

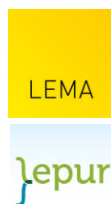


Diagnostic de vulnérabilités pour augmenter la résilience wallonne à travers l'adaptation aux changements climatiques

Biodiversité

Vulnérabilité des espèces et des habitats

Rapport méthodologique



Pouvoir adjudicateur :





Auteurs

Aurore FANAL, ULiège – aurore.fanal@uliege.be

Grégory MAHY, ULiège – g.mahy@uliege.be

Gembloux, le 11-12-2024

Comité de relecture

Manu HARCHIES, ICEDD - mha@icedd.be

Namur, le 26-03-2025

Personne de contact

Grégory MAHY, ULiège – g.mahy@uliege.be

Comment citer ce rapport

Fanal, A., Harchies, M., Mahy, G. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de risque pour la biodiversité face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l’Air et du Climat (AWAC).



Table des matières

1. Introduction	4
2. Résumé	5
3. Définition de l'indicateur et périmètre	6
4. Matériel et méthode	6
4.1. Habitats	6
4.2. Espèces	8
5. Résultats	10
5.1. Habitats	10
5.2. Espèces	21
6. Conclusions et Perspectives	23
7. Annexes	25
7.1. Références	25
7.2. Cartes espèces	26

1. Introduction

Ce rapport présente la méthodologie et les résultats de la construction de l'indicateur « risque climatique pour la biodiversité » permettant d'évaluer les risques climatiques en Wallonie pour la biodiversité.

L'état de la biodiversité en Wallonie peut être évaluée sous l'angle des habitats et des espèces. En ce qui concerne les habitats, nonante-cinq pourcent des types d'habitats naturels présentent un état de conservation défavorable en Wallonie. En ce qui concerne les espèces, celles-ci peuvent être réparties en différents groupes. Sur les 1322 espèces de plantes vasculaires présentes en Wallonie, 448 sont considérées comme menacées (34 %). Pour les carabidés, cela concerne 34 % des espèces ; pour les papillons de jour, 40 % ; pour les libellules, 26 % ; pour les poissons, 42 % ; pour les amphibiens, 17 % ; pour les reptiles, 43 % ; pour les oiseaux, 32 % ; et pour les chauves-souris, 40 % (Diagnostic environnemental de la Wallonie¹ 2024, SPW ARNE – DEMNA – DEE).

Les principales pressions sur les milieux et les espèces sont la perte directe des surfaces d'habitat et leur fragmentation, l'intensification des pratiques agricoles et sylvicoles, la pollution (engrais azotés, pesticides, lumineuse) et les espèces exotiques envahissantes. À ces moteurs de perte de biodiversité se superpose celui des changements climatiques (CC ci-après), aggravant les pressions pesant sur les écosystèmes.

Identifier les vulnérabilités des systèmes naturels face au changement climatique est une étape essentielle pour prioriser les actions visant à améliorer leur résilience. La stratégie « Biodiversité 360² » de la Région wallonne vise notamment à « *Préserver la biodiversité et restaurer les populations d'espèces et les habitats naturels dégradés* ». Or, le rapport d'avril 2022 de la plateforme wallonne pour le GIEC³ (Lamarque et al. 2022) émet un ensemble d'hypothèses sur les risques et impacts du changement climatique sur la biodiversité. À l'échelle européenne, il est attendu que les aires de répartition des espèces subissent une translation vers le nord et vers des altitudes plus élevées. Cette translation est toutefois impactée par la fragmentation des connectivités écologiques et peut amener un ensemble d'espèces en limite d'aire climatique augmentant de ce fait leur vulnérabilité à l'extinction. Cette dynamique affecterait particulièrement les habitats aquatiques, les milieux tourbeux et les zones froides, déjà fragiles face aux pressions existantes. Certaines des principales espèces d'arbres climatiques en Wallonie (hêtre, chêne pédonculé...) sont également susceptibles de subir des dépérissements et déplacements d'aires à cause des modifications de régime hydrique induites par le CC. Parallèlement, les interactions écologiques pourraient être profondément perturbées, avec par exemple un décalage phénologique entre la floraison des plantes et l'activité des pollinisateurs. Les relations entre espèces sont également modifiées, notamment par l'arrivée d'espèces envahissantes ou par la migration de bio-agresseurs, qui peuvent toucher des espèces jusqu'alors non ou peu concernées.

Ces changements exacerbent la vulnérabilité des espèces déjà fragilisées par des menaces comme la pollution ou la fragmentation des habitats. Il est attendu que le risque d'extinction s'accroît pour de nombreuses espèces. Si certaines espèces originaires de zones chaudes peuvent trouver de nouvelles opportunités, leur progression est souvent freinée par des barrières comme l'absence de biotopes relais ou la fragmentation des paysages.

Les événements climatiques extrêmes, comme les sécheresses prolongées et les canicules, exacerbent encore ces impacts. Ces phénomènes affectent particulièrement les milieux humides, les plans d'eau et

¹ Site internet (03/2025) : <https://etat.environnement.wallonie.be/home/diagnostic.html>

² Site internet (03/2025) : <https://biodiversite.wallonie.be/fr/wallonie.html?IDC=6235>

³ Site internet (03/2025) : <https://plateforme-wallonne-giec.be/>

les forêts, où la végétation affaiblie devient plus sensible aux maladies et aux ravageurs. Les tourbières, qui jouent un rôle essentiel en tant que puits de carbone, risquent de devenir des sources nettes de carbone en raison des modifications de leur approvisionnement en eau. Ces milieux peuvent également subir des incendies accrus lors des sécheresses ou une érosion accélérée lors de fortes précipitations.

En somme, le changement climatique agit comme un amplificateur de vulnérabilités pour une biodiversité wallonne déjà sous pression, entraînant des conséquences écologiques, économiques et sociétales majeures. Si le changement climatique est une pression complémentaire non négligeable sur la biodiversité extraordinaire, il est également susceptible d'impacter négativement la biodiversité dite « ordinaire » et la capacité des habitats à fournir des services écosystémiques tels que le stockage de carbone dans le sol, la pollinisation, la valeur récréative et sanitaire... Notamment, les zones urbaines et agricoles peuvent abriter une biodiversité importante et agir comme corridors au sein du réseau écologique.

Les évaluations de vulnérabilité et de risque sur la biodiversité wallonne, disponibles, sont toutefois liées principalement à des modèles globaux. Il est important de pouvoir évaluer à l'échelle régionale ces projections par des études ciblées sur le contexte wallon. Ce grain d'analyse permet de tenir compte des modifications d'aires et des vulnérabilités des habitats naturels dans les stratégies régionales. Ainsi des mesures de gestion peuvent être proposées pour réduire la fragmentation des habitats, augmenter la connectivité et l'hétérogénéité des habitats naturels, maintenir la diversité taxonomique, phylogénétique et fonctionnelle, et augmenter la résilience des écosystèmes aux événements extrêmes.

2. Résumé

Un indicateur de risque a été construit de manière similaire pour les habitats et les espèces, indiquant le nombre d'indicateurs climatiques pour lesquels les points de présence de 6 ensembles d'habitats et 19 espèces en Wallonie sortent de leur niche climatique (de 0 à 5). Le moyenne des modèles régionaux ainsi que le modèle CMCC⁴, prévoyant des extrêmes plus secs, ont été utilisés pour le calcul des indicateurs, aux scénarios de réchauffement +2°C, +3°C et +4°C.

Il ressort que tous les habitats sont à risque de sortir de leur niche en Wallonie pour au moins un indicateur, à des degrés de réchauffement variables. Les habitats forestiers sont les plus sensibles, particulièrement les hêtraies atlantiques acidophiles pour lesquelles on peut s'attendre à modifications importantes de structure et de composition dès un réchauffement de 2°C.

Sur les 19 espèces étudiées, 16 sortent de leur niche climatique en ce qui concerne la température moyenne annuelle et la température du mois le plus chaud. Les espèces thermophiles liées à des habitats plus secs sont moins sensibles que les espèces liées à des milieux plus frais.

⁴ CMCC : Centre euro-méditerranéen pour le changement climatique

3. Définition de l'indicateur et périmètre

A la fois pour les habitats et les espèces, le risque lié au CC a été évalué selon la méthode de Esperon-Rodriguez *et al.* (2022), utilisée également dans le projet Biodiversa+ « Transloc »⁵. Le risque est l'expression du nombre d'indicateurs climatiques pour lesquelles une zone d'habitat ne se trouve plus entre les marges de sécurité des valeurs connues historiquement.

En effet, au plus les valeurs de certaines variables climatiques déterminantes pour les habitats et les espèces s'éloignent des valeurs historiques, au plus l'exposition au CC est grande. Pour les habitats qui se trouvent déjà dans des conditions écologiques extrêmes (sols superficiels, altitudes maximales...) ou qui sont déjà vulnérables pour des raisons anthropiques (perte de surface, fragmentation, mauvais état de conservation...), nous pouvons nous attendre à un risque accru.

4. Matériel et méthode

4.1. Habitats

Notre méthodologie d'analyse de risque pour les habitats Natura 2000⁶ se base sur les travaux de Comer *et al.* (2019), Esperon-Rodriguez *et al.* (2022) et Bourdouxhe *et al.* (2023).

Dans le cadre de la mise en œuvre du réseau écologique en Région Wallonne (Harchies *et al.*, 2018), une cartographie des habitats (aire potentielle et réalisée) a été réalisée. La phase initiale du projet d'analyse de vulnérabilité des habitats au CC consistait à injecter les nouvelles variables climatiques prédites pour trois niveaux de réchauffement dans les modèles d'habitats existants. Cependant, ces modèles n'avaient à la base pas été mis au point pour faire de la prédiction climatique, et des résultats aberrants sont apparus. De plus, des prédictions se basant seulement sur des historiques de présence en Région wallonne risquaient de fortement sous-estimer la distribution future des écosystèmes. Nous avons donc réorienté l'analyse vers une autre approche.

La méthode de Esperon-Rodriguez *et al.* (2022), utilisée également dans le projet Biodiversa+ « Transloc », permet d'évaluer si les habitats naturels présents actuellement en Wallonie seront toujours en adéquation avec leur niche climatique dans le futur. Pour une sélection d'indicateurs climatiques, on évalue si les zones d'habitat restent dans les « marges de sécurité », c'est-à-dire dans l'intervalle entre le 5^{ème} et le 95^{ème} centile de la gamme de valeurs de la variable climatique connue historiquement. Au plus le nombre de variables climatiques sortant des marges de sécurité augmente, au plus l'exposition de l'habitat au CC est forte à un endroit donné. Finalement, selon la méthodologie de Comer *et al.* (2019), pour un point donné d'une zone d'habitat actuel, la combinaison d'une vulnérabilité importante et d'un grand nombre de variables climatiques hors de la zone de sécurité donnera une vulnérabilité plus élevée.

Trois scénarios climatiques sont considérés : +2°C, +3°C et +4°C. Pour chaque degré de réchauffement, les modélisations sont réalisées en utilisant la moyenne de tous les modèles (MPI, MIR, NOR, EC3, IPSL et CMCC), ainsi que le modèle CMCC seul qui suggère une diminution plus significative des précipitations en été.

⁵ Site internet (03/2025) : <https://www.biodiversa.eu/2022/10/25/transloc/>

⁶ Site internet (03/2025) : <https://biodiversite.wallonie.be/fr/natura-2000.html?IDC=829>

Six séries d’habitats Natura 2000 ont été choisis pour les analyses. Ces habitats sont intrinsèquement ou extrinsèquement vulnérables au changement climatique (Tableau 1) et sont tous les six en état de conservation défavorable en Wallonie. De plus, ils correspondent à des habitats localisés également en France. En effet, les niches climatiques sont construites en utilisant les données de localisation des habitats en Wallonie ainsi qu’en France, afin d’avoir un gradient climatique représentatif. Une niche construite uniquement en Wallonie serait trop étroite et surestimerait les risques liés au CC sur les habitats. Les informations concernant les sites N2000 français proviennent de la couche cartographique « INPN - Données du programme Natura 2000 » du Muséum National d’Histoire Naturelle⁷.

Tableau 1 : Habitats sélectionnés pour l'analyse de vulnérabilité.

Code N2000	Nom	Vulnérabilité
7110*, 91D0*	Tourbières hautes actives Tourbières boisées	Extrême du gradient hydrique, forte fragmentation
9110	Hêtraies à Luzule	Espèce structurante (Hêtre) fortement impactée par le CC
9160	Chênaies pédonculées ou chênaies-charmaies subatlantiques et médio-européennes du Carpinion Betuli	Espèce structurante (Chêne pédonculé) fortement impactée par le CC
9120	Hêtraies acidophiles atlantiques à sous-bois à Ilex et Taxus	Espèce structurante (Hêtre) fortement impactée par le CC
6210*, 9150	Pelouses sèches calcicoles Hêtraies calcicoles médio-européennes	Extrême du gradient hydrique, forte fragmentation
91E0, 91F0	Forêts alluviales à <i>Alnus glutinosa</i> et <i>Fraxinus excelsior</i> Forêts fluviales mixtes [...] riveraines des grands fleuves	Le CC influence l’apport d’eau dans les sols alluviaux, pouvant mener à des communautés végétales appauvries

Neuf indicateurs climatiques ont été calculés : la température moyenne annuelle, la température du mois le plus chaud (MTWM), la température du mois le plus froid (MTCM), le cumul de degrés au-dessus de 5°C (GDD5), la saisonnalité des températures, les précipitations annuelles totales, les précipitations du mois le plus sec (DMP), les précipitations du trimestre le plus sec (PDQ) et la saisonnalité des précipitations. Après une analyse de corrélation, les indicateurs conservés pour l’analyse de risque sont :

- La température moyenne annuelle (bio1) ;
- La saisonnalité des températures (bio4) ;
- La température moyenne du mois le plus chaud (bio5) ;
- Les précipitations du mois le plus sec (bio14) ;
- La saisonnalité des précipitations (bio15).

Ces indicateurs sont extraits pour la période historique 1981-2010 depuis CHELSA v1.2⁸, qui fournit des données climatiques à haute résolution (+/- 1 km²) sur l’ensemble du globe. Ils sont également calculés sur la Wallonie par l’équipe de climatologie de l’ULiège pour les valeurs historiques, ainsi que de réchauffement +2°C, +3°C et +4 °C.

Les niches sont ensuite construites pour chaque habitat ou ensemble cohérent d’habitats de la même lignée (par exemple, tourbières hautes actives et tourbières boisées sont rassemblées), en équilibrant

⁷ Site internet (12/2024) : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/inpn-donnees-du-programme-natura-2000/>

⁸ Site internet (03/2025) : <https://chelsa-climate.org/downloads/>

les données françaises et belges. La **tolérance** pour chaque habitat et chaque indicateur est définie comme le centile 5 (pour les indicateurs liés aux précipitations) ou 95 (pour les indicateurs liés aux températures) de la gamme de variation historique. Ensuite, la **marge de sécurité** pour un habitat à un endroit donné est calculée comme étant la différence entre la tolérance de l'habitat et la valeur historique de l'indicateur à cet endroit. L'**exposition** correspond à la différence entre le climat passé et futur pour chaque point de présence d'habitat. Afin de ne pas comparer des bases de données différentes, nous avons calculé les anomalies entre climat historique et futur (pour chaque scénario) sur les données wallonnes, et reporté ces anomalies sur les données historiques de CHELSA. Enfin, pour chaque indicateur, le **risque** est défini comme la différence entre l'exposition et la marge de sécurité. Un point de présence d'habitat est considéré à risque si le risque est > 0 pour les indicateurs de température et de saisonnalité, et < 0 pour les indicateurs de précipitations. Chaque indicateur à risque se voit alors attribuer la valeur « 1 ». Un habitat à haut risque aura ainsi une valeur de 5 (5 indicateurs « à risque »), et à faible risque une valeur de 0 (0 indicateur classé « à risque »).

Les cartes de risques produites ont été analysées par un groupe d'experts lors d'un groupe de travail. Cela a permis de valider les cartes, et de discuter des conséquences probables d'un risque important pour chaque type d'habitat et chaque espèce (disparition, changement de composition spécifique, modification de la structure forestière...).

4.2. Espèces

La méthodologie d'analyse de risque pour une sélection d'espèces protégées se base sur la même méthode que celle décrite dans la partie « Habitats ». Dix-neuf espèces ont été sélectionnées sur base de plusieurs critères (Tableau 2) :

- Un statut de protection fort ;
- Une bonne représentativité de divers habitats naturels ;
- Un nombre suffisant d'observations en Belgique.

La niche climatique de ces espèces a été calculées sur base des observations recensées depuis 2004 sur la plateforme GBIF (Global Biodiversity Information Facility⁹). Un tri des données a été effectué afin de supprimer les observations hors Europe, les observations d'individus conservés (musées, herbiers, collections...) et les observations incohérentes. Les niches ont ensuite été construites pour les cinq mêmes indicateurs bioclimatiques que pour les habitats, à savoir : la température moyenne annuelle (bio1), la saisonnalité des températures (bio4), la température du mois le plus chaud (bio4), les précipitations du mois le plus sec (bio 14) et la saisonnalité des précipitations (bio15).

Concernant les points d'observation situés en Wallonie, la base de données GBIF a été complétée avec celle d'Observations.be¹⁰, fournies par l'asbl Natagora¹¹.

⁹ Site internet (03/2025) : <https://www.gbif.org/>

¹⁰ Site internet (03/2025) : <https://observations.be/>

¹¹ Site internet (03/2025) : <https://www.natagora.be/>

Tableau 2 : Espèces sélectionnées pour l'analyse de risque.

Nom scientifique	Nom français	Type	Milieu
<i>Muscardinus avellanarius</i>	Muscardin	Mammifère	Forestier
<i>Luzula luzuloides</i>	Luzule blanchâtre	Plante	Forestier
<i>Aconitum lycoctonum</i>	Aconit tue-loup	Plante	Forestier
<i>Limenitis populi</i>	Grand Sylvain	Papillon	Forestier
<i>Actaea spicata</i>	Actée en épi	Plante	Forestier
<i>Iphiclides podalirius</i>	Flambé	Papillon	Pelouses calcaires
<i>Allium sphaerocephalon</i>	Ail a tête ronde	Plante	Pelouses calcaires
<i>Globularia bisnagarica</i>	Globulaire allongée	Plante	Pelouses calcaires
<i>Brenthis ino</i>	Grande violette	Papillon	Mégaphorbiaies
<i>Lycaena helle</i>	Cuivré de la Bistorte	Papillon	Prairies humides et mésophile
<i>Boloria eunomia</i>	Nacré de la Bistorte	Papillon	Prairies humides et mésophile
<i>Alchemilla filicaulis</i>	Alchémille à tige filiforme	Plante	Prairies humides et mésophile
<i>Boloria aquilonaris</i>	Nacré de la Canneberge	Papillon	Tourbières
<i>Aeshna juncea</i>	Aesche des joncs	Libellule	Tourbières
<i>Somatochlora arctica</i>	Cordulie arctique	Libellule	Tourbières
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	Canneberge commune	Plante	Tourbières
<i>Zootoca vivipara</i>	Lézard vivipare	Lézard	Varié milieux frais
<i>Triturus cristatus</i>	Triton crêté	Amphibien	Milieux ouverts
<i>Cyaniris semiargus</i>	Demi-Argus	Papillon	Prairies fleuries

Tout comme pour les habitats, la **tolérance** pour chaque espèce et chaque indicateur est définie comme le centile 5 (pour les indicateurs liés aux précipitations) ou 95 (pour les indicateurs liés aux températures) de la gamme de variation historique. Ensuite, la **marge de sécurité** pour une espèce observée à un endroit donné est calculée comme étant la différence entre la tolérance de l'espèce et la valeur historique de l'indicateur à cet endroit. L'**exposition** correspond à la différence entre le climat passé et futur pour chaque point de présence d'espèce. Afin de ne pas comparer des bases de données différentes, nous avons calculé les anomalies entre climat historique et futur (pour chaque scénario) sur les données wallonnes, et reporté ces anomalies sur les données historiques de CHELSA. Enfin, pour chaque indicateur, le **risque** est défini comme la différence entre l'exposition et la marge de sécurité. Un point de présence d'espèce est considéré à risque si le risque est > 0 pour les indicateurs de température et de saisonnalité, et < 0 pour les indicateurs de précipitations. Chaque indicateur à risque se voit alors attribuer la valeur « 1 ». Un point de présence d'espèce à haut risque aura ainsi une valeur de 5 (5 indicateurs « à risque »), et à faible risque une valeur de 0 (0 indicateur classé « à risque »).

Pour les espèces, les points de présence sont ramenés à une résolution de 25 km² (5 km x 5 km), les points de présence précis de certaines espèces ne pouvant être divulgués pour des questions de confidentialité.

5. Résultats

5.1. Habitats

Lorsque les conditions climatiques projetées sous les différents scénarios pour les localisations de l'habitat étudié sortent de la niche climatique actuelle de l'habitat pour un indicateur donné, le risque augmente de 1. Le niveau de risque varie donc de 0 à 5. De manière générale, les résultats indiquent que les habitats forestiers seront plus vulnérables au réchauffement climatique, le risque diminuant seulement en Haute Ardenne où les élévations de température seront un peu moins marquées.

Les premiers indicateurs climatiques pour lesquels les sites N2000 wallons étudiés sortent de leur niche climatique varient selon les habitats, le seul indicateur revenant pour les six habitats étant la température du mois le plus chaud (Figure 1).

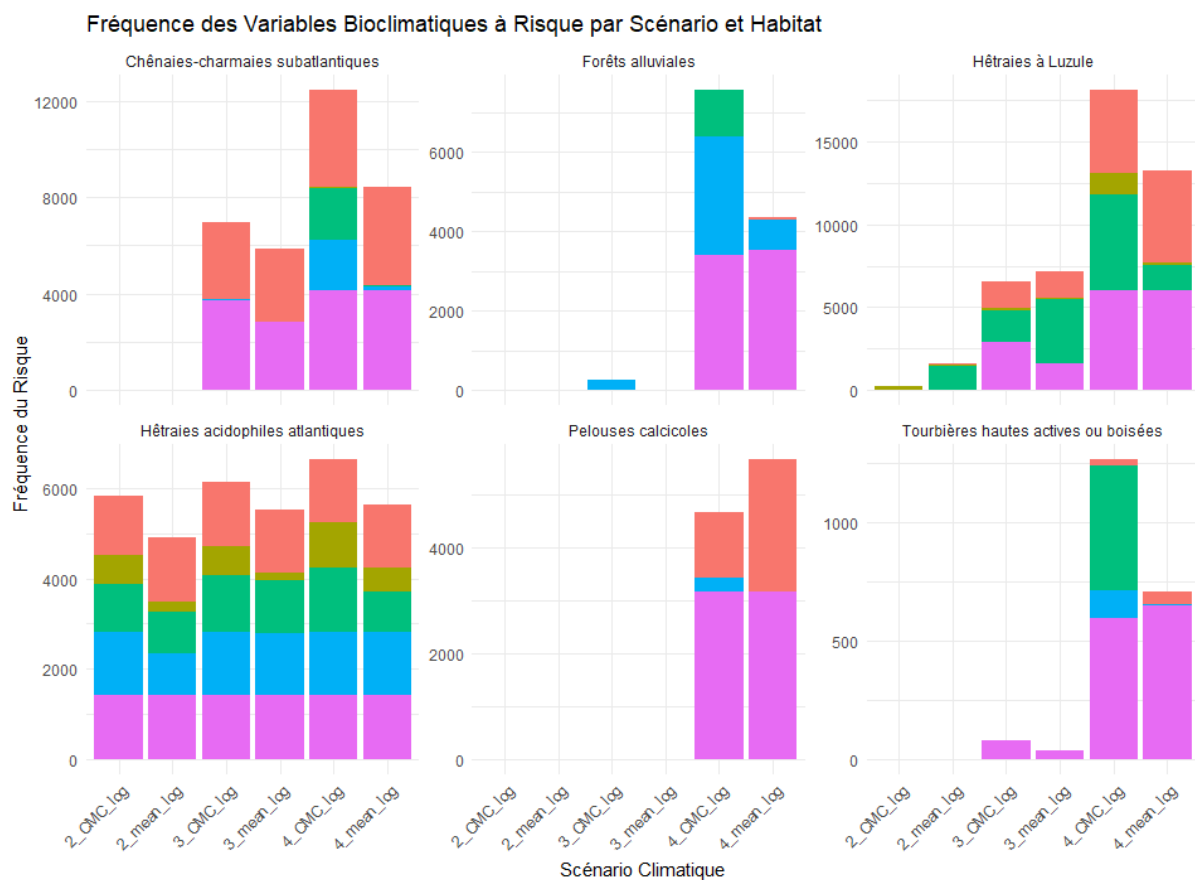
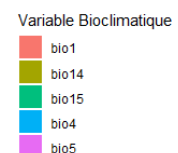


Figure 1 : Occurrence des stations présentant un risque de dépassement de la niche climatique pour les indicateurs climatiques individuels par scénario et habitat. Bio 1 : température moyenne annuelle (bio1) ; Bio 4 : saisonnalité des températures (bio4) ; Bio 5 : température moyenne du mois le plus chaud (bio5) ; Bio 14 : précipitations du mois le plus sec (bio14) ; Bio 15 : saisonnalité des précipitations (bio15).



Hêtraies et chênaies-charmaies

Hêtraies à luzule

Ce type de forêt est très répandu au sud du sillon Sambre-et-Meuse, occupant des substrats plutôt acides et dominées par le hêtre, souvent accompagné de chênes et parfois de l'érable sycomore. La hêtraie à luzule (et ses diverses formes de substitution) constitue la formation forestière indigène la plus répandue de Wallonie et présente dès lors une grande capacité d'accueil de la biodiversité forestière, en particulier pour les espèces à grand territoire.

L'indicateur climatique le plus à risque de sortir de la niche climatique de l'habitat est la saisonnalité des précipitations dès un scénario CC à +2°C (Figure 1), auquel s'ajoutent les indicateurs de température moyenne annuelle et de température du mois le plus chaud partir des scénarios CC +3°C.

Les cartes (Figure 2) indiquent un risque déjà important (> 2) à partir d'un scénario CC +3°C degrés des températures globales, particulièrement dans les régions du Condroz et de la Lorraine. La vulnérabilité augmente si l'on considère un scénario plus sec, les sites de Haute Ardenne étant les seuls plutôt épargnés.

Pour ce type d'habitat, nous pouvons nous attendre à une modification de la structure forestière et de sa composition, glissant plutôt vers des chênaies telles qu'on peut en trouver dans la région ligérienne.

Hêtraies acidophiles atlantiques

Cette forêt mixte de hêtres et de chênes se développe sur des sols pauvres à tendance acide. On la retrouve principalement sur les plateaux et versants bien drainés des zones sablo-limoneuses de la région atlantique, où l'on retrouve ses formes les plus caractéristiques. Cet habitat revêt une grande valeur écologique principalement en raison de la rareté des forêts dans la région limoneuse. Elle constitue un refuge important pour une diversité d'espèces forestières, dont certaines sont d'intérêt communautaire, telles que le pic mar et le pic noir.

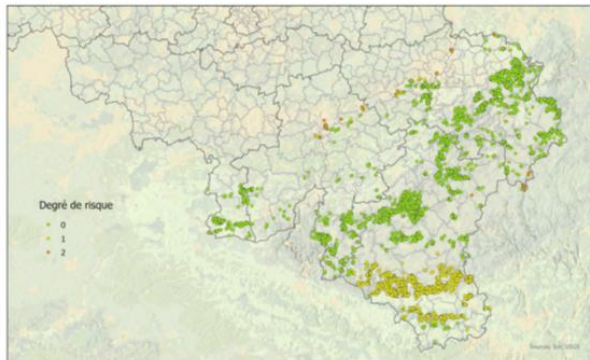
L'ensemble des indicateurs climatiques sont à risque de sortir de la niche climatique dès un scénario CC +2°C (Figure 1).

La cartographie des risques montre une vulnérabilité importante dès un réchauffement de +2°C, la moitié des sites atteignant déjà une vulnérabilité de 3 (Figure 3). On s'attend en effet à des augmentations de températures plus marquées dans ces zones de basse altitude, par rapport au massif ardennais. Un scénario plus sec accentue le risque.

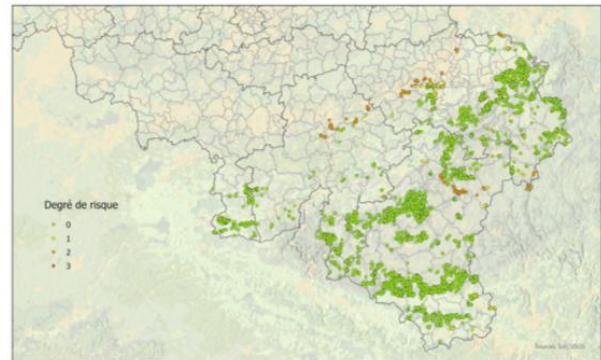
Pour ce type d'habitat, nous pouvons nous attendre à une modification de la structure forestière, avec une dominance plus marquée des chênes et autres feuillus pour le moment secondaires ainsi qu'une modification de la flore du sous-bois.

9110 - Hêtraies à Luzule

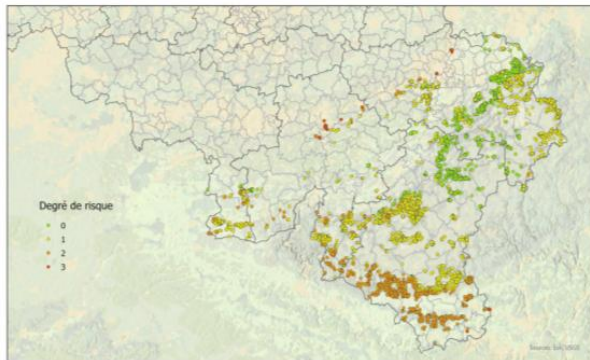
Scénario : + 2°C, moyenne des modèles



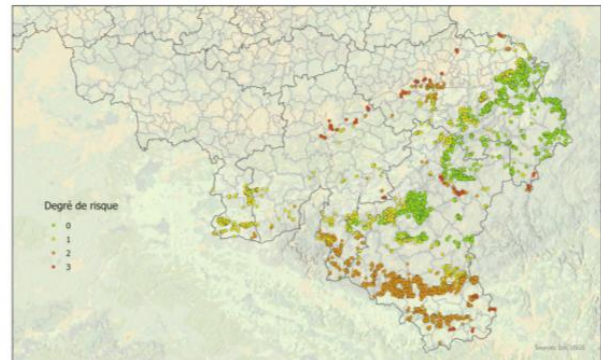
Scénario : + 2°C, modèle CMCC



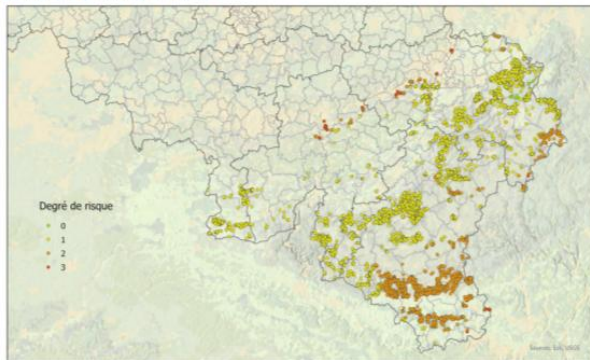
Scénario : + 3°C, moyenne des modèles



Scénario : + 3°C, modèle CMCC



Scénario : + 4°C, moyenne des modèles



Scénario : + 4°C, modèle CMCC

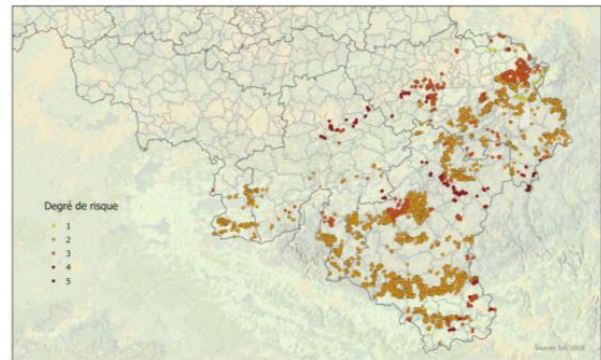
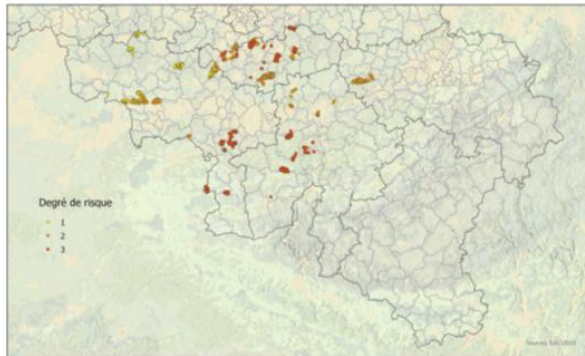


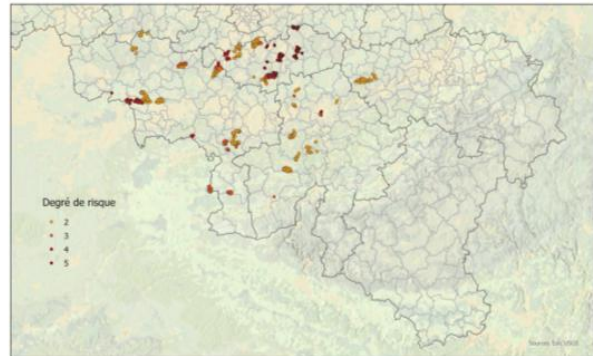
Figure 2 : Cartes de risque climatique pour les hêtraies à luzule.

9120 - Hêtraies acidophiles atlantiques à sous-bois à Ilex et à Taxus

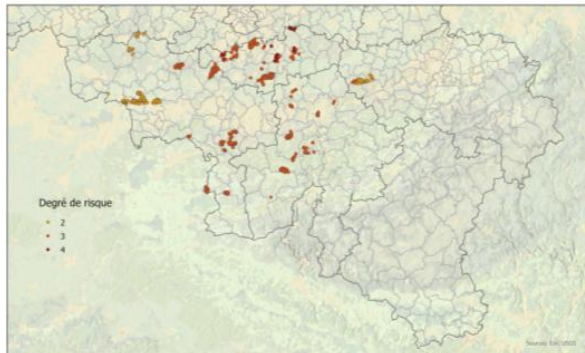
Scénario : + 2°C, moyenne des modèles



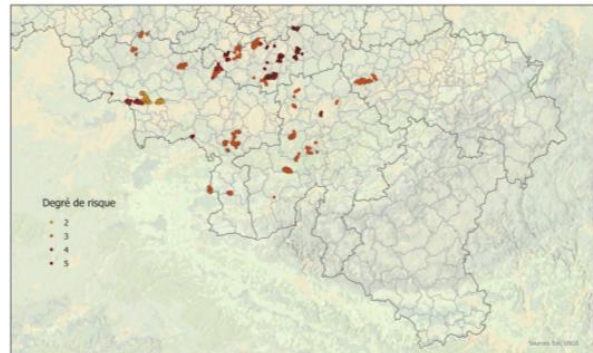
Scénario : + 2°C, modèle CMCC



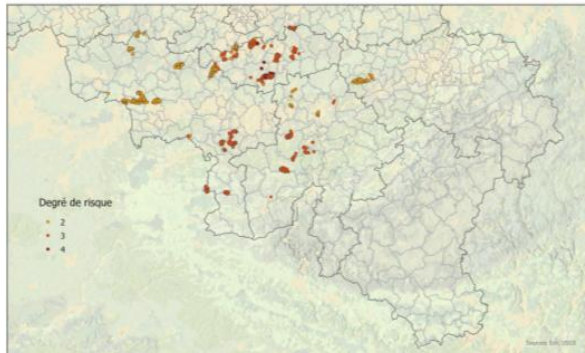
Scénario : + 3°C, moyenne des modèles



Scénario : + 3°C, modèle CMCC



Scénario : + 4°C, moyenne des modèles



Scénario : + 4°C, modèle CMCC

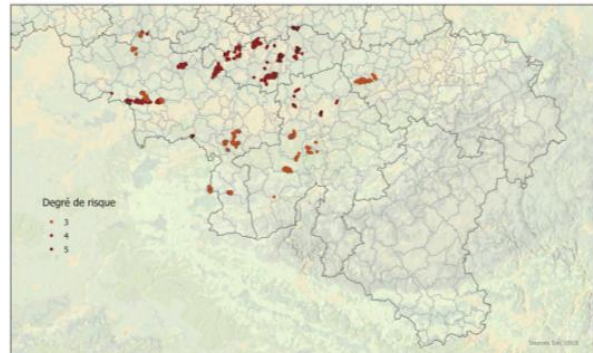


Figure 3 : Cartes de risque climatique pour les hêtraies acidophiles atlantiques.

Chênaies-charmaies ou chênaies-frênaies

Ces forêts sont dominées par des chênes pédonculés et sessiles, parfois associés à une variété de feuillus : charme (surtout en Ardenne et Fagne-Famenne), érable sycomore, frêne (surtout dans le Condroz). Elles se distinguent par une riche floraison printanière. Ces forêts peuvent être divisées en deux sous-groupes selon le type de sol sur lequel on les retrouve :

- Les chênaies-frênaies sur sols frais, qui prospèrent sur des sols régulièrement saturés d'eau ou offrant d'excellentes réserves hydriques ;
- Les charmaies faméniennes sur sols à régime hydrique alternatif.

Ce type de forêt est globalement moins sensible à la modification de sa niche climatique que les hêtraies.

Les indicateurs climatiques les plus à risque de sortir de la niche climatique sont la température moyenne annuelle et la température du mois le plus chaud à partir des scénarios CC +3°C (Figure 1).

La cartographie des risques (Figure 5) indique l'apparition d'un risque (≥ 1) de sortie de niche climatique à partir d'un scénario CC +3°C, principalement pour les variantes à régime hydrique alternatif sur les reliefs de Fagne-Famenne où la disponibilité en eau peut être plus limitée. Le niveau de risque devient important (> 2) à partir de scénario CC +4°C, avec un risque nettement plus accentué dans un scénario plus sec. Le risque pourrait ici être sous-estimé, car les conditions pédologiques aggraveraient les conséquences des événements de sécheresse estivales. En effet, comme on peut le voir sur la carte de vulnérabilité hydrique des peuplements ci-dessous (Figure 4), dont la méthodologie est expliquée dans le rapport « vulnérabilité des forêts », les peuplements présents sur les sols superficiels de Fagne-Famenne et de Lorraine sont classés en « très vulnérables ». De nombreux dépérissements y sont d'ailleurs déjà observés.

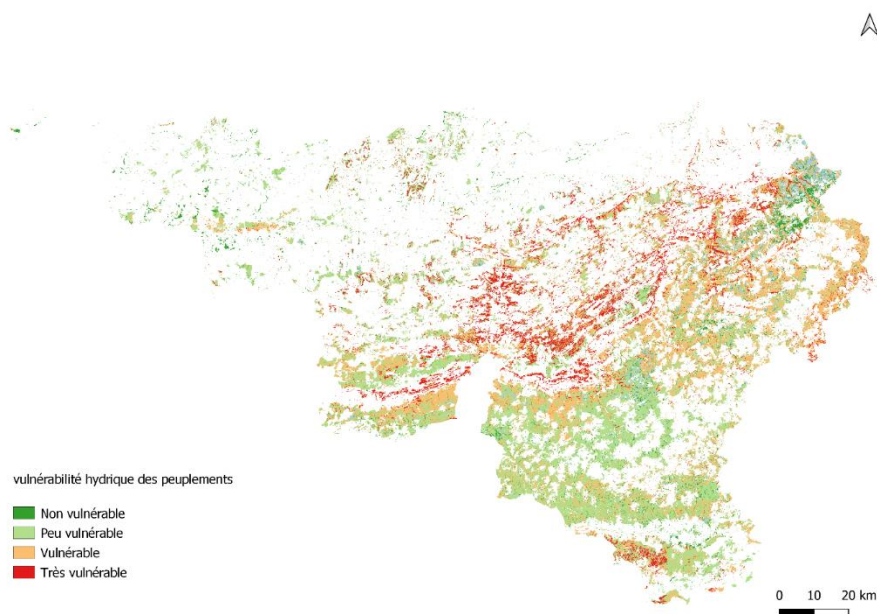
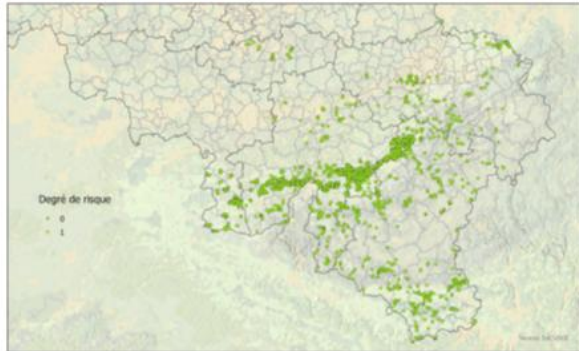


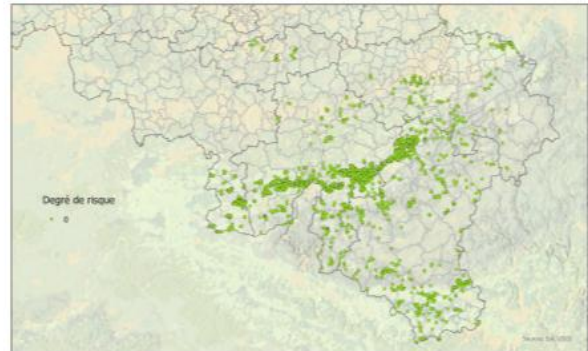
Figure 4 : Carte de vulnérabilité hydrique des peuplements (Cubelier et al., 2025).

9160 - Chênaies pédonculées ou chênaie-charmaies subatlantiques et médio-européennes du Carpinion betuli

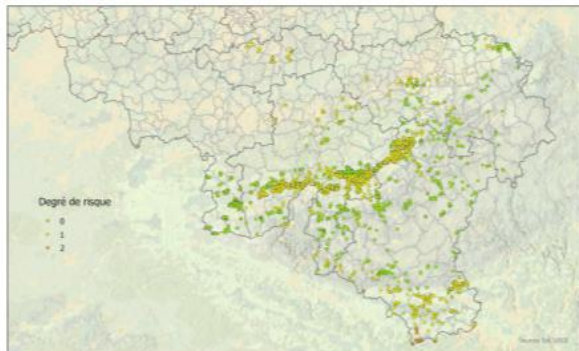
Scénario : + 2°C, moyenne des modèles



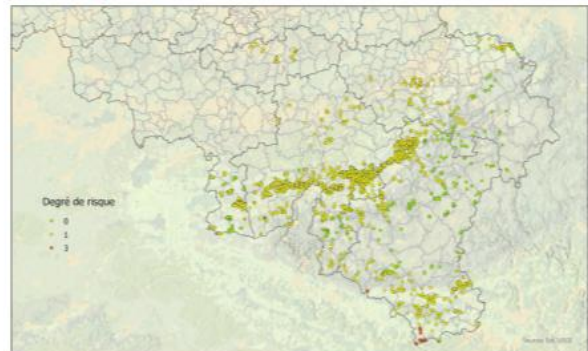
Scénario : + 2°C, modèle CMCC



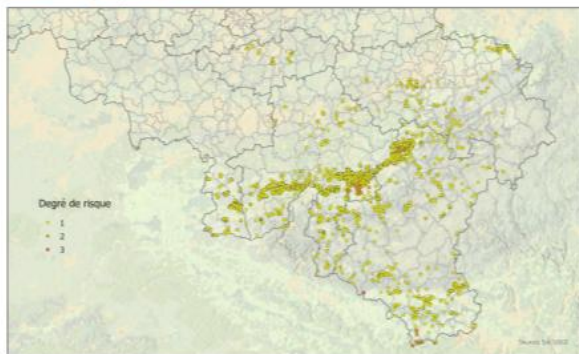
Scénario : + 3°C, moyenne des modèles



Scénario : + 3°C, modèle CMCC



Scénario : + 4°C, moyenne des modèles



Scénario : + 4°C, modèle CMCC

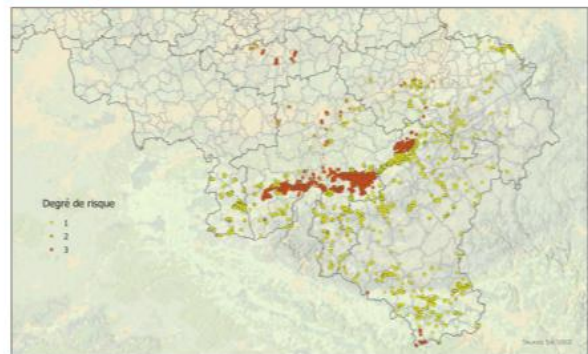


Figure 5 : Cartes de risque climatique pour les chênaies pédonculées et chênaies-charmaies subatlantiques.

Forêts alluviales

Les forêts alluviales sont des forêts installées sur sols humides inondables, au bord des cours d'eau ou proches de sources, dominées par l'aulne, le frêne, les saules, les érables.

Un risque significatif de sortie de niche climatique n'apparaît pour cet habitat qu'à partir d'un scénario CC +4°C (Figure 1). Pour ce scénario, l'habitat est à risque principalement pour deux indicateurs : la saisonnalité des températures (Bio 4) et la température moyenne du mois le plus chaud (Bio 5). La cartographie du risque (Figure 6) indique l'apparition d'un niveau de risque significatif (> 1) à partir du scénario CC +4°C, accentué dans le scénario sec et principalement en Lorraine.

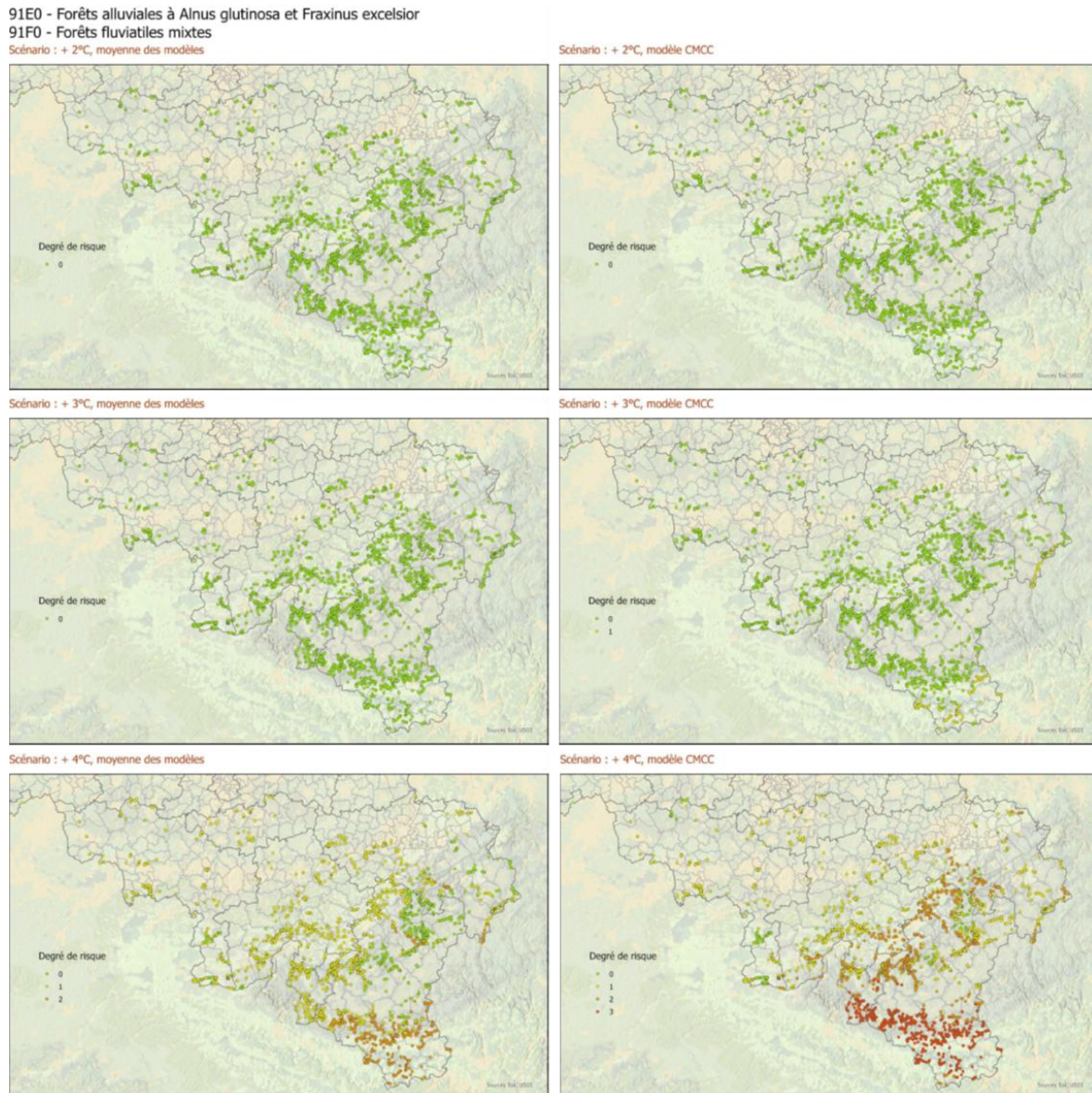


Figure 6 : Cartes de risque climatique pour les forêts alluviales et fluviatiles.

Bien que les forêts alluviales soient moins à risque de sortir de leur niche climatique que les autres habitats forestiers, elles restent sensibles au CC par les impacts attendus sur le régime hydrique des cours d'eau qui détermine la niche écologique de l'habitat. L'évolution future de ces habitats va surtout dépendre de l'impact du changement climatique sur le régime hydrique. Dans les zones où le niveau de la nappe va baisser, des forêts alluviales à bois dur (frênaies, aulnaies) se développeront. Un

assèchement trop prononcé du sol peut mener également à une baisse importante de diversité de la strate herbacée, et donc de la capacité d'accueil de la biodiversité.

Tourbières hautes et boisées

Les tourbières se développent sur une épaisse couche de tourbe, résultat de l'accumulation de matière organique végétale (notamment de sphaignes) peu ou pas décomposée. Les tourbières hautes actives ombrogènes, à surface généralement bombée, présentent une végétation plus élevée que la nappe phréatique environnante. C'est un habitat oligotrophe et très acide, principalement composé de buttes et de tapis de sphaignes d'où émergent des herbacées et des sous-arbrisseaux (surtout des éricacées), et de dépressions humides ou inondées. Une colonisation par des bouleaux pubescents ou verruqueux est possible, menant à un habitat de tourbière boisée.

Les tourbières hautes actives et tourbières boisées font partie des joyaux naturels de la Wallonie, par l'originalité et la rareté des espèces qu'elles accueillent, les services écosystémiques qu'elles rendent et leur forte valeur patrimoniale.

A l'échelle de l'habitat, les tourbières présentent un risque modéré de sortie de niche climatique. L'apparition d'un risque de sortie de niche climatique pour les indicateurs n'apparaît qu'à partir de CC +4° pour principalement la température du mois le plus chaud (Bio 5) et la saisonnalité des précipitations (Bio 15) (Figure 1). La cartographie du risque montre l'apparition d'un risque significatif (> 1) à partir d'un CC +4°, accentué par un scénario sec, avec une plus grande vulnérabilité aux plus basses altitudes (Figure 7).

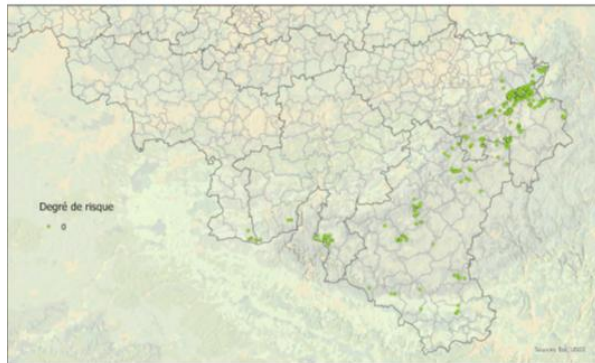
Le risque faible de sortie de niche climatique de l'habitat détecté doit toutefois être nuancé. Le principal risque qui pèse sur ces écosystèmes est la survenue d'un régime hydrique alternatif au lieu d'un engorgement permanent en eau du sol, amené par des printemps et été trop secs. Les tourbières actives se transformeraient alors en tourbières dégradées, avec une dominance de la molinie ou d'*Ericaceae*, une perte d'espèces typiques et une forte émission de CO₂ due à la dégradation de la tourbe. Le risque de perte d'espèces spécialistes de ces habitats est confirmé par l'analyse de vulnérabilité des niches climatiques des espèces (voir 4.2 Espèces).

Les tourbières dégradées sont particulièrement sensibles et risquent de perdre leur fonction écologique cruciale. Au lieu de capter et stocker le carbone, elles pourraient devenir des sources de carbone, accentuant ainsi les effets du changement climatique. La restauration fonctionnelle de ces écosystèmes (retenues d'eau, bouchage de drains) est donc essentielle pour limiter leur vulnérabilité et préserver leur rôle dans l'atténuation des impacts climatiques. De plus, au plus les îlots d'habitats sont grands et connectés, au plus ils seront résilients et pourront conserver des quantités d'eau nécessaires au maintien des sphaignes, indispensables à l'existence de ces habitats, et d'autres espèces typiques.

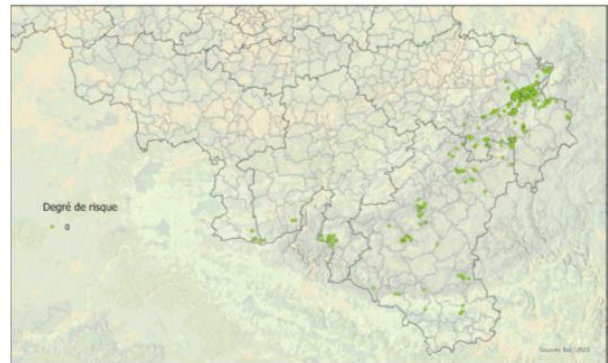
7110 - Tourbières hautes actives

91D0 - Tourbières boisées

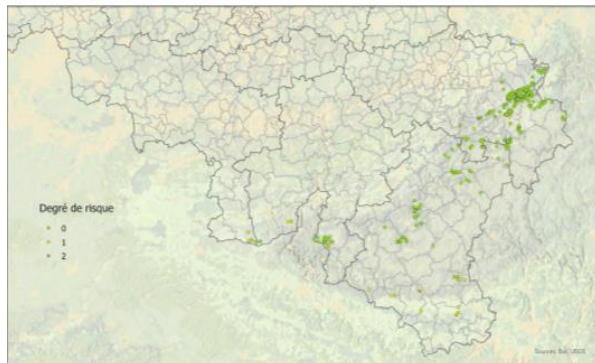
Scénario : + 2°C, moyenne des modèles



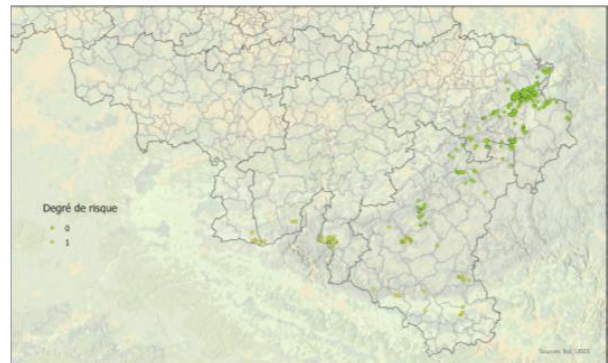
Scénario : + 2°C, modèle CMCC



Scénario : + 3°C, moyenne des modèles



Scénario : + 3°C, modèle CMCC



Scénario : + 4°C, moyenne des modèles



Scénario : + 4°C, modèle CMCC

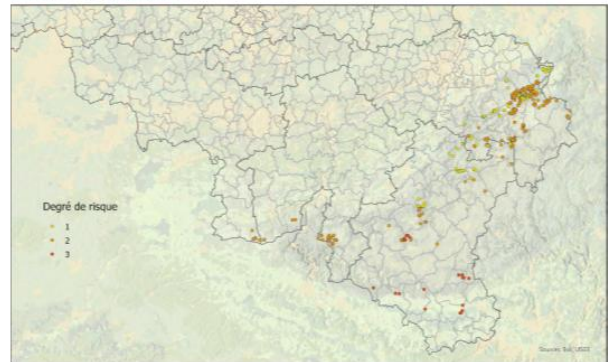


Figure 7 : Cartes de risque climatique pour les tourbières hautes et boisées.

Pelouses calcicoles

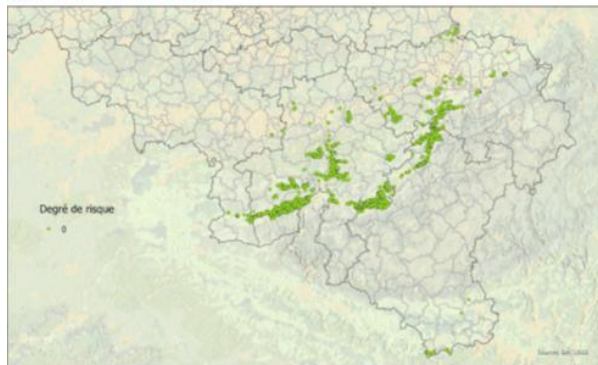
Les pelouses calcicoles, installées sur des sols superficiels secs, sont riches d'une flore et d'une faune originales. La nature de ces pelouses dépend surtout du traitement agro-pastoral. L'isolement des sites ainsi que leur superficie réduite, notamment à cause de l'abandon des pratiques agro-pastorales adéquates ou de reboisement, augmentent la vulnérabilité de ces habitats naturels.

L'apparition d'un risque de sortie de niche climatique pour les indicateurs n'apparaît qu'à partir de CC +4°C, pour principalement la température du mois le plus chaud (Bio 5) et la température moyenne actuelle (Bio 1) (Figure 1). La cartographie du risque (Figure 8) indique un niveau de risque faible (< 2) pour la majorité des stations quels que soient les scénarios climatiques examinés. Le risque est légèrement plus élevé sur les crêtes calcaires des régions de Marche-en-Famenne et Virton. Pour ces habitats, nous pouvons nous attendre à un glissement vers les variantes plus xériques (Xero-Brometum), voire un faciès de pelouse steppique.

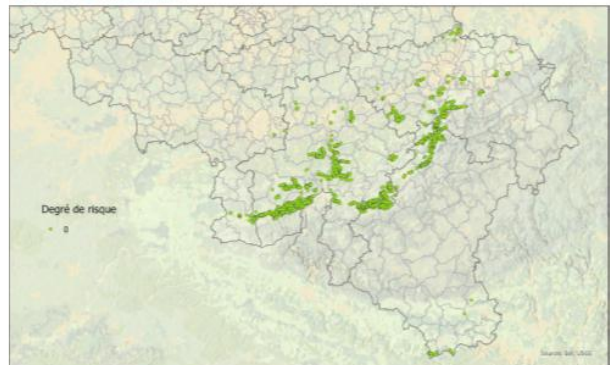
Bien que peu à risque face à la sortie de leur niche climatique, ces habitats essentiels, par leur potentiel d'accueil, pourraient être des refuges septentrionaux pour les espèces plus méridionales. Les efforts de restauration de ces habitats doivent être amplifiés, particulièrement dans la vallée mosane qui constitue un corridor écologique majeur des espèces thermophiles à l'échelle européenne, afin de restaurer les connectivités fonctionnelles. Certaines zones ouvertes sur sols plus profonds pourraient devenir plus propices au développement de ce type d'habitat, ce qui rend la restauration d'autant plus pertinente. Il faudra par contre veiller à protéger ces habitats des espèces exotiques envahissantes qui pourraient s'y développer.

6210 - Pelouses sèches calcicoles

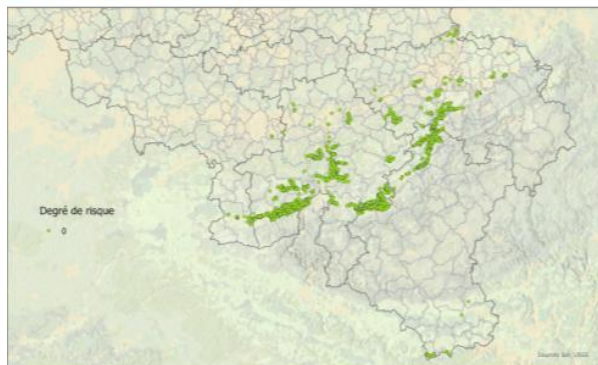
Scénario : + 2°C, moyenne des modèles



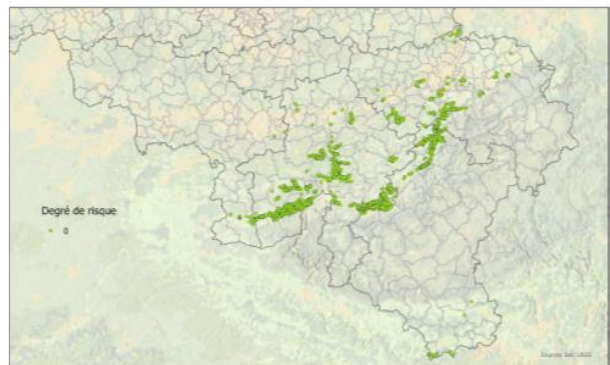
Scénario : + 2°C, modèle CMCC



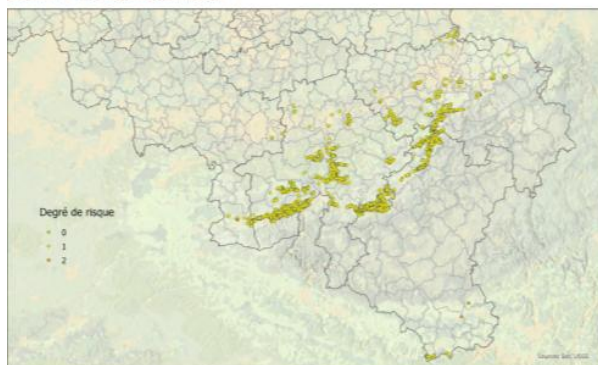
Scénario : + 3°C, moyenne des modèles



Scénario : + 3°C, modèle CMCC



Scénario : + 4°C, moyenne des modèles



Scénario : + 4°C, modèle CMCC

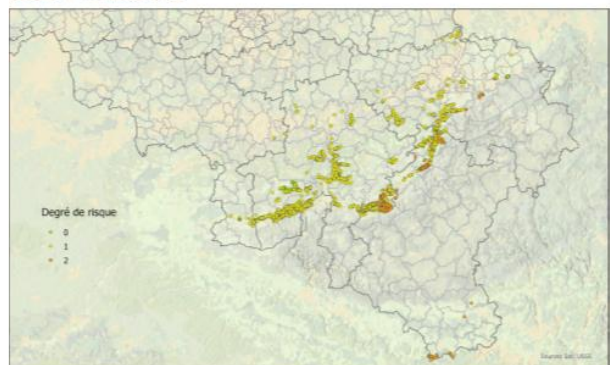
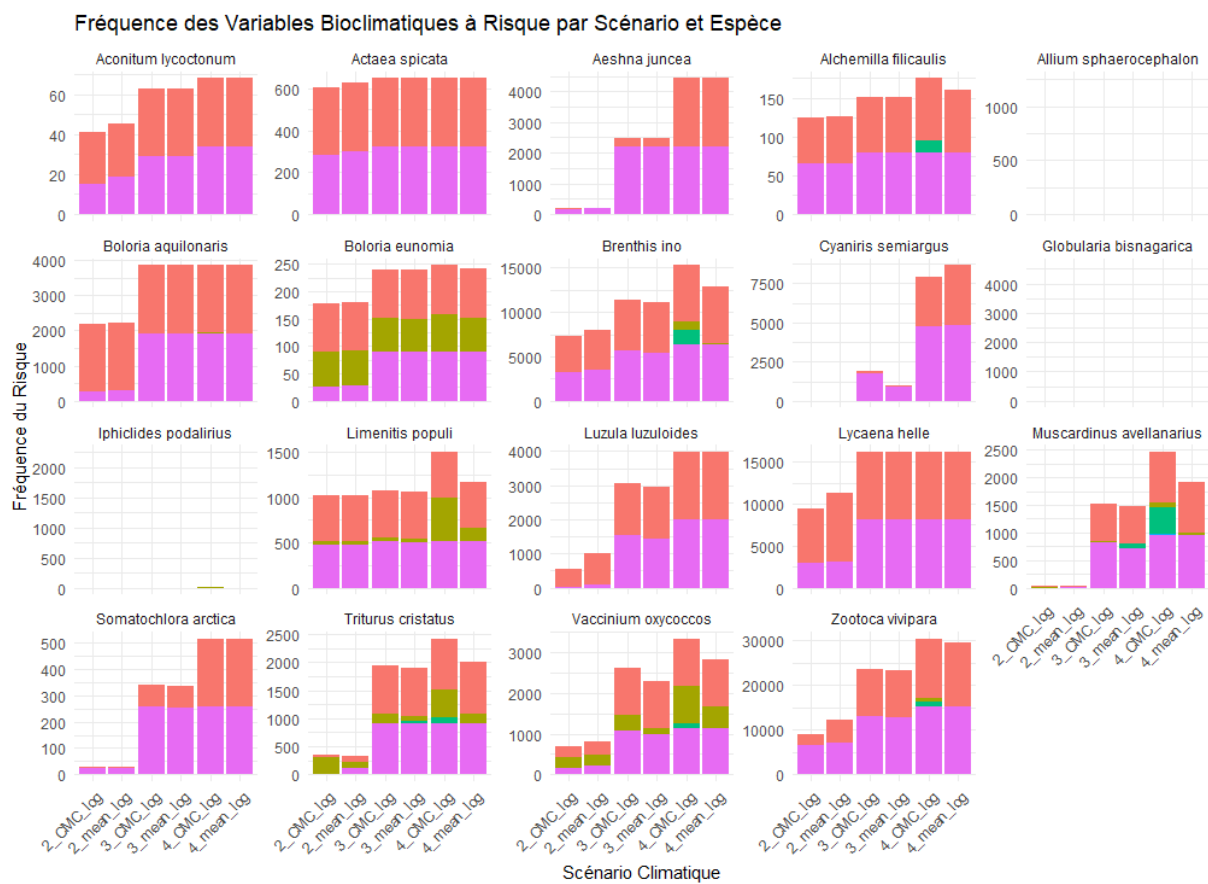


Figure 8 : Cartes de risque climatique pour les pelouses calcicoles.

5.2. Espèces

Tout comme pour les habitats, lorsque les conditions climatiques projetées pour les lieux d'observation de l'espèce étudiée sortent de la niche climatique actuelle de l'espèce pour un indicateur donné, le risque augmente de 1. Le niveau de risque varie donc de 0 à 5. Sur les 19 espèces étudiées, 16 sortent de leur niche climatique sur une partie ou la totalité de leur distribution belge à partir de +2 ou +3°C, le risque s'aggravant et/ou s'étendant avec l'élévation de température (Figure 9). Le risque ne dépasse cependant jamais 4/5, aucune espèce ne sortant de sa niche pour la saisonnalité des températures. Les indicateurs climatiques pour lesquels les espèces sortent le plus rapidement et fréquemment de leur niche sont la température moyenne annuelle et la température du mois le plus chaud. L'ensemble des cartes est fourni en annexe.



Pour les espèces des milieux forestiers, le risque atteint généralement 2 dès +2°C. Dans le scénario sec à +4°C, le score maximal de 4 est atteint pour le discret muscardin (*Muscardinus avellanarius*) ainsi que pour le rare papillon Grand Sylvain (*Limenitis populi*). Ce dernier, listé en danger critique d'extinction, a déjà régressé de 85 % en Wallonie depuis 1950. La luzule blanchâtre (*Luzula luzuloides*), quant à elle, n'est pas une espèce protégée, mais une espèce indicatrice de la hêtraie à luzule, habitat discutée plus haut. Tout comme l'habitat auquel elle est liée, la luzule sort rapidement de sa niche climatique pour les indicateurs de température, avec des zones à moindre risque en Haute Ardenne à +2°C et +3°C.

Les espèces étudiées liées aux prairies humides sortent également rapidement de leur niche pour les indicateurs liés à la température ainsi qu'à la saisonnalité des précipitations. C'est le cas notamment de deux papillons liés à la bistorte (*Bistorta officinalis*), le cuivré de la bistorte (*Lycaena helle*) et le nacré de la bistorte (*Boloria eunomia*). Ces deux espèces subissent déjà un déclin marqué depuis 30 ans. Cependant, d'autres facteurs, tels que la fragmentation de leur habitat ou une gestion non adéquate de ce dernier, sont également en cause.

Les tourbières abritent nombre d'espèces boréo-montagnardes, telles la Canneberge à petits fruits (*Vaccinium oxycoccos*), le papillon nacré de la canneberge (*Boloria aquilonaris*) ou des libellules rares telles que l'aesche des joncs (*Aeshna juncea*) et la cordulie arctique (*Somatochlora arctica*). Ces espèces ont bénéficié des efforts de restauration de tourbières, notamment dans les Hautes Fagnes. Cependant, le changement climatique exerce une pression non négligeable sur ces espèces, et bien que la Haute Ardenne semble rester plus favorable, le risque augmente rapidement sur le territoire à mesure du réchauffement simulé. Si l'habitat des tourbières semblait peu à risque dans notre analyse d'habitats, un changement de composition en espèces pourrait s'opérer, le principal obstacle ici étant le manque de connectivité entre ces habitats pour permettre aux espèces actuellement présentes de migrer vers le nord et à d'autres espèces de coloniser nos tourbières depuis le sud.

Trois espèces liées aux milieux xériques thermophiles, ici les pelouses calcicoles, ont été étudiées. Il s'agit du flambé (*Iphiclides podalirius*, papillon vulnérable et en régression en Wallonie) et de deux plantes listées « vulnérables », l'ail à tête ronde (*Allium sphaerocephalon*) et la Globulaire allongée (*Globularia bisnagarica*). Ces trois espèces présentent un risque nul sur la quasi-totalité du territoire pour tous les scénarios. Il semble donc que les habitats de pelouses sèches et les espèces qui y sont liées soient les moins exposées au risque d'être impactées par le changement climatique, du moins si l'on se fie uniquement aux indicateurs climatiques considérés. En effet, les événements climatiques extrêmes, les effets indirects et les autres sources de dégradation de l'habitat affectant leur résilience ne sont ici pas considérés.

Les espèces liées aux milieux frais risquent donc de décliner à basse altitude et d'être reléguées aux zones de plus haute altitude comme les Hautes Fagnes, ou dans les vallées encaissées, voire de disparaître à plus long terme de Wallonie (Goffard et al. 2021). Plusieurs espèces boréo-alpines sont déjà éteintes ou en danger critique d'extinction en Wallonie, telles que le fadet des tourbières (*Coenonympha tullia*) ou le cuivré alpin (*Lycaena virgaureae*). De nombreuses espèces de bourdons voient également leur aire de répartition remonter fortement vers le nord, en plus d'effets directs liés à la chaleur (chocs thermiques, baisse de fertilité...) (Ghisbain et al., 2024). A l'inverse, d'autres espèces de provenance plus méridionale pourraient remonter et s'installer dans notre Région. Cela est déjà observé depuis les années 80, avec la remontée de libellules présentes autrefois uniquement au sud de la Loire, telles que le crocothémis écarlate (*Crocothemis erythraea*) ou l'agrion mignon (*Coenagrion scitulum*), ou encore des orthoptères comme criquet italien (*Calliptamus italicus*). Des papillons ont également déjà fait leur apparition chez nous, ou ont étendu leur aire de répartition depuis les zones les plus thermophiles, tels que la Grisette (*Carcharodus alceae*) ou le Nacré de la ronce (*Brenthis dephne*).

6. Conclusions et Perspectives

Les habitats naturels de Wallonie présentent des vulnérabilités différentes à la modification de leur niche climatique selon les scénarios de changement climatique bien qu'un risque général soit identifié pour les scénarios à +4°C. Les espèces présentent une vulnérabilité plus générale qui se marque pour les espèces des différents habitats examinées dès les scénarios CC +3°C, voire +2°C, à l'exception des espèces des milieux secs chauds (pelouses calcicoles).

A l'exception des forêts alluviales, les habitats forestiers montrent une vulnérabilité importante au risque de sortie de niche climatique. Sur base de l'analyse des niches climatiques, les principaux risques qui pèsent sur les habitats forestiers sont une modification des températures moyennes annuelles et du mois le plus chaud. Dans tous les cas, le risque est accentué dans les scénarios de changement climatique plus secs, indiquant une augmentation du risque lié au manque d'eau prononcé en été. Outre les effets directs de l'élévation des températures, l'émergence de pathogènes et ravageurs peut également être favorisée par l'augmentation des températures. Cette vulnérabilité est confirmée par la vulnérabilité identifiée des espèces forestières examinées aussi bien pour les espèces menacées que pour les espèces communes. **L'analyse indique que les zones de risques les plus importantes pour les habitats forestiers sont la zone géographique atlantique (hêtraie acidophile atlantique), ainsi que la zone de sols à régime hydrique alternatif sur les reliefs de Fagne-Famenne. A contrario, la zone de Haute Ardenne montre un risque moins important. L'analyse nuance les résultats de rapports précédents mettant l'accent sur la vulnérabilité des habitats forestiers en climat plus frais des régions d'Ardenne.**

Pour les habitats forestiers sur sols à régime hydrique favorable, les risques élevés de sortie de niche climatique ne signifient pas strictement une transformation en un autre type d'habitats non forestiers mais plus probablement des changements de structure (couvert, hauteur, ...) et de composition floristique. La faible superficie et connectivité écologique des massifs forestiers en bon état de conservation écologique accentue la vulnérabilité des espèces au changement de leur niche climatique et pourrait amener à terme à une diminution de la richesse en espèces déjà fortement dégradée. Pour les habitats forestiers sur sols à régime secs et/ou alternatifs, on ne peut pas exclure une évolution vers des formes d'habitats correspondant à des fourrés clairs, voire des habitats ouverts dans les scénarios climatiques les plus extrêmes.

La vulnérabilité des habitats forestiers à la modification de leur niche climatique, demande de recréer des ensembles écologiquement cohérent et connectés spatialement. **À ce titre, les zones associées aux liaisons écologiques forestières identifiées dans le CODT¹² constituent des zones d'intervention prioritaires.** La conservation de l'intégrité écologique des forêts anciennes et l'extension des réserves forestières intégrales est une priorité pour constituer les noyaux de biodiversité. Afin d'atténuer les effets de modifications des niches climatiques et renforcer la capacité d'adaptation des écosystèmes forestiers, appliquer une sylviculture à couvert continu permet de conserver le microclimat forestier et de réduire les effets néfastes des extrêmes climatiques. La diversification des peuplements en essences indigènes dans les zones soumises à l'exploitation forestière, en particulier avec des essences a priori plus résilientes telles que le chêne sessile et les essences indigènes plus thermophiles (tilleul, charme, ...), augmente la résilience de l'écosystème. Protéger au maximum les sols en évitant et limitant leur tassement lors de l'exploitation forestière est également crucial.

La vulnérabilité quasi généralisée des espèces examinées au changement de niche climatique démontre l'importance de la mise en place de réseaux écologiques fonctionnels et la nécessité d'amplifier les efforts de restauration des habitats naturels/semi-naturels ouverts pour rétablir les connectivités écologiques indispensables au déplacement des espèces. Les habitats naturels et semi-naturels ouverts et leurs espèces présentent des vulnérabilités variables au risque de sortie de niche climatique. **Les zones à risque les plus importantes sont les zones soutenant des habitats de climat frais et/ou sur sols**

¹² Site internet (03/2025) : <https://territoire.wallonie.be/fr/page/liaisons-ecologiques>

humides correspondant aux habitats tels que les tourbières et les prairies humides au sens large. Bien que les habitats de tourbières présentent un risque modéré de sortie de niche climatique en Wallonie, leurs espèces spécialisées présentent un risque élevé, tout comme les espèces des prairies humides. Il existe donc une probabilité importante de dégradation des habitats et d'appauvrissement de leur cortège en espèces. **Les zones de climat frais (plateau ardennais) et les fonds de vallées constituent des zones d'intervention prioritaires pour ces habitats. De faibles risques de sortie de niche écologiques sont identifiés pour les zones soutenant des habitats de sols secs et thermophiles, tels que les pelouses calcicoles.** Il faut toutefois garder à l'esprit que les espèces de ces habitats sont grandement menacées par l'extrême fragmentation de leur habitat. **La vallée mosane constitue une zone d'intervention prioritaire pour la restauration de ces habitats afin de rétablir le corridor écologique mosan, maillon essentiel de la connectivité écologique à l'échelle européenne.**

Les conclusions générales issues de l'analyse de l'évolution des niches climatiques des habitats et espèces doivent être examinées et interprétées en regard des limites de la méthode et des connaissances actuelles. Les résultats obtenus dépendent de la définition de l'habitat : certains habitats ont des définitions plus larges, avec des compositions en espèces pouvant fortement varier, et ils ressortiront ainsi moins vulnérables par rapport à d'autres habitats, définis par une composition en espèces plus stricte et limités à une aire de répartition réduite. Il est donc nécessaire de se référer aux interprétations plus précises données pour chaque type d'habitat.

Il est également important de souligner que ces analyses ont été faites en utilisant des valeurs moyennes, calculées sur plusieurs années, pour les indicateurs climatiques. Elles ne prennent donc pas en compte les valeurs extrêmes qui seraient atteintes lors d'années particulièrement chaudes, humides ou sèches, et qui pourraient amener à une augmentation significative de l'exposition au changement climatique. De plus, cela ne comprend pas les éventuels effets indirects – augmentation des cycles de reproduction de ravageurs, impacts physiologiques sur des espèces structurantes de l'écosystème... ou la capacité d'adaptation des espèces au changement climatique.

En effet, les espèces s'acclimatent ou s'adaptent aux changements climatiques par divers mécanismes. La plasticité phénotypique permet des ajustements individuels rapides, comme chez la mésange charbonnière (*Parus major*), qui modifie ses dates de ponte pour s'adapter à l'apparition précoce des chenilles, sa principale source de nourriture (Charmentier *et al.*, 2008). Une étude sur la chenille processionnaire du pin a également démontré que les populations sur le front d'expansion étaient phénotypiquement différentes des populations des zones de présence historiques, avec des femelles plus fertiles et présentant de plus grandes capacités de vol (Roques *et al.*, 2015). L'évolution génétique joue également un rôle crucial. La migration permet à certaines espèces de se déplacer vers des habitats plus propices, mais les changements climatiques sont en général trop rapides pour que les espèces puissent les suivre. Par exemple, si les températures moyennes se sont « déplacées » vers le nord d'environ 250 km sur les 20 dernières années en Europe, la composition des communautés d'oiseaux et de papillons ne s'est déplacée que de 37 km et 114 km respectivement. Il est cependant difficile de savoir si ce décalage vient d'une migration trop lente ou d'une flexibilité phénotypique (Fondation pour la recherche sur la biodiversité, 2015).

Afin de réaliser une analyse de risque plus poussée, un ensemble plus diversifié d'habitats devrait être analysé individuellement, en combinaison avec l'analyse d'un ensemble d'espèces structurantes et caractéristiques de chaque habitat. Le risque climatique doit être combiné avec les risques émanant d'autres pressions existantes : la fragmentation de l'habitat, les événements climatiques aux stades-clés du cycle de vie des espèces... Nos analyses peuvent ainsi servir de base à de futures analyses de risque plus détaillées. Aussi, étudier les communautés plutôt que des espèces isolées serait pertinent car les interactions entre espèces (prédation, mutualisme, etc.) influencent fortement la dynamique des écosystèmes. Cette approche systémique offre une compréhension plus complète et favorise des stratégies de conservation intégrées et robustes face aux défis environnementaux.

7. Annexes

7.1. Références

Bourdouxhe, A. et al. (2023) 'Modeling potential natural vegetation: A new light on an old concept to guide nature conservation in fragmented and degraded landscapes', *Ecological Modelling*, 481. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110382>.

Charmantier A., McCleery R.H., Cole, L.R., Perrins C., Kruuk L.E.B., Sheldon B.C. (2008) Adaptive phenotypic plasticity in response to climate change in a wild bird population. *Science*, 320, 800–803.

Comer, P.J. et al. (2019) 'Habitat Climate Change Vulnerability Index Applied to Major Vegetation Types of the Western Interior United States', *Land*, 8(7), p. 108. Available at: <https://doi.org/10.3390/land8070108>.

Cubelier, P., Harchies, M., Claessens, H. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de risque pour la forêt face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Diagnostic environnemental de la Wallonie (2024). SPW ARNE - DEMNA - DEE. Available at: <http://etat.environnement.wallonie.be/files/Diagnostic/accueil/Diagnostic-environnemental-Wallonie-2024.pdf> (Accessed: 11 December 2024).

Esperon-Rodriguez, M. et al. (2022) 'Climate change increases global risk to urban forests', *Nature Climate Change*, 12(10), pp. 950–955. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01465-8>.

Fondation pour la recherche sur la biodiversité (2015), Réponses et adaptations aux changements globaux : quels enjeux pour la recherche sur la biodiversité ? Prospective de recherche. Série FRB, Réflexions stratégiques et prospectives. Ed. Ophélie Ronce et Flora Pelegrin, 74 pp.

Goffard, P. et al. (2021) 'Premiers effets du changement climatique constatés sur les insectes en Wallonie', *Carnet des Espaces Naturels*, 10, p.20-21.

Ghisbain, G. et al. (2024) 'Projected decline in European bumblebee populations in the twenty-first century', *Nature*, 628(8007), pp. 337–341. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06471-0>

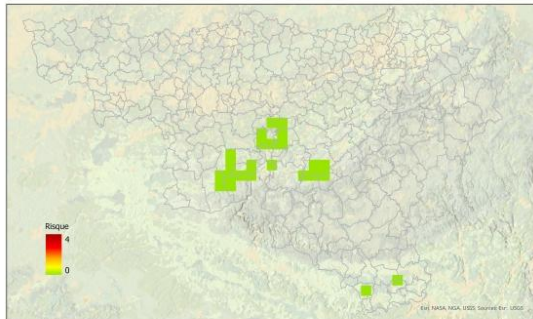
Harchies M., Boeraeve F., Bourdouxhe A. et Dufrêne M. (2018). Etat des lieux dans le cadre de l'étude visant à définir les intérêts, les potentialités et la faisabilité de produire une identification, description et cartographie du réseau écologique, identification de la méthodologie et application sur un/plusieurs sites pilotes. ICEDD & ULg. 74p. Available at: <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/298137/1/ResEco%202018%20Etat%20des%20lieux.pdf>

Lamarque P, Tondeur A, Marbaix P, Gaino B, Van Ypersele J-P (2022) L'adaptation aux changements climatiques en Wallonie : synthèse et points d'attention pour l'actualisation des connaissances. Available from: www.plateforme-wallonne-giec.be (December 20, 2024).

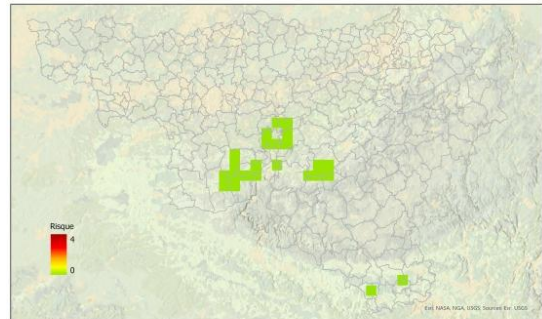
Roques A., Rousselet J., Avci M., Avtzis D.N., Al E. (2015) Climate warming and past and present distribution of the processionary moths (*Thaumetopoea* spp.) in Europe, Asia Minor and North Africa. In A. Roques (Ed.), *Processionary Moths and Climate Change: An Update*. (pp. 81–162). Springer Quae.

7.2. Cartes espèces

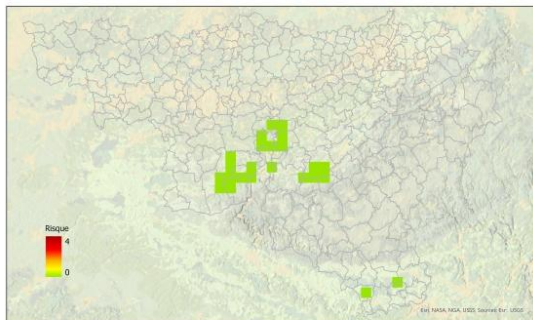
Globularia bisnagarica - Globulaire commune
+ 2°C, modèle CMCC



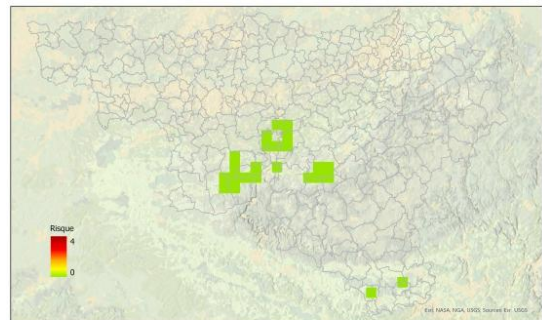
Globularia bisnagarica - Globulaire commune
+ 2°C, moyenne des modèles



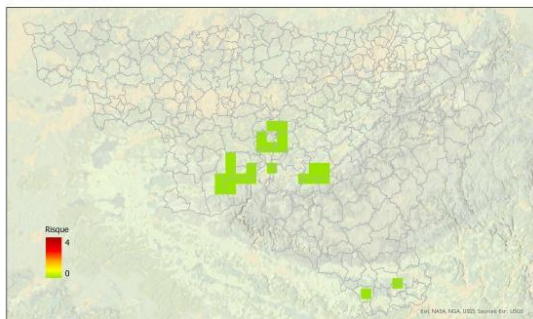
Globularia bisnagarica - Globulaire commune
+ 3°C, modèle CMCC



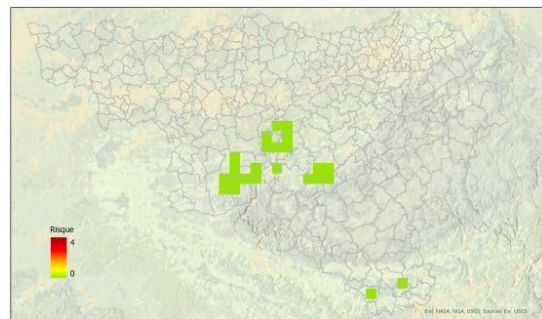
Globularia bisnagarica - Globulaire commune
+ 3°C, moyenne des modèles



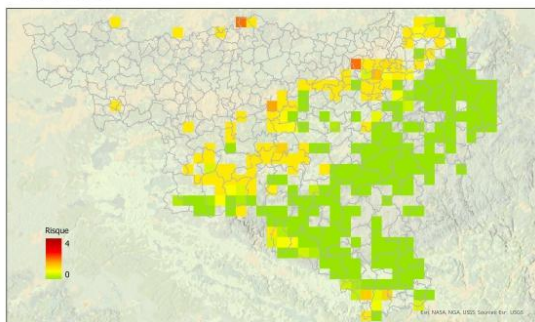
Globularia bisnagarica - Globulaire commune
+ 4°C, modèle CMCC



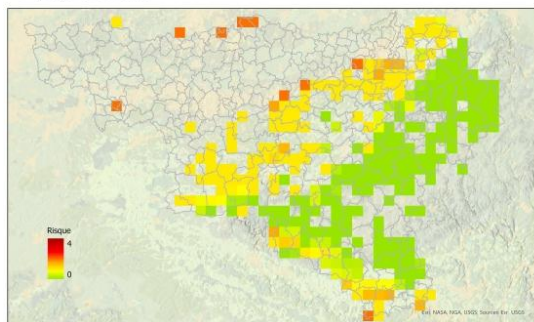
Globularia bisnagarica - Globulaire commune
+ 4°C, moyenne des modèles



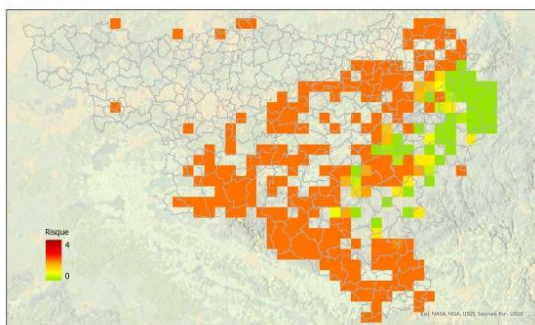
Luzula luzuloides - Luzule blanchâtre
+ 2°C, modèle CMCC



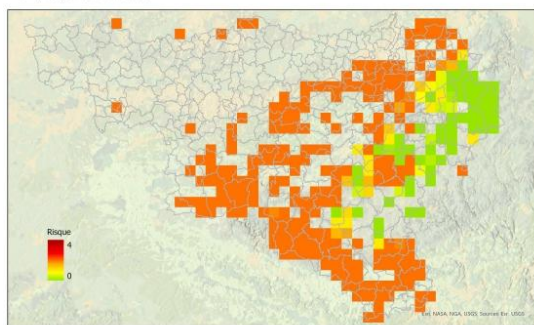
Luzula luzuloides - Luzule blanchâtre
+ 2°C, moyenne des modèles



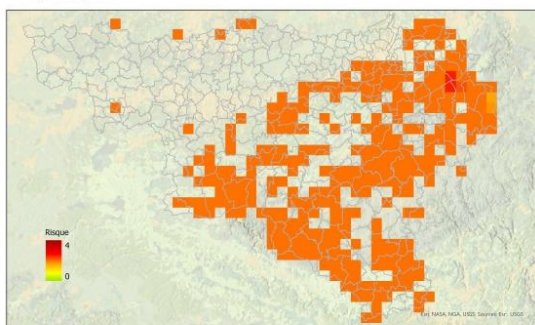
Luzula luzuloides - Luzule blanchâtre
+ 3°C, modèle CMCC



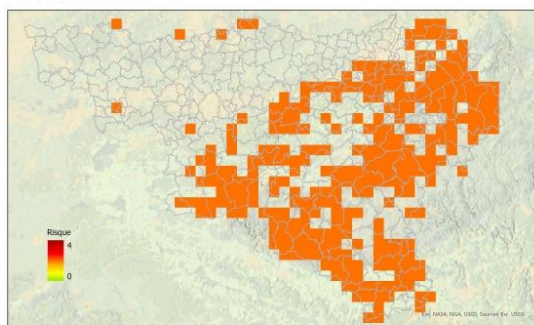
Luzula luzuloides - Luzule blanchâtre
+ 3°C, moyenne des modèles



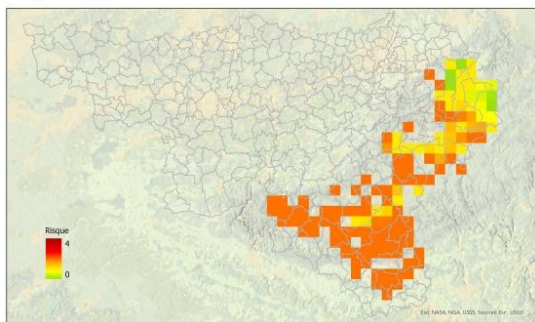
Luzula luzuloides - Luzule blanchâtre
+ 4°C, modèle CMCC



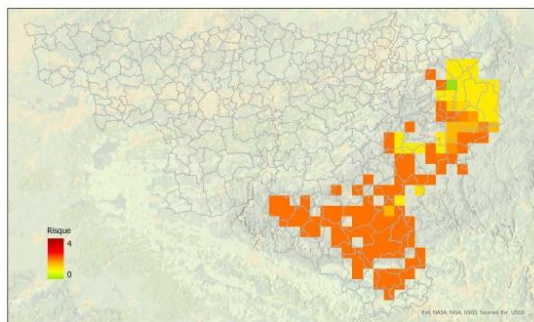
Luzula luzuloides - Luzule blanchâtre
+ 4°C, moyenne des modèles



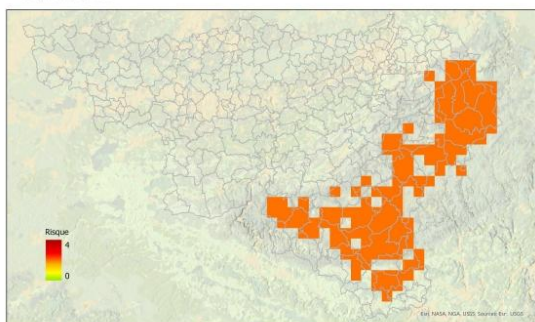
Lycaena helle - Cuivré de la bistorte
+ 2°C, modèle CMCC



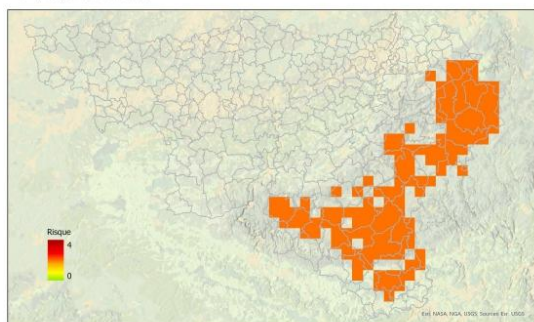
Lycaena helle - Cuivré de la bistorte
+ 2°C, moyenne des modèles



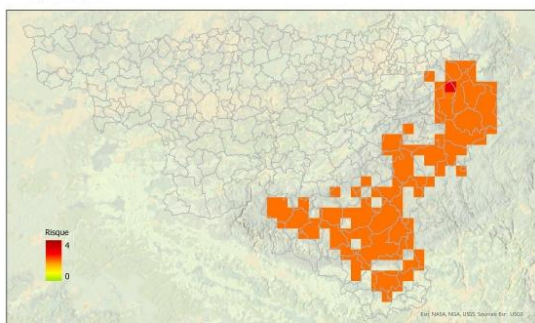
Lycaena helle - Cuivré de la bistorte
+ 3°C, modèle CMCC



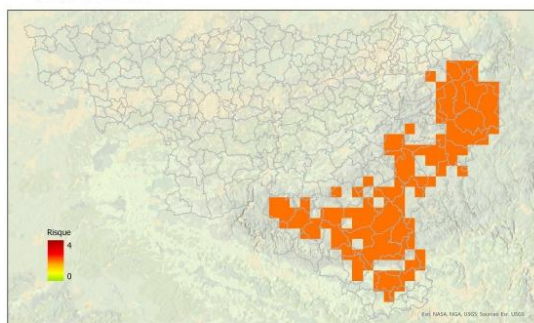
Lycaena helle - Cuivré de la bistorte
+ 3°C, moyenne des modèles



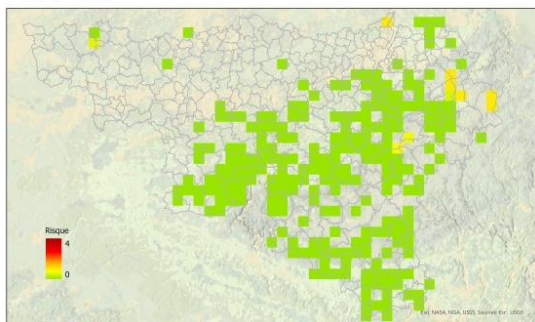
Lycaena helle - Cuivré de la bistorte
+ 4°C, modèle CMCC



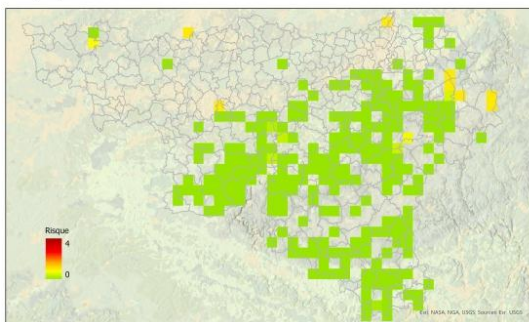
Lycaena helle - Cuivré de la bistorte
+ 4°C, moyenne des modèles



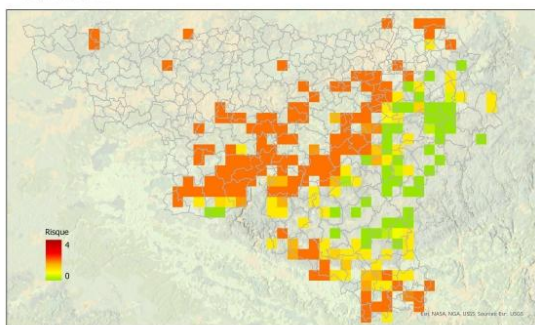
Muscardinus avellanarius - Muscardin
+ 2°C, modèle CMCC



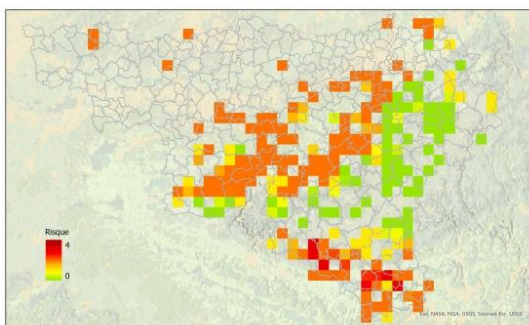
Muscardinus avellanarius - Muscardin
+ 2°C, moyenne des modèles



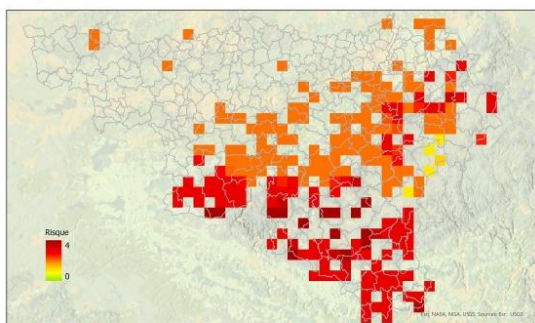
Muscardinus avellanarius - Muscardin
+ 3°C, modèle CMCC



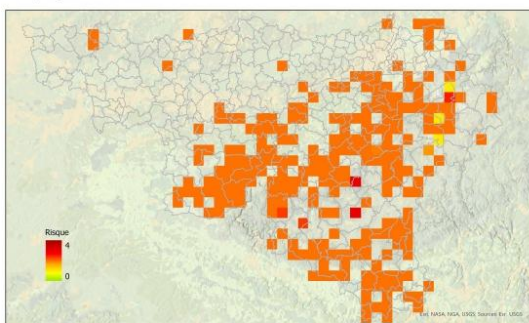
Muscardinus avellanarius - Muscardin
+ 3°C, moyenne des modèles



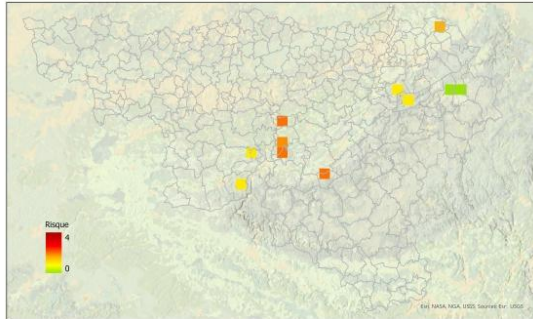
Muscardinus avellanarius - Muscardin
+ 4°C, modèle CMCC



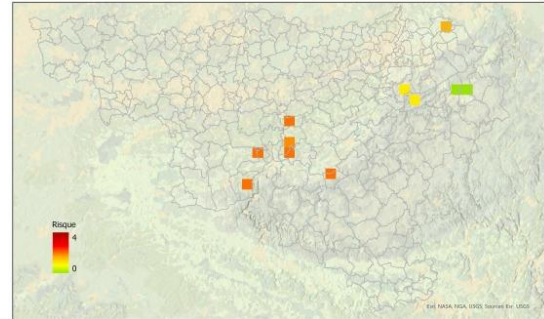
Muscardinus avellanarius - Muscardin
+ 4°C, moyenne des modèles



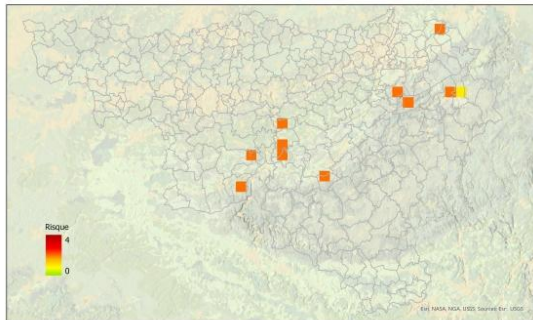
Aconitum lycoctonum - Aconit tue-loup
+ 2°C, modèle CMCC



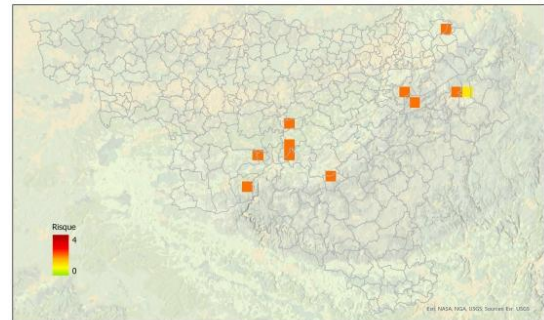
Aconitum lycoctonum - Aconit tue-loup
+ 2°C, moyenne des modèles



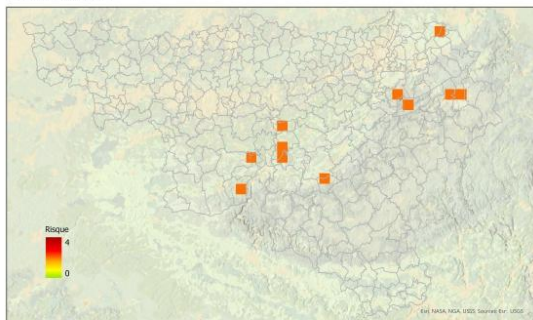
Aconitum lycoctonum - Aconit tue-loup
+ 3°C, modèle CMCC



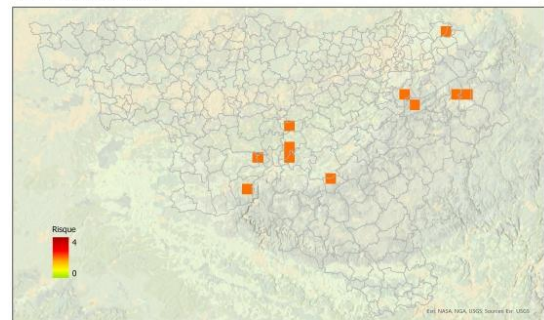
Aconitum lycoctonum - Aconit tue-loup
+ 3°C, moyenne des modèles



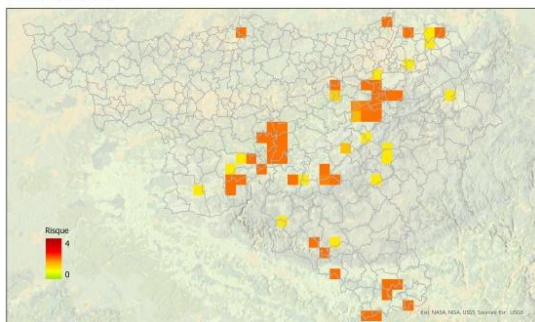
Aconitum lycoctonum - Aconit tue-loup
+ 4°C, modèle CMCC



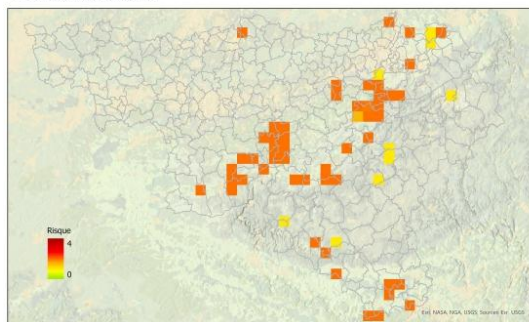
Aconitum lycoctonum - Aconit tue-loup
+ 4°C, moyenne des modèles



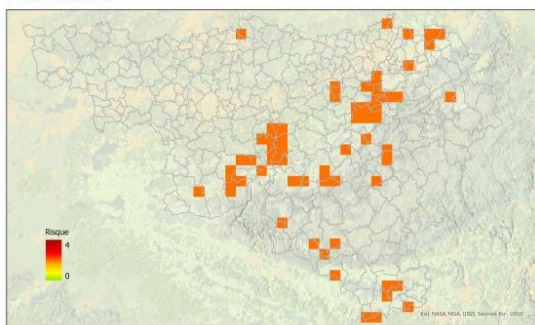
Actaea spicata - Actée en épi
+ 2°C, modèle CMCC



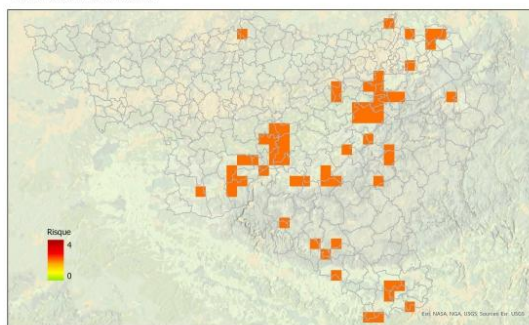
Actaea spicata - Actée en épi
+ 2°C, moyenne des modèles



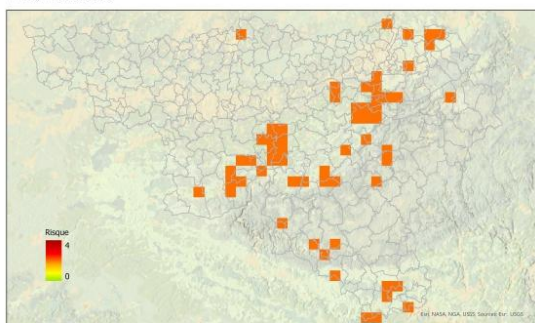
Actaea spicata - Actée en épi
+ 3°C, modèle CMCC



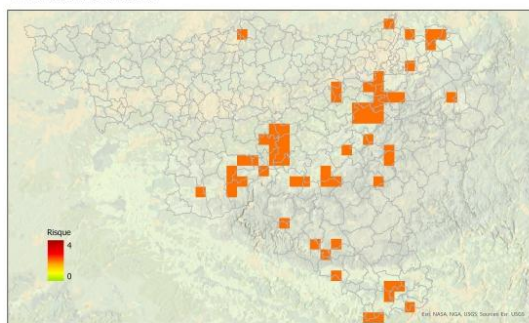
Actaea spicata - Actée en épi
+ 3°C, moyenne des modèles



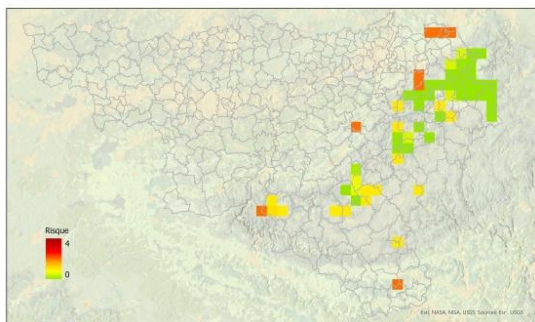
Actaea spicata - Actée en épi
+ 4°C, modèle CMCC



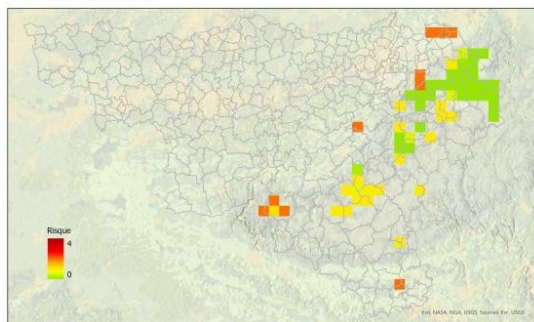
Actaea spicata - Actée en épi
+ 4°C, moyenne des modèles



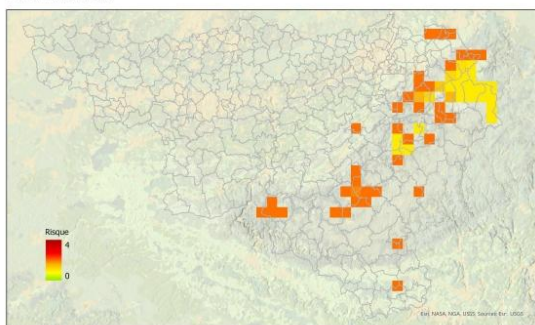
Aeshna juncea - Aesche des joncs
+ 2°C, modèle CMCC



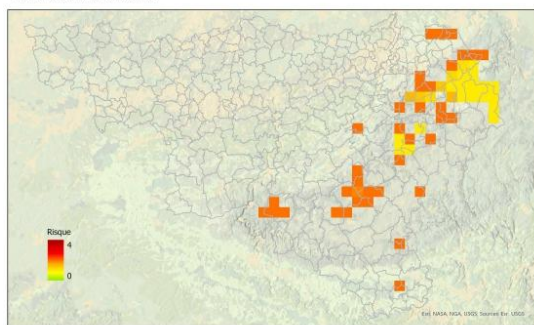
Aeshna juncea - Aesche des joncs
+ 2°C, moyenne des modèles



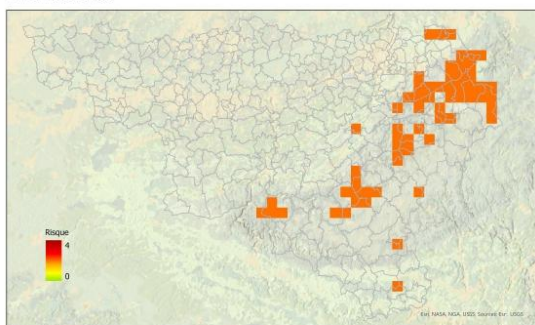
Aeshna juncea - Aesche des joncs
+ 3°C, modèle CMCC



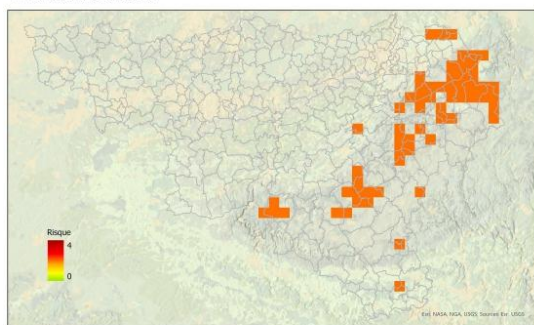
Aeshna juncea - Aesche des joncs
+ 3°C, moyenne des modèles



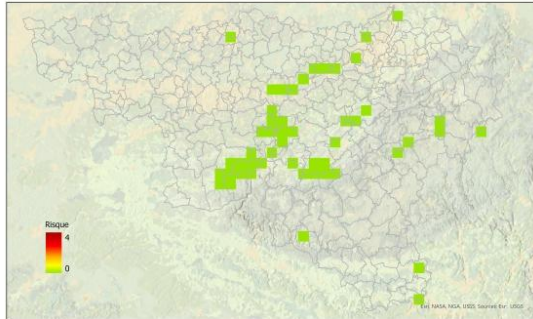
Aeshna juncea - Aesche des joncs
+ 4°C, modèle CMCC



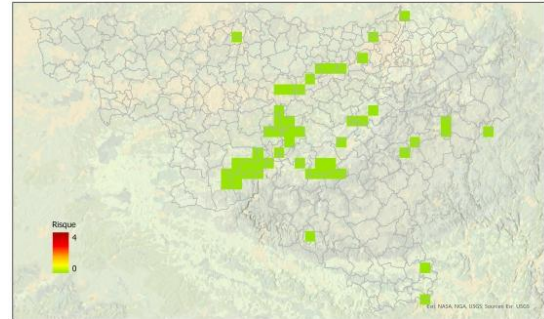
Aeshna juncea - Aesche des joncs
+ 4°C, moyenne des modèles



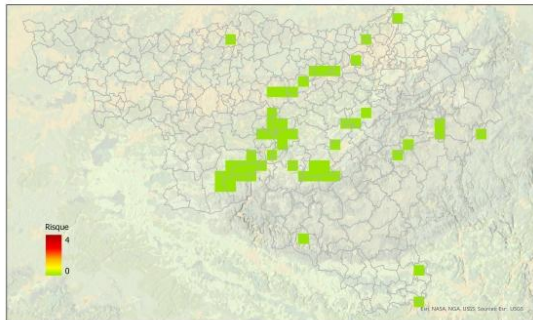
Allium sphaerocephalon - Ail à tête ronde
+ 2°C, modèle CMCC



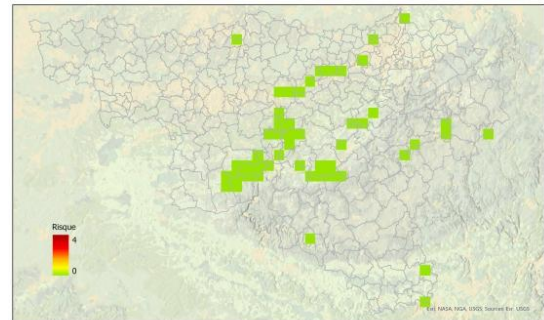
Allium sphaerocephalon - Ail à tête ronde
+ 2°C, moyenne des modèles



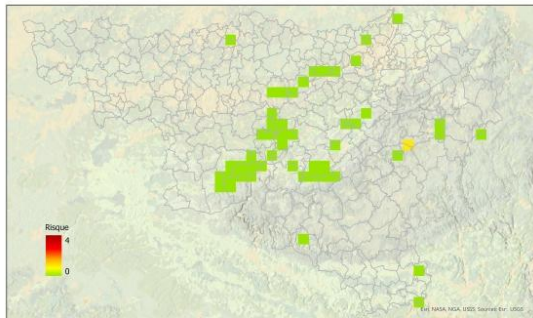
Allium sphaerocephalon - Ail à tête ronde
+ 3°C, modèle CMCC



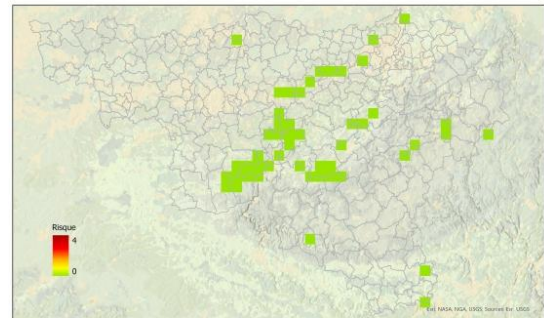
Allium sphaerocephalon - Ail à tête ronde
+ 3°C, moyenne des modèles



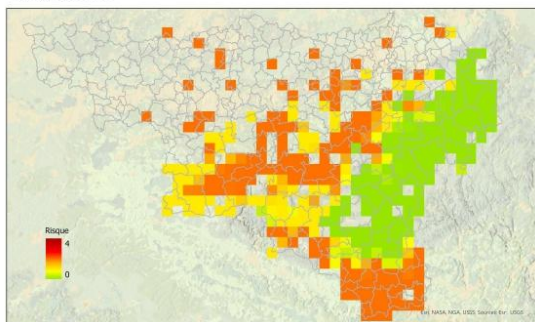
Allium sphaerocephalon - Ail à tête ronde
+ 4°C, modèle CMCC



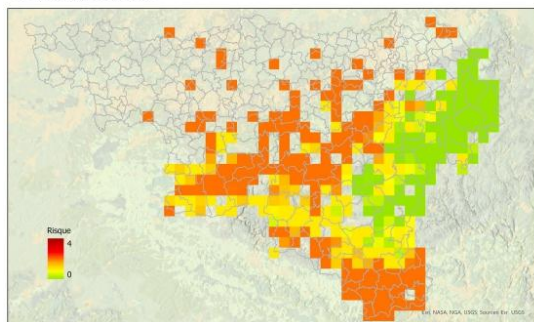
Allium sphaerocephalon - Ail à tête ronde
+ 4°C, moyenne des modèles



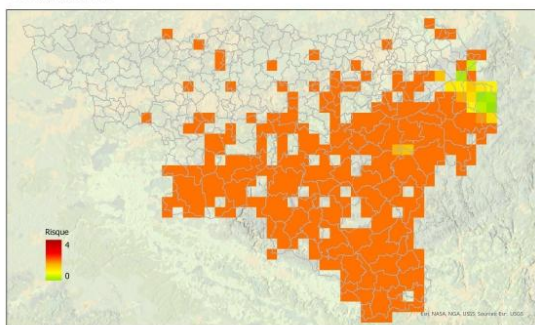
Brenthis ino - Grande violette
+ 2°C, modèle CMCC



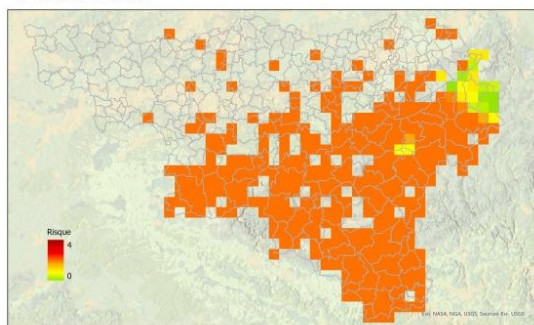
Brenthis ino - Grande violette
+ 2°C, moyenne des modèles



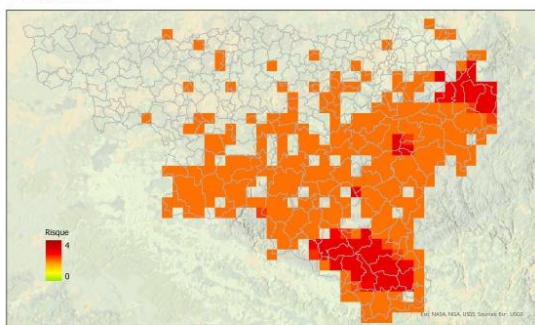
Brenthis ino - Grande violette
+ 3°C, modèle CMCC



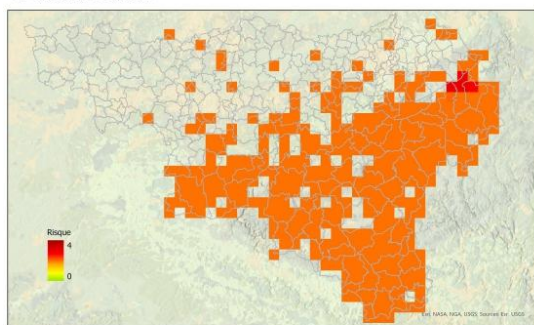
Brenthis ino - Grande violette
+ 3°C, moyenne des modèles



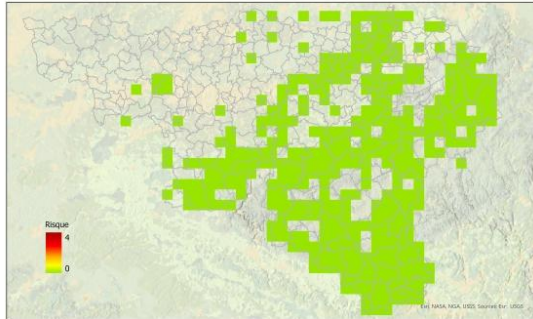
Brenthis ino - Grande violette
+ 4°C, modèle CMCC



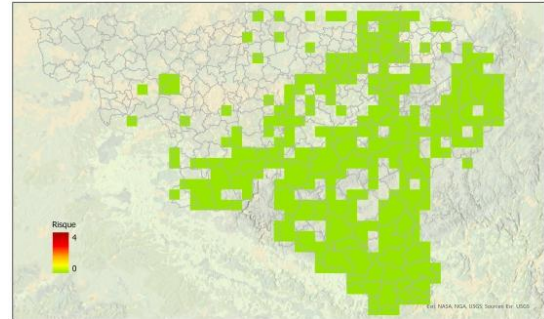
Brenthis ino - Grande violette
+ 4°C, moyenne des modèles



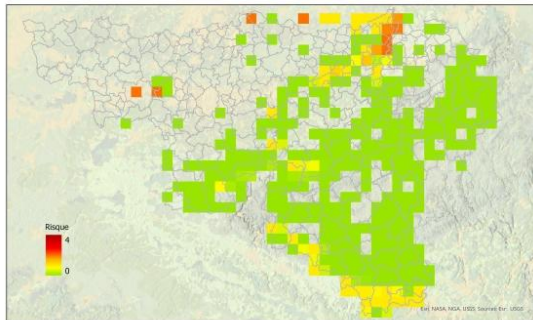
Cyaniris semiargus - Demi-Argus
+ 2°C, modèle CMCC



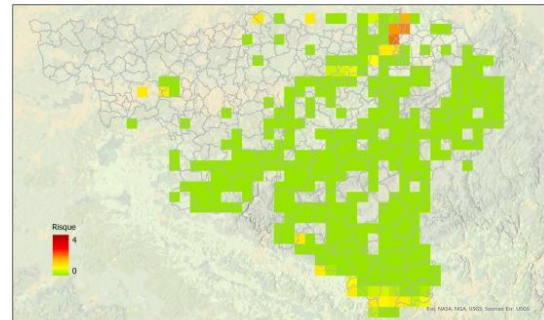
Cyaniris semiargus - Demi-Argus
+ 2°C, moyenne des modèles



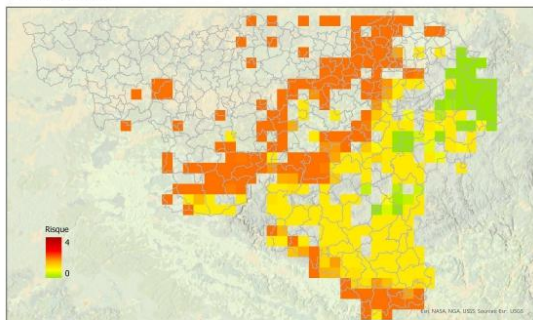
Cyaniris semiargus - Demi-Argus
+ 3°C, modèle CMCC



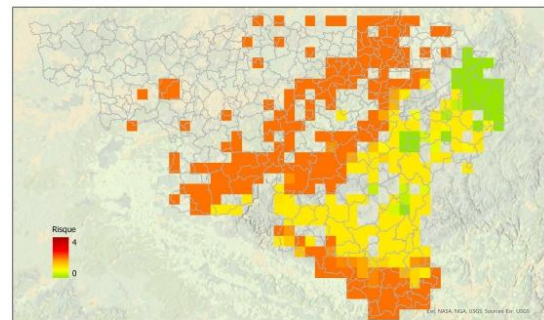
Cyaniris semiargus - Demi-Argus
+ 3°C, moyenne des modèles



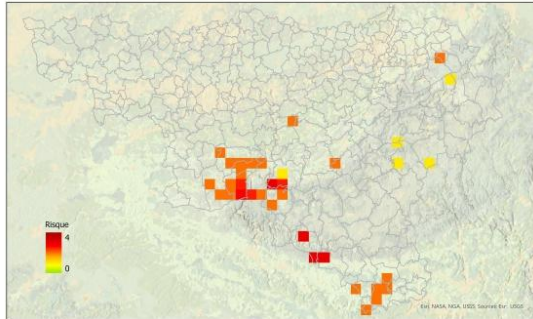
Cyaniris semiargus - Demi-Argus
+ 4°C, modèle CMCC



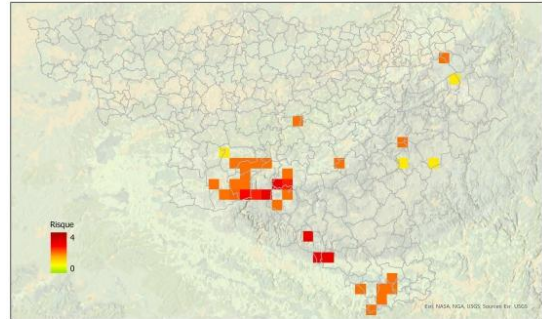
Cyaniris semiargus - Demi-Argus
+ 4°C, moyenne des modèles



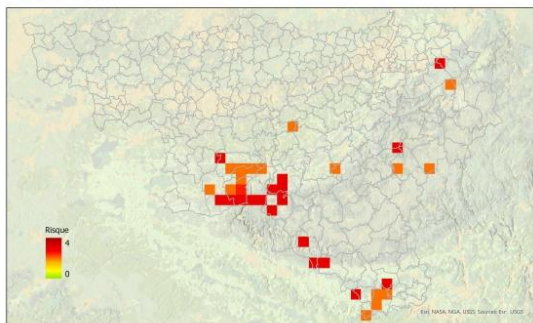
Limenitis populi - Grand sylvain
+ 2°C, modèle CMCC



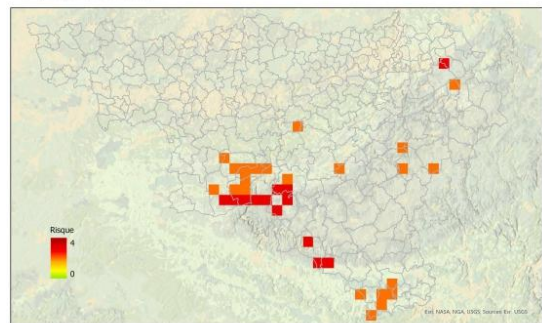
Limenitis populi - Grand sylvain
+ 2°C, moyenne des modèles



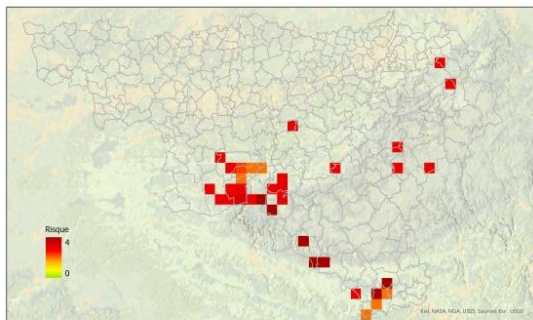
Limenitis populi - Grand sylvain
+ 3°C, modèle CMCC



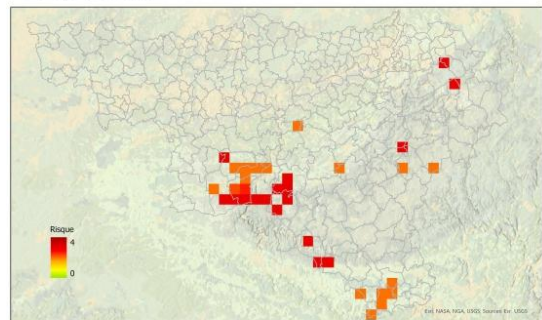
Limenitis populi - Grand sylvain
+ 3°C, moyenne des modèles



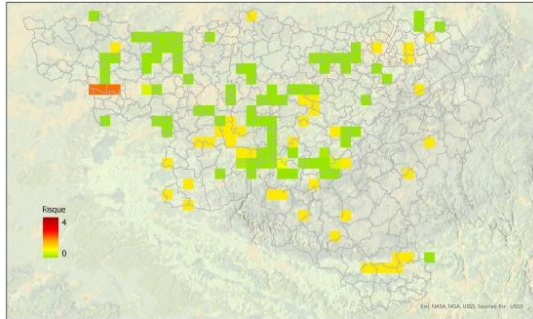
Limenitis populi - Grand sylvain
+ 4°C, modèle CMCC



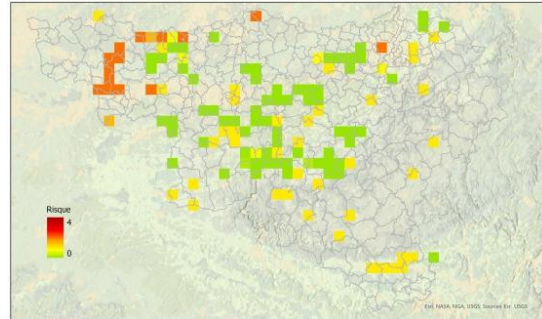
Limenitis populi - Grand sylvain
+ 4°C, moyenne des modèles



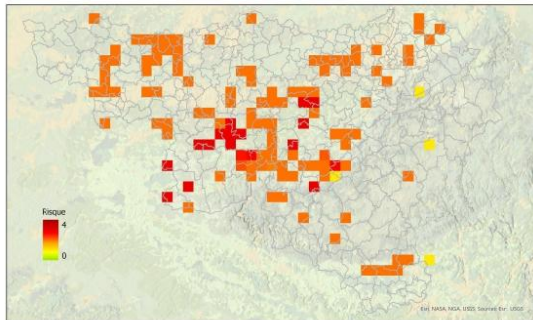
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 2°C, modèle CMCC



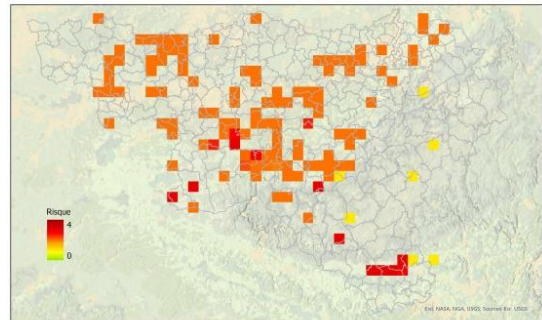
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 2°C, moyenne des modèles



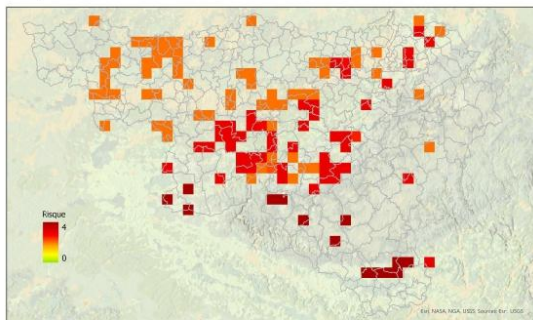
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 3°C, modèle CMCC



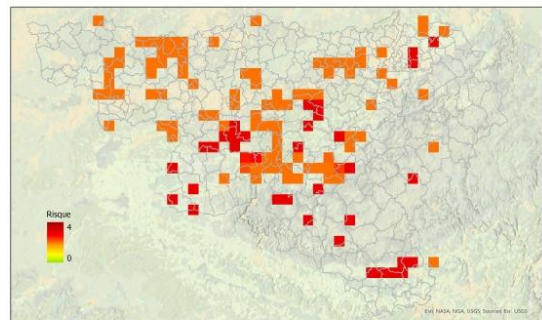
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 3°C, moyenne des modèles



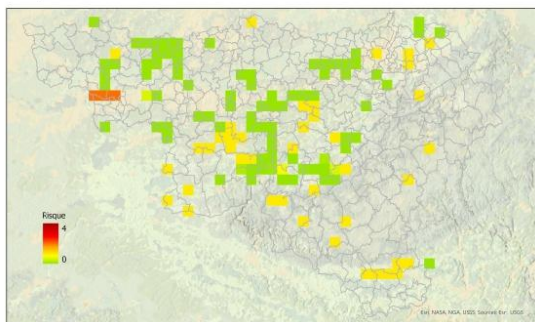
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 4°C, modèle CMCC



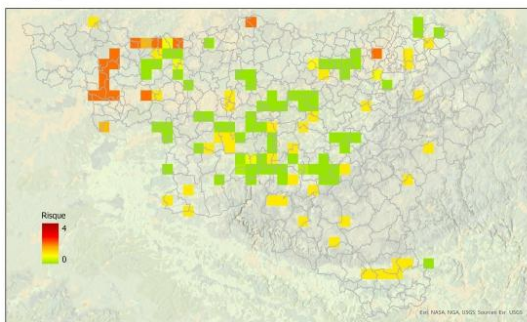
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 4°C, moyenne des modèles



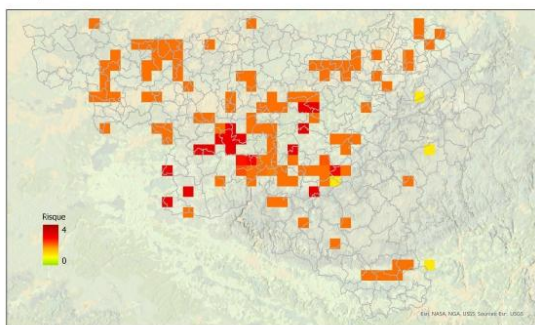
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 2°C, modèle CMCC



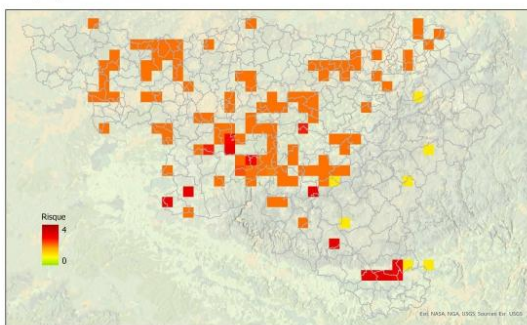
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 2°C, moyenne des modèles



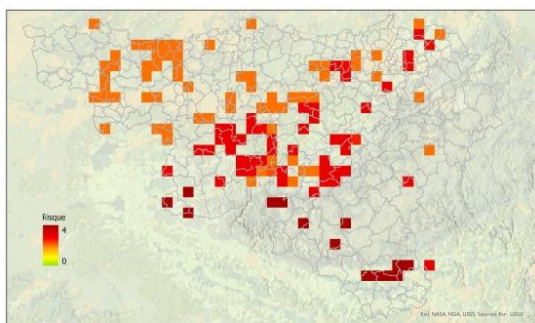
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 3°C, modèle CMCC



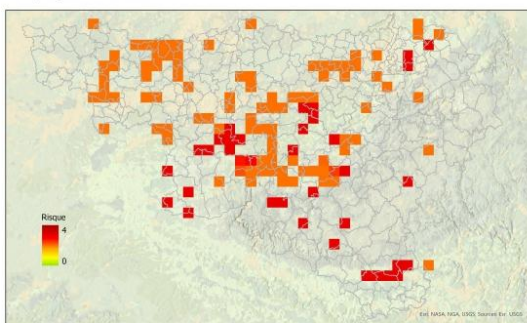
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 3°C, moyenne des modèles



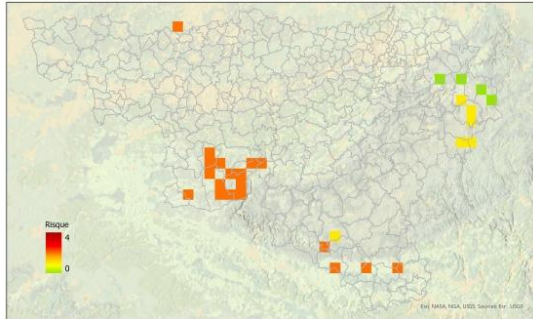
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 4°C, modèle CMCC



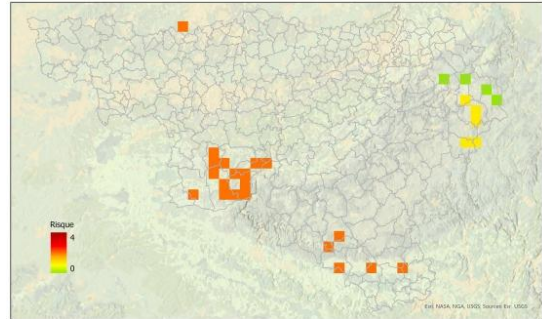
Triturus cristatus - Triton crêté
+ 4°C, moyenne des modèles



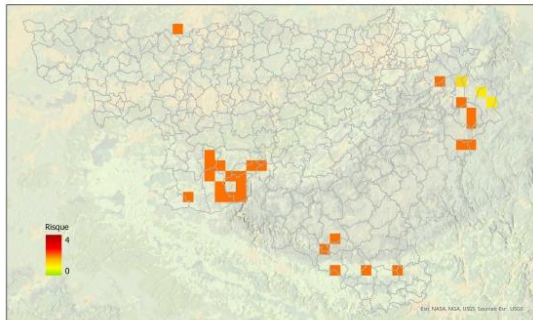
Alchemilla filicaulis - Alchemille velue
+ 2°C, modèle CMCC



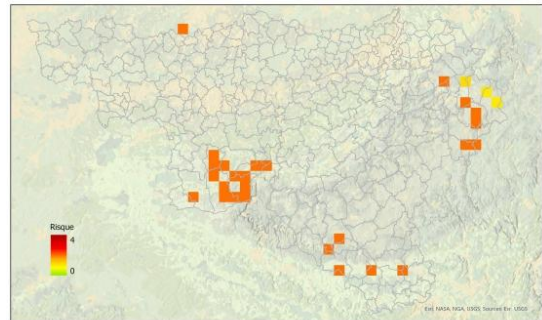
Alchemilla filicaulis - Alchemille velue
+ 2°C, moyenne des modèles



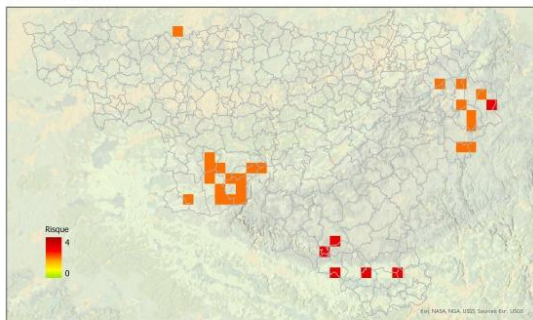
Alchemilla filicaulis - Alchemille velue
+ 3°C, modèle CMCC



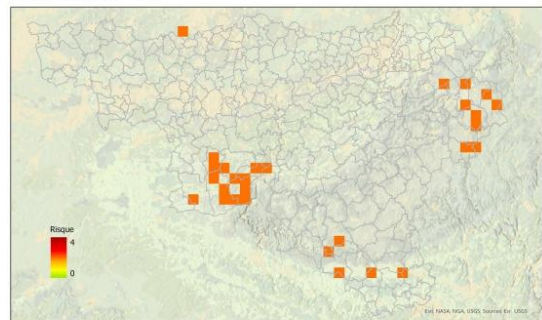
Alchemilla filicaulis - Alchemille velue
+ 3°C, moyenne des modèles



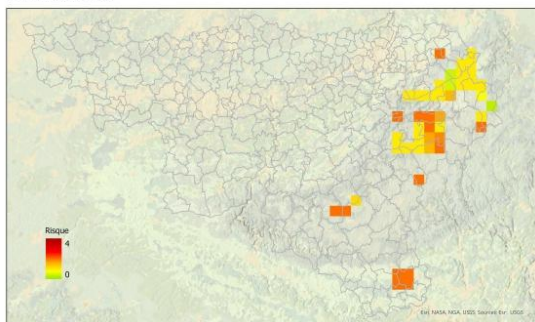
Alchemilla filicaulis - Alchemille velue
+ 4°C, modèle CMCC



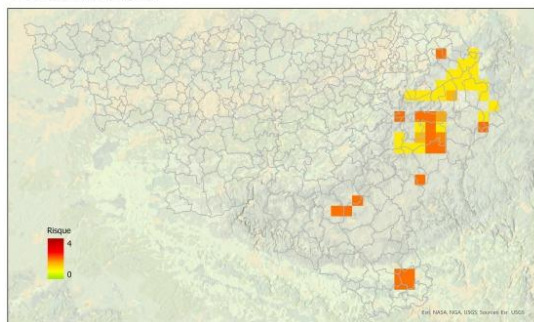
Alchemilla filicaulis - Alchemille velue
+ 4°C, moyenne des modèles



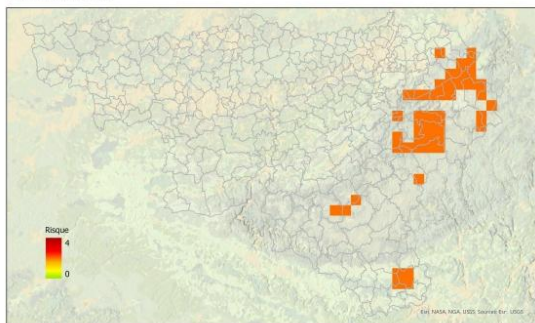
Boloria aquilonaris - Nacré de la canneberge
+ 2°C, modèle CMCC



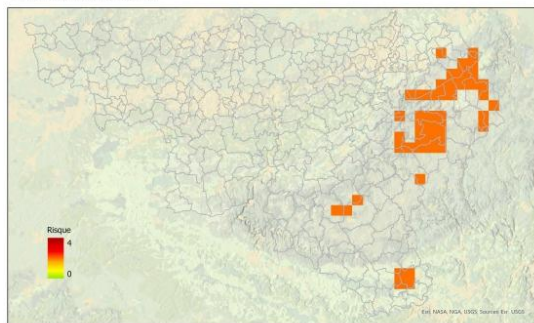
Boloria aquilonaris - Nacré de la canneberge
+ 2°C, moyenne des modèles



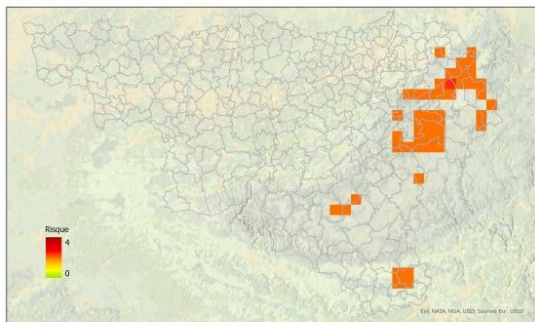
Boloria aquilonaris - Nacré de la canneberge
+ 3°C, modèle CMCC



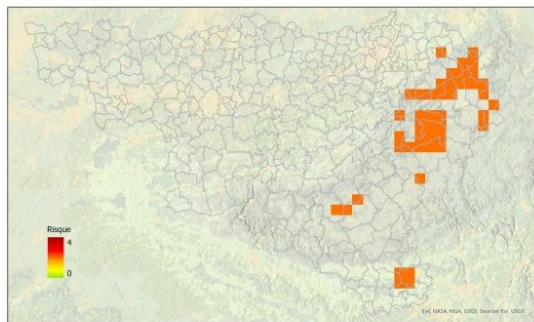
Boloria aquilonaris - Nacré de la canneberge
+ 3°C, moyenne des modèles



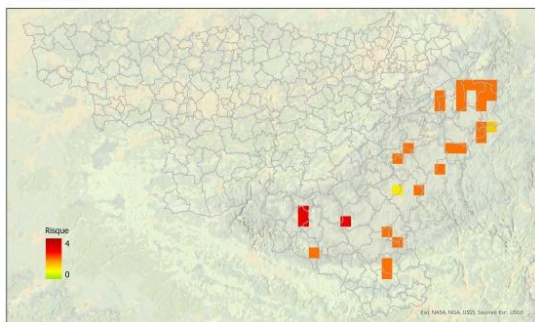
Boloria aquilonaris - Nacré de la canneberge
+ 4°C, modèle CMCC



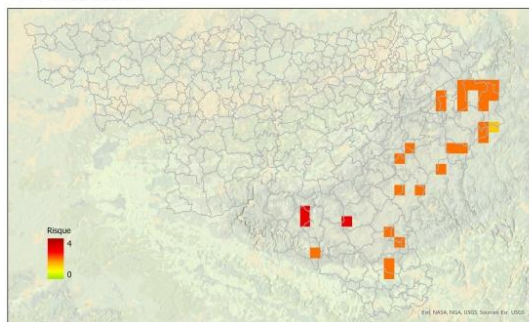
Boloria aquilonaris - Nacré de la canneberge
+ 4°C, moyenne des modèles



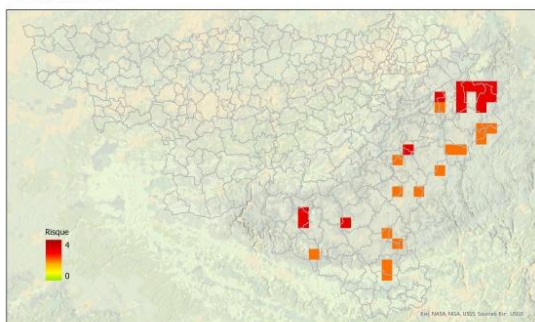
Boloria eunomia - Nacré de la bistorte
+ 2°C, modèle CMCC



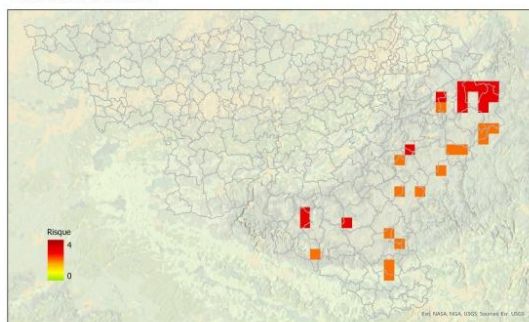
Boloria eunomia - Nacré de la bistorte
+ 2°C, moyenne des modèles



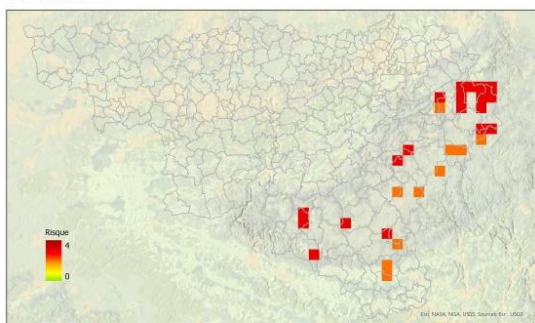
Boloria eunomia - Nacré de la bistorte
+ 3°C, modèle CMCC



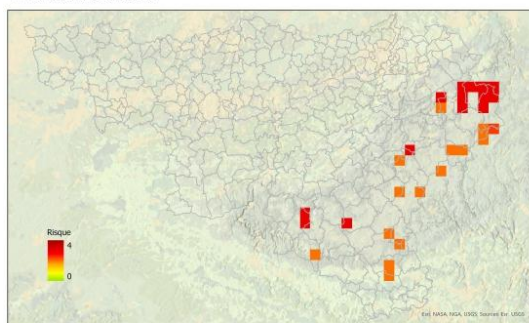
Boloria eunomia - Nacré de la bistorte
+ 3°C, moyenne des modèles



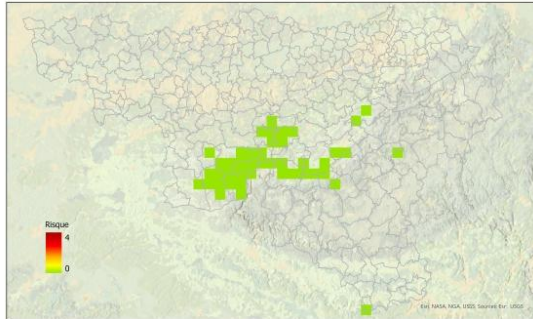
Boloria eunomia - Nacré de la bistorte
+ 4°C, modèle CMCC



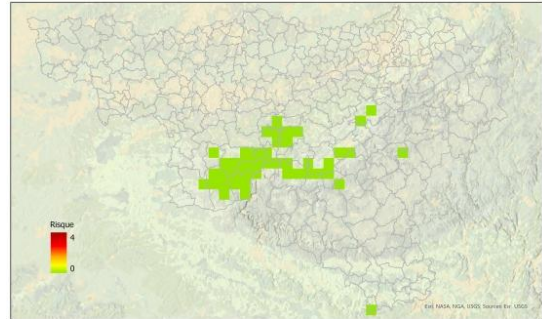
Boloria eunomia - Nacré de la bistorte
+ 4°C, moyenne des modèles



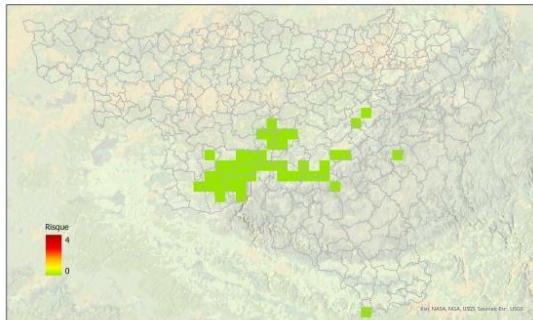
Iphiclidés podalirius - Flambé
+ 2°C, modèle CMCC



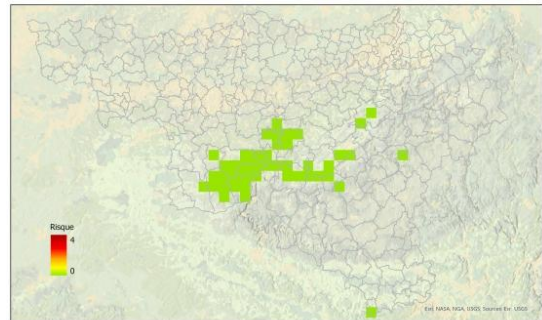
Iphiclidés podalirius - Flambé
+ 2°C, moyenne des modèles



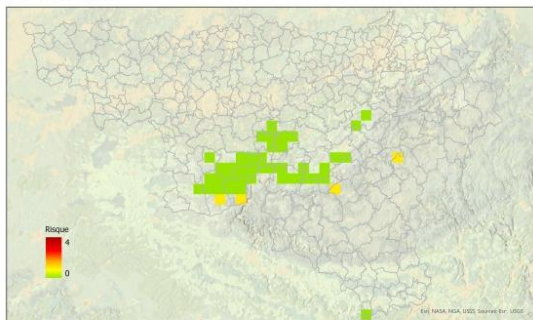
Iphiclidés podalirius - Flambé
+ 3°C, modèle CMCC



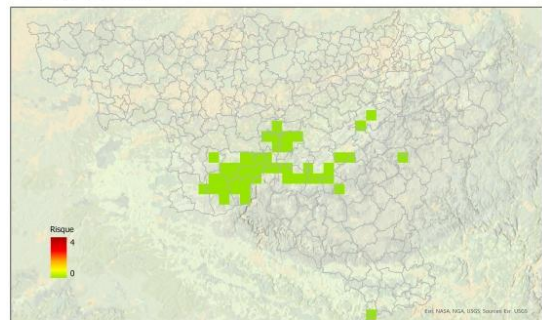
Iphiclidés podalirius - Flambé
+ 3°C, moyenne des modèles



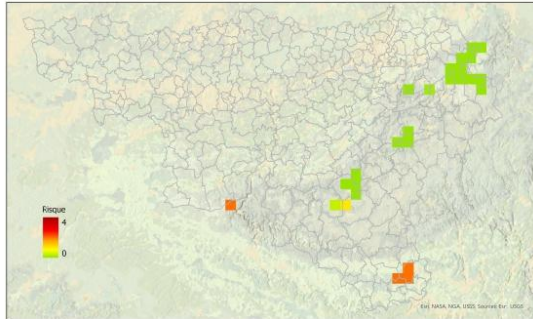
Iphiclidés podalirius - Flambé
+ 4°C, modèle CMCC



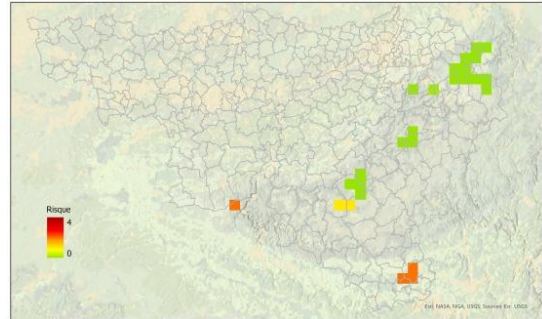
Iphiclidés podalirius - Flambé
+ 4°C, moyenne des modèles



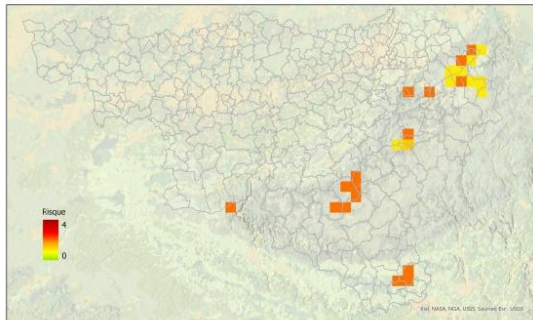
Somatochlora arctica - Cordulie arctique
+ 2°C, modèle CMCC



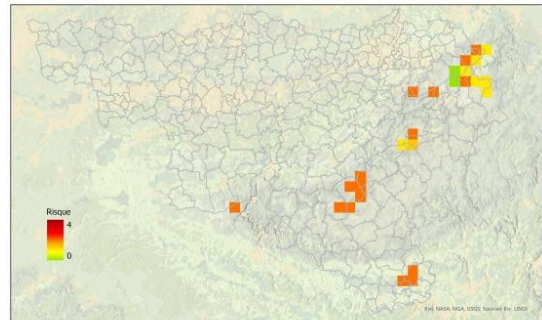
Somatochlora arctica - Cordulie arctique
+ 2°C, moyenne des modèles



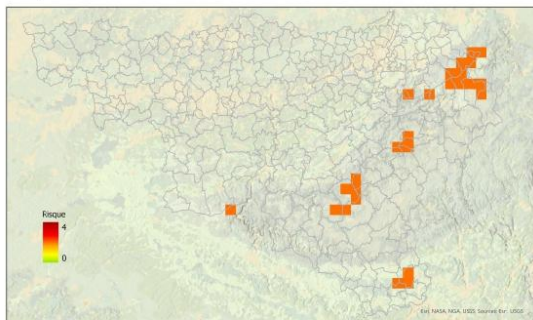
Somatochlora arctica - Cordulie arctique
+ 3°C, modèle CMCC



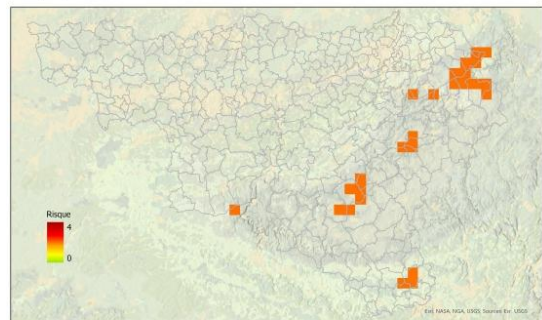
Somatochlora arctica - Cordulie arctique
+ 3°C, moyenne des modèles



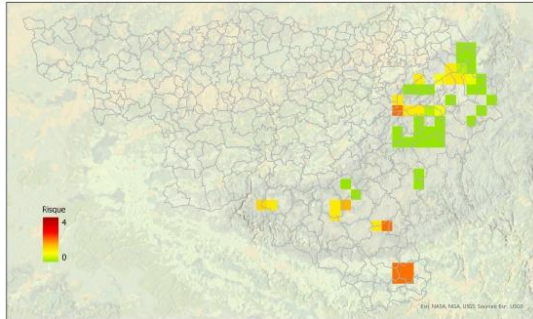
Somatochlora arctica - Cordulie arctique
+ 4°C, modèle CMCC



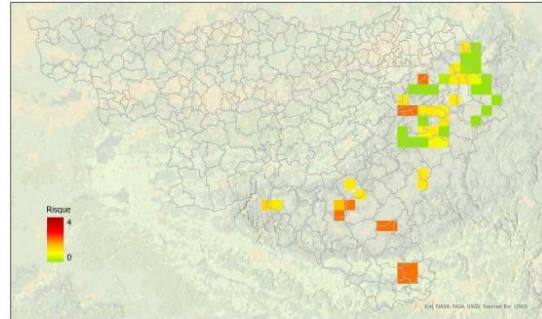
Somatochlora arctica - Cordulie arctique
+ 4°C, moyenne des modèles



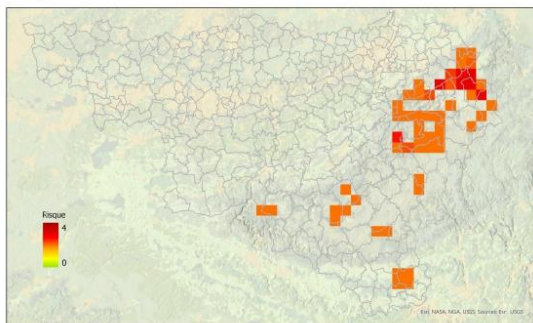
Vaccinium oxycoccos - Canneberge à petits fruits
+ 2°C, modèle CMCC



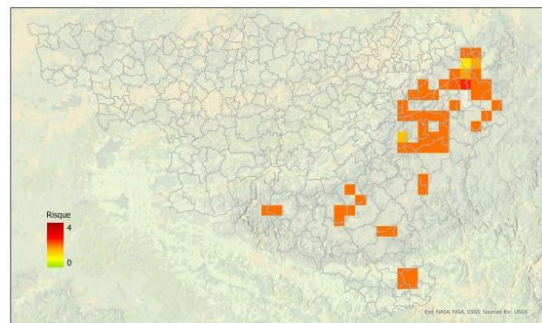
Vaccinium oxycoccos - Canneberge à petits fruits
+ 2°C, moyenne des modèles



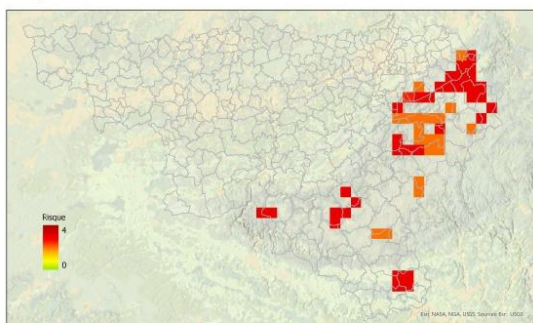
Vaccinium oxycoccos - Canneberge à petits fruits
+ 3°C, modèle CMCC



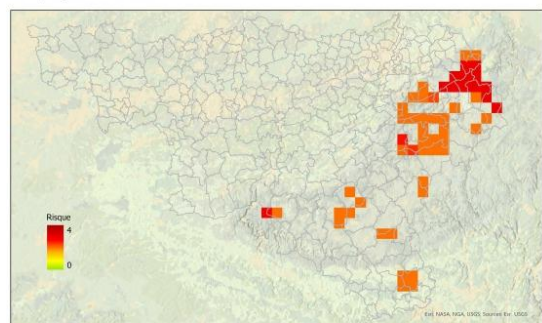
Vaccinium oxycoccos - Canneberge à petits fruits
+ 3°C, moyenne des modèles



Vaccinium oxycoccos - Canneberge à petits fruits
+ 4°C, modèle CMCC



Vaccinium oxycoccos - Canneberge à petits fruits
+ 4°C, moyenne des modèles





Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable asbl

Boulevard Frère Orban 4
B-5000 NAMUR
00 32 81 25 04 80
www.icedd.be
icedd@icedd.be

N° registre de commerce : sans objet
N° TVA : BE0407.573.214
Représenté par : Gauthier Keutgen, Secrétaire Général
N° de compte bancaire : BE59 5230 4208 3426 / BIC TRIOBEBB