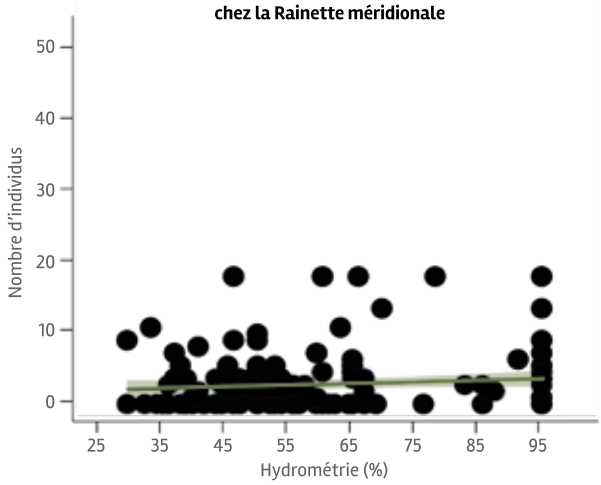


Cette dépendance à l'humidité pour l'activité de reproduction se confirme au travers des relevés *in situ*, avec une corrélation entre le nombre de mâles chanteurs en activité et les conditions d'hygrométrie (graphe ci-dessous, à gauche). Cette relation n'a pas été trouvée chez la Rainette méridionale (graphe ci-dessous, à droite).

Influence de l'hygrométrie sur les observations chez la Rainette ibérique



Influence de l'hygrométrie sur les observations chez la Rainette méridionale



---

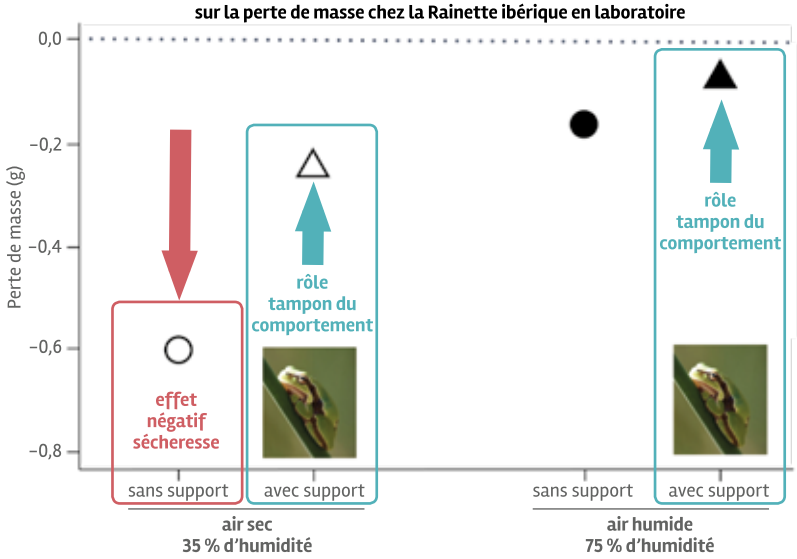
* Espèces dont les aires de répartition s'interpénètrent, mais qui restent isolées par l'occupation de niches écologiques différentes.

En parallèle, les études en laboratoire ont permis de montrer que la Rainette verte et la Rainette ibérique présentent des pertes hydriques cutanées plus importantes que la Rainette méridionale et révèlent des tolérances différentes à l'évaporation. La peau de la région dorsale est en contact avec l'air extérieur et les pertes cutanées élevées peuvent compromettre l'état physiologique et la balance hydrique des individus.

Les données expérimentales en enceintes climatiques démontrent chez la Rainette ibérique une très forte sensibilité aux conditions desséchantes (graphe ci-dessous). Ainsi la perte de masse augmente quand l'hygrométrie est basse. La présence d'un support permet de réduire drastiquement les pertes hydriques par l'expression de comportements d'économie d'eau avec les ajustements posturaux (graphe ci-dessous) qui semblent d'une importance déterminante comme moyen de résistance aux conditions desséchantes.

La disponibilité de microhabitats de bonne qualité devrait donc jouer un rôle essentiel dans le maintien de la balance hydrique.

Influence de l'hygrométrie et de la présence de support sur la perte de masse chez la Rainette ibérique en laboratoire



La modélisation de la répartition actuelle des rainettes montre que la Rainette ibérique utilise des conditions plus chaudes mais plus arrosées que la Rainette verte, et des conditions plus nébuleuses que la Rainette méridionale. Par ailleurs, la présence de zones humides ressort comme un des facteurs prépondérants pour expliquer la répartition de la Rainette ibérique. La modélisation selon les différents scénarios de changement climatique suggère une régression extrêmement importante et rapide des conditions climatiques favorables à la Rainette ibérique. Les refuges climatiques sont très limités et localisés par exemple à des zones littorales dès 2050, puis exclusivement restreints au piémont pyrénéen (Béarn) en 2100.

Pour la Rainette verte, les projections futures suggèrent un recul important des conditions climatiques favorables à sa présence vers le nord dès 2050, avec la possible disparition de l'espèce de la région à terme. Ces projections identifient également des refuges climatiques temporaires dans le Limousin (comme les Combrailles limousines) et en Deux-Sèvres (bocage bressuirais et Gâtine).

Les microclimats sont essentiels pour les ajustements de comportements de thermorégulation et d'hydrorégulation. Le maintien d'une diversité de microhabitats à une petite échelle spatiale est une action prioritaire pour ces espèces peu mobiles. Les habitats humides, comme les lagunes, jouent déjà le rôle de « capsule climatique », notamment dans les zones fortement exposées aux aléas climatiques. Mais ces habitats sont mis à mal par les pressions anthropiques locales. Gérer et restaurer ces zones humides permettrait de renforcer et pérenniser cet effet protecteur en plus d'être un véritable levier pour atténuer les effets du changement climatique à l'échelle régionale (carte p.51).

© Matthieu Berroneau

Grenouille des Pyrénées

La Grenouille des Pyrénées, une espèce fragile sous menaces multiples

Matthieu Berroneau & Franck d'Amico
Cistude Nature / Laboratoire de Mathématiques et leurs Applications, UPPA

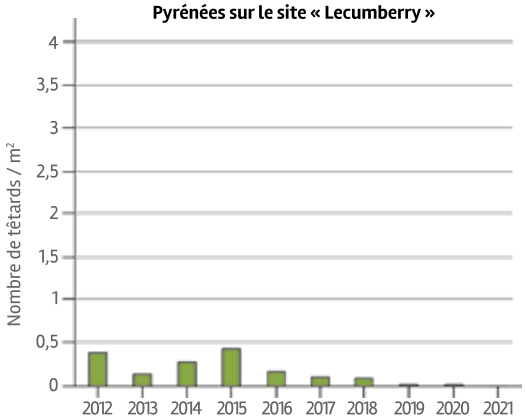
Tandis que les populations de Grenouille des Pyrénées du Pays basque tendent à la baisse, celles de la vallée d'Aspe sont stables. Les différentes recherches menées sur l'écophysiologie de l'espèce mettent en évidence une marge adaptative des têtards entre leur température optimale et la température effective des ruisseaux, ainsi que l'importance de la mosaïque paysagère pour les adultes. On notera que, en plus du changement climatique, de très fortes pressions anthropiques mettent en danger cette espèce endémique et nécessitent des actions très rapides.

La Grenouille des Pyrénées, *Rana pyrenaica*, est une espèce endémique de l'ouest des Pyrénées. Elle n'est connue que de quelques ruisseaux du Pays basque et de la Vallée d'Aspe, ce qui en fait l'une des espèces d'amphibiens les plus rares et menacées de France métropolitaine.

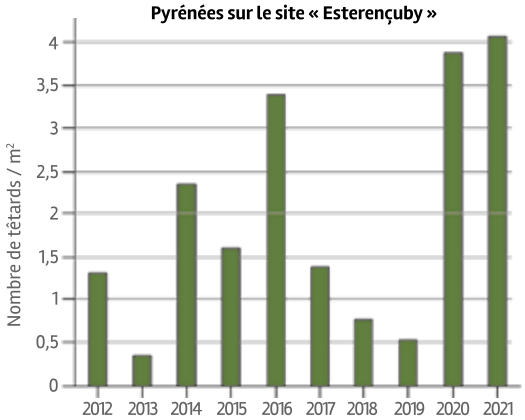
Depuis 2012, un suivi de la réussite de la reproduction est réalisé tous les ans sur l'ensemble des sites de présence de l'espèce. Le comptage répété des têtards sur un ensemble de placettes prédéfinies aboutit aux résultats suivants :

- Très forte variabilité interannuelle et intersite.
- Les effectifs sont en baisse sur les **secteurs du Pays basque**, à l'exception du **site d'Esterençuby** où le nombre de têtards se maintient à un niveau élevé (graphes ci-dessous).

Évolution des effectifs des têtards de Grenouille des Pyrénées sur le site « Lecumberry »

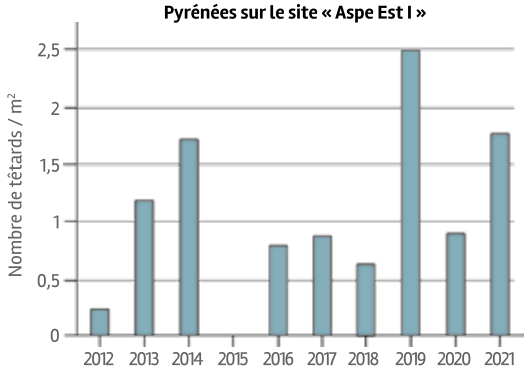


Évolution des effectifs des têtards de Grenouille des Pyrénées sur le site « Esterençuby »



- Les effectifs semblent stables en Vallée d'Aspe (graphe ci-contre).
- Les effectifs les plus importants sont situés sur les secteurs les plus préservés et les plus isolés.
- Les sites avec les plus faibles abondances correspondent à des sites concernés par l'introduction de poissons (truites) et par une activité d'exploitation forestière trop importante.
- Les impacts du changement climatique semblent venir s'ajouter à ces deux dernières problématiques. Les hivers trop chauds semblent avoir un impact négatif sur la reproduction (probablement de façon indirecte, car ils entrainent une faible hauteur de neige et une faible hauteur d'eau dans les ruisseaux au printemps), tout comme les épisodes de crues printanières (de façon directe, par lessivage des ruisseaux, entrainant une dérive vers l'aval des têtards et une surmortalité).

Évolution des effectifs des têtards de Grenouille des Pyrénées sur le site « Aspe Est I »



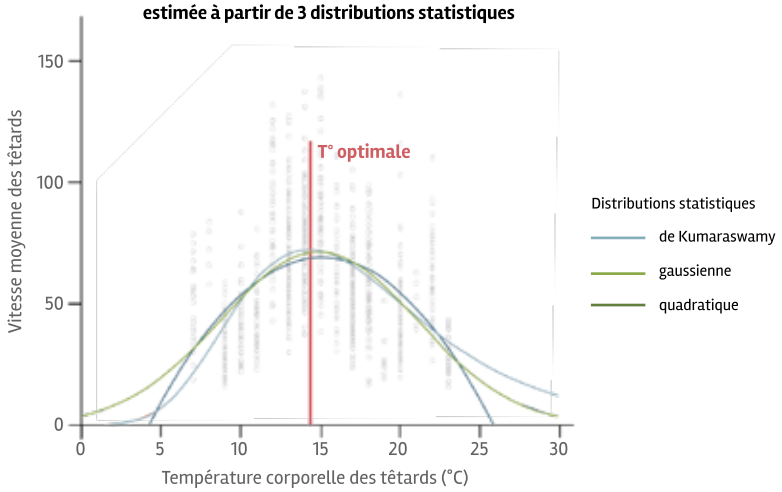
En 2017, ont débuté des études de modélisation mécanistique pour appréhender le lien entre température, humidité et physiologie de l'espèce.

Pour la première fois, en déployant des expériences inédites d'écophysiologie *in situ*, la température optimale d'activité des têtards a pu être estimée entre 13,1°C et 14,3°C (graphe ci-dessous).

On peut comparer ces températures aux conditions microclimatiques réelles telles qu'elles ont pu être mesurées, ici encore pour la première fois, de façon statistique sur 4 cycles de vie annuels complets (entre 2017 et 2021). Un important paradoxe a ainsi été révélé : les têtards de Grenouille des Pyrénées sont des généralistes (d'un point de vue thermique) avec une largeur de performance écophysiologique très importante au vu de la gamme de température du milieu. Par ailleurs, leur développement s'effectue dans des eaux bien plus froides que leur température optimale. Ceci représente une possible marge adaptative de sécurité des populations face au changement climatique.

Cette hypothèse est toutefois à nuancer selon les sites : les températures de l'eau à basse altitude (vallée d'Aspe), comparées à celles à plus haute altitude (Pays basque), sont toujours supérieures de 1°C, voire plus de 2°C, pendant la période de développement des têtards. Sans ambigüité aucune, la marge thermique est donc plus importante à haute altitude ce qui confère, *de facto*, une plus grande vulnérabilité aux populations de basse altitude.

Température optimale pour les têtards de Grenouille des Pyrénées estimée à partir de 3 distributions statistiques



Par ailleurs, le risque de déshydratation des grenouilles adultes a pu être quantifié de façon expérimentale *in situ*. Compte tenu de la très grande vulnérabilité de l'espèce et l'impossibilité d'étudier les individus en laboratoire, des suivis originaux avec des modèles biomimétiques en agarose (considérés comme des « avatars » de véritable grenouille) ont été mis en place sur le terrain. Le déploiement dans des conditions choisies a permis d'étudier de façon inédite, sur des cycles de 24h, la déshydratation théorique des adultes de différentes tailles en fonction de variables microclimatiques, de la saison, de l'habitat et du comportement. L'analyse statistique permet de dégager des tendances assez claires :

- Les taux horaires de déshydratation seraient supérieurs chez les grenouilles de petite taille (type Grenouille des Pyrénées) comparés à des grenouilles plus grosses présentes aussi sur les sites étudiés, comme la Grenouille rousse, *Rana temporaria*.
- Le fait qu'elles soient exposées (actives) le jour par opposition à la nuit, dans des habitats ouverts ou fermés aurait des conséquences fortes. De façon évidente, la déshydratation serait supérieure chez les grenouilles actives pendant le jour, s'aventurant ou vivant en milieu ouvert.
- Le taux de déshydratation observé varie au cours du cycle nycthéméral*, en étant plus prononcé l'après-midi que le matin. La vulnérabilité de la Grenouille des Pyrénées face à un environnement qui deviendrait plus chaud (donc plus contraignant face au risque de déshydratation, bien que l'évaporation engendre un effet « refroidissant ») pourrait dépendre de son cycle d'activités au cours du nycthémère*. De façon logique, le choix d'une activité aux heures chaudes de la journée (après-midi) sera la stratégie la pire face au risque de déshydratation, sauf si l'individu dispose de refuges faciles à utiliser dans des habitats boisés ou s'il modifie son comportement.
- De façon surprenante, la saison a un effet assez net : la déshydratation serait supérieure chez les grenouilles pendant l'hiver (qui correspond à la saison de reproduction). On pourrait s'attendre à ce que les effets des canicules hivernales (des canicules « précoces » en quelque sorte, un phénomène nouveau) soient par conséquent plus importants.

Sur la base (indicative seulement !) des modélisations corrélatives établies à partir de la niche thermique estimée des adultes (elle-même établie à partir d'informations lacunaires basées sur la répartition actuelle, limitée en Nouvelle-Aquitaine à 5 sites), les projections pour le futur font état d'une diminution possible des secteurs favorables quel que soit le scénario climatique. Les projections obtenues, qui supposent une dispersion possible sur plusieurs kilomètres, suggèrent la quasi-extinction des populations de Nouvelle-Aquitaine d'ici 2100 sous le scénario climatique futur le plus pessimiste (RCP8.5). Sous l'hypothèse du scénario RCP2.6, la perte potentielle de secteurs climatiquement favorables serait la mieux maîtrisée ; l'interprétation reste encore délicate pour le scénario RCP4.5.

Au final, la situation de la Grenouille des Pyrénées dans les Pyrénées-Atlantiques semble particulièrement critique. De nombreuses menaces pèsent sur l'espèce, auxquelles viennent s'ajouter les effets du changement climatique.

Il convient aujourd'hui de mettre en place des mesures de conservation forte si l'on souhaite pérenniser la présence de l'espèce sur notre territoire :

- mise sous cloche totale des sites majeurs de reproduction (par exemple par Arrêté de Protection de Biotope),
- arrêt définitif de l'introduction de poissons sur les zones de présence de l'espèce,
- réglementation sur la fréquentation de certains sites fragiles,
- veille sur l'exploitation forestière à proximité des sites de présence,
- réflexion sur des actions de renforcement de populations.

* Nycthémère : Durée de vingt-quatre heures, comprenant un jour et une nuit et correspondant à un cycle biologique.

© Matthieu Berroneau

Lézard ocellé

Importance des microhabitats climatiques pour le Lézard ocellé en milieu arrière-dunaire

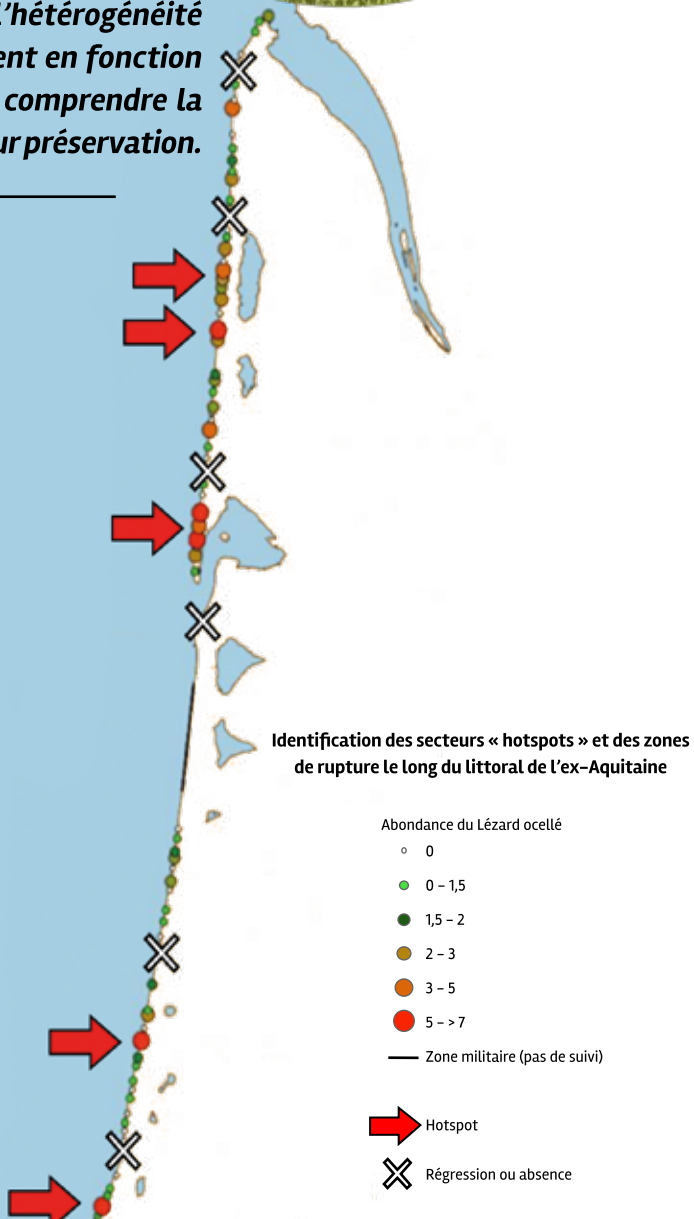
Maud Berroneau & Floren Hugon
Cistude Nature / Laboratoire de Mathématiques et leurs Applications, UPPA

Sur la côte atlantique, le Lézard ocellé est menacé par la modification du trait de côte entrainant la réduction de son habitat dunaire. Son maintien est favorisé, entre autres, par l'hétérogénéité du milieu qui lui permet d'adapter son comportement en fonction des conditions climatiques. Des études pour mieux comprendre la dynamique de ces populations pourront permettre leur préservation.

Le Lézard ocellé, *Timon lepidus*, est une espèce ectotherme à mobilité réduite, soumise aux variations et aux modifications de son habitat.

Depuis 2017, les populations de Lézard ocellé des dunes littorales sont étudiées sur l'ensemble du littoral girondin et landais, de l'embouchure de l'Adour à la pointe du Verdon-sur-Mer. Ce milieu est particulièrement fragile puisqu'il est soumis à des événements climatiques forts tels que les vagues submersives, l'avancée soudaine ou le recul brutal du trait de côte.

Des suivis naturalistes sur 79 placettes le long du littoral (de 2017 à 2021) ont mis en évidence la fragmentation de la répartition du Lézard ocellé, entre des secteurs dits « hotspots », où l'indice d'observation est important, stable voire croissant, et des secteurs de coupure entre ces « hotspots » (carte ci-contre). Il s'agit de secteurs fortement anthropisés ou de secteurs ayant subi des modifications brutales et importantes, suite à des événements climatiques hivernaux (tempêtes, vagues submersives, avancée de la dune blanche jusqu'à la forêt, etc.).



Identification des secteurs « hotspots » et des zones de rupture le long du littoral de l'ex-Aquitaine

Des observations intéressantes de l'espèce ont été réalisées un peu plus à l'intérieur des terres au niveau des grands lacs médocains. Combinées à l'analyse des habitats, ces observations suggèrent que les populations de Lézard ocellé seraient capables de subsister si elles réussissent à coloniser des habitats plus stables.

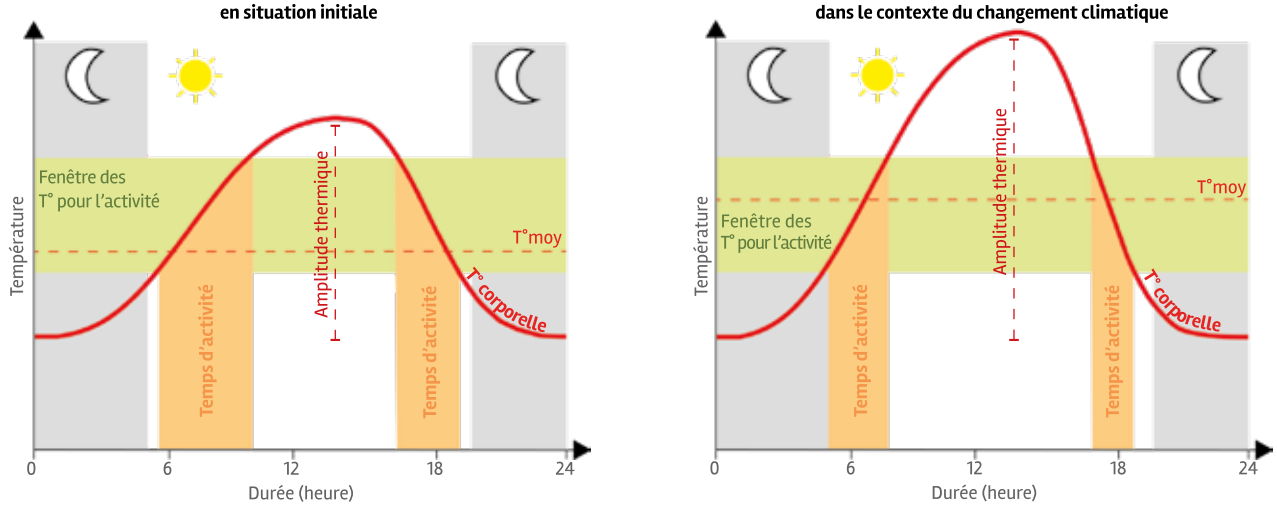
Cela serait possible grâce à une gestion qui favoriserait la dispersion par et vers des milieux ouverts, tels que les pistes de défense des forêts contre les incendies, les coupes franches forestières arrières-dunaires, les patchs forestiers, etc.

La gestion mise en place doit aussi permettre de conserver une mosaïque d'habitats qui offre un gradient thermique dans le paysage. En effet, comme tout reptile ectotherme, le Lézard ocellé occupe une niche thermique spécifique. Ainsi, pour assurer ses besoins vitaux, l'espèce doit avoir accès à des abris variés et à des ressources diversifiées dans son milieu d'accueil.

Pour comprendre l'effet des conditions environnementales sur l'écophysiologie des espèces, des modèles biomimétiques ont été déployés sur certains sites. Ils enregistrent un « proxy » de la température corporelle des individus à une fréquence de 15 minutes pendant la période critique de la reproduction. À partir des préférences thermiques pour l'activité (déplacement, chasse, reproduction, etc.), les temps journaliers d'activité au cours de la période de reproduction sont calculés. Le déploiement de stations météorologiques sur ces mêmes sites permet l'enregistrement de la température et de l'humidité relative de l'air. Ainsi, le temps journalier d'activité est modélisé en fonction de la température moyenne, de l'amplitude thermique, de l'humidité relative et des interactions entre ces variables.

Les résultats montrent que le temps d'activité est le plus fortement réduit au cours des journées chaudes présentant une grande amplitude thermique (graphes ci-dessous). Dans le contexte du changement climatique, les conditions décrites seront de plus en plus fréquentes. Elles conduiront à une hausse de la probabilité d'extinction liée à la baisse du temps d'activité.

Représentation théorique du temps d'activité du Lézard ocellé



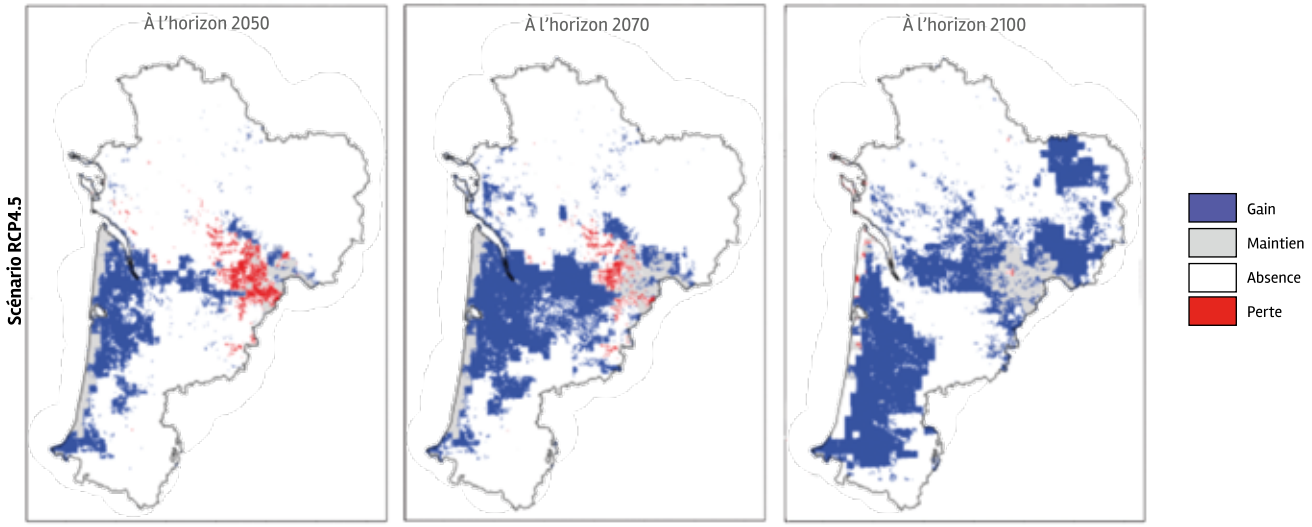
L'indice de persistance nouvellement développé permet de calculer la probabilité d'extinction à partir du temps total d'activité sur la période de reproduction. La variabilité des indices de persistance observée au sein d'un même site montre que le paysage thermique (variabilité des microclimats au sein d'un même espace) offre la possibilité aux individus de tamponner les effets du changement climatique. Enfin, pour cette espèce qui présente un temps de génération de 3 ans, la variabilité interannuelle indique que le succès reproducteur d'une année défavorable pourrait être compensé par une année favorable.

La modélisation de l'évolution des aires favorables au Lézard ocellé permet d'identifier les variables environnementales qui expliquent le mieux sa répartition. La variable climatique la plus explicative est le rayonnement solaire. Viennent ensuite deux variables d'occupation du sol (pourcentage de dune et pourcentage de pelouse) qui traduisent l'importance des habitats ouverts pour l'espèce. Des variables relatives à l'aridité et à la variation des températures sont également très explicatives : des milieux chauds et plutôt secs semblent plus favorables au Lézard ocellé. D'après les projections, les zones favorables pour le Lézard ocellé s'étendraient (cartes ci-dessous).

Bien que le type de milieu soit identifié comme important par les modèles, ces derniers indiquent une dispersion de l'espèce vers des habitats fermés, comme le massif forestier landais. Il convient donc de rester très prudent quant à ces premières cartes puisqu'elles questionnent sur les capacités de colonisation de l'espèce vers des habitats qui ne semblent pas favorables.

Une modélisation à résolution spatiale plus réduite, de l'ordre de l'hectare, pourrait permettre de mieux prendre en compte l'effet de l'habitat sur la présence de l'espèce et d'obtenir des cartes plus fiables. Pour autant, en s'appuyant sur les résultats précédemment décrits, elles permettent d'envisager une stratégie de gestion d'ouverture des milieux pour favoriser la colonisation.

Évolution des aires climatiques favorables au Lézard ocellé par rapport au présent



Les résultats des méthodes précédentes, permettent de tirer plusieurs conclusions.

Nous aurions pu nous attendre à ce que le Lézard ocellé soit peu ou tardivement impacté par le changement climatique, car il est d'affinité climatique méditerranéenne. Pourtant, les suivis à moyen terme montrent que les pressions thermiques affecteraient drastiquement les populations *via* la disparition des microhabitats ainsi que des niches écologiques et thermiques. Le maintien d'une mosaïque d'habitats offrant un gradient thermique de microhabitats parait indispensable.

Outre l'évolution des températures en elles- mêmes, il est probable que le premier facteur d'extinction locale de l'espèce en dune grise soit la perte d'habitat, liée à l'érosion et au recul du trait de côte, amplifiés par le changement climatique. Il paraît primordial d'être vigilant sur la conservation des secteurs « hotspots » puisque ces populations pourraient constituer des sources de dispersion vers les secteurs en pénurie et à l'intérieur des terres. Une disparition de ces secteurs particulièrement riches pourrait grandement réduire les possibilités de conservation de l'espèce en milieu dunaire.

Ainsi, si les effets directs du changement climatique ne peuvent pas être complètement stoppés, il est possible de les tamponner par la mise en place d'actions de gestion de la dune grise et de la dune arborée. La préservation d'une mosaïque d'habitats et d'un gradient thermique est la clé pour limiter les effets du changement climatique. La création de clairières ou de coupes franches en milieu forestier le long du littoral ou vers les terres permettrait la continuité écologique et la persistance du Lézard ocellé sur nos côtes.

© Matthieu Berroneau

Lézard vivipare

Rôle des milieux humides pour atténuer les effets du changement climatique dans le cas du Lézard vivipare

Maud Berroneau, Michaël Guillon & Olivier Lourdais
Cistude Nature / CNRS-Centre d'Étude Biologique de Chizé

Le lézard vivipare, qu'il soit ovipare (dans le Massif landais et les Pyrénées), ou vivipare (dans le Limousin), recherche des conditions plus fraiches et plus humides que le Lézard des murailles. La qualité des microhabitats présents dans son milieu de vie est aussi essentielle pour lui permettre d'ajuster ses comportements et ainsi résister à la chaleur et à la sécheresse. Il est primordial de travailler à la conservation des lagunes du Massif landais, véritables capsules climatiques pour cette espèce, mais aussi pour tout un cortège patrimonial dans le Sud-Ouest.

Le Lézard vivipare, *Zootoca vivipara*, espèce à affinité climatique froide, est particulièrement vulnérable face au réchauffement climatique.

Parfois abondante en altitude, l'espèce est beaucoup plus rare en plaine où elle est principalement observée au sein de milieux humides.

En Nouvelle-Aquitaine, l'espèce présente la particularité d'avoir deux sous-espèces avec des modes de reproduction différents.

La sous-espèce « *louislantzi* » est ovipare (elle pond des œufs) et ne se retrouve en France que dans le Sud-Ouest (Massif landais et Pyrénées). Ses habitats préférentiels sont sujets aux perturbations climatiques comme l'assèchement brutal et la modification de la flore représentative des zones humides du Massif landais.

La sous-espèce « *vivipara* » est vivipare (elle met bas des petits). Elle a une répartition septentrionale étendue, dont la limite sud en France atteint le Massif central.

Nos travaux sont menés sur les deux sous-espèces, nous permettant de vérifier la sensibilité des populations de plaine du Massif landais au changement climatique et aux perturbations du milieu, l'importance des microclimats pour la persistance de l'espèce, ainsi que l'effet du mode de reproduction sur les capacités de persistance.

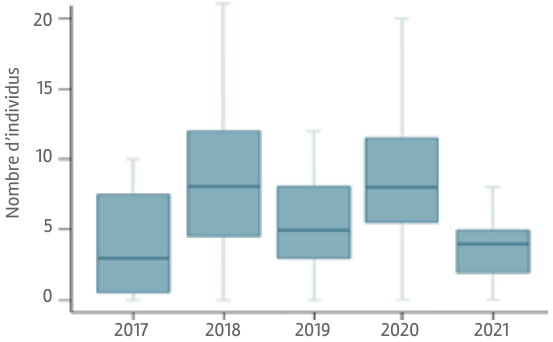
Des suivis naturalistes sur des sites d'étude permettent de visualiser les tendances évolutives de la répartition et de l'abondance du Lézard vivipare dans le Massif landais et en Limousin, en lien avec d'éventuelles variations climatiques, mais aussi d'observer la progression du Lézard des murailles, *Podarcis muralis*, espèce plus thermophile et anthropophile.

En parallèle, nos travaux de recherche ont pour objectifs de comprendre les déterminants de la répartition de cette espèce à partir des données de présence (observations) issues des différents observatoires infrarégionaux, ainsi que les effets du mode de reproduction sur la niche de l'espèce.

Notre hypothèse principale est qu'un faible contraste des niches thermiques/hydriques et physiologiques permet d'expliquer la répartition différenciée de ces deux sous-espèces en Nouvelle-Aquitaine dans des contextes proches. Il est ainsi important d'identifier les paramètres physiologiques et comportementaux proximaux qui sous-tendent les adaptations climatiques propres à l'espèce et aux sous-espèces tout en explorant les déterminants climatiques de la répartition et l'importance des gradients environnementaux.

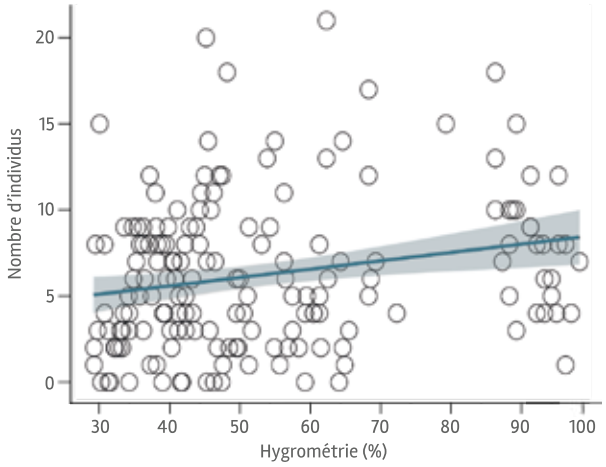
Les premières analyses diachroniques*, menées sur les 5 premières années de suivi, permettent de pointer des variations interannuelles importantes du nombre de lézards vivipares observés. Ces variations sont étroitement liées aux conditions météorologiques et aux précipitations. Le nombre d'individus en activité était très faible durant les années sèches et chaudes, comme 2017 et 2019 (graphe ci-contre).

Comptages annuels de l'activité des lézards vivipares



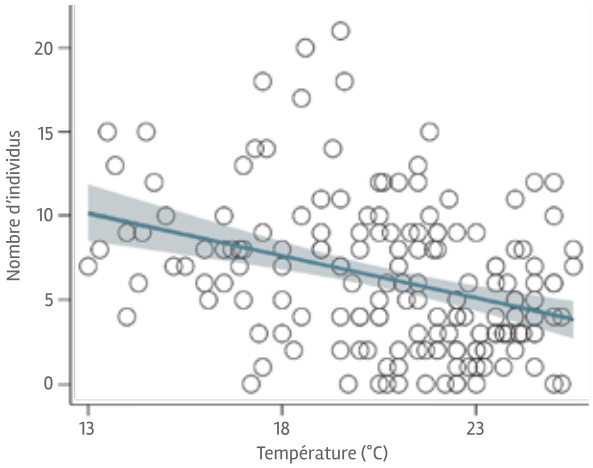
Cette dépendance à l'humidité pour l'activité de surface se confirme au travers des relevés météorologiques *in situ*, avec une corrélation positive entre le nombre d'individus observés et les conditions d'hygrométrie (graphe ci-dessous).

Influence de l'hygrométrie sur les observations chez le Lézard vivipare



En revanche, la corrélation entre le nombre de lézards vivipares observés et la température est négative (graphe ci-dessous).

Influence de la température sur les observations chez le Lézard vivipare



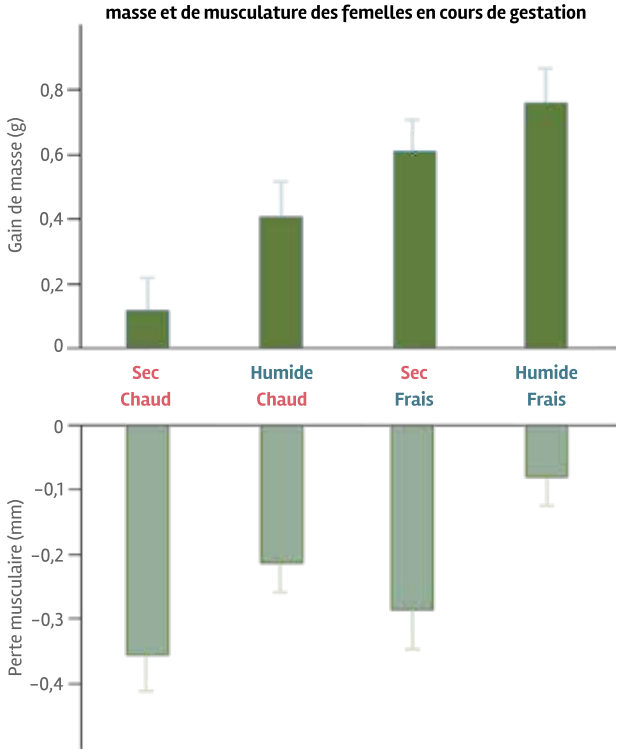
*Diachronique : Qui concerne l'appréhension d'un fait ou d'un ensemble de faits dans son évolution à travers le temps.

En parallèle, les études en laboratoire ont permis de montrer que le Lézard vivipare, qu'il soit ovipare ou vivipare, présente des pertes hydriques cutanées plus importantes que le Lézard des murailles et révèlent ainsi une sensibilité forte de l'espèce face à l'évaporation.

Par ailleurs, les données expérimentales en enceintes climatiques démontrent que les contraintes hydriques augmentent le stress oxydatif des femelles pendant la gestation (mode vivipare), ainsi que des gains de masse corporelle moindres et des pertes musculaires (graphe ci-contre).

Ces études mettent en évidence l'importance de la disponibilité de microhabitats humides pour le maintien de la balance hydrique, du succès de reproduction et *in fine* de la résilience des populations.

Influence des conditions expérimentales sur les variations de masse et de musculature des femelles en cours de gestation



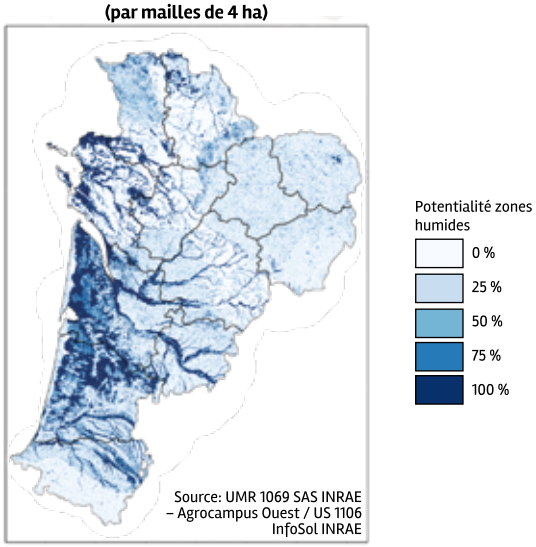
La modélisation de la répartition actuelle du Lézard vivipare montre que la forme ovipare utilise des conditions plus chaudes et moins arrosées que la forme vivipare. La présence de zones humides est également un des facteurs retenus pour expliquer une partie de la répartition de la forme ovipare.

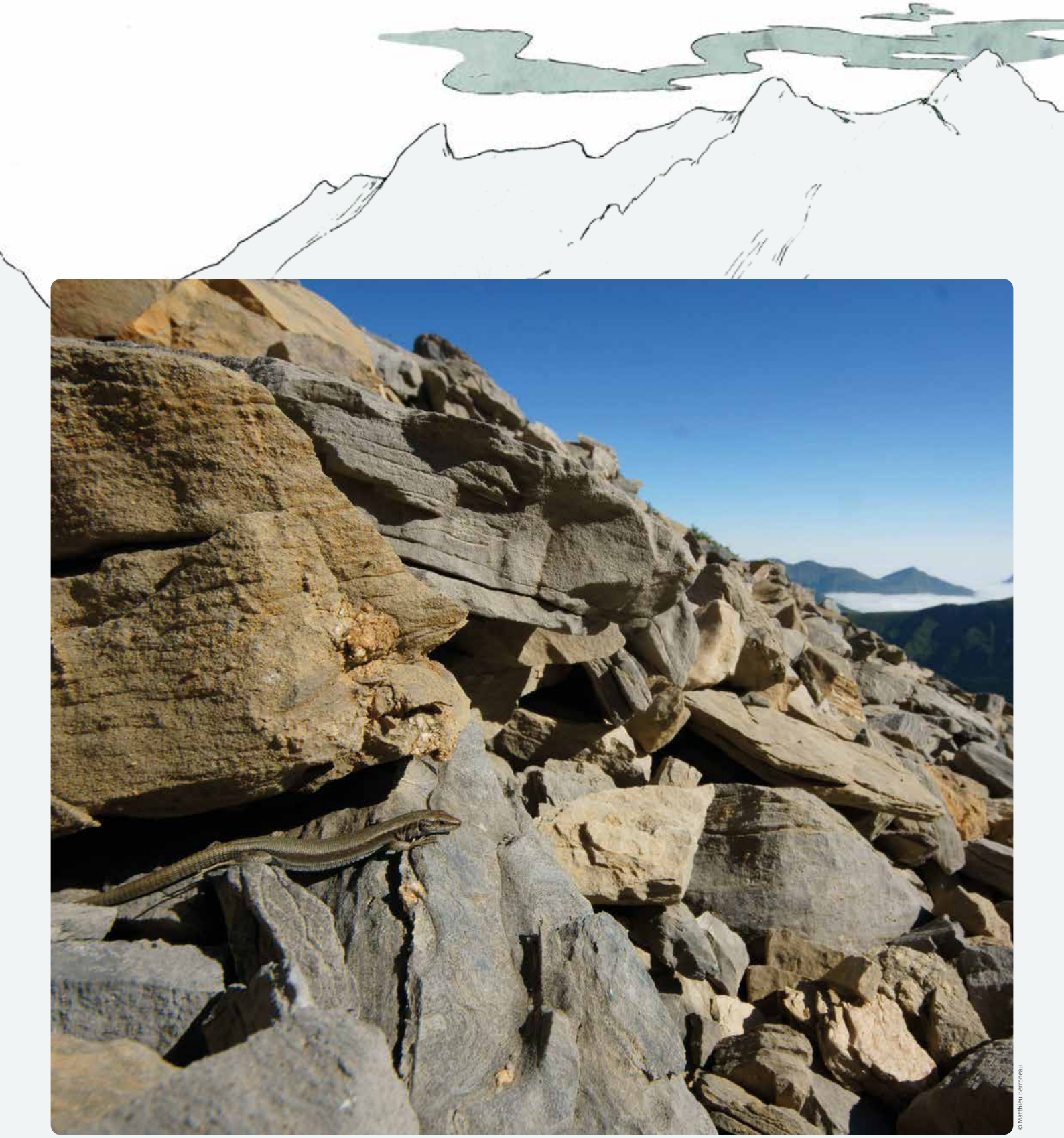
Les modélisations pour les différents scénarios de changement climatique suggèrent une régression totale dès 2050 des conditions climatiques permettant le maintien de la forme ovipare en plaine, et une contraction majeure des zones favorables dans les zones d'altitude des Pyrénées.

Pour la forme vivipare, les projections futures suggèrent une contraction rapide dès 2050 des secteurs propices à son maintien autour de l'arc tourbeux du plateau de Millevaches, jusqu'à disparition potentielle de l'espèce du Limousin en 2100.

Les microclimats sont essentiels pour permettre l'ajustement des comportements de thermorégulation et d'hydrorégulation. Le maintien d'une diversité de microhabitats à une petite échelle spatiale est une action prioritaire. Les habitats humides, notamment en plaine, jouent déjà le rôle de « capsule climatique » dans les zones fortement exposées aux aléas climatiques. Mais ces habitats sont mis à mal par les pressions anthropiques locales. Gérer et restaurer ces zones humides permettrait de renforcer et pérenniser cet effet protecteur en plus d'être un véritable levier pour atténuer les effets du changement climatique, à l'échelle régionale (carte ci-contre).

Potentialités régionales en zones humides (par mailles de 4 ha)





© Matthieu Berroneau

Lézard de Bonnal

Les lézards gris de montagne : la course au sommet

Matthieu Berroneau & Floren Hugon
Cistude Nature / Laboratoire de Mathématiques et leurs Applications, UPPA

Les suivis naturalistes des lézards gris de montagne mettent d'ores et déjà en évidence des mouvements de populations. Si la limite basse de présence du Lézard de Bonnal n'a pas évolué, la présence du Lézard des murailles sur les mêmes secteurs a progressé de 120 m en 10 ans. La modélisation souligne le rôle des microhabitats dans la régulation des rythmes d'activité du Lézard de Bonnal et du Lézard catalan face au changement climatique. La compréhension de son impact sur ces espèces doit être poursuivie.

Endémique des Pyrénées, le Lézard de Bonnal *Iberolacerta bonnali*, est une espèce strictement inféodée à la haute montagne.

Le Lézard catalan, *Podarcis liolepis,* est une espèce ibérique qui pénètre dans le sud-ouest de la France *via* les affleurements rocheux thermophiles de basse et moyenne montagne.

Toutes deux, supposées sensibles au changement climatique, ont été étudiées grâce à des suivis répliqués dans le temps et dans l'espace. Il s'agit d'étudier les variations d'abondance et de répartition altitudinale des espèces présentes sur les sites – Lézard de Bonnal, Lézard catalan, mais aussi Lézard des murailles, *Podarcis muralis*.

Lézard des murailles

Lézard catalan

Lézard de Bonnal

© Matthieu Berroneau

Ces premières années de suivi ont montré des mouvements de populations remarquables sur certains sites.

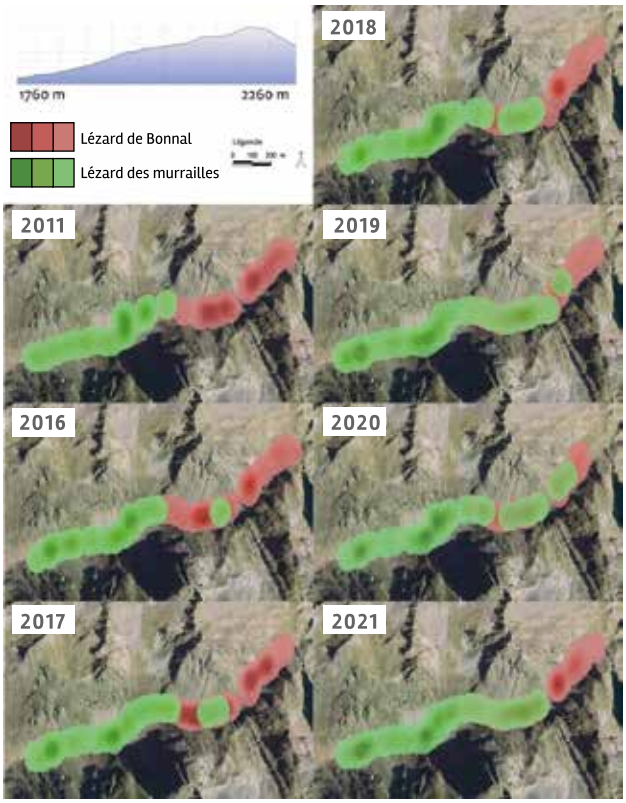
Contrairement à l'attendu, les populations de **Lézard de Bonnal** semblent relativement fixes durant la période étudiée.

À l'inverse, sur le site d'Arrious, le **Lézard des murailles** a largement colonisé des sites d'altitude où il n'était pas signalé par le passé. Il a progressé d'environ 120 mètres d'altitude en 10 ans, avec une moyenne d'environ 20 mètres par an depuis 2016. La population de Lézard des murailles englobe désormais dans sa grande majorité la population de Lézard de Bonnal (cartes ci-contre).

Les mouvements de populations de lézards dans les zones de présence du Lézard catalan sont différents.

Sur le site thermophile du chemin de la Mâture, occupé par le Lézard catalan, le Lézard des murailles semble déserter les zones les plus chaudes.

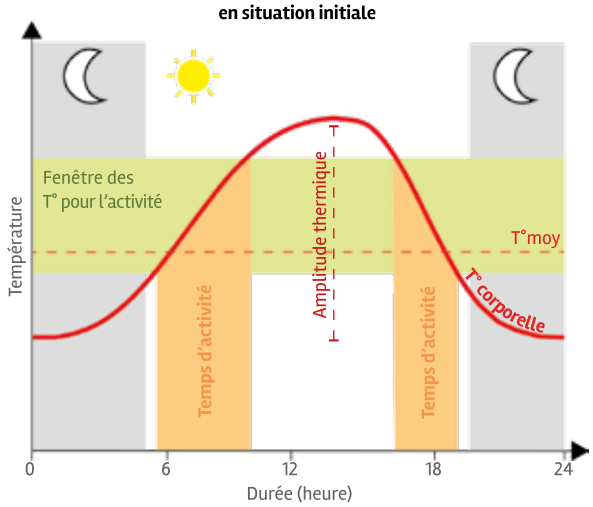
Cartes de chaleur de la répartition altitudinale du Lézard de Bonnal et du Lézard des murailles au cours des années sur le site d'Arrious



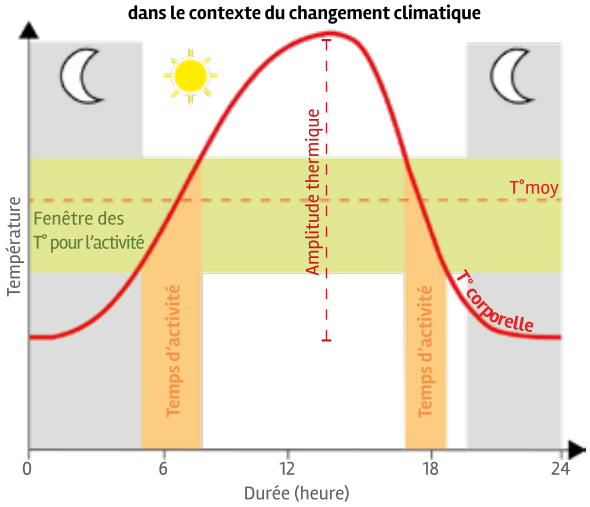
Pour comprendre l'effet des conditions environnementales sur l'écophysiologie des espèces, des modèles biomimétiques ont été déployés sur certains sites. Ils enregistrent un « proxy » de la température corporelle des individus à une fréquence de 10 ou 15 minutes pendant la période critique de la reproduction. À partir des préférences thermiques pour l'activité (déplacement, chasse, reproduction, etc.), les temps journaliers d'activité au cours de la période de reproduction sont calculés. Le déploiement de stations météorologiques sur ces mêmes sites permet l'enregistrement de la température et de l'humidité relative de l'air. Ainsi, le temps journalier d'activité est modélisé en fonction de la température moyenne, de l'amplitude thermique, de l'humidité relative et des interactions de ces variables.

Pour les deux espèces, le temps d'activité est le plus fortement réduit au cours des journées chaudes présentant une grande amplitude thermique (graphes ci-dessous). Sur les sites plus montagnards, le temps

Représentation théorique du temps d'activité du Lézard ocellé en situation initiale



dans le contexte du changement climatique



d'activité est également réduit lors des journées chaudes et sèches. Dans le contexte du changement climatique, les conditions décrites seront de plus en plus fréquentes. Cela alerte sur la pérennité de ces espèces sur le long terme, en particulier le Lézard de Bonnal, plus sensible aux conditions d'humidité du milieu que le Lézard catalan.

L'indice de persistance nouvellement développé permet de calculer la probabilité d'extinction locale à partir du temps total d'activité sur la période de reproduction. La variabilité des indices de persistance observée au sein d'un site montre que le paysage thermique offre la possibilité aux individus de tamponner les effets du changement climatique en modulant leur temps d'activité. La variabilité de cet indice entre les sites suggère des réponses différentes des populations. Ainsi, conserver la mosaïque paysagère constitue un axe de gestion fort des habitats. Enfin, pour ces espèces présentant des temps de génération de 3 ou 5 ans, la variabilité interannuelle indique que le succès reproducteur d'une année défavorable peut être compensé par une année favorable.

Ces résultats rejoignent ceux obtenus à l'issue de la modélisation corrélative de la répartition.

Les variables les plus explicatives de la répartition du Lézard de Bonnal font écho aux conditions hydriques (cumul de neige, humidité relative), à l'équilibre thermo-hydrique du milieu (indice d'aridité) et à la variabilité des températures (95èmes quantiles des températures minimales).

Pour le Lézard catalan, la répartition est expliquée par un indice d'aridité plus faible que pour le Lézard de Bonnal (soit un milieu plus sec et plus chaud), mais aussi par les variations de température, le nombre de jours de pluie et le pourcentage d'occupation du sol par de la pelouse.

Nous soulignons que les variables d'habitat n'ont peu ou pas d'importance, alors que biologiquement ces lézards sont inféodés à des habitats très spécifiques (pierriers, affleurements rocheux).

Il conviendrait de réaliser ces modélisations à une résolution spatiale plus faible, de l'ordre de l'hectare, pour mieux prendre en compte l'effet de l'habitat sur la présence de ces espèces.

Le futur des lézards gris de montagne est encore difficile à appréhender.

D'affinité méditerranéenne, le Lézard catalan ne semble pas immédiatement menacé. Le changement climatique devrait même, dans un premier temps, lui être profitable. De plus, son habitat très spécifique (affleurements rocheux de basse et moyenne montagne) est peu impacté par l'activité anthropique.

Le Lézard de Bonnal occupe également des habitats plutôt bien préservés (pelouses et éboulis de haute altitude), pour beaucoup inclus au sein du Parc National des Pyrénées. Cependant, le changement climatique semble lui imposer de nouvelles contraintes thermo-hydriques mais aussi biotiques, dont les impacts sur le long terme restent encore flous. La remontée du Lézard des murailles pourrait s'accompagner de la remontée des prédateurs de cette espèce et de transferts de pathologies.

Poursuivre les suivis de ces lézards gris permettra d'aborder différentes perspectives. Parmi celles-ci, la modélisation de l'abondance des espèces sur les sites suivis en transect permettrait de quantifier les effectifs et d'étudier leurs variations. Enrichir les séries d'indices de persistance permettra d'appréhender la dynamique des populations sur une ou plusieurs générations. Il serait aussi intéressant de calculer les temps d'activité du Lézard des murailles pour les comparer avec ceux du Lézard de Bonnal et du Lézard catalan.

De manière générale, une meilleure connaissance du fonctionnement de ces populations montagnardes conférera des supports pour une gestion plus adaptée.

© Matthieu Berroneau

Vipère péliade

Rôle des milieux humides pour atténuer les effets du changement climatique : Vipère péliade et Vipère aspic

Olivier Lourdais & Michaël Guillon
CNRS–Centre d'Étude Biologique de Chizé

Les différences écophysiologiques entre la Vipère péliade et la Vipère aspic permettent de comprendre leurs répartitions différenciées et leurs besoins réciproques. La Vipère péliade est plus adaptée à des environnements plus frais et plus humides. Pour autant, les vipères sont capables d'adapter leurs comportements et de rechercher des microhabitats atténuant les effets d'un environnement trop sec. Malgré cela, le changement climatique en cours pourrait à terme remodeler totalement la localisation des secteurs climatiquement favorables à ces deux espèces.

La Vipère péliade, *Vipera berus*, est une espèce à affinité climatique froide particulièrement vulnérable face au réchauffement climatique. En Nouvelle-Aquitaine, l'espèce est exclusivement présente en altitude dans le Limousin, principalement observée au sein de milieux humides. Ses habitats préférentiels sont sujets aux perturbations climatiques comme l'assèchement des tourbières et la modification de la flore associée.

La Vipère aspic, *Vipera aspis*, espèce de climat tempéré, est présente en plaine mais aussi dans les Pyrénées jusqu'à des altitudes importantes.

Nos travaux de recherche sont menés sur ces deux espèces pour clarifier la nature des adaptations physiologiques et leurs implications face au changement climatique et aux perturbations du milieu, ainsi que l'importance des microclimats pour la persistance de l'espèce.

Les résultats présentés ici s'appuient sur des études menées avant et pendant le programme *les sentinelles du climat*. Elles associent modélisation mécanistique et modélisation corrélative.

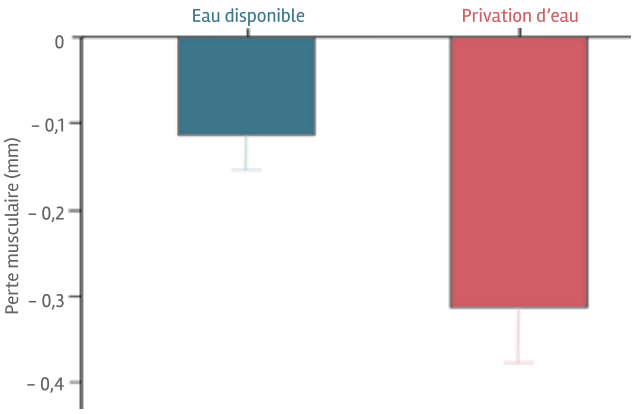
Un protocole de suivi a été établi en 2017 mais la difficulté de détection de ces espèces n'a pas permis de réunir suffisamment de données pour analyser des tendances dans l'évolution des populations ou des variations interannuelles en lien avec les conditions météorologiques.

Nos travaux précédents au laboratoire ont mis en évidence des différences physiologiques marquées entre les 2 espèces. Ainsi la dépense d'énergie au repos, mesurée avec le métabolisme respiratoire, est plus élevée chez la Vipère péliade que chez la Vipère aspic. Nous avons également pu montrer que la Vipère péliade présente des pertes hydriques cutanées et totales plus importantes.

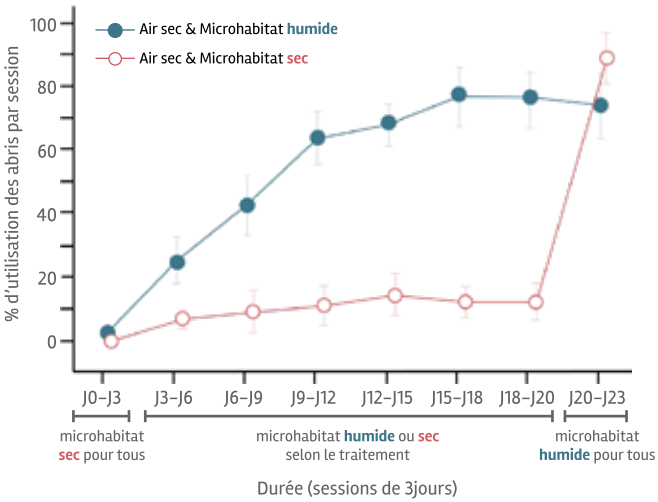
Les données expérimentales en enceintes climatiques démontrent que les contraintes hydriques entraînent la déshydratation rapide de la Vipère péliade, avec une augmentation de la mortalité embryonnaire. On observe également une perte de masse musculaire (graphe ci-contre, en haut) liée à un mécanisme physiologique de compensation qui atténue la déshydratation.

Nous avons aussi démontré que la Vipère aspic est capable comportementalement de sélectionner les microclimats humides permettant de compenser ses pertes hydriques dans des conditions globales sèches (graphe ci-contre).

Influence de la privation d'eau sur les pertes musculaires chez la Vipère péliade



Utilisation des abris au cours du temps dans différentes conditions expérimentales



La modélisation de la répartition actuelle des deux vipères montre qu'elles présentent des niches climatiques très peu chevauchantes. La présence de la Vipère aspic est liée à des conditions ensoleillées et tempérées, alors que la Vipère péliade exploite les zones à la fois les plus froides et les plus nébuleuses de la région.

La modélisation réalisée selon les différents scénarios de changement climatique suggère une contraction rapide des conditions climatiques favorables à la Vipère péliade, centrée sur les plateaux de Millevaches et de la Courtine, avec une disparition de l'espèce à l'échelle régionale à terme (cartes ci-contre, en haut).

Pour la Vipère aspic, les projections futures suggèrent un glissement des zones favorables à l'espèce (cartes ci-contre, en bas). Dès 2050, l'ensemble des zones les plus fraiches de la région deviennent favorables à l'espèce au détriment de zones géographiques de plus en plus nombreuses à présenter des conditions estivales méditerranéennes, en commençant par le couloir de la Garonne jusqu'au littoral charentais.

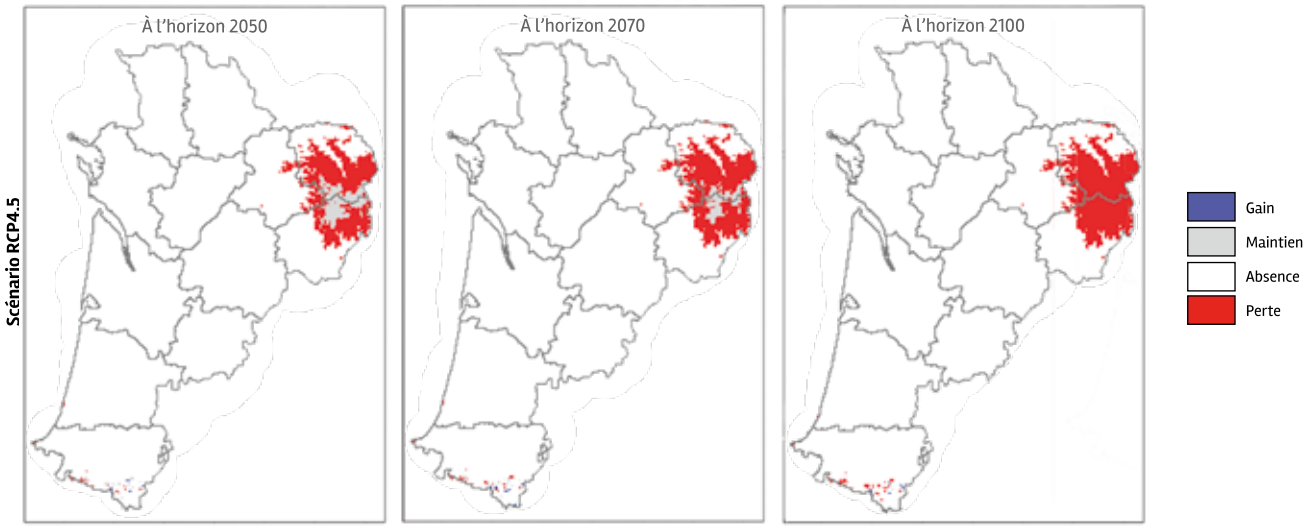
Nos résultats suggèrent que le plateau de Millevaches, actuellement occupé par la Vipère péliade, sera favorable à la Vipère aspic au plus tard en 2050.

Les microclimats sont essentiels pour les ajustements de comportements de thermorégulation et d'hydrorégulation. Le maintien d'une diversité de microhabitats à une petite échelle spatiale est une action prioritaire pour ces espèces peu mobiles. Les habitats et microhabitats humides jouent un rôle de « capsule climatique », notamment dans les zones fortement exposées aux aléas climatiques. Mais ces habitats sont mis à mal par les pressions anthropiques locales. Gérer et restaurer la qualité microclimatique des milieux permettrait de renforcer et pérenniser cet effet protecteur en plus d'être un véritable levier pour atténuer les effets du changement climatique, à l'échelle régionale.

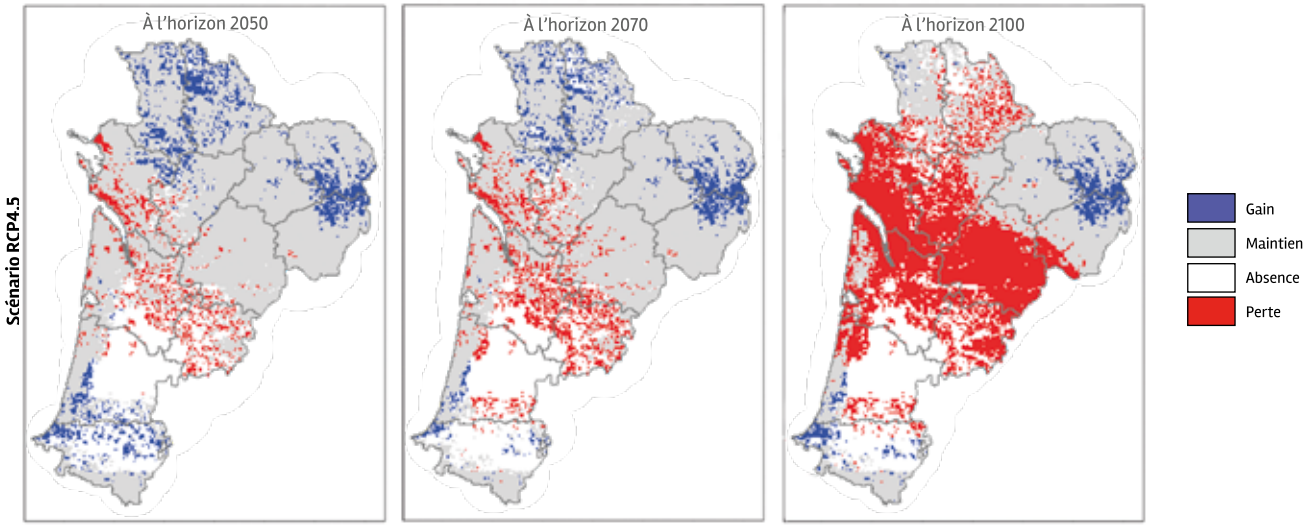
© Matthieu Berroneau

Vipère aspic

Évolution des aires climatiques favorables à la Vipère péliade par rapport au présent



Évolution des aires climatiques favorables à la Vipère aspic par rapport au présent



© Justine Pujol

Marmotte des Alpes

La Marmotte des Alpes : un habitat en réduction et une dynamique familiale complexe

Anouk Glad & Émilie Loutfi
Cistude Nature

Une étude de 20 ans dans les Alpes a mis en évidence l'effet négatif du changement climatique sur la Marmotte des Alpes. Qu'en est-il dans les Pyrénées ? Le nombre de marmottons semble diminuer à basse altitude depuis 6 ans. Les variations interannuelles du succès de la reproduction pourraient être en partie liées aux conditions météorologiques. Dans le futur, les secteurs climatiquement favorables à la Marmotte des Alpes pourraient se réduire dans les Pyrénées.

La Marmotte des Alpes, *Marmota marmota*, est un mammifère vivant au-dessus de la ligne forestière entre 1400 m et 2400 m au sein de milieux ouverts composés de prairies et de zones rocheuses dans des conditions climatiques rigoureuses. Elle vit en groupe familial dont les membres coopèrent pour la reproduction et l'hibernation. Disparue des Pyrénées à la fin de la dernière période glaciaire il y a environ 15000 ans, elle a y été réintroduite entre 1948 et 1998. Comme de nombreuses espèces vivant en milieu montagnard, ce mammifère pourrait être impacté par le changement climatique.

De nombreux facteurs influencent la dynamique des populations de marmottes, en particulier la qualité et l'abondance de nourriture, les aspects sociaux et la qualité de l'hibernation.

Une étude dans les Alpes sur plus de 20 ans a montré que la qualité de l'hibernation dépend à la fois de facteurs climatiques et sociaux. Les températures hivernales et l'épaisseur du manteau neigeux influencent la dépense d'énergie nécessaire aux individus en hibernation pour rester à une température corporelle au-dessus de 5°C, la couche de neige servant d'isolant au terrier. La présence d'individus subordonnés mâles pendant l'hibernation permet d'optimiser la thermorégulation et d'augmenter la survie des jeunes de l'année.

Or, une dépense d'énergie plus importante pendant l'hibernation entraine une consommation plus importante des réserves de graisse, avec pour conséquence des portées moins nombreuses.

Au printemps et en été, l'abondance et la qualité de la nourriture influencent la survie des jeunes de l'année et la capacité des marmottes à faire des réserves pour l'hibernation suivante. La qualité et l'abondance de nourriture vont être déterminées principalement par la date de fonte du manteau neigeux, la température et la pluie pendant toute la période printemps et été.

Pour comprendre plus précisément les impacts du réchauffement sur l'espèce, 15 terriers ont été suivis pendant 6 ans. Chaque année, de juillet à août, le nombre de marmottons et de marmottes adultes y a été compté. Ces données nous permettent de suivre l'évolution des familles et leur succès reproducteur, puis de mettre en lien ces informations avec des données de température et d'humidité relevées sur place.

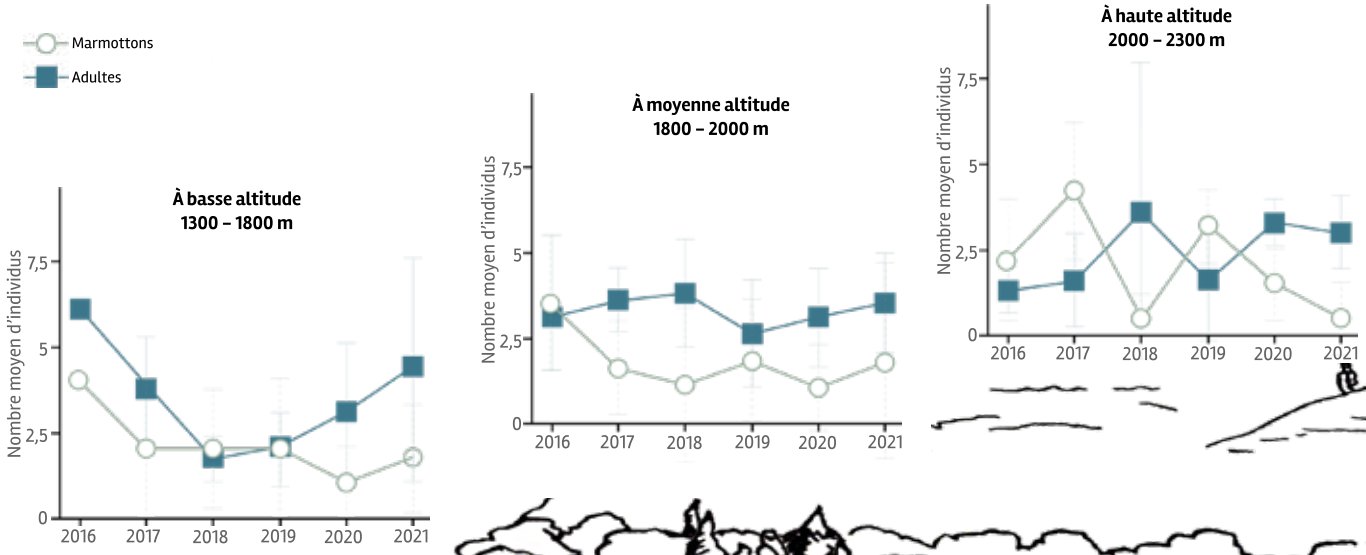
Globalement, des variations interannuelles importantes sur la reproduction des marmottes ont été constatées. En 2018, 2020 et 2021, peu de marmottons ont été observés par rapport aux autres années. Le nombre d'adultes varie aussi suivant les années, dans une moindre mesure.

Par tranche d'altitude, on observe des différences entre les basses, moyennes et hautes altitudes (graphes ci-dessous).

Le nombre de marmottons est en baisse continue depuis 2016 à basse altitude (< 1800 m). Des variations interannuelles sont observées à moyenne altitude avec une légère baisse du nombre de marmottons. À haute altitude (> 2000 m), les variations interannuelles sont très marquées avec une forte tendance à la baisse ces trois dernières années.

Concernant les adultes comptés, la tendance est moins marquée, mais de fortes variations sont observées à haute altitude.

Nombre moyen de marmottons et de marmottes par tranche d'altitude



Les analyses faites avec les données des stations météorologiques ont montré un effet de la température et de la couverture neigeuse pour les sites à plus haute altitude (mais pas pour les autres sites) pouvant expliquer les variations plus importantes du succès reproducteur.

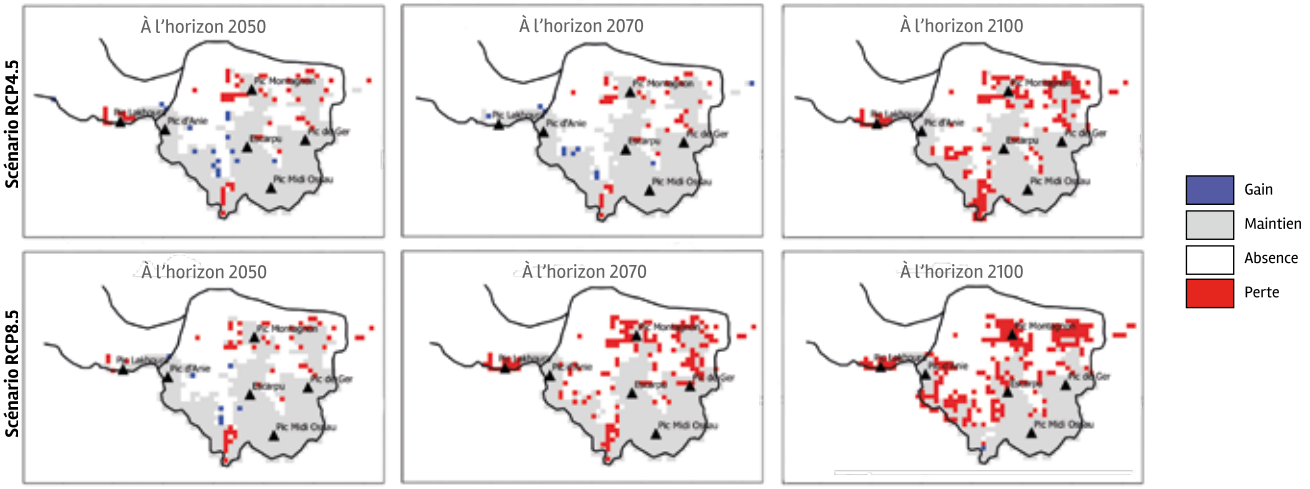
Cependant, de nombreux autres paramètres peuvent influencer le nombre d'individus par famille : la prédation, la compétition avec d'autres espèces, le dérangement anthropique (pâturage, randonnées, chiens), l'âge du couple reproducteur, le changement de dominance et le nombre de « helpers » par famille. Ainsi, il est important de poursuivre les suivis de ces terriers afin d'affiner les résultats.

L'utilisation de modèles de répartition permet, quant à elle, d'envisager la répartition potentielle future des zones climatiquement favorables aux marmottes à partir de différents scénarios climatiques (cartes ci-dessous).

Les effets du changement climatique induiraient une contraction des secteurs favorables de 11 % à 47 % à l'horizon 2100 selon les scénarios.

Cependant, ces modèles ne prennent en compte que des variables climatiques. Or, d'autres variables, telles que l'évolution des habitats, l'interaction avec d'autres espèces (animales et végétales), l'influence des activités humaines et les capacités d'adaptation des marmottes, peuvent jouer un rôle important dans le maintien ou non des populations.

Évolution des aires climatiques favorables à la Marmotte des Alpes par rapport au présent



© Thomas Ruys

Site de suivi d'une famille de marmottes

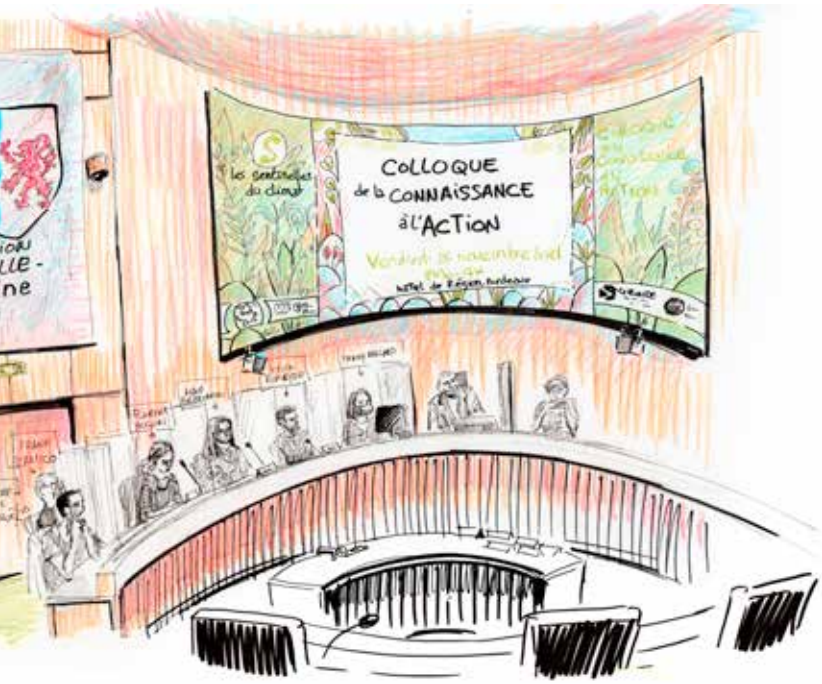
Des espèces aux écosystèmes : vers la préservation du vivant face au changement climatique

Gabrielle Sauret
Cistude Nature

Depuis 6 ans, le suivi et l'étude des espèces sentinelles a permis de mettre en évidence de premiers résultats et de premières tendances exploratoires de l'effet du changement climatique, espèce par espèce. Des analyses au niveau des cortèges, pour la flore, les papillons et les odonates, permettent aussi de dégager des tendances sur leur évolution au niveau régional.

La poursuite des suivis engagés sur les 223 sites de ce programme est nécessaire afin d'obtenir des séries de données permettant une analyse sur des pas de temps longs, compatibles avec la durée communément utilisée dans la communauté scientifique pour l'étude du changement climatique.

Il sera alors possible d'affiner les permières analyses effectuées pour les espèces sentinelles.



Il est par ailleurs possible de dégager des contraintes climatiques et des problématiques communes aux espèces utilisant un même habitat.

Des réflexions en ce sens ont été engagées lors du colloque de clôture du programme *les sentinelles du climat*, le 26 novembre 2021. Elles ont pour but d'alimenter la construction de pistes d'actions visant à favoriser la résistance et la résilience des écosystèmes étudiés face au changement climatique. Elles sont résumées dans les pages suivantes.

Milieux dunaires

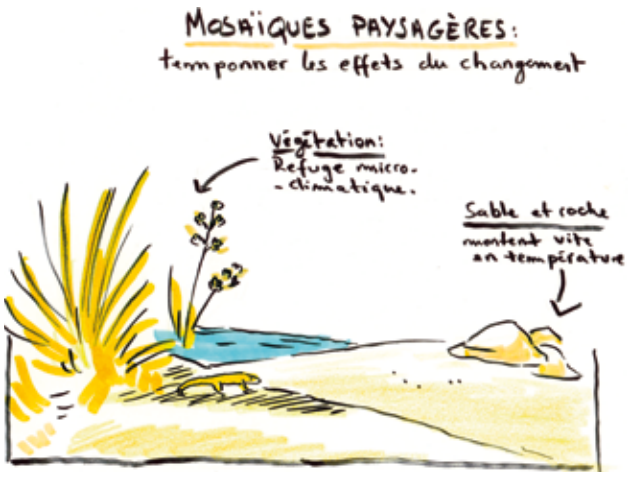
La succession végétale depuis l'océan vers l'intérieur des terres subit les effets du changement climatique, au détriment de la dune grise. Elle abrite le Lézard ocellé ainsi qu'une flore spécifique et patrimoniale.

La reconnexion des patchs de dune grise, séparés par l'ensablement ou la progression de la forêt de protection, favorisera la recréation de la continuité écologique nord-sud, tant pour les espèces animales que végétales. S'il est difficile d'agir sur l'érosion marine ou le transport de sables, il est réalisable d'intervenir sur la frange forestière, milieu anthropique planté au XIXème siècle. La flore de la dune grise et le Lézard ocellé en seraient favorisés.

D'autres actions peuvent être étudiées, comme le suivi des espèces végétales introduites que le changement climatique pourrait favoriser.

Le Lézard ocellé pourrait étendre son aire de répartition vers l'est, à l'intérieur des terres, à condition de trouver des corridors de déplacement et des milieux ouverts.

Il a par ailleurs besoin que son habitat soit hétérogène et offre une variabilité de microclimats lui permettant de réguler au mieux sa température corporelle et de tamponner les effets du changement climatique.



Forêts de Hêtre en plaine

Le Hêtre et son cortège floristique associé sont relictuels en plaine en ex-Aquitaine. Ils occupent les espaces les plus frais comme les versants encaissés, orientés au nord. Une bonne humidité atmosphérique ou dans le sol est indispensable au Hêtre.

Le changement climatique entraine une dégradation des conditions climatiques qui lui sont nécessaires. Pour autant, les effets visibles de cette détérioration pourraient être décalés dans le temps (dette climatique).

Participer à la résistance des forêts de Hêtre passe par le maintien ou la recréation de continuités écologiques forestières. Les forêts régulent le climat local, en jouant le rôle de tampon, tant pour la température que pour l'humidité de l'air ou la force des vents. Un contexte forestier favorise ainsi un contexte microclimatique favorable aux hêtraies.

Ces corridors écologiques permettent aussi de faciliter la dispersion des espèces forestières.

Accroitre la résistance des hêtraies, mais aussi de toutes des forêts, passe aussi par une gestion forestière douce, intégrant la nécessité de diversifier les classes d'âge au sein des boisements et d'éviter à tout pris les coupes rases.

Milieux humides

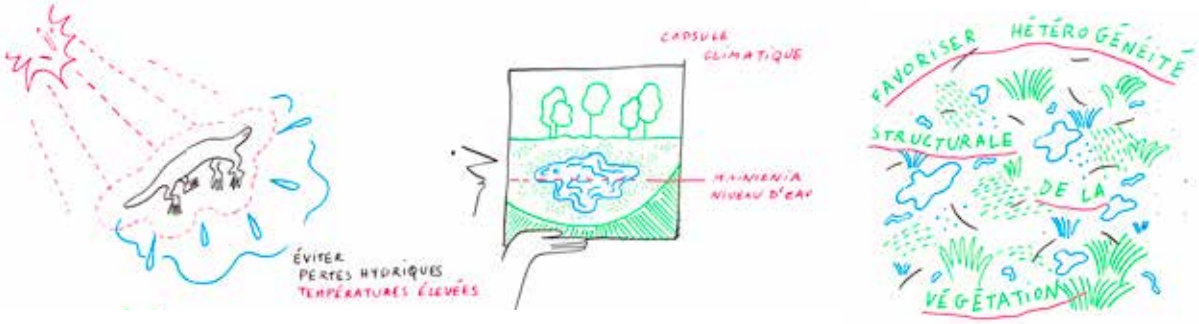
Quel que soit le type de milieux humides, le changement climatique modifie drastiquement ces écosystèmes dépendants de l'eau. La variabilité des précipitations, l'augmentation des périodes de sécheresse et de canicule auraient un effet radical sur la possibilité de maintien des espèces inféodées aux milieux humides. Déjà, des modifications dans les cortèges floristiques s'observent.

Ces phénomènes climatiques se surajoutent à d'autres pressions anthropiques qui impactent ces milieux patrimoniaux, qu'il s'agisse du drainage, de l'intensivité de la production agricole ou sylvicole, du lessivage des intrants agricoles ou de la destruction des milieux naturels (infrastructures routières, énergétiques, etc.).

Or, la région Nouvelle-Aquitaine a la responsabilité de préserver un habitat unique au monde, qui accueille en contexte chaud des espèces boréo-montagnardes : les lagunes de la forêt des Landes de Gascogne et leurs habitats associés.

Permettre à ces milieux de résister et atténuer les effets du changement climatique passent par une analyse de l'impact des usages à leurs alentours (drainage, surexploitation forestière).

Pour ces milieux, comme pour tous les autres milieux humides étudiés, les espèces sentinelles bénéficieraient d'une augmentation des surfaces non exploitées. Ceci permetterait la mise en place d'habitats hétérogènes, offrant à la flore et à la faune une plus grande diversité de microhabitats, essentielle pour que les comportements de thermorégulation et d'hydrorégulation puissent s'exprimer.



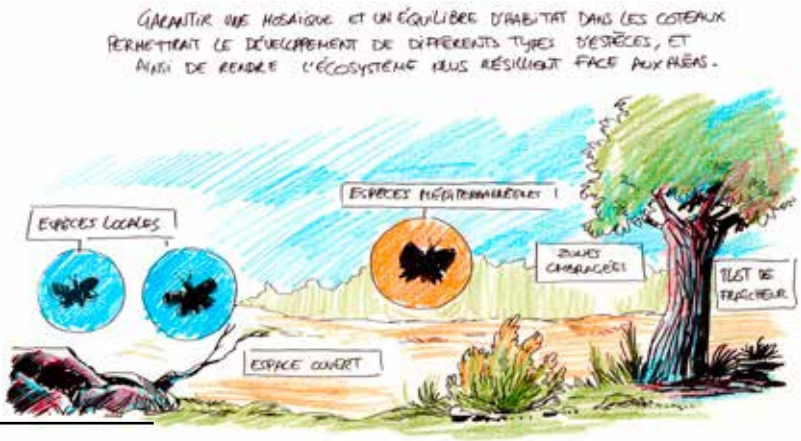
Pelouses sèches

Le cortège floristique des pelouses sèches calcicoles semble tendre vers une méditerranéisation de sa composition. En parallèle, le cortège de papillons, espèces dépendantes de la flore, tendraient vers une moins grande diversité.

Pour autant, au sein de ces écosystèmes, des habitats en mosaïque pourraient offrir des conditions microclimatiques variables permettant aux espèces d'adapter leurs comportements en fonction des conditions météorologiques.

Ceci passe par une réflexion sur la gestion et les usages des côteaux sur lesquels se développent ces pelouses.

Le maintien des continuités écologiques reste, comme pour tous les milieux, un élément indispensable pour permettre la migration des espèces et limiter les extinctions locales.



Milieux de montagne

Les effets du changement climatique sont rapidement visibles en montagne et peuvent être importants, dans la mesure où nombre d'espèces montagnardes présentent de très fortes spécialisations à ce type de climat extrême. Elles sont d'autant plus fragiles à des modifications de leur environnement.

Pour la Grenouille des Pyrénées, le changement climatique est une pression de plus qui s'ajoute à des facteurs d'extinction locale déjà très impactants : introduction de poissons pour la pêche loisir, augmentation de la pression touristique (canyoning notamment), gestion forestière inadéquate.

Il est nécessaire et urgent de sanctuariser les rares torrents où cette espèce est présente.

Dans les prairies et les pierriers des Pyrénées, le constat est similaire : le changement climatique se surajoute à d'autres pressions anthropiques, comme la modification des pratiques pastorales en estive ou l'augmentation de la fréquentation humaine.

Des politiques concertées doivent être pensées pour favoriser la résistance des habitats montagnards et des espèces qui les occupent.

Réduire nos émissions de gaz à effet de serre reste le principal levier pour lutter contre le changement climatique, mais prendre en compte l'ensemble des pressions humaines sur la nature est aussi indispensable pour préserver la biodiversité, tout en poursuivant les suivis, éléments indispensables de la surveillance scientifique. C'est dans ce sens que s'orientent les propositions d'actions mentionnées dans cette conclusion.

Elles nécessistent dans le même temps une mise en œuvre politique.

La préservation du vivant, dans le contexte du changement climatique, doit s'engager aux différentes échelles politiques. De la définition de la politique régionale en faveur de la biodiversité et au soutien des actions entreprises par les citoyens et les associations, jusqu'à la redéfinition des usages humains des domaines publics, en concertation avec les acteurs concernés, les chantiers à entreprendre sont vastes et urgents.

Rappelons que la nature est une alliée formidable dans la lutte contre le changement climatique et pour le bien-être humain.

Coordination du programme les sentinelles du climat
Fanny Mallard
fanny.mallard@cistude.org

www.sentinelles-climat.org

Nous remercions l'Union Européenne (FEDER – Fonds Européen de Développement Régional), la région Nouvelle-Aquitaine, le Département de la Gironde et le Département des Pyrénées-Atlantiques pour leur soutien et le financement du programme les sentinelles du climat.

Nous remercions chaleureusement l'ensemble des contributeurs du programme. Merci encore pour nos riches collaborations et pour avoir permis la réalisation de ce programme.

Nous remercions également les membres du conseil scientifique 2020 pour leurs avis, leurs analyses, et leurs conseils sur les méthodes, les protocoles, les modèles et les résultats de l'ensemble du programme :
Hervé Le Treut, Président d'honneur du conseil scientifique, Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie
Yohana Cabaret, docteur, chargée de mission à AcclimaTerra, comité scientifique régional sur le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine
Sylvain Delzon, chercheur à l'INRA / Université de Bordeaux, UMR Biodiversité Gènes et Écosystèmes
Gautier Cécile, Responsable du Service Climatologie du Sud-Ouest, Météo France
Inge Van Halder, chercheur à l'INRA / Université de Bordeaux, UMR Biodiversité Gènes et Écosystèmes
Oliver Lorvelec chercheur à l'INRA / Université de Rennes, UMR Écologie et Santé des Écosystèmes
Claude Miaud, chercheur au CNRS, Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive
Benoît Sautour, Professeur – Université Bordeaux – UMR EPOC, Station Marine.

L'association Cistude Nature remercie tous les partenaires du programme (par ordre alphabétique) :
AcclimaTerra – comité scientifique régional sur le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine, Association Le Champ des Possibles – Lachaud France, Association La Rabouillère, Association Locusta, Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CEFE), Centre d'Études Biologiques de Chizé (CEBC) – UMR 7372 CNRS, Centre permanent d'initiatives pour l'environnement Seignanx Adour (CPIE Seignanx Adour), CNRS Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive, Communauté de Communes de Montesquieu, Communes de Bassens, Lanton, le Sen, Losse, Sabres, Saugnacq et Muret et Seignosse, Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP), Conservatoire Botanique National du Massif central (CBNMC), Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique (CBNSA), Conservatoire d'espaces naturels de Nouvelle-Aquitaine (CEN Nouvelle-Aquitaine), Conservatoire du littoral, Département de la Gironde, Département des Landes, Department of Life Science National Taiwan Normal University, Department of zoology University of Wisconsin Madison WI 53706 USA, Fédération départementale des chasseurs des Landes, Ferme du Moulin de Rousset, GAEC Mas de Feix, GRAINE Aquitaine, Groupe Mammalogique et Herpétologique du Limousin (GMHL), Groupement forestier de la lande du Thus, iEES Paris Sorbonne Université CNRS UMR 7618, Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAe), Météo France – Direction Interrégionale Sud-Ouest, Études et Climatologie, Observatoire Aquitain de la Faune Sauvage (OAFS), Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Office National des Forêts (ONF), Parc National des Pyrénées, Parc Naturel Régional (PNR) des Landes de Gascogne, PNR Périgord-Limousin, Réserve Naturelle Nationale d'Arjuzanx, Réserve Naturelle Nationale de l'Étang de Cousseau, Réserve Naturelle Nationale de l'Étang Noir, Réserve Naturelle du Pinail, Réserve Naturelle Géologique de Saucats-La Brède, SCEA DULUCQ, Société entomologique du Limousin (SEL), Station d'Écologie Théorique et Expérimentale de Moulis CNRS UMR 5321, Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Eaux du Bassin Versant et Étangs du Littoral Girondin (SIAEBVELG), Syndicat Mixte d'Aménagement du Bassin de la Gartempe et Affluents (SMABGA), UMR 5319 PASSAGES Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Université d'Ottawa, Université de Bordeaux, Université de Bordeaux Montaigne, Université de Pau et Pays de l'Adour (UPPA), Université de Rennes, Université Pierre et Marie Curie; ainsi que les particuliers qui nous donnent accès à leur propriété pour réaliser des suivis (Isabelle De Chenerilles, Philippe Farbos, Bernard Fillol, Jacqueline Hang Dao, Dominique et Marie-Christine Hermenault, Jean-Claude Labarde, Joël Lacoste, Robert Lamothe, François Micon, Philippe Montane de la Roque).

Et merci aux correcteurs de cette synthèse : Christophe Coïc & Carine Lecœur de l'équipe de Cistude Nature, Martine Dubicq du bureau de Cistude Nature.

2022

Conception
Gabrielle Sauret

Impression
Imprimerie à réaction – 41 rue du Bréteil – 33320 Eysines

Les sentinelles du climat
Effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine
Synthèse des permiers résultats 2016-2021

20 espèces – ou groupes d'espèces – sentinelles ont été suivies sur 223 sites à travers la Nouvelle-Aquitaine. Elles vivent dans 5 types de milieux naturels particulièrement sensibles au changement climatique :

les milieux humides
les milieux dunaires
les milieux montagnards
les forêts de hêtres en plaine
les pelouses sèches des coteaux calcaires

Ces suivis, complétés par la modélisation de l'évolution potentielle des aires climatiques favorables, apportent une base de réflexion sur l'avenir de ces espèces et sur la nécessité d'agir pour atténuer les impacts du changement climatique qui se cumulent aux autres pressions humaines sur la biodiversité.

Les résultats de ce programme sont le fruit de la collaboration de plusieurs structures :
Cistude Nature
Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique
Conservatoire des Espaces Naturels Nouvelle-Aquitaine
Groupe Mammologique et Herpétologique du Limousin
Société Entomologique du Limousin
Centre d'Etudes Biologique de Chizé – CNRS
Laboratoire de Mathématiques et leurs Applications – Université Pau Pays de l'Adour / CNRS
UMR Passages – Université Bordeaux Montaigne /CNRS

Les illustrations ont été réalisées par le collectif d'artistes Sauvage Garage qui a participé à la mise en images des suivis et des résultats tout au long du programme.

Ce programme a bénéficié du soutien de :
Union Européenne – FEDER
Région Nouvelle-Aquitaine
Département de la Gironde
Département des Pyrénées-Atlantiques