



LA FLORE MENACÉE PAR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN NOUVELLE-Aquitaine

Première liste des espèces identifiées selon la projection de l'évolution des aires climatiques au cours du XXI^e siècle

les sentinelles du climat



LA FLORE MENACEE PAR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN NOUVELLE-AQUITAINE

Première liste des espèces identifiées selon la projection
de l'évolution des aires climatiques au cours du XXI^e siècle

RÉDACTION et ANALYSES

DAVID Rémi et ROMEYER Kévin (CBN Sud-Atlantique)

CONTRIBUTIONS et ÉVALUATIONS

CHAMMARD Emilie (CBN Massif central), OLICARD Ludovic, VIDEAU Antonin (CBN Pyrénées et Midi-Pyrénées), BONIFAIT Sylvain, FY Frédéric et LEBLOND Nicolas (CBN Sud-Atlantique)

DIRECTION SCIENTIFIQUE

CAZE Grégory

RELECTURE

PONTAGNIER Cécile, LORIOT Sandrine.

Remerciements

Nous tenons à remercier la Région Nouvelle-Aquitaine, l'Europe et le Département de la Gironde pour leur soutien au programme « Sentinelles du climat » qui a permis la mise en œuvre de ce travail de longue haleine. Nous remercions chaleureusement les membres du comité scientifique du programme pour leurs avis et conseils au fil de l'avancée du projet. Nous remercions également Fanny Mallard et Michaël Guillon pour la coordination générale du programme, leur appui et conseils ont été déterminants pour mener à bien ce travail. Merci à Anouk Glad et Florèn Hugon pour les échanges techniques et la préparation des variables climatiques. Enfin, nous adressons nos remerciements à l'ensemble des partenaires et naturalistes qui ont partagé leurs observations sur la flore régionale et ainsi contribué à l'amélioration des connaissances de la répartition d'espèces.

Référencement bibliographique

DAVID R., ROMEYER K., CHAMMARD E., OLICARD L., VIDEAU A., BONIFAIT S., FY F., LEBLOND N., CAZE G., 2025 - *La flore menacée par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine - Première liste des espèces identifiées selon la projection de l'évolution des aires climatiques au cours du XXI^e siècle*. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique (coord.), Conservatoire Botanique National du Massif central et Conservatoire Botanique National des Pyrénées et Midi-Pyrénées, Audenge. 80 p. + annexes.

Illustrations

Première de couverture : *Tractema lilio-hyacinthus* en bois de Mixe (Orègue, 64), ©K. Romeyer - Quatrième de couverture : *Erica tetralix* dans les Landes (40), ©N. Meslage

Documents connexes

En parallèle de ce rapport, la liste Sentinelles de la flore menacée par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine (« Liste Flore SentiNA ») est accessible au format tableur. Les cartes d'évolution des aires climatiques favorables des espèces de la liste Flore SentiNA sont consultables sous format PDF. Ces documents sont accessibles via les liens indiqués dans les annexes et dans l'onglet « Ressources » de l'Observatoire de la biodiversité végétale de Nouvelle-Aquitaine : obv-na.fr/ressources#climat

PARTENAIRES FINANCIERS



Union Européenne



RÉGION
Nouvelle-
Aquitaine

*La Nouvelle-Aquitaine et l'Europe
agissent ensemble pour votre territoire*



Gironde
LE DÉPARTEMENT
gironde.fr

Partenaires financiers du Syndicat mixte du CBNSA :



Sommaire

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS	5
II. MÉTHODE	7
II.1 PROJECTION DES AIRES CLIMATIQUES FAVORABLES POUR LES ESPECES VEGETALES	7
II.1.1 Démarche de modélisation	7
Modèles de distribution spatiale des espèces	7
Limites d'une démarche de modélisation	9
II.1.2 Variables environnementales	10
Données sources disponibles	10
Sélection des variables environnementales et climatiques	13
Influence de chacune des variables environnementales retenues	15
Grands types de variables environnementales utilisées	16
Non prise en compte des interactions biotiques	16
Non prise en compte de l'occupation du sol et de ses évolutions futures	17
Homogénéisation des couches d'information géographique	18
II.1.3 Données floristiques	18
Données Flore OBV	18
Rang spécifique	18
Résolution	18
Filtres appliqués aux données flore	19
• Filtre Temporel	19
• Filtres Géométriques	19
• Filtres taxonomiques	19
• Filtre sur l'occurrence des espèces	20
Bilan relatif aux données floristiques utilisées	20
II.1.4 Production des cartes de projections futures	20
Correction des biais spatiaux et d'échantillonnage	20
• Description des biais existants – Répartition spatiale des observations des espèces	20
• Description des biais existants – Autocorrélation spatiale	21
• Méthodes pour pallier les biais - Désagrégation	23
• Méthodes pour pallier les biais - Pression d'observation	24
• Pseudo-absences (Nombre et répartition spatiale)	24
Cartes de projection de l'affinité climatique des espèces et indices d'évaluation de la qualité des modèles	25
II.1.5 Définition d'un indice de sensibilité climatique	27
Binarisation des cartes d'affinité climatique	27
Production des cartes d'évolution de l'affinité climatique	28
Calcul de l'indice de sensibilité climatique	28
II.2 DEFINITION DE LA MENACE CLIMATIQUE POUR LA FLORE	31
II.2.1 Choix du scénario d'émissions de GES et de l'horizon temporel	31
Scénario d'émissions de GES (RCP)	31
Horizon temporel	32
II.2.2 Evaluation à dire d'expert de la cohérence des modèles	33
Identification à dire d'expert et retrait des espèces présentant des incohérences de modélisation et de projection	33
II.2.3 Révision des seuils pour la binarisation	34
Extension jugée trop importante des aires d'affinité climatique prédictes	34

Application d'un bonus correctif sur les valeurs seuils utilisées pour la binarisation.....	34
II.2.4 Catégorisation des niveaux de menace climatique.....	36
III. RÉSULTATS	39
III.1 LISTE SENTINELLES DE LA FLORE MENACEE PAR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN NOUVELLE-AQUITAINE : LA LISTE FLORE SENTINA	39
III.1.1 Bilan des espèces par niveau de menace et relation avec la rareté	48
III.1.2 Synthèse biogéographique et écologique des espèces menacées par le changement climatique	48
III.2 CARTOGRAPHIE DU RISQUE CLIMATIQUE PREDIT POUR LA FLORE	53
III.3 IMPACTS SELON LA SEVERITE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET L'HORIZON TEMPOREL CONSIDERES	55
IV. DISCUSSION.....	59
IV.1 APPORTS POUR LA BIOEVALUATION ET LA CONSERVATION DE LA FLORE REGIONALE	59
IV.1.1 Contribution aux travaux de bioévaluation	59
IV.1.2 Prise en compte dans les politiques publiques et mesures de conservation	60
IV.2 LIMITES ACTUELLES ET PERSPECTIVES D'AMELIORATION DES PROJECTIONS.....	61
IV.2.1 Mise à jour des données sources	61
IV.2.2 Données au-delà de la Nouvelle-Aquitaine	62
IV.2.3 Facteurs biotiques.....	62
IV.2.4 Pressions anthropiques	63
IV.2.5 Capacités de dispersion et traits de vie des espèces	64
V. CONCLUSION	67
BIBLIOGRAPHIE	69
LISTE DES FIGURES	78
LISTE DES TABLEAUX.....	80
ANNEXES.....	81
ANNEXE 1 : CORRESPONDANCE ENTRE TYPES BIOLOGIQUES D'APRES BASEFLOR ET TYPES BIOLOGIQUES SIMPLIFIES UTILISES ET PRECISION SUR LA TERMINOLOGIE (UNIQUEMENT POUR LA LISTE FLORE SENTINA)	82
ANNEXE 2 : CORRESPONDANCE ENTRE VALEURS D'INDICES T ET M DE LA BASE EIVE ET TERMINOLOGIE ECOLOGIQUE UTILISEE	83
ANNEXE 3 : INDICATION DE L'OPTIMUM PHYTOSOCIOLOGIQUE (NIVEAU CLASSE) POUR LES ESPECES DE LA LISTE FLORE SENTINA	84
ANNEXE 4 : LISTE FLORE SENTINA ET VALEURS D'INDICE DE SENSIBILITE CLIMATIQUE EN FONCTION DES 3 COUPLES DE SCENARIOS ET HORIZONS ANALYSES	93
ANNEXE 5 : CARTES DE PROJECTION DE L'EVOLUTION DES AIRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTALES FAVORABLES POUR LES ESPECES MENACEES AU COURS DU XXIEME SIECLE	102
ANNEXE 6 : CARTES DE PROJECTION DES AIRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTALES FAVORABLES ACTUELLES ET FUTURES POUR LES ESPECES MENACEES AU COURS DU XXIEME SIECLE.....	102
ANNEXE 7: CARTES POUR LES ESPECES MENACEES AU COURS DU XXIEME SIECLE SOUMISES A RESTRICTIONS DE DIFFUSION SUR CRITERES DE SENSIBILITE	102
ANNEXE 8 : LISTE FLORE SENTINA(FORMAT TABLEUR)	102

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Depuis l'ère pré-industrielle, la planète s'est réchauffée de plus de 1°C en moyenne et cette tendance semble s'accélérer depuis une décennie. Dans le sud de l'Europe, ce réchauffement apparaît plus important qu'à l'échelle globale, de l'ordre de 20 à 30%. En Nouvelle-Aquitaine, le climat s'est ainsi réchauffé de +1 à +1,8°C sur la période 1959-2016 (Acclimaterra, 2018). Ce réchauffement n'est pas non plus homogène à l'échelle régionale ni entre les saisons comme le montre l'augmentation des températures plus marquée au printemps de +2,1°C entre 1980 et 2020 dans les zones nord et sud-ouest du Massif central (ANCT-Commisariat du Massif central, 2025). Les effets de ce changement climatique sont déjà nettement perceptibles, aussi bien à large échelle que localement avec un allongement de la durée des sécheresses, une augmentation de l'occurrence des événements extrêmes (canicules, fortes précipitations, grêle, inondations, tempêtes...) et du risque incendies. La biodiversité subit directement les conséquences de ces phénomènes, en particulier les espèces ayant des capacités de migration et de déplacement réduites. La flore dans son ensemble peut être considérée comme sensible à une évolution drastique et rapide des conditions climatiques avec des réponses très variables selon le cycle biologique des espèces, leurs modes de dispersion et leurs exigences écologiques. Dès 2005, certains auteurs prédisaient des bouleversements importants de composition floristique en Europe (Thuiller *et al.*, 2005) et particulièrement dans le Sud-Ouest de la France avec un taux de substitution potentiel des espèces de 60 à 70% à l'horizon 2080, en suivant un scénario pessimiste d'émission de gaz à effet de serre (RCP8.5). Cependant, l'évaluation des réponses de la flore, et de la biodiversité en général, sous l'effet du changement climatique actuel, souffre d'un déficit de surveillance protocolée à long terme.

Partant de ces constats, le programme « Sentinelles du climat en Nouvelle-Aquitaine » a été lancé en 2016 avec pour objectif d'évaluer et prédire les effets du changement climatique sur la biodiversité à l'échelle régionale. Ces aspects fondamentaux de connaissance doivent servir à une meilleure intégration de la menace climatique dans les actions de gestion et de conservation d'espaces naturels mais aussi dans les politiques d'aménagement du territoire. Outre la mise en place d'un réseau de surveillance sur une diversité de milieux, habitats et espèces sensibles au changement climatique, l'un des axes majeurs sur la flore était de déterminer l'évolution potentielle de la répartition d'un panel le plus large possible d'espèces dans la région.

Basés sur le principe de la modélisation des distributions actuelle et future des espèces, les travaux entrepris lors de la première phase du programme (David & Romeyer, 2019 et 2021 ; Romeyer & David, 2020) permettent d'anticiper, malgré des biais et incertitudes persistants, les impacts potentiels en termes d'aire climatique favorable pour un large panel d'espèces végétales (plus de 2000). Différentes projections ont été réalisées en fonction de plusieurs scénarios d'émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et pour des horizons temporels plus ou moins proches, allant jusqu'à la fin du XXI^{ème} siècle. Les dynamiques spatiales et enjeux territoriaux de la flore de Nouvelle-Aquitaine ont ainsi pu être appréhendés.

L'objet du présent rapport est en premier lieu de faire la synthèse de la démarche de projection future des aires climatiques favorables pour la flore au niveau régional, servant de base à la définition de la menace climatique et à l'identification des espèces concernées qui sont développées par la suite. La finalité est de proposer une première liste Sentinelles de plantes menacées par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine et d'en faire une analyse écologique et spatiale. Cette liste, que nous nommerons "Flore SentiNA", ne se veut pas exhaustive mais fournit un premier recueil d'espèces qui pourra servir de document d'information et d'alerte sur le risque climatique direct pesant sur la flore. Elle pourra contribuer aux travaux de bioévaluation ainsi qu'à l'orientation des actions de conservation et des préconisations de gestion de la flore et des habitats. Enfin, les limites et incertitudes associées à ce travail sont discutées en mettant en regard les perspectives d'améliorations futures.



Wahlenbergia hederacea, plante menacée par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine (©N. Meslage-CBNSA)

II. MÉTHODE

II.1 PROJECTION DES AIRES CLIMATIQUES FAVORABLES POUR LES ESPECES VÉGÉTALES

II.1.1 Démarche de modélisation

Modèles de distribution spatiale des espèces

La modification des aires de répartition des espèces est reconnue comme l'un des effets principaux du changement climatique sur la flore (Bakkenes et al., 2002 ; Thuillier et al., 2005 ; Piedallu et al., 2009). Etant donné l'ampleur de ce dernier dans la région Nouvelle-Aquitaine pour les décennies à venir (Acclimaterra, 2018), des bouleversements importants de la répartition des espèces végétales pourraient survenir, menant à des taux de substitution de la composition des cortèges floristiques de près de 70% à l'horizon 2080 (Thuiller et al., 2005) selon le scénario RCP 8.5 de poursuite des émissions de gaz à effet de serre.

Les réponses spatiales de la flore face aux évolutions du climat, induisant à la fois le déplacement et l'extension ou la régression de l'aire d'affinité climatique des plantes, peuvent se traduire par leur persistance localement, leur migration vers des territoires devenus plus propices ou leur disparition de certains secteurs devenus défavorables. L'évolution de l'aire d'affinité climatique est ainsi utilisée pour définir un indice de sensibilité climatique pour chacune des espèces végétales actuellement présentes en Nouvelle-Aquitaine. En effet, la tendance et l'amplitude de l'évolution de cette aire d'affinité sont considérées ici comme des facteurs qui détermineront le potentiel d'évolution chorologique des plantes et qui apportent ainsi des informations pour appréhender leur vulnérabilité ou leur stabilité face au changement climatique.

La méthodologie employée pour tracer les évolutions de l'aire d'affinité climatique des taxons végétaux repose sur la création de modèles dits de distribution spatiale des espèces (SDM : Species Distribution Modeling). Ces modèles corrélatifs bénéficient des informations écologiques et climatiques qui ont pu être rassemblées sous la forme de couches d'information spatiale, pour pouvoir projeter des probabilités d'affinité climatique pour chacun des taxons, pour la période actuelle et pour les différents scénarios d'émissions de GES et horizons temporels (Figure 1). Enfin, les résultats obtenus pour les différentes périodes futures sont confrontés avec ceux générés pour la période actuelle, dans le but d'en retirer des enseignements quant à la dynamique potentielle des populations végétales en réponse aux changements climatiques futurs.

Les données floristiques recensées dans l'Observatoire de la Biodiversité Végétale de Nouvelle-Aquitaine (OBV-NA, 2025) constituent une banque de données particulièrement adaptée à ce genre de travaux de modélisation à l'échelle régionale de par le nombre de données disponibles (4,5 millions d'observations au moment de la synthèse réalisée en février 2020), leur répartition homogène sur le territoire (données majoritairement issues d'inventaires protocolés), la fiabilité des déterminations (identification par des botanistes et protocole de validation), leur précision spatiale (pointages GPS ponctuels majoritairement), ainsi que l'accès à des métadonnées permettant de mettre en place des filtres (cf. § II.1.3 Données floristiques). Les espèces identifiées comme les plus vulnérables aux modifications de leur environnement à l'issue de l'ensemble du processus pourront alors être considérées comme des espèces « menacées par le changement climatique ».

Depuis une vingtaine d'années, de nombreux algorithmes d'apprentissage automatique ont été développés et leurs performances évaluées dans la littérature (Brotóns et al., 2004 ; Thuiller et al., 2004 ; Barbet-Massin et al., 2012 ; Aguirre-Gutiérrez et al., 2013, Shabani et al., 2016 ; Valavi et al., 2022, Botella et al., 2023). Il ressort de ces études qu'aucun modèle en particulier n'est à même de fournir une réponse universelle à tous les cas de figure, ni ne dépasse clairement les performances de tous les autres. Plutôt que d'élire un unique modèle, la communauté scientifique s'est donc souvent tournée vers des modèles dits d'ensemble. Ces modèles d'ensemble réalisent une synthèse des résultats issus de multiples types de modèles corrélatifs (arbres décisionnels : Random Forest ; réseaux neuronaux : ANN ; régressions : GLM ; splines : GAM ; entropie maximale : MaxEnt ; fonctions noyau (kernel) : SVM ; etc.) pour proposer une unique version finale dans laquelle l'influence de chacun

des résultats des modèles est liée à des indicateurs de qualité des reconstructions (AUC : Area Under the receiver operating characteristic Curve ; TSS : True Skill Statistic ; F1-score : Précision/Rappel ; accord entre les prédictions et les observations, corrigée du hasard : Kappa de Cohen, etc.).

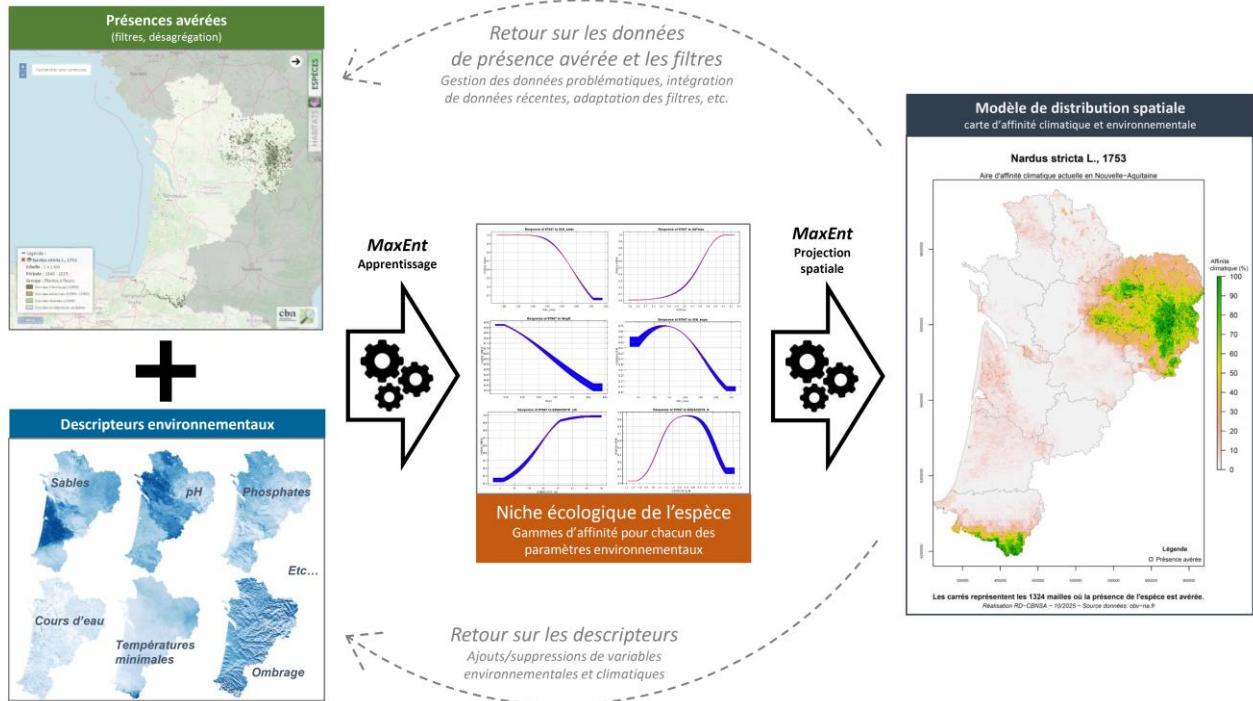


Figure 1 : Schéma du processus de modélisation de la niche écologique de l'espèce puis projection de son aire d'affinité climatique et environnementale à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine

Au cours des premières étapes qui ont mené à cette étude (David & Romeyer, 2019), des essais de projection spatiale pour un lot d'espèces (choisies pour représenter les différents milieux, contextes environnementaux, niveaux de rareté, aires géographiques, etc. rencontrés dans la région) ont été effectués via différents grands types d'algorithmes en utilisant BIOMOD2 (Thuillier et al., 2009). À la suite de ces tests, le choix s'est porté sur le modèle MaxEnt (Phillips et al., 2006) car il présentait des avantages majeurs pour notre cas d'étude. Premièrement, en ne sollicitant le calcul que d'un seul type de modèle, il permettait un gain de temps de calcul très significatif, sans lequel la production de SDM pour des milliers d'espèces végétales n'aurait pas été possible avec les moyens matériels à disposition. Il permettait également de produire automatiquement la plupart des indices nécessaires à l'évaluation de la qualité de ces projections et autorisait ainsi des comparaisons rapides entre les différents essais de paramétrage du modèle MaxEnt lui-même. Enfin, il ressortait de la littérature que ce modèle était parmi les plus performants dans le cadre d'études basées sur des données naturalistes de présence uniquement (Elith et al., 2006 ; Shabani et al., 2016 ; Valavi et al., 2022).

Dans un second temps, des étapes de calibration des modèles (sélection des variables environnementales adéquates, préparation des données floristiques, choix et paramétrages de MaxEnt) ont permis d'établir des niches écologiques et cartes d'affinité climatique des espèces les plus pertinentes possibles pour la période actuelle (David & Romeyer, 2019). Ces aspects ont ensuite été améliorés lors des étapes de projection pour les périodes futures (Romeyer & David, 2020). Les sorties des modèles (contribution des variables, courbes de réponses) ont également fourni des éléments pour l'interprétation de ces évolutions pour chaque espèce afin de juger de leur pertinence.

Enfin, la comparaison entre les aires d'affinité climatique actuelles et futures d'un nombre de plantes le plus important possible (2181 espèces, cf. § II.1.3 Données floristiques) selon chacune des 9 combinaisons de scénarios RCP (Representative Concentration Pathways ; RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) pour les émissions de GES et horizons

temporels (H1 : 2021-2050 ; H2 : 2041-2070 ; H3 : 2071-2100) a ensuite permis de proposer des projections de l'évolution chorologique potentielle de la flore (David & Romeyer, 2021). Ces projections ont été synthétisées au travers de cartes du turnover (taux de remplacement des espèces locales par de nouvelles espèces), du maintien (taux d'espèces identiques entre l'actuel et le futur), des gains/pertes (bilan comptable des apparitions et disparitions d'espèces) et de la stabilité (maintien/turnover) des espèces dans chaque maille 1x1 km de Nouvelle-Aquitaine. A ces cartes, s'ajoutaient également des statistiques simples (pourcentages d'évolution régionale) pour décrire synthétiquement l'ensemble des résultats pour les 9 combinaisons Scénario/Horizon en comparaison avec l'actuel.

A l'issue de l'ensemble de ce processus, les cartes de projection future ont été évaluées par les experts botanistes des CBN impliqués (Sud-Atlantique, Massif central, Pyrénées et Midi-Pyrénées). L'une des conclusions de cette analyse, appuyée par la littérature rassemblée sur des thématiques comparables (Engler & Guisan, 2009), était qu'un frein majeur à l'interprétation de ces résultats directement comme des probabilités de présence des espèces résidait dans l'absence de prise en compte de leurs capacités de dispersion sur les laps de temps et distances spatiales considérés.

En effet, les valeurs générées par le modèle MaxEnt dans chacune des mailles 1x1 km pour les horizons futurs sont établies en considérant uniquement la possibilité pour les plantes de se développer dans des mailles qui présentent une forte affinité écologique et climatique avec la niche calculée. Cependant, le calcul ne prend pas en compte la capacité des plantes à migrer depuis les mailles qui correspondent à leur aire de répartition actuelle jusqu'aux mailles qui seront supposément favorables à leur développement dans quelques décennies. La capacité de migration, tout comme le niveau de continuité écologique qui permettra ou non cette migration, demeurent assez largement inconnus pour la plupart des espèces végétales et n'ont pas été considérés jusqu'ici. Ceci a eu comme principal effet de produire des tendances d'évolution irréalistes pour bon nombre d'espèces en progression, potentiellement de façon tout à fait significative si les distances à parcourir sont importantes.

Pour cette raison, le choix a été fait dans un premier temps de se concentrer sur les espèces pour lesquelles les projections futures annoncent une rétractation de l'aire d'affinité climatique. Pour ces espèces, la prise en compte des capacités de migration semble nettement moins déterminante car les projections de leurs évolutions chorologiques consistent uniquement en une disparition progressive de cette affinité dans des secteurs actuellement jugés favorables. L'interprétation d'une contraction de l'aire d'affinité comme une image assez directe de la rétractation de l'aire de présence potentielle d'une espèce nous apparait, dans ce cas particulier, comme une hypothèse raisonnable. Les valeurs générées par MaxEnt pour ces espèces en fonction des différents scénarios d'émission de GES et horizons futurs peuvent alors être assimilées à des probabilités de présence.

Limites d'une démarche de modélisation

Il est important d'alerter dès à présent sur les limites inhérentes à toute démarche de modélisation, afin d'être prudents et modérés dans l'interprétation qui pourra être faite des projections actuelles et futures présentées ici pour les espèces végétales. En effet, des choix de paramétrage ont été évalués, discutés et sélectionnés dans les chapitres « Flore » des précédents tomes du programme des « Sentinelles du Climat » (David, 2018 ; David & Romeyer, 2019 et 2021 ; Romeyer & David, 2020) et sont rassemblés et synthétisés dans ce rapport.

S'ils visent à tenter de réduire au maximum l'influence des biais de prospection de la flore à l'échelle de la région, ainsi qu'à tenter d'appréhender au mieux la complexité des interactions entre la flore et les conditions environnementales, il n'en demeure pas moins que ces choix méthodologiques peuvent influer sur les résultats obtenus et donc sur les conclusions qui peuvent en découler. De même, il existe une grande variété d'algorithmes qui pourraient être mis à contribution pour reconstruire l'évolution de la flore sous l'effet du changement climatique et chacun de ces algorithmes s'accompagne d'hypothèses de départ qui peuvent amener à des variations notables des projections. L'ensemble de ces choix a un impact significatif sur les résultats des prédictions de répartition, qu'il convient donc de prendre en compte lors de la phase d'interprétation.

II.1.2 Variables environnementales

Données sources disponibles

Pour déterminer l'aire d'affinité présente et future des espèces, il est nécessaire de disposer d'un certain nombre d'informations concernant le territoire.

Une première catégorie de descripteurs environnementaux a été mobilisée, sous la forme de couches d'information géographique couvrant l'ensemble de la Nouvelle-Aquitaine. Cette catégorie correspond aux descripteurs considérés comme stables entre l'actuel et les différents horizons futurs. Leur liste est présentée dans le tableau ci-dessous (Tableau 1), ainsi que leurs sources et les métadonnées associées.

Tableau 1 : Variables environnementales disponibles

Acronyme	Description	Unité	Source	Organisme	Références
<i>ACO_zones_hum</i>	<i>Zones Humides Potentielles</i>	3 niveaux	GéoSAS	AgroCampus Ouest	Berthier <i>et al.</i> 2014
<i>BDCARTHAGE_lin_eau</i>	<i>Linéaire de cours d'eau</i>	m	BDCARTHAGE	Institut National de l'information Géographique et Forestière	-
<i>BDTOPO_planEau_nb</i>	<i>Nombre de plans d'eau</i>	9 niveaux	BDTOPO	Institut National de l'information Géographique et Forestière	-
<i>BDTOPO_planEau_surf</i>	<i>Proportion de la surface occupée par des plans d'eau</i>	% / km ²	BDTOPO	Institut National de l'information Géographique et Forestière	-
<i>BDTOPO_sel</i>	<i>Salinité</i>	9 niveaux	BDTOPO	Institut National de l'information Géographique et Forestière	-
<i>ESDAC2015_AWC</i>	<i>Teneur en eau disponible dans la couche 0-20 cm</i>	Sans unité	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2016
<i>ESDAC2015_bulk</i>	<i>Masse volumique du sol dans la couche 0-20 cm</i>	Tonnes/m ³	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2016
<i>ESDAC2015_clay</i>	<i>Argile (<0,02 mm) dans la couche 0-20 cm</i>	%	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2016
<i>ESDAC2015_coarse_frag</i>	<i>Eléments grossiers (>2 mm) dans la couche 0-20 cm</i>	%	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2016
<i>ESDAC2015_sand</i>	<i>Sable (0,05 à 2 mm) dans la couche 0-20 cm</i>	%	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2016
<i>ESDAC2015_silt</i>	<i>Limon (0,02 à 0,05 mm) dans la couche 0-20 cm</i>	%	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2016
<i>ESDAC2019_CaCO3</i>	<i>Carbonate de calcium</i>	g/kg	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2019
<i>ESDAC2019_CEC</i>	<i>Capacité d'échange Cationique</i>	cmol/kg	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2019
<i>ESDAC2019_CN</i>	<i>Rapport Carbone /Azote</i>	Sans unité	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2019
<i>ESDAC2019_K</i>	<i>Potassium</i>	mg/kg	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2019
<i>ESDAC2019_N</i>	<i>Azote</i>	g/kg	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2019
<i>ESDAC2019_P</i>	<i>Phosphore</i>	mg/kg	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2019
<i>ESDAC2019_pH</i>	<i>pH</i>	Sans unité	ESDAC	European Soil Data Centre	Ballabio <i>et al.</i> 2019

<i>IGN_expo</i>	<i>Exposition (Nord, sud, est, ouest)</i>	Degrés	BDALTI	Institut National de l'information Géographique et Forestière	-
<i>IGN_ombr</i>	<i>Ombrage (soleil au sud, hauteur 45°)</i>	Degrés d'azimut	BDALTI	Institut National de l'information Géographique et Forestière	-
<i>IGN_pente</i>	<i>Pente</i>	Degrés	BDALTI	Institut National de l'information Géographique et Forestière	-

Pour compléter ces informations, une autre catégorie de descripteurs est utilisée, celle correspondant aux variables climatiques qui seront, quant à elles, amenées à évoluer en fonction des différents scénarios d'émission de GES et horizons temporels considérés. Les données à l'origine de la création des couches d'information géographique décrivant ces variables climatiques proviennent pour la plupart directement des simulations ALADIN52-CNRM (Ouzeau *et al.*, 2014) obtenues sur le site de Météo France DRIAS (<http://www.drias-climat.fr/>). Certaines en revanche sont le fruit d'un travail préalable de combinaison de différentes variables de départ afin d'en retirer des indices plus synthétiques, comme l'indice d'aridité de Martonne ou le quotient pluviométrique d'Emberger (Glad & Hugon com. pers.). D'autres indices, décrivant la variabilité journalière (écart-type, écart en le 10^{ème} et le 90^{ème} percentile), les minima et maxima, ou encore le nombre de journées consécutives pour un phénomène climatique particulier, ont également été utilisés afin de représenter l'amplitude des variations possibles pour la plupart des descripteurs climatiques (Glad & Hugon com. pers.). La liste finale des variables disponibles est détaillée dans le tableau ci-dessous (Tableau 2).

Tableau 2 : Variables climatiques disponibles

Acronyme	Description	Unité	Source	Organisme	Références
<i>MF_Emb</i>	<i>Quotient pluviométrique d'Emberger</i>	mm/°C ²	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_EpercN</i>	<i>Écart entre les percentiles 10 et 90 de la quantité de neige tombée par jour</i>	mm	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_EpercP</i>	<i>Écart entre les percentiles 10 et 90 des précipitations liquides quotidiennes</i>	mm	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_EpercPN</i>	<i>Écart entre les percentiles 10 et 90 des précipitations totales quotidiennes</i>	mm	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_ExC_Tmax</i>	<i>Extrême chaud des Tmax quotidiennes, 90ème centile des Tmax quotidiennes du mois</i>	°C	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_ExF_Tmin</i>	<i>Extrême froid des Tmin quotidiennes, 10ème centile des Tmin quotidiennes du mois</i>	°C	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_Mar</i>	<i>Indice d'aridité mensuel de Martonne</i>	mm/°C	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MedN</i>	<i>Médiane mensuelle de la quantité de neige tombée par jour</i>	mm	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MedP</i>	<i>Médiane mensuelle des précipitations liquides quotidiennes</i>	mm	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MedPN</i>	<i>Médiane mensuelle des précipitations totales quotidiennes</i>	mm	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyDJ1035</i>	<i>Moyenne mensuelle des degrés jour « métaboliques »</i>	°C/heure	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyDJ55</i>	<i>Moyenne des degrés-jours de croissance</i>	°C/heure	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyHR</i>	<i>Moyenne mensuelle de l'humidité relative quotidienne</i>	%	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.

<i>MF_MoyHR</i>	<i>Moyenne mensuelle de l'humidité relative quotidienne</i>	%	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyHS</i>	<i>Moyenne mensuelle de l'humidité spécifique quotidienne</i>	%	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyN</i>	<i>Moyenne mensuelle de la quantité de neige tombée par jour</i>	mm	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyP</i>	<i>Moyenne mensuelle des précipitations liquides quotidiennes</i>	mm	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyPN</i>	<i>Moyenne mensuelle des précipitations totales quotidiennes</i>	mm	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyR</i>	<i>Moyenne mensuelle du rayonnement visible et infra-rouge quotidien</i>	W/m ²	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyRIR</i>	<i>Moyenne mensuelle du rayonnement infra-rouge quotidien</i>	W/m ²	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyRV</i>	<i>Moyenne mensuelle du rayonnement visible quotidien</i>	W/m ²	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyT</i>	<i>Moyenne mensuelle des températures moyennes quotidiennes</i>	°C	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyTmax</i>	<i>Moyenne mensuelle des températures maximales quotidiennes</i>	°C	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyTmin</i>	<i>Moyenne mensuelle des températures minimales quotidiennes</i>	°C	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_MoyV</i>	<i>Moyenne mensuelle de la vitesse du vent quotidienne</i>	m/sec	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_NjForteC</i>	<i>Nombre de jours de forte chaleur, pour lesquels Tmax>=35°C</i>	jours	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_NjForteP</i>	<i>Nombre de jours de forte pluie, pour lesquels précipitations liquides ≥ 20mm</i>	jours	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_NjGel</i>	<i>Nombre de jours de gel</i>	jours	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_NjN</i>	<i>Nombre de jours de neige</i>	jours	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_NjP</i>	<i>Nombre de jours de pluie, lorsque précipitations liquides ≥ 1mm</i>	jours	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_NjPN</i>	<i>Nombre de jours de précipitations totales ≥ 1mm</i>	jours	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_NjPN_Consec</i>	<i>Nombre de jours consécutifs pour lesquels précipitations totales ≥ 1mm</i>	jours	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_NjS_Concec</i>	<i>Nombre de jours consécutifs pour lesquels précipitations totales < 1mm</i>	jours	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_NnTropique</i>	<i>Nombre de nuits tropicales, pour lesquelles Tmin>=20°C</i>	nuits	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_SdDJ1035</i>	<i>Ecart type mensuel des degrés jour « métaboliques »</i>	°C/heure	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_SdDJ55</i>	<i>Ecart type mensuel des degrés jour de croissance</i>	°C/heure	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_Sdr</i>	<i>Ecart type mensuel du rayonnement visible et infra-rouge quotidien</i>	W/m ²	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_SdRIR</i>	<i>Ecart type mensuel du rayonnement infra-rouge quotidien</i>	W/m ²	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.

<i>MF_SdRV</i>	<i>Ecart type mensuel du rayonnement visible quotidien</i>	W/m ²	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_SdT</i>	<i>Ecart type mensuel des températures moyennes quotidiennes</i>	°C	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_SdTmax</i>	<i>Ecart type mensuel des températures maximales quotidiennes</i>	°C	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.
<i>MF_SdTmin</i>	<i>Ecart type mensuel des températures minimales quotidiennes</i>	°C	ALADIN	Météo France	CNRM 2014 ; Glad & Hugon com. pers.

Sélection des variables environnementales et climatiques

La méthode de sélection des variables environnementales et climatiques utilisée ici reprend les principes de celle déjà établie dans le tome VIII des Sentinelles du Climat (David & Romeyer, 2019). Elle combine plusieurs phases de choix, guidées soit par des indicateurs chiffrés relatifs aux relations entre les variables elles-mêmes ou entre les variables et leur impact sur le modèle, soit par des considérations plus globales relatives à la pertinence écologique des associations entre plantes et descripteurs environnementaux et climatiques.

MaxEnt, comme les autres modèles corrélatifs qui peuvent être utilisés pour projeter des probabilités de présence pour des espèces sur l'ensemble d'un territoire, est sensible au nombre de variables environnementales et climatiques employées. Notamment, le temps de calcul sera d'autant plus long que ce nombre de variables est important. Il est donc nécessaire de trouver un compromis entre la quantité d'informations qui lui est apportée et la pertinence et/ou la redondance de celle-ci, pour ne pas générer de phénomène de sur-apprentissage (Radosavljevic & Anderson, 2014), ni trop alourdir le calcul.

Une autre propriété de ces modèles plaide en faveur d'une diminution du nombre des descripteurs : la colinéarité des variables. En effet, elle peut aussi amener à en éliminer certaines, dans le but d'éviter de biaiser la phase d'apprentissage automatique ce qui nuirait à la transposabilité des résultats pour les périodes futures (Dormann et al., 2013). La colinéarité des variables va induire des biais si l'on cherche à entraîner un modèle sur une région donnée et/ou une période donnée, puis que l'on désire prédire la répartition d'une espèce pour une région différente et/ou une période différente (Dormann et al., 2013), car la structure de colinéarité y est alors inconnue.

Pour évaluer cette colinéarité, il est donc nécessaire de passer en premier lieu par une étape d'examen des variables. On utilise pour cela une approximation chiffrée de la colinéarité, le taux de corrélation (Dormann et al., 2013). La matrice de corrélation entre paires de variables peut être calculée en utilisant le coefficient paramétrique de Pearson si les valeurs des variables suivent une distribution s'approchant de la loi normale. Dans le cas contraire, il faudra recourir au coefficient non paramétrique de Spearman, moins puissant mais qui ne nécessite pas de satisfaire à cette condition. Lorsque la forme des distributions des valeurs n'est pas préalablement connue, il est donc conseillé d'utiliser la version non paramétrique de Spearman (Dormann et al., 2013). Une carte de chaleur réalisée grâce au package *heatmap.plus* (Day, 2012) permet de visualiser simplement les taux de corrélation obtenus entre les variables deux à deux (Figure 2).

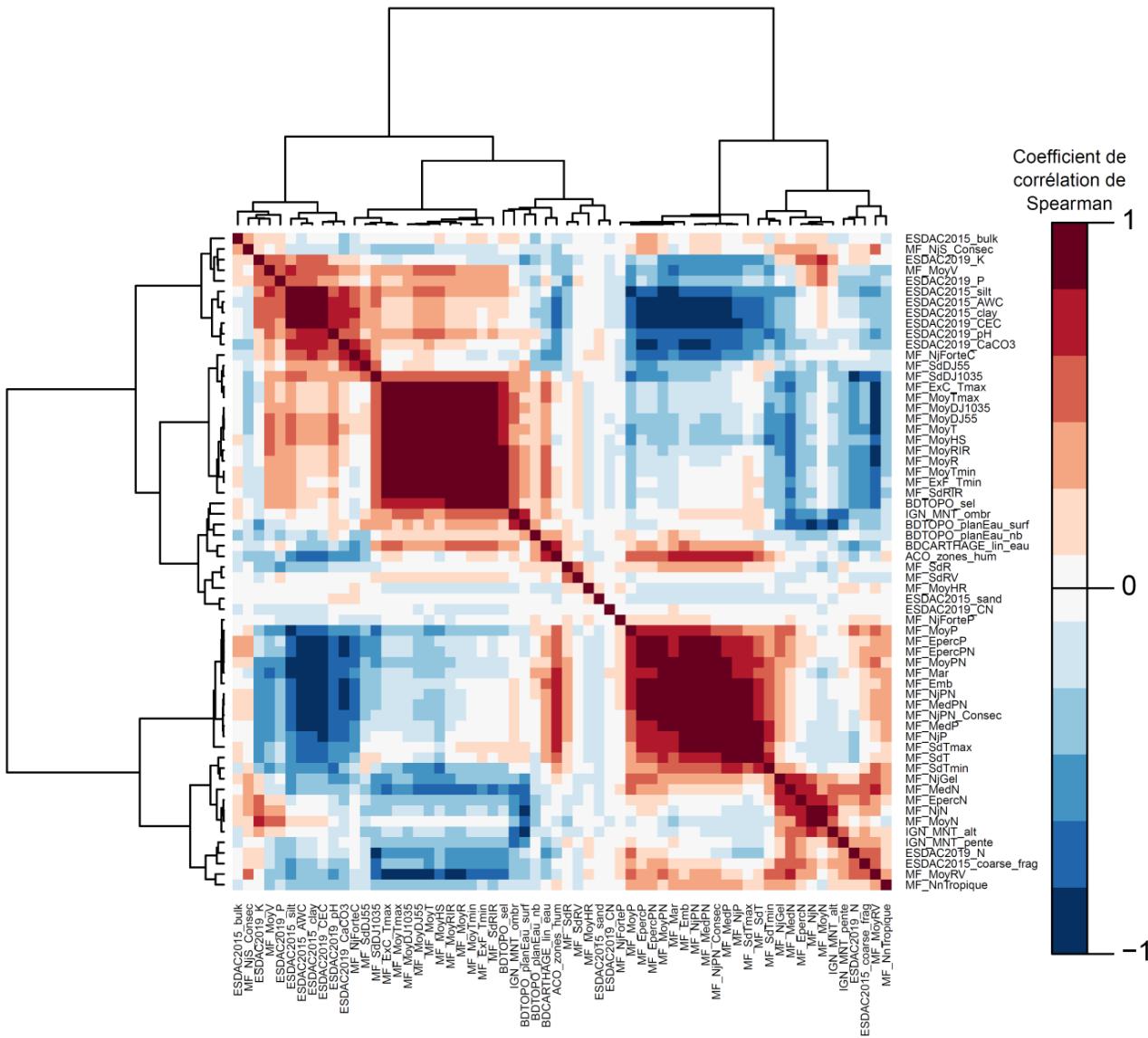


Figure 2 : Matrice des corrélations entre les 62 variables disponibles

Les variables positivement corrélées entre elles sont regroupées par le biais d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) via la fonction `hclust` (inclus dans R v4.0.3). Les coefficients de corrélation font alors office de distances entre les variables et la méthode d'agrégation la plus courante et qui est préconisée dans la littérature (Lebart *et al.*, 1995 ; Dormann *et al.*, 2013), est celle de Ward. Enfin, les branches du dendrogramme sont ordonnées selon la méthode de sériation OLO (Optimal Leaf Ordering) (Sakai *et al.*, 2014 ; Earle & Hurley, 2015) du package `dendextend` (Galili, 2015), dans le but de faire ressortir plus nettement les groupes de variables fortement corrélées.

On peut ensuite procéder à la sélection d'au moins une variable par groupe ou sous-groupe, jusqu'à obtenir un lot de descripteurs environnementaux et climatiques qui présentent des taux de corrélation moindres par rapport au lot de départ (Figure 3). Cette sélection se base alors sur les taux de corrélation entre variables mais aussi sur une évaluation à dire d'expert de leur pertinence écologique, pour décrire les affinités des plantes avec les conditions environnementales.

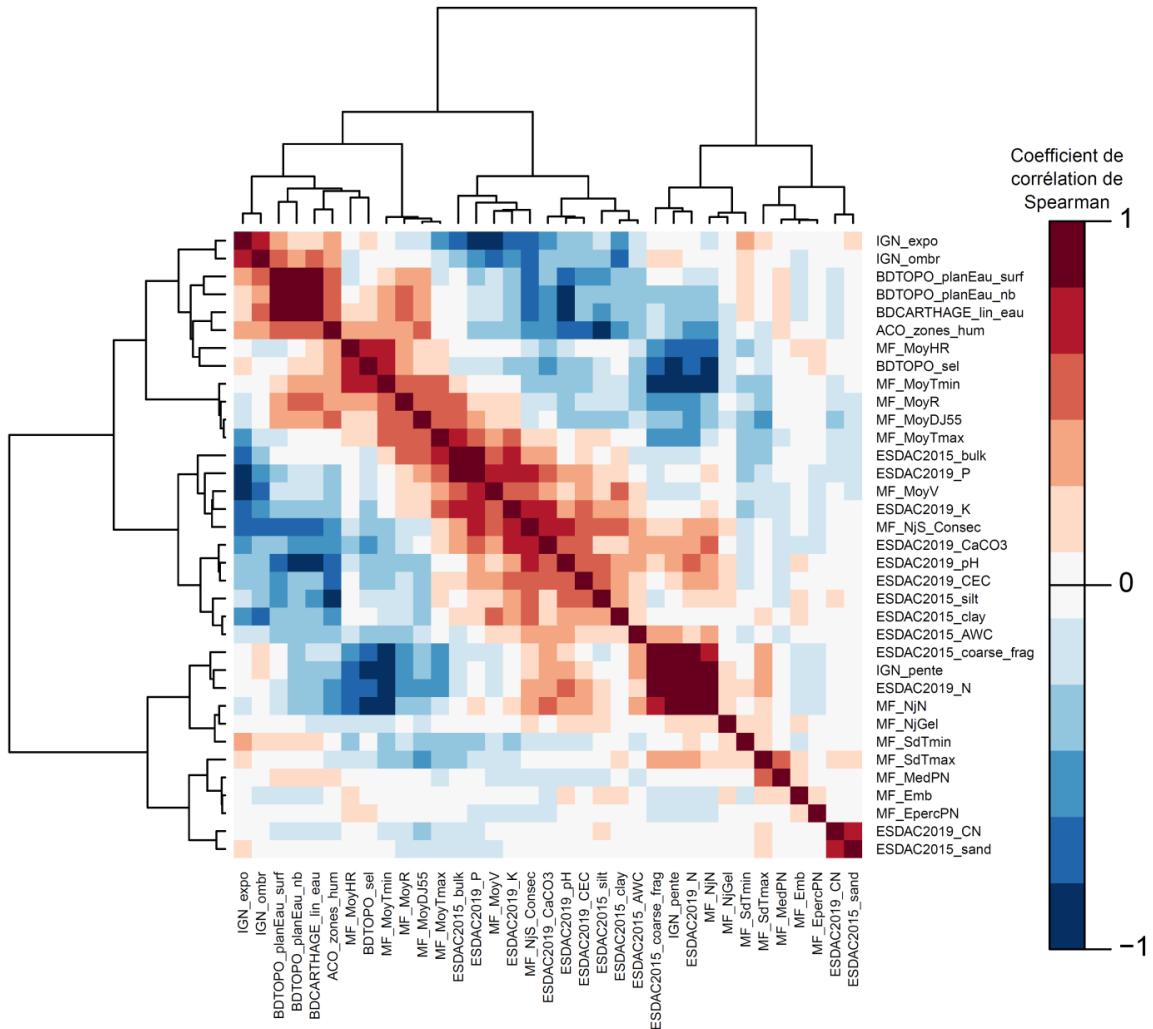


Figure 3 : Matrices des corrélations entre les 35 variables sélectionnées

Influence de chacune des variables environnementales retenues

Un autre critère peut aider à orienter le choix des variables environnementales. Il s'agit de l'influence de chacune des variables environnementales sur les résultats de la modélisation qui peut être estimée via la méthode du Jackknife (Quenouille, 1949 ; Tukey, 1958), implémentée dans le logiciel MaxEnt. Elle consiste à réaliser une 1ère projection de la répartition d'un taxon sur la base du lot complet des variables environnementales, puis à mettre de côté l'une de ces variables afin de réaliser une nouvelle projection sans celle-ci. On compare ensuite les résultats en mesurant le gain d'entraînement, c'est-à-dire la quantité d'informations apportée par cette variable qui n'est pas déjà incluse dans les autres (Phillips, 2005).

Si ce gain est important, on considère que la variable en question a un impact notable sur les résultats et revêt donc un certain intérêt pour modéliser la répartition de cette plante. On procède de la même façon pour chacune des variables environnementales afin d'aboutir à un ensemble de valeurs de gains d'entraînement (Figure 4). On peut ainsi identifier une à une les variables qui, pour chaque espèce, apportent l'information la plus pertinente au vu des modèles.

Ces valeurs de gain d'entraînement varient d'une espèce à l'autre et il apparaît difficile de faire un choix idéal parmi les variables disponibles sur la base de ce seul critère. Plus le lot d'espèces à modéliser est vaste et divers, c'est-à-dire composé de plantes dont l'écologie est différente, plus la tâche de sélectionner les variables environnementales sera ardue. C'est donc en combinant les deux critères précédents avec une connaissance préalable des conditions favorables, ou à l'inverse défavorables, au développement d'un taxon que le tri pourra être effectué.

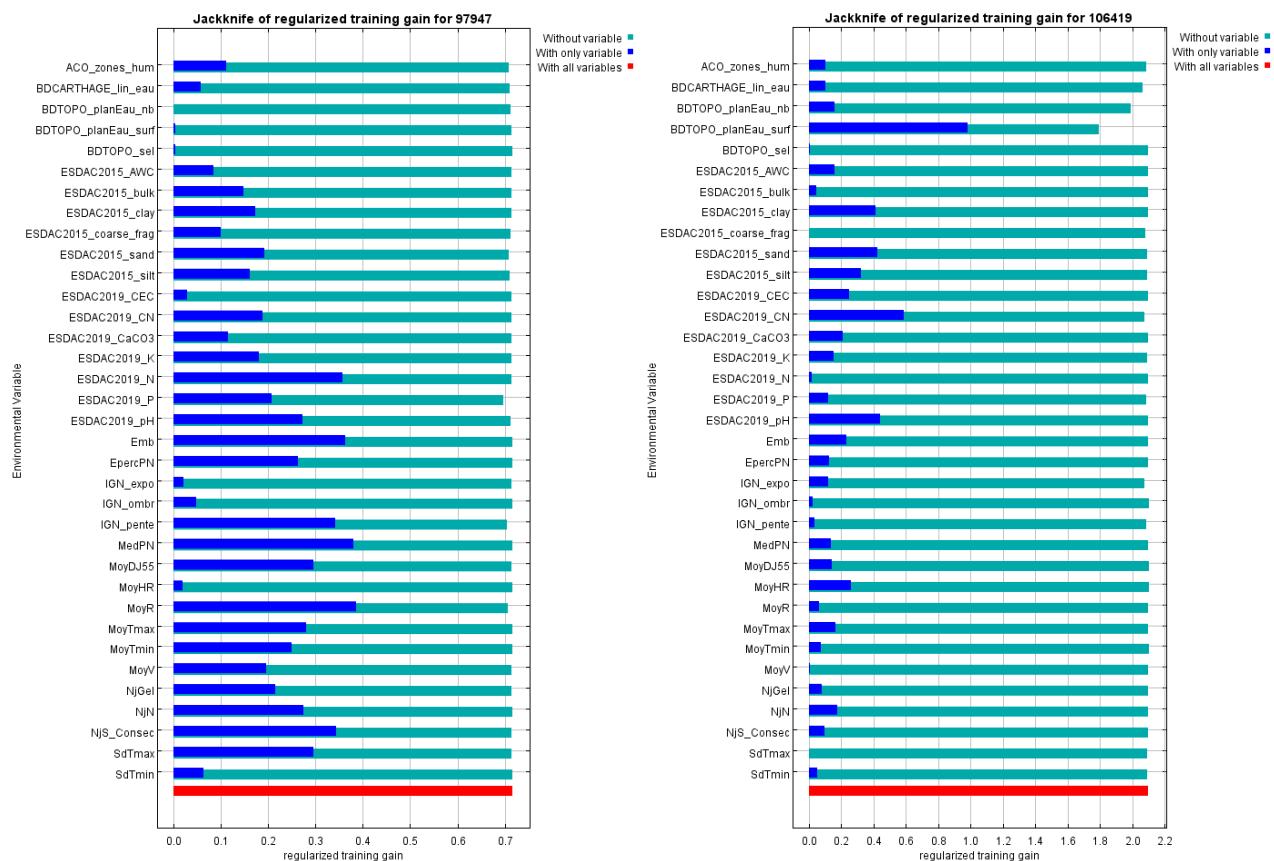


Figure 4 : Exemple de gains d'entraînement obtenus pour chacune des variables selon la méthode du Jackknife pour *Nardus Stricta* (à gauche) et *Litorella uniflora* (à droite)

Grands types de variables environnementales utilisées

Enfin, le dernier paramètre entrant en jeu dans la sélection des descripteurs est leur capacité à couvrir l'ensemble des grands types de variables qui caractérisent les milieux naturels (Bertrand *et al.*, 2012 ; Dubuis *et al.*, 2013). Ces types sont au nombre de 8, dont 5 principaux (Mod *et al.*, 2016). Les variables sélectionnées sont ainsi triées en fonction de leur appartenance à tel ou tel type dans le tableau ci-dessous (Tableau 3).

Non prise en compte des interactions biotiques

Les cartes géoréférencées de variables environnementales qui ont pu être rassemblées pour cette étude correspondent à 7 des 8 grands types, dont 4 des types jugés essentiels. En effet, nous ne disposons pas à l'heure actuelle d'informations mobilisables pour renseigner les interactions biotiques (compétition, facilitation, parasitisme, etc.) entre des milliers d'espèces végétales, encore moins de représentations cartographiques à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine pour ces interactions.

Une façon de tenir compte des relations entre les espèces sur tout un territoire pourrait, à l'avenir, résider dans l'utilisation de nouveaux types de modèles spatiaux, les JSdm pour Joint Species Distribution Modeling (Pollock *et al.*, 2014), ou de DeepMaxEnt (Ryckewaert *et al.*, 2024) qui reprend lui-aussi certaines propriétés des JSdm (cf. § IV.2.3 Facteurs biotiques). Dans le cadre de ce rapport, ces méthodes n'ont pas été employées. Elles pourront faire l'objet de développements lors de phases ultérieures du programme.

Tableau 3 : Variables climatiques et environnementales retenues, regroupées par grands types (selon Mod et al. 2016)

Les types prioritaires pour la modélisation de la répartition des espèces végétales sont indiqués en noir, les autres en gris.

Température	Eau	Substrat	Lumière	Interact. biotiques	Perturbations	Topographie	Occupation du sol
MF_MoyDJ55	MF_Emb	ESDAC2015 _bulk	MF_MoyR		MF_MoyV	IGN_expo	
MF_MoyTmax	MF_EpercPN	ESDAC2015 _sand			BDTOPO_sel	IGN_ombr	
MF_MoyTmin	MF_MedPN	ESDAC2015 _silt				IGN_pente	
MF_NjGel	MF_MoyHR	ESDAC2015 _clay					
MF_SdTmax	MF_NjN	ESDAC2015 _coarsefrag					
MF_SdTmin	MF_NjS_Concec	ESDAC2019 _CaCO3					
ESDAC2015_AWC		ESDAC2019 _CEC					
BDTOPO_planEau _surf		ESDAC2019 _CN					
BDTOPO_planEau _nb		ESDAC2019 _K					
BDCARTHAGE_lin _eau		ESDAC2019 _N					
ACO_zones_hum		ESDAC2019 _P					
		ESDAC2019 _pH					

Non prise en compte de l'occupation du sol et de ses évolutions futures

Dans le cadre d'une modélisation de la répartition future des espèces végétales, une autre condition *sine qua non* pour l'utilisation des variables environnementales est la disponibilité de cartes de ces mêmes variables pour les périodes qui feront plus tard l'objet d'une projection. Si l'on peut raisonnablement considérer que les cartes actuelles des principales caractéristiques géologiques, édaphiques et physico-chimiques en général sont relativement transposables à l'échelle de plusieurs décennies, qu'en est-il des autres ? En confrontant les cartes anciennes de l'IGN et les couches d'occupation du sol disponibles pour la période actuelle, on peut rapidement s'apercevoir des nombreux changements intervenus. Par ailleurs, il apparaît difficile de préjuger de l'occupation du sol dans 50 à 80 ans et des trajectoires évolutives du territoire (sous l'effet de l'anthropisation et de l'artificialisation du territoire, notamment de l'évolution des pratiques agricoles et forestières, des choix relatifs à l'urbanisation, etc.). Des cartographies prédictives du devenir des usages et de l'occupation du sol peuvent néanmoins être générées en se basant sur des scénarios socio-économiques multiples (Mendoza, 2014, Préau et al., 2019, Chassignolles et al., 2024). Dans le cadre de notre étude, ces méthodes n'ont pas été employées (cf. § IV.2.4 Pressions anthropiques). Une autre approche qui consisterait à essayer d'identifier les secteurs du territoire actuel qui permettront à l'avenir la migration des espèces (Préau et al., 2020) nous semble plus à même de proposer des mesures de conservation, en tenant compte des capacités de dispersion de ces espèces.

Homogénéisation des couches d'information géographique

Les variables rassemblées sont disponibles à des résolutions très différentes les unes des autres, allant de pixels de 25 m de côté à des mailles de 8x8 km. La couverture spatiale de ces couches est elle aussi très diverse, allant de l'ensemble du globe à la stricte Nouvelle-Aquitaine. Enfin, les systèmes de projection géographique, tout comme les formats de données, sont également très différents d'une couche à l'autre. Ces données ont donc fait l'objet de nombreux traitements en vue d'homogénéiser l'emprise et la résolution des rasters qui sont, par la suite, utilisés pour la modélisation.

Parmi les traitements réalisés, certains visent à éviter des effets indésirables qui surviennent lors du passage d'une emprise géographique et/ou d'une résolution à l'autre. Des choix ont donc dû être effectués quant à la gestion des données manquantes, des effets de bord, des gammes de valeurs pour les variables. Une moyenne des valeurs des mailles voisines est ainsi préférée dans certains cas pour éliminer les données manquantes, tandis que dans d'autres cas, c'est l'application d'une valeur nulle pour ces mailles qui a été effectuée. Sur les pourtours de la zone d'étude, des choix différents sont également intervenus pour gérer les effets de bord. En effet, la situation n'est pas la même entre une maille chevauchant à la fois une partie du territoire de Nouvelle-Aquitaine et celui d'une région voisine, et une maille située en zone côtière dont la surface est amputée par la partie correspondant à l'océan Atlantique.

A l'issue de l'ensemble de ces traitements, on aboutit à un lot relativement important de variables environnementales diversifiées (Tableau 3) qui correspondent bien aux grands types de prédicteurs recommandés dans la littérature (Mod et al., 2016).

II.1.3 Données floristiques

Données Flore OBV

L'Observatoire de la biodiversité végétale de Nouvelle-Aquitaine (OBV-NA, 2025), adossé au système d'information LOBELIA (LOBELIA, 2025), est la source exclusive des données floristiques utilisées dans cette étude. Compte tenu de l'état de la connaissance pour les différents groupes taxonomiques, seule la flore vasculaire (Trachéophytes) est analysée ici. Elle comprend les Spermatophytes d'une part (plantes à fleurs) et les Ptéridophytes d'autre part (fougères et plantes affines). Au total, près de 4,5 millions de données d'observation sont recensées pour ces taxons sur l'ensemble de la région Nouvelle-Aquitaine. Ces observations correspondent à des présences avérées de plantes, géographiquement localisées, précisément datées et associées à un observateur identifié.

Rang spécifique

Sur le plan taxonomique, le niveau retenu est celui de l'espèce, suivant la nomenclature TaxRef 13 (Gargominy et al., 2019). Les mentions de sous-espèces ou variétés ont donc été traitées au niveau spécifique, de façon à simplifier le jeu de données et à travailler à un niveau taxonomique homogène.

La flore de Nouvelle-Aquitaine comportait 3740 taxons recensés au rang spécifique en 2020 (OBV-NA, 2025). Parmi ces espèces, certaines sont très communes et largement réparties avec des milliers d'occurrence sur le territoire régional, quand d'autres sont exceptionnelles, voire leur présence hypothétique sur le territoire (mentions douteuses, évolution taxonomique, etc.) Cependant, le nombre de données d'occurrence ne traduit pas nécessairement la représentativité de la répartition des plantes par rapport à leur fréquence réelle ou supposée. Cela conduit à devoir écarter un certain nombre d'espèces pour lesquelles les modèles seraient erronés et inexploitables.

Résolution

La résolution des données sources dépend de la stratégie d'inventaire employée sur le terrain. En l'occurrence, les inventaires systématiques de la flore de Nouvelle-Aquitaine sont menés à l'échelle de la maille de 5x5 km.

Ainsi, l'exhaustivité floristique est recherchée à la maille 5x5 km. A la maille 1x1 km, les botanistes ne relèvent parfois que les taxons qui n'ont pas déjà été observés précédemment, les taxons rares et patrimoniaux, ceux de milieux d'intérêt floristique particulier. De plus, les espèces rencontrées peuvent varier fortement selon la saison. Il n'est donc pas possible d'obtenir une image exhaustive de la répartition régionale de ces espèces à partir des cartes de répartition avérée des taxons vus sur le terrain à la résolution de 1x1 km, raison pour laquelle sont générés des SDM de manière à pallier ces lacunes de données avérées sur le terrain.

Au total, le jeu de données initial comprend plus de 2,8 millions de données d'observations au rang spécifique, en excluant les données douteuses et invalides, et à la maille de 1x1 km.

Filtres appliqués aux données flore

De nombreux filtres ont été appliqués pour mieux cibler les informations pertinentes au sein du jeu de données. Ceux-ci sont de 4 types principaux : temporel, géométriques, taxonomique et de nombre d'occurrences.

Filtre Temporel

Tout d'abord, seules les données récentes, c'est-à-dire celles récoltées entre 1995 et 2019 ont été conservées, en lien avec une nette augmentation du nombre de données à partir de 1995 en Limousin, s'accompagnant d'une meilleure conformité du fait de l'intégration de données sources précises. Ces bornes chronologiques ont été sélectionnées pour aboutir à un seuil d'ancienneté suffisamment englobant pour inclure les données de différentes ex-régions administratives, tout en excluant les données trop anciennes, souvent trop imprécises géographiquement, et qui ne reflèteraient plus forcément la réalité des répartitions actuelles des taxons. Historiquement, les inventaires floristiques ont été menés plus tôt dans certaines ex-régions, notamment en Limousin, que dans d'autres comme l'Aquitaine, ou encore le Poitou-Charentes où ceux-ci ne sont pas encore terminés.

Filtres Géométriques

Ensuite, seules les données localisées précisément et présentant une géométrie adéquate à l'échelle de travail (1x1 km) ont été conservées. Ainsi, les relevés floristiques associés à des géométries de superficie supérieure au kilomètre carré ont été exclus de l'analyse. Ceux intersectant plusieurs mailles de 1x1 km ont été affectés à la maille avec le plus grand pourcentage de surface (ou linéaire) de chevauchement dès lors que ce pourcentage maximal de recouvrement atteignait au moins 30 % de la superficie du relevé. En-deçà de ce seuil, les relevés n'ont pas été conservés. Enfin, tous les relevés inclus dans des mailles 1x1 km qui intersectent le territoire de la Nouvelle-Aquitaine ont été utilisés. Ceci inclut donc notamment certains relevés réalisés à l'extérieur de la région mais à proximité immédiate de ses bordures, de telle façon qu'ils se retrouvent à l'intérieur d'une maille 1x1 km située en zone frontalière des deux régions. De cette façon, les potentiels effets de bord sont limités.

Filtres taxonomiques

Le premier filtre taxonomique appliqué est celui du statut de spontanéité des populations et du statut d'indigénat des espèces. Ainsi, les espèces principalement ou exclusivement plantées ou cultivées, n'étant pas capables de se maintenir naturellement dans les milieux (ex : Maïs, Pavot de Californie, Laurier rose, etc.) et dont la notation dans le cadre des inventaires systématiques est hétérogène, ont été écartées. En revanche, les espèces parfois régulièrement plantées ou cultivées mais indigènes sur une partie du territoire ont été conservées (ex : *Abies alba*). Il en va de même pour les espèces exotiques naturalisées (Caillon et al., 2022), observées en conditions spontanées. Malgré les limites de l'approche de modélisation pour bon nombre d'entre elles, notamment sur la représentativité de leur niche potentielle à l'échelle régionale, ce choix a été fait pour disposer tout de même de premiers éléments sur leur évolution potentielle. L'interprétation des résultats pour ces espèces demeure discutable et une approche complémentaire et spécifique devra être développée pour pallier certains biais.

Ensuite, les taxons présentant des risques de confusion nomenclaturale, taxonomique ou dont la fiabilité des données est incertaine ont également été écartés. Cela se justifie par le fait qu'on aboutit à des incohérences

notables lors de la phase de modélisation de la niche écologique pour ces taxons et donc à des projections d'aires d'affinité climatique biaisées, qui plus est pour les projections d'évolutions futures. Pour cette raison, les données relatives aux taxons hybrides, dont les notations apparaissent très hétérogènes entre observateurs et donc entre territoires, sont majoritairement écartées. Seuls quelques rares hybrides bien identifiés et qui semblent notés de façon homogène ont été conservés (ex : *Circaeae x intermedia*).

Par ailleurs, la reconstruction de la niche écologique d'un groupe d'espèces a particulièrement posé problème et mené à des projections aberrantes. Il s'agit des espèces strictement littorales associées à des écosystèmes de dunes ouvertes, de prés salés ou d'estuaires. La piètre qualité des reconstructions s'explique généralement par le manque de variables environnementales spécifiques à ces milieux, notamment des variables liées à la salinité des sols, des embruns et du milieu en général ainsi qu'à certains paramètres édaphiques qui peuvent également exercer de fortes contraintes sur le développement des plantes caractéristiques de ces environnements. Malgré l'intérêt patrimonial de la flore de ces milieux à l'échelle régionale, il n'a donc pas toujours été possible de prendre en compte ces espèces dans cette étude. Des modèles spécifiques pourront être développés pour les systèmes littoraux afin d'évaluer de façon cohérente l'évolution potentielle des espèces qui y sont inféodées.

Filtre sur l'occurrence des espèces

Enfin, la qualité des modèles de niche reposant en majeure partie sur le nombre, la représentativité et la fiabilité des données d'observation, un certain nombre d'espèces trop rares ont dû être écartées en amont de l'étape d'élaboration des cartes et indices de synthèse.

Le filtre appliqué est logiquement celui du nombre de mailles de 1x1 km associées à au moins une observation de l'espèce considérée comme valide après application des filtres taxonomiques décrits plus haut. Ainsi, toutes les espèces présentant moins de 10 mailles d'occurrence pour l'ensemble de la région ont été retirées d'office, car la qualité des projections des aires d'affinité climatiques, actuelles comme futures, était jugée insuffisante.

Pour les espèces présentant entre 10 et 20 mailles d'occurrence, un travail à dire d'expert a été mené pour conserver uniquement celles associées à des données affichant une répartition supposée cohérente et représentative de la réalité de leur extension géographique actuelle régionale. Il s'agit en général des espèces à la répartition assez agglomérée et caractéristiques de milieux assez particuliers pour la région (ex : espèces subalpines présentes uniquement dans les hautes vallées pyrénées). Ce sont ainsi 1240 espèces qui sont directement écartées.

Bilan relatif aux données floristiques utilisées

En somme, 319 espèces ont été écartées selon les différents filtres taxonomiques, s'ajoutant aux 1240 espèces écartées du fait de leur rareté, soit un total de 1559 espèces au total. La modélisation des niches écologiques et la production des cartes de projections futures des aires climatiques favorables ont donc finalement été réalisées sur la base de 2181 espèces végétales.

II.1.4 Production des cartes de projections futures

Correction des biais spatiaux et d'échantillonnage

Description des biais existants – Répartition spatiale des observations des espèces

Les données floristiques rassemblées pour cette étude au sein de l'OBV-NA (Figure 5) proviennent à la fois de programmes d'inventaire, réalisés par trois Conservatoires Botaniques Nationaux (CBN Sud-Atlantique, CBN Massif central, CBN Pyrénées et Midi-Pyrénées) à des périodes plus ou moins distinctes, et en utilisant des protocoles globalement comparables mais présentant certaines différences, ainsi que de l'ensemble du réseau naturaliste de la région. De ces divergences, résulte un état de la connaissance qui n'est pas homogène à l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine.

On notera tout particulièrement le déficit d'informations pour trois des départements de l'ex-région Poitou-Charentes (Figure 6 – encart C), à savoir la Charente (16), les Deux-Sèvres (79) et la Vienne (86). En effet, au moment de l'extraction des données flore qui ont été rassemblées pour cette étude fin 2019, ces départements n'avaient pas encore été couverts par un inventaire systématique de la flore. En revanche, l'inventaire systématique de l'Aquitaine étant presque terminé, cette ex-région était assez bien couverte (Figure 6 – encart A) et l'on remarque seulement quelques lots de mailles qui n'ont pas encore été parcourues, ou dont les données récoltées n'avaient pas encore été intégrées à l'OBV.

On peut également noter la répartition plus agglomérée des observations en Limousin (Figure 6 – encart D) et sur le piémont pyrénéen (Figure 6 – encart D), avec des zones lacunaires à l'échelle 1x1 km réparties tout autour de mailles qui, à l'inverse, sont très densément inventoriées. Ces mailles bien documentées sont régulièrement espacées à l'échelle de la maille 5x5 km qui correspond à la résolution ciblée par les inventaires.

Ces variations dans la structuration de l'information floristique entre les anciennes régions administratives résultent de choix différents qui ont été effectués au cours des dernières décennies par chacun des CBN, ainsi que d'opportunités de collecte de données via différents contributeurs (associations de protection de la nature, sociétés botaniques, bureaux d'étude, etc.).

Il peut en découler un effet sur les résultats des modèles de type SDM (Beck et al., 2014 ; Fourcade et al., 2014), même si certains auteurs relativisent l'influence de ce facteur (Barbet-Massin et al., 2012). En effet, le critère déterminant permettant la production de projections spatiales cohérentes par ce type de modèles est avant tout la couverture spatiale relativement homogène des données d'observation. Autrement dit, un échantillonnage réparti de façon suffisamment régulière, ou du moins recouvrant efficacement l'ensemble de la niche écologique de chacune des espèces, devrait permettre de reconstruire convenablement cette niche.

A ce titre, le déficit assez général de données floristiques observé dans trois départements de l'ex-région Poitou-Charentes (inventaires systématiques non encore réalisés à la date d'extraction des données en février 2020) pourra avoir un impact notable sur les projections obtenues pour les espèces présentes dans cette partie de la région (en sous-estimant l'affinité aux conditions climatiques et environnementales qui les caractérisent, à défaut d'analogues dans d'autres parties de la région mieux inventoriées), tandis que la répartition plus agglomérée des observations rassemblées pour le Limousin et le piémont pyrénéen ne devrait pas causer de difficultés car celles-ci sont tout de même réparties de façon homogène sur l'ensemble de ces secteurs à l'échelle supérieure de la maille 5x5 km.

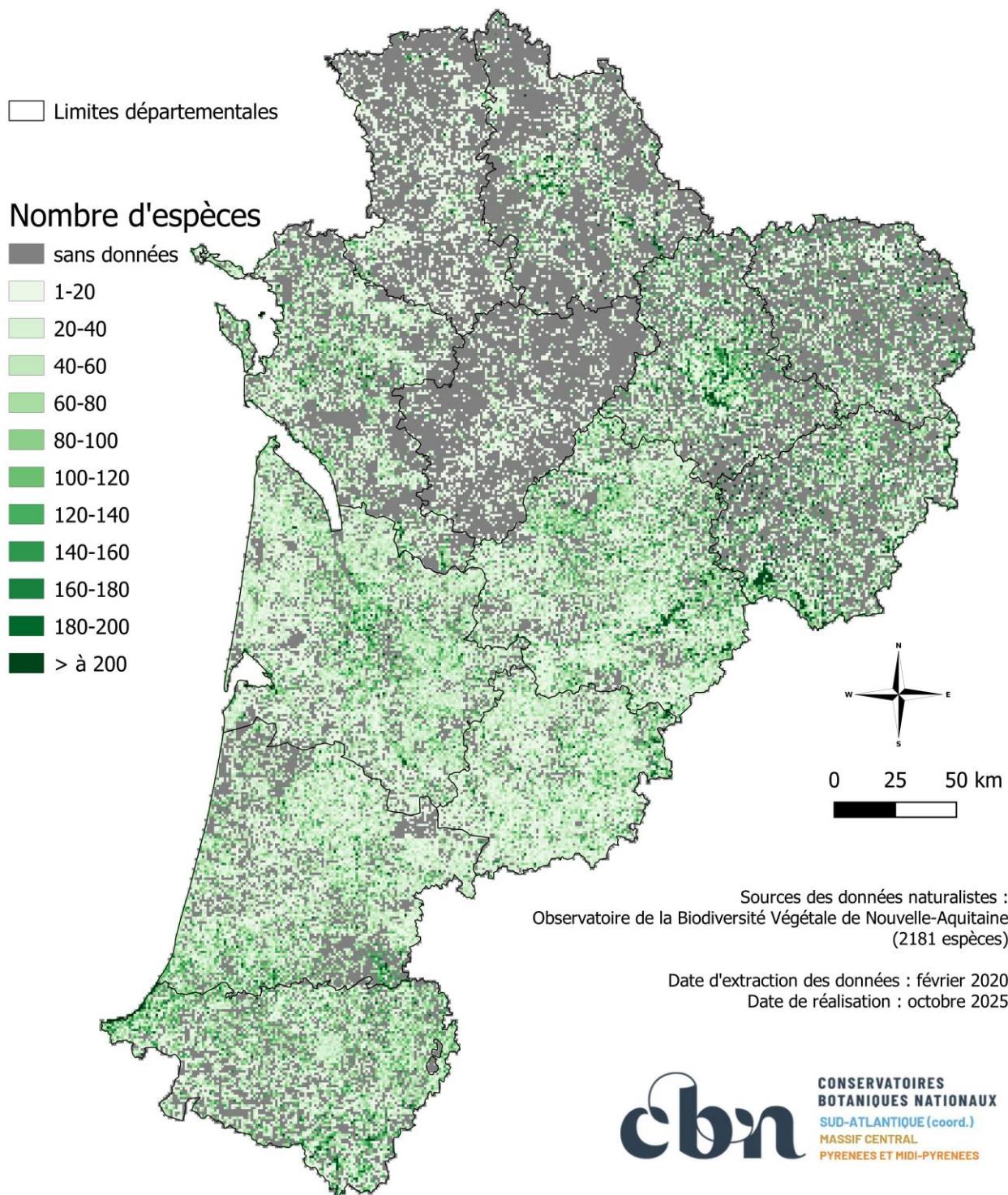
Description des biais existants – Autocorrélation spatiale

L'autocorrélation spatiale suppose que deux localités proches l'une de l'autre, en l'occurrence deux mailles de 1x1km, présentent généralement des valeurs similaires pour les variables étudiées, ou du moins des valeurs plus proches que celles obtenues en prenant n'importe quelle autre localité au hasard à une distance suffisante de la première. Ainsi, l'un des postulats de départ des analyses statistiques, à savoir que ces valeurs sont censées être réparties dans l'ensemble des mailles indépendamment de leurs positions relatives, n'est donc pas respecté (Dormann et al., 2007).

Dans le cas présent, il y a donc une probabilité supérieure de trouver une espèce dans une maille proche d'une autre où elle aurait déjà été observée que dans toute autre maille plus éloignée. Dans le cadre d'une modélisation de la répartition des espèces, ce phénomène en induit un autre, la distorsion des résultats par surreprésentation de certaines conditions environnementales dans le processus d'échantillonnage-apprentissage. Le risque est alors d'aboutir à une distorsion de la répartition générale des espèces qui ne sera pourtant pas relevée par les indices (Beck et al., 2014), tels que l'AUC (Area Under the receiver operating Curve – Hanley & McNeil, 1982), couramment utilisé pour juger de la précision et de la justesse des modèles.

Observations floristiques rassemblées en Nouvelle-Aquitaine

Carte de la richesse spécifique par maille 1x1 km à partir des 2181 espèces retenues



Cette carte illustre la répartition spatiale des données d'observation de la flore régionale telles que sélectionnées pour l'étude de la flore menacée par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine. Elle représente pour chaque maille de 1x1 km la somme des espèces dont la présence est avérée (au moins une fois), soit leur richesse spécifique. Elle est issue de la superposition des cartes de répartition de l'ensemble des espèces végétales de Nouvelle-Aquitaine, telles qu'obtenues en compilant toutes les observations réalisées sur le terrain pour 2181 espèces retenues pour cette étude et rassemblées au sein de l'OBV-NA.

Figure 5 : Carte du nombre d'espèces par maille de 1x1 km en Nouvelle-Aquitaine pour lesquelles au moins une observation floristique a été effectuée sur le terrain et rassemblée pour cette étude (source : OBV-NA - février 2020)

Observations floristiques rassemblées en Nouvelle-Aquitaine

Cartes de la richesse spécifique par maille 1x1 km à partir des 2181 espèces retenues

Ces vues détaillées illustrent les différences de répartition spatiale des données d'observation de la flore régionale telles que résultant de divergences de stratégies d'inventaire, d'état de leur avancement, d'opportunités de collecte via différents contributeurs (associations de protection de la nature, sociétés botaniques, bureaux d'étude, etc.) du réseau naturaliste régional.

Le gradient représente pour chaque maille de 1x1 km la somme des espèces obtenue en compilant toutes les observations réalisées sur le terrain pour 2181 espèces retenues pour cette étude et rassemblées au sein de l'OBV-NA.

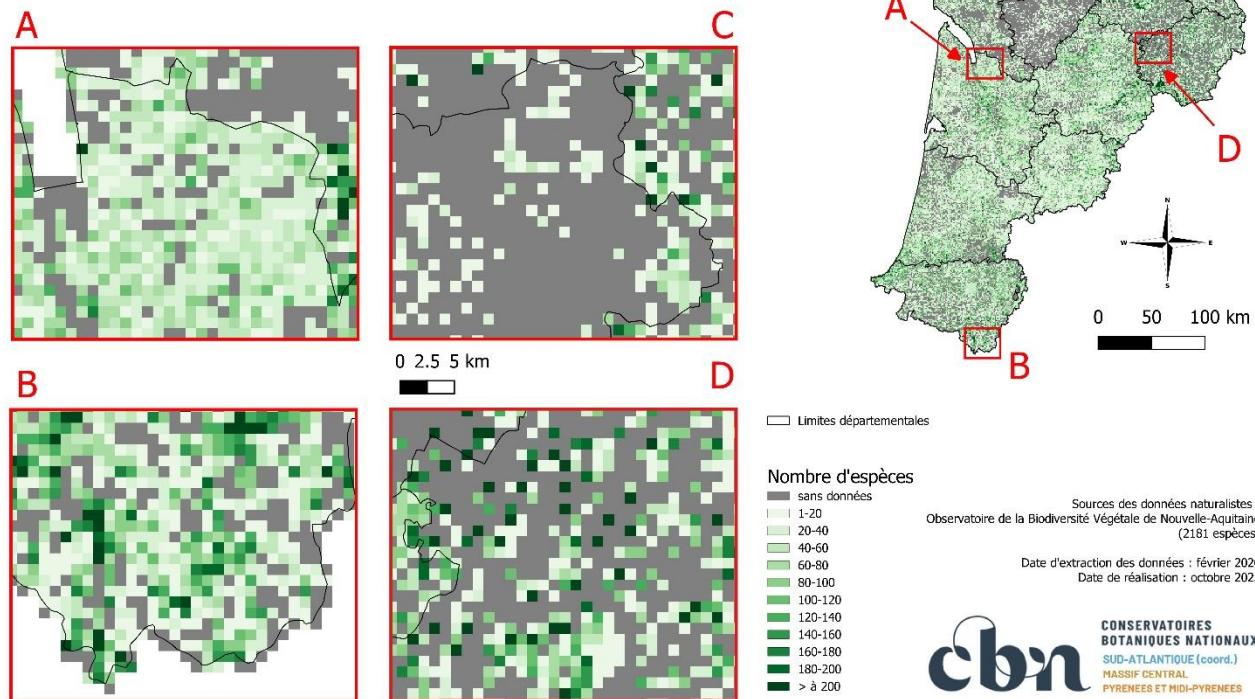


Figure 6 : Vues détaillées dans différents secteurs de la Nouvelle-Aquitaine du nombre d'espèces par maille de 1x1 km en Nouvelle-Aquitaine pour lesquelles au moins une observation floristique a été effectuée sur le terrain et rassemblée pour cette étude (source : OBV-NA - février 2020)

⌚ Méthodes pour pallier les biais - Désagrégation

Pour remédier à ces sources de biais, certains auteurs recommandent d'utiliser une méthode d'échantillonnage systématique au sein des données sources qui conduit à n'en conserver qu'une partie (Phillips *et al.*, 2009 ; Boria *et al.*, 2014 ; Fourcade *et al.*, 2014 ; Hijmans & Elith, 2021). On sélectionnera ainsi une quantité moindre de données de présence, de façon à la fois aléatoire et régulièrement réparties, en ne retenant qu'une seule des mailles de 1x1 km où la présence d'une espèce a été observée au sein d'un lot de 4.

En pratique, on ne conserve que la maille de 1x1 km qui correspond à l'observation la plus récente de la plante dans une maille de 2x2 km l'englobant (Figure 7). Certaines données de présence avérée sur le terrain seront ainsi conservées et serviront de base pour la modélisation de la niche écologique de l'espèce puis la projection spatiale de ses probabilités de présence. D'autres seront mises de côté pour tenter de diminuer l'impact des zones les mieux prospectées dans le calcul. Si cette méthode n'élimine pas totalement les biais spatiaux, elle a néanmoins été évaluée comme étant la plus efficace pour les atténuer (Fourcade *et al.*, 2014), et l'une des plus simples à mettre en place. Compte-tenu du nombre très conséquent de données au départ, la perte d'information potentielle qui résulte de ce tri est sensée être largement compensée par les gains obtenus en termes de rééquilibrage spatial des données de présence à l'échelle de la région.

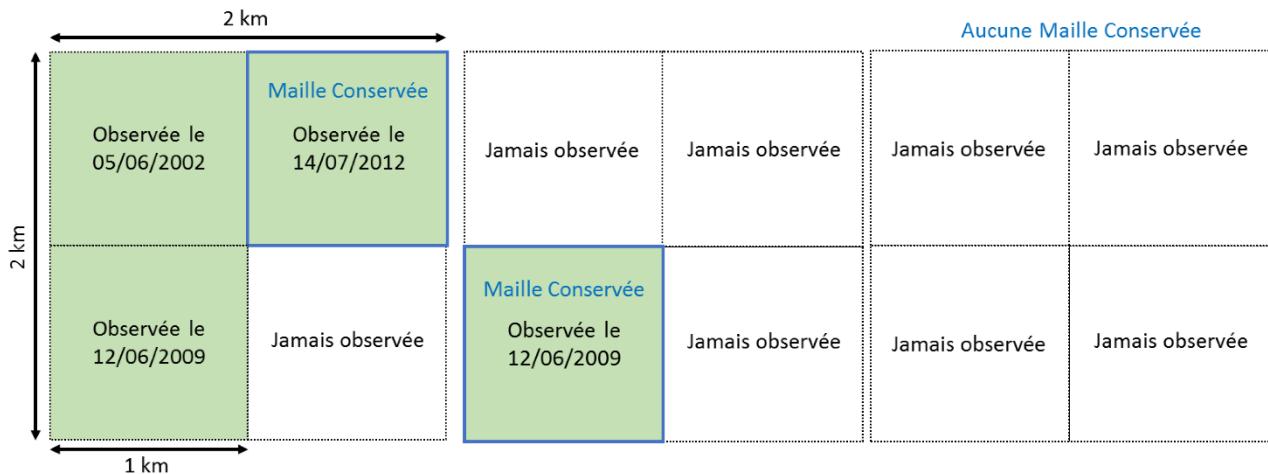


Figure 7 : Illustrations de différents cas de figure lors du processus de désagrégation par échantillonnage systématique au sein des données de présence avérée des espèces

⌚ Méthodes pour pallier les biais - Pression d'observation

Une option complémentaire utilisée pour réduire le biais de prospection consiste à opérer un débiaisement par une carte de cette pression d'observation elle-même. Une telle carte n'existant pas à l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine avec une résolution d'un kilomètre carré, c'est la carte de répartition potentielle de *Plantago lanceolata*, elle-même issue d'une première modélisation, qui a été utilisée. En effet, lorsque la donnée de pression d'observation fait défaut, ou du moins ne correspond pas aux besoins de l'étude (résolution, couverture spatiale complète de la zone d'étude), il est recommandé d'utiliser la projection spatiale obtenue pour l'une des espèces les plus communes et ubiquistes comme proxy de cette pression (Dudik et al., 2006 ; Elith et al., 2010).

L'espèce en question étant supposée présente sur l'intégralité du territoire, sa niche écologique devrait logiquement recouvrir l'ensemble de la gamme des valeurs possibles dans la région pour toutes les variables environnementales disponibles. Une faible affinité pour les conditions rencontrées dans certaines parties du territoire reflètera donc bien plus un déficit de prospection dans ces zones qu'une réelle diminution de probabilité de présence de la plante. Le résultat de sa projection pourra donc être utilisé comme un indice de la complétude de l'inventaire floristique. Cet indice est ensuite utilisé lors des modélisations de l'ensemble des autres espèces végétales, de façon à opérer une pondération spatiale des résultats sensée diminuer le biais de prospection initial.

⌚ Pseudo-absences (Nombre et répartition spatiale)

La méthode utilisée pour le choix des pseudo-absences générées lors de la phase d'apprentissage semble elle aussi jouer un rôle prépondérant dans le calcul, d'après la littérature (Chefaoui & Lobo, 2008 ; Wisz & Guisan, 2009 ; Barbet-Massin et al., 2012 ; Merow et al., 2013 ; Fourcade et al., 2014). Leur nombre semble ainsi impacter fortement les résultats. Plus précisément, c'est le ratio entre le nombre total de mailles dans la région d'une part et le nombre des présences avérées de la plante d'autre part qui influence les prédictions.

Plus la zone étudiée est vaste, et/ou plus la résolution est importante, plus le nombre de pseudo-absences nécessaires doit être augmenté. Pour la Nouvelle-Aquitaine à la résolution d'1 km², il est ainsi recommandé d'utiliser un seuil de 20% du nombre total de mailles (86 332), soit environ 20 000 pseudo-absences (Barbet-Massin et al., 2012).

De même, plus le nombre de mailles de présence avérée de la plante est grand, plus le nombre de pseudo-absences venant contrebalancer le poids de ces présences devra augmenter. L'objectif de cette démarche est de fournir suffisamment de pseudo-absences relevant de conditions proches de celles des présences, de manière à bien les discriminer les unes des autres lors de la phase d'apprentissage.

A l'inverse, si la plante est rare et présente donc un faible nombre de mailles de présence avérée, la grande différence d'effectifs (20 000 pseudo-absences face à quelques dizaines de présences) engendre des biais dans

les résultats du modèle (Barbet-Massin et al., 2012). Il est ainsi proposé de rééquilibrer en diminuant le nombre de pseudo-absences ou bien en pondérant leur influence, via l'utilisation d'un facteur (W). Du fait de la gamme très étendue des possibilités en la matière concernant les plantes de la région, cet aspect n'a pour l'instant fait l'objet que de tests sommaires (10 000 ou 20 000 pseudo-absences) et sera développé ultérieurement. Le nombre de pseudo-absences utilisées par la suite sera donc généralement fixé à 20 000, sans adaptation vis-à-vis de la rareté ou non de la plante.

Parallèlement au nombre des pseudo-absences, leur stratégie d'implantation peut également faire l'objet d'un paramétrage (Thuiller et al., 2009). En effet, celle-ci peut être aléatoire ou ciblée, suivant diverses règles. Il apparaît, là encore, que la méthode de sélection aléatoire ressort comme la plus performante (Chefaoui & Lobo, 2008 ; Wisz & Guisan, 2009 ; Barbet-Massin et al., 2012). En effet, la sélection de pseudo-absences proches des présences avérées semble conduire à une sous-estimation de la répartition des plantes, tandis qu'une sélection excluant les mailles trop proches des présences avérées ne permettra pas de cerner précisément les limites de la niche écologique et induira donc une surestimation de la répartition du taxon. En cas de non-équilibre de l'aire de répartition, c'est-à-dire lorsque la niche réalisée diffère sensiblement de la niche potentielle de l'espèce (Soberon & Peterson, 2005), les auteurs de cette étude comparative avancent que la sélection aléatoire des pseudo-absences présente l'avantage d'échantillonner à la fois des mailles proches des présences avérées et d'autres plus éloignées, couvrant ainsi de façon plus homogène l'ensemble du spectre des conditions environnementales qui ne correspondent pas à la répartition constatée des espèces végétales (Chefaoui & Lobo, 2008).

Cartes de projection de l'affinité climatique des espèces et indices d'évaluation de la qualité des modèles

A l'issue de ce cheminement méthodologique, des cartes de projection de l'affinité climatique et environnementale pour les espèces peuvent être produites pour la période actuelle (Figure 8) et pour les horizons futurs considérés (Figure 9). Pour l'immense majorité des taxons étudiés, on observe une assez bonne concordance entre l'enveloppe générale de la répartition avérée pour chaque plante (carrés noirs sur les cartes) et celle de leur aire d'affinité estimée (couleurs tendant vers le vert dans le gradient d'affinité). Cette impression globale est confortée par les indices d'évaluation de performance de prédiction (Figure 10) tels que le rapport entre sensibilité et spécificité de la projection. Respectivement, la première de ces deux notions (sensibilité) correspond à la capacité du modèle à détecter l'ensemble des présences avérées de l'espèce et donc à minimiser le nombre de faux négatifs, c'est-à-dire le nombre de mailles où la présence de la plante est avérée mais qui ressort de la projection avec une probabilité de présence faible. A l'inverse, la spécificité va correspondre à la capacité à minimiser le nombre de faux positifs, c'est-à-dire le nombre de mailles où la présence n'est pas avérée mais qui sont associées à une forte probabilité de présence.

Du fait du manque de données d'absences avérées, remplacées par des pseudo-absences dans le calcul, on s'intéressera plutôt ici à la sensibilité qu'à la spécificité. En effet, la prédiction de présences dans des mailles où les conditions semblent favorables à une plante sans pour autant qu'elle ait déjà été constatée sur le terrain est justement l'un des effets recherchés du modèle (Merow et al., 2013).

L'indice AUC (Area Under the receiver operating characteristic Curve) va quant à lui résumer en une unique valeur la qualité de la prédiction, comprise comme la capacité du modèle à fournir des probabilités de présence plus fortes pour les mailles de présence avérée que pour les mailles de pseudo-absences (Merow et al., 2013). Cet indice est l'un des plus couramment utilisés, même s'il présente certaines limitations et peut mener à des interprétations abusives (Lobo et al., 2008 ; Bahn & McGill, 2013). Il est par exemple établi que l'AUC va pénaliser les prédictions qui débordent de l'emprise des présences avérées, même si ces prédictions peuvent faire sens écologiquement parlant. Pour cette raison, lors des tests de paramétrage des modèles, une baisse du score d'AUC ne doit pas forcément être interprétée comme une diminution de la qualité des prédictions (Aguirre-Gutiérrez et al., 2013).

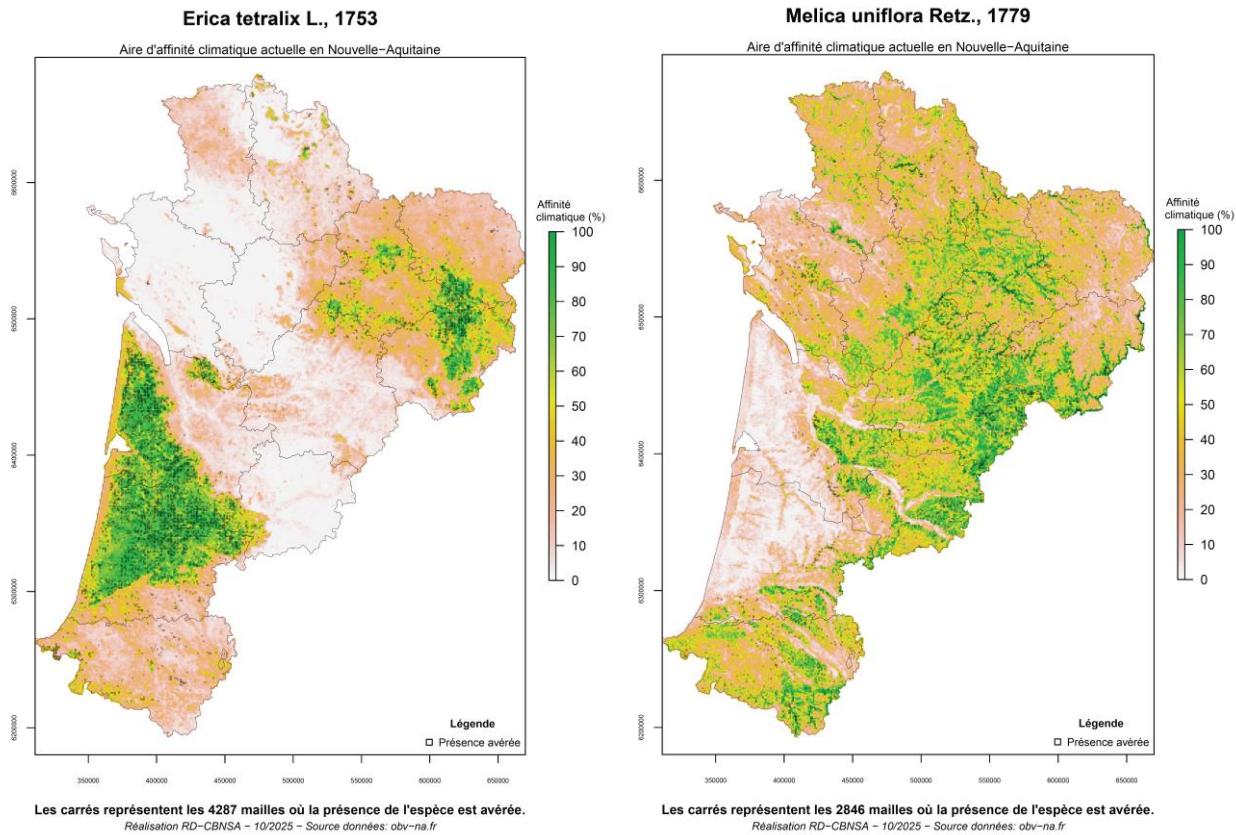


Figure 8 : Cartes de projection de l'affinité climatique et environnementale pour *Erica tetralix* et *Melica uniflora* pour la période actuelle (1991-2020)

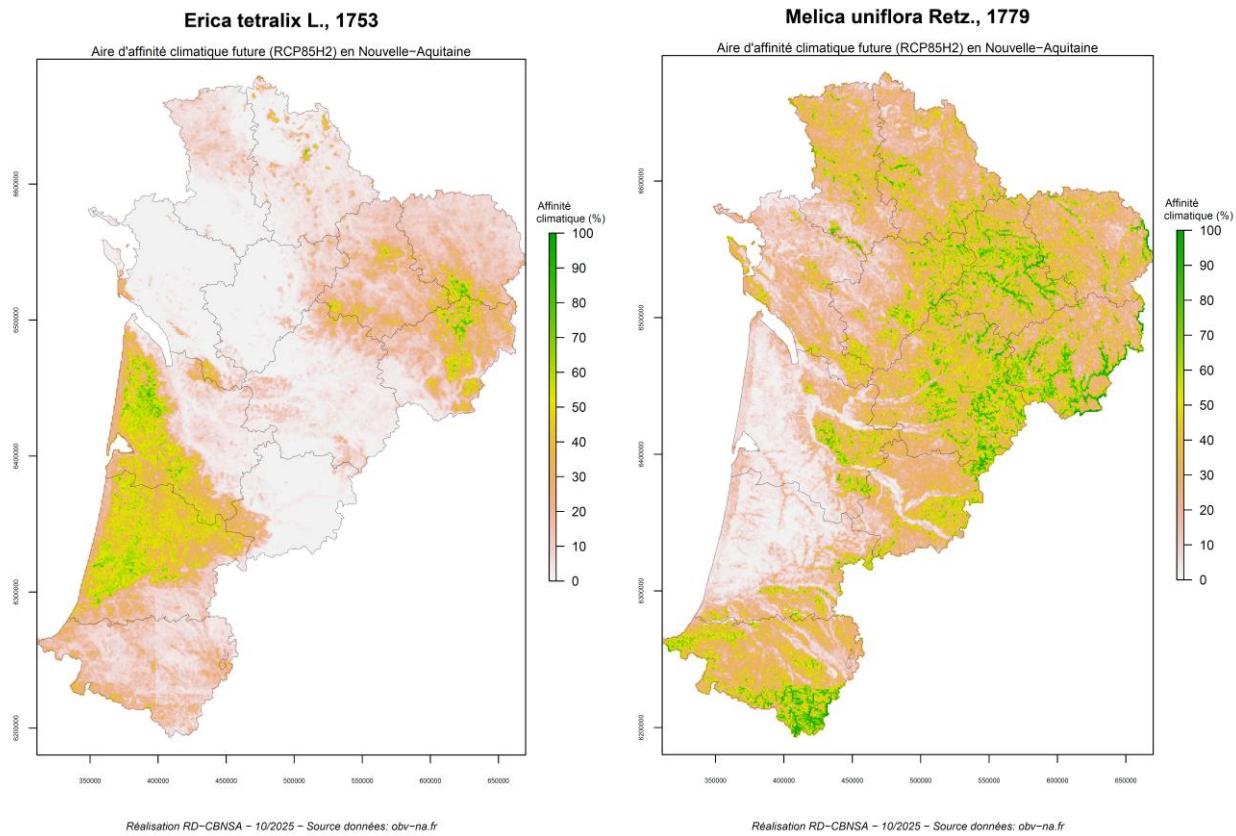


Figure 9 : Cartes de projection de l'affinité climatique et environnementale pour *Erica tetralix* et *Melica uniflora* pour l'horizon H2 (2041-2070) suivant le scénario RCP8.5 d'émissions de GES

De la littérature, il ressort des grandes constantes dans le comportement des modèles qui peuvent, elles-aussi, nous aider à mieux interpréter ces résultats. Ainsi, il semble récurrent que les espèces ayant une amplitude écologique assez large, et donc les plus largement répandues, sont généralement celles qui posent le plus de problème pour les prédictions (Brotons et al., 2004). La tendance décroissante des valeurs obtenues pour la moyenne des valeurs d'AUC (calculée à partir des 10 itérations servant à générer les projections spatiales pour chaque espèce) est une illustration de ce phénomène (Figure 10). En effet, les espèces à large répartition, et donc associées à un grand nombre de présences avérées, sont alors plus sensibles à la qualité et au nombre des pseudo-absences qui vont permettre de contraindre leur répartition potentielle.

Les espèces rares provoquent, elles-aussi, des difficultés pour la modélisation. C'est cette fois le nombre trop restreint des présences avérées qui va poser problème. En effet, le sur-apprentissage causé par l'inadéquation entre de nombreuses variables environnementales et de trop rares mailles de présence va nuire à la capacité du modèle à étendre les prédictions au-delà des présences connues (Breiner et al., 2016), générant une niche écologique très étroite pour certaines variables et aboutissant à une aire de répartition parfois trop restrictive. Les indices AUC très élevés calculés pour ces espèces peuvent ainsi, dans certains cas, s'avérer trompeurs.

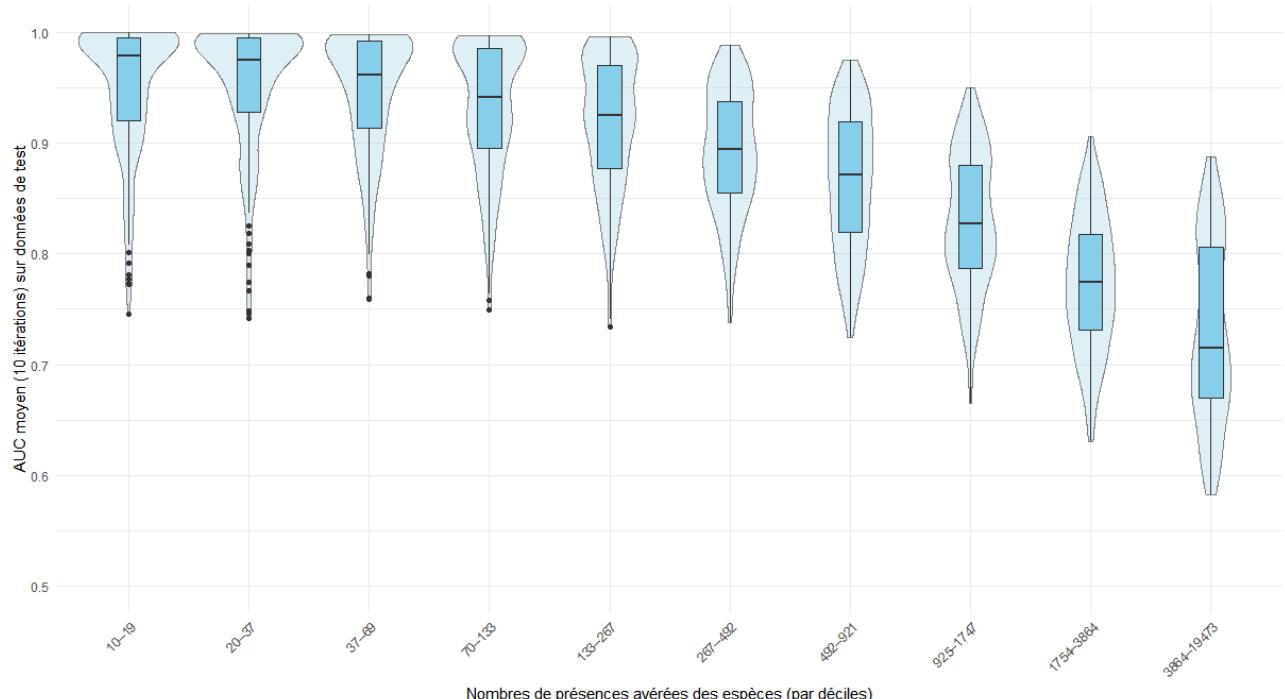


Figure 10 : Distribution des valeurs moyennes d'AUC (Area Under the receiver operating characteristic Curve) en fonction du nombre de mailles 1x1 km de présence avérée des espèces

II.1.5 Définition d'un indice de sensibilité climatique

Binarisation des cartes d'affinité climatique

Pour déterminer l'évolution de l'aire d'affinité climatique d'une plante entre deux périodes, une première étape consiste à fixer les limites géographiques de cette aire dans chacun des cas. Pour cela, il est nécessaire de fixer une valeur seuil au sein du gradient de probabilité au-dessus de laquelle l'affinité de l'espèce pour les conditions climatiques et environnementales est supposée suffisante pour permettre son développement. A l'inverse, les mailles associées à des valeurs situées en deçà de ce seuil seront associées à une affinité insuffisante de cette plante pour les conditions locales. On passe ainsi de résultats des modèles fournis par le calcul sous la forme d'un gradient complet de probabilités d'affinité (allant de 0 à 100%) à une information binaire (0 ou 1) pour chaque maille de 1x1 km.

Ce choix d'un seuil s'avère être l'un des facteurs les plus déterminants vis-à-vis des résultats obtenus pour l'étude des évolutions de la couverture spatiale des espèces (Nenzén & Araújo, 2011 ; Norris, 2014). L'utilisation d'une valeur unique pour différentes espèces est souvent utilisée du fait de la grande commodité de ce choix, ce qui fut d'ailleurs le cas lors des premiers tests (Romeyer & David, 2020). Elle devrait cependant être évitée lorsqu'un seuil basé sur les critères de spécificité et de sensibilité peut être obtenu (Merow *et al.*, 2013). De nombreuses méthodes ont été testées et comparées dans la littérature (Jimenez-Valverde & Lobo, 2007 ; Liu *et al.*, 2016). Il ressort de ces évaluations que la méthode visant à maximiser la somme des indices de sensibilité (bonne détection des présences avérées attestée par un faible nombre de faux négatifs) et de spécificité (faible nombre de faux positifs qui traduit une limitation efficace de l'aire prédictive) lors de la phase de test, semble généralement obtenir de meilleurs scores lors des tests que les autres méthodes disponibles dans le modèle MaxEnt. C'est donc le seuil MTSS (Maximum Test Sensitivity plus Specificity) relatif à chaque espèce qui a été appliqué ici pour évaluer la dynamique de leurs aires d'affinité climatique entre l'actuel et les différentes combinaisons de scénarios d'émissions de GES et d'horizons temporels.

Production des cartes d'évolution de l'affinité climatique

Les cartes générées pour chacune des espèces une fois seuillées et donc transformées en cartes binaires, il devient possible de comparer les aires prédictives pour les différents horizons possibles avec l'aire d'affinité modélisée pour la période actuelle. On génère ainsi de nouvelles cartes pour chaque espèce, dites cartes d'évolution de l'affinité climatique et environnementale régionale (Figure 11), relatives aux combinaisons possibles des différents scénarios et horizons (Romeyer & David, 2020). Sur ces cartes, les mailles 1x1 km qui apparaissent en bleu (nommées "gains") correspondent aux secteurs où l'affinité climatique de l'espèce pour les conditions locales n'est pas considérée suffisante au cours de la période actuelle (1991-2020) pour permettre son développement mais elle pourrait l'être à l'horizon considéré car les conditions deviendront alors plus favorables. Les mailles en rouge (nommées "pertes") correspondent, à l'inverse, à des territoires où l'affinité climatique est prédictive comme suffisante pour la période actuelle mais pourrait devenir insuffisante à l'horizon considéré pour maintenir des possibilités de développement pour l'espèce. Enfin, les mailles en gris (nommées "mantiens") et en blanc (nommées "absences") correspondent aux secteurs où les transformations induites par le changement climatique ne devraient pas amener à des modifications suffisantes de l'affinité pour changer de catégorie, une fois les valeurs binarisées.

Calcul de l'indice de sensibilité climatique

Les indices de sensibilité climatique pour les espèces, entre la période actuelle et chacun des horizons futurs, sont obtenus en dénombrant les mailles dépassant le seuil MTSS d'affinité fixé lors de l'étape de binarisation pour l'horizon futur concerné, puis en faisant le ratio de ce nombre de mailles avec celui prédit pour la période actuelle. Ils sont générés *via* la formule ci-dessous :

$$i = \frac{n_h - n_a}{n_a} \times 100$$

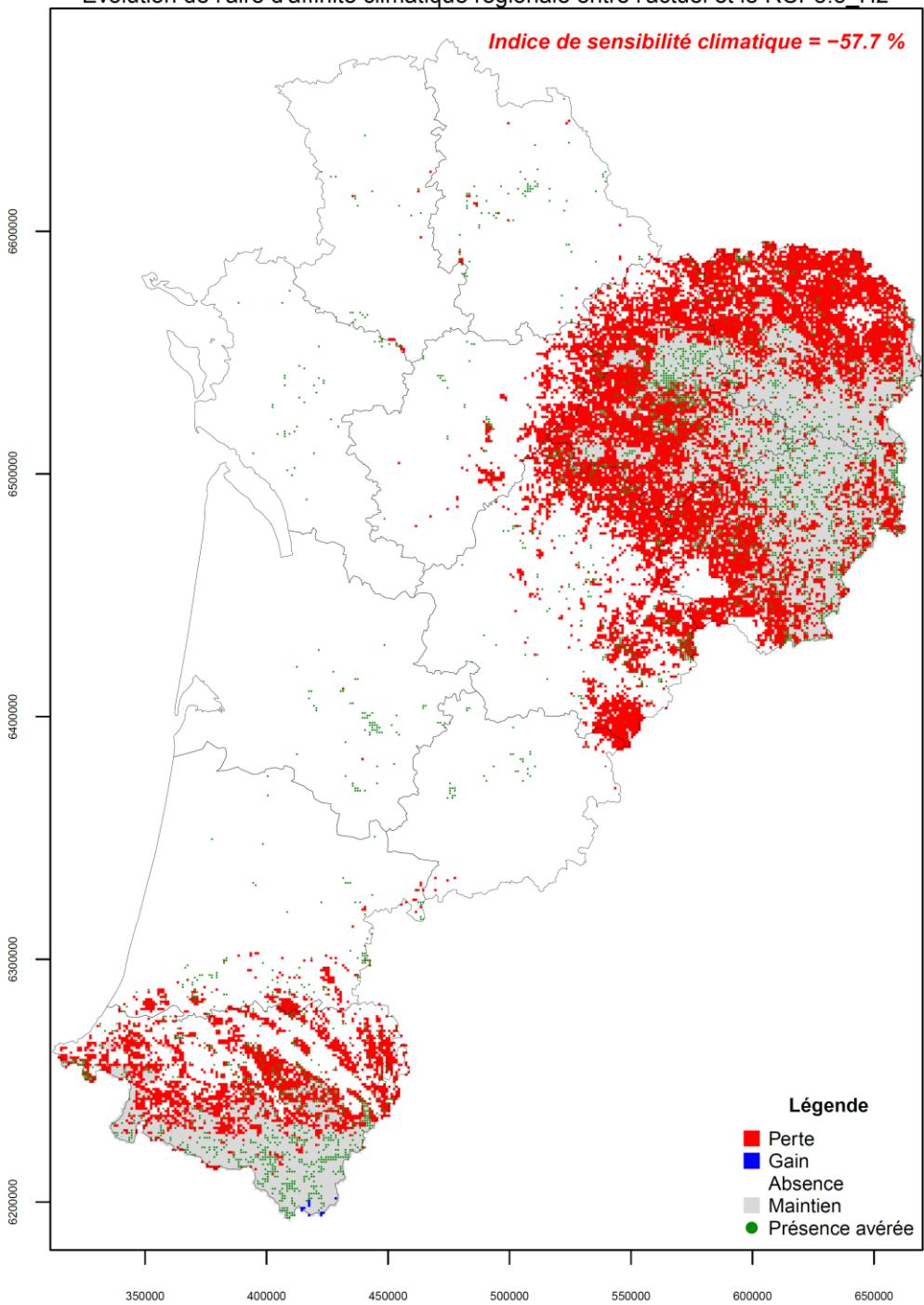
Avec :

- i : indice de sensibilité climatique (en %)
- n_h : nombre de mailles de présence estimée pour l'horizon futur
- n_a : nombre de mailles de présence estimée pour l'actuel

Pour chaque taxon, les indices de sensibilité climatique correspondent au pourcentage d'évolution de l'aire totale d'affinité climatique estimée entre deux périodes. Par conséquent, le détail de certaines tendances, claires au niveau local mais non majoritaires à l'échelle de la région, ne pourra pas être perçu *via* ce seul indice. Il faudra alors se référer à l'analyse plus précise des cartes elles-mêmes (Annexe 5 : Cartes de projection de l'évolution des aires climatiques et environnementales favorables pour les espèces menacées au cours du XXI^e siècle).

Fagus sylvatica L., 1753

Évolution de l'aire d'affinité climatique régionale entre l'actuel et le RCP8.5_H2



Les points verts représentent les 3862 mailles où la présence de l'espèce est avérée.

Réalisation RD-CBNSA – 10/2025 – Source données: obv-na.fr

Figure 11 : Carte de projection de l'évolution de l'affinité climatique régionale de *Fagus sylvatica* entre la période actuelle (1991-2020) et l'horizon H2 (2041-2070) pour le scénario RCP8.5 d'émissions de GES



Rhododendron ferrugineum, plante menacée par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine (©N. Meslage-CBNSA)

II.2 DEFINITION DE LA MENACE CLIMATIQUE POUR LA FLORE

II.2.1 Choix du scénario d'émissions de GES et de l'horizon temporel

Scénario d'émissions de GES (RCP)

Si l'on s'en tient aux 2181 espèces retenues dans l'étude précédente (David & Romeyer, 2021) et que l'on compare les tendances générales en fonction des différents scénarios d'émissions de GES, on peut dire que le RCP2.6 qui correspond aux émissions les plus faibles présente une dynamique sensiblement différente de celles des deux autres RCP. En effet, il est le seul pour lequel la tendance évolutive des espèces s'inverse au fil du temps (Figure 12). Si l'ensemble des horizons affiche une majorité d'espèces ayant une aire d'affinité climatique en progression pour ce scénario, on constate une sorte de retour à la normale qui s'amorce dès l'horizon moyen si l'on se réfère à la valeur médiane et se confirme à l'horizon lointain avec un resserrement des écarts, entre espèces qui progressent et espèces qui régressent.

Ce resserrement vers des taux d'évolution plus modérés, d'un côté comme de l'autre du spectre, peut s'interpréter comme un retour progressif à des superficies d'aires de répartitions plus proches de celles estimées pour la période actuelle. Néanmoins, cela n'élimine pas la possibilité d'assister à un déplacement géographique des zones cœur de populations par rapport à l'actuel, ni même à des modifications des effectifs de ces populations à l'intérieur des mailles. En effet, ces résultats ne concernent que les aires d'affinité climatique dans des mailles de 1x1 km et ne nous informent en rien sur d'éventuelles variations d'effectifs en leur sein, ni sur des taux de recouvrement.

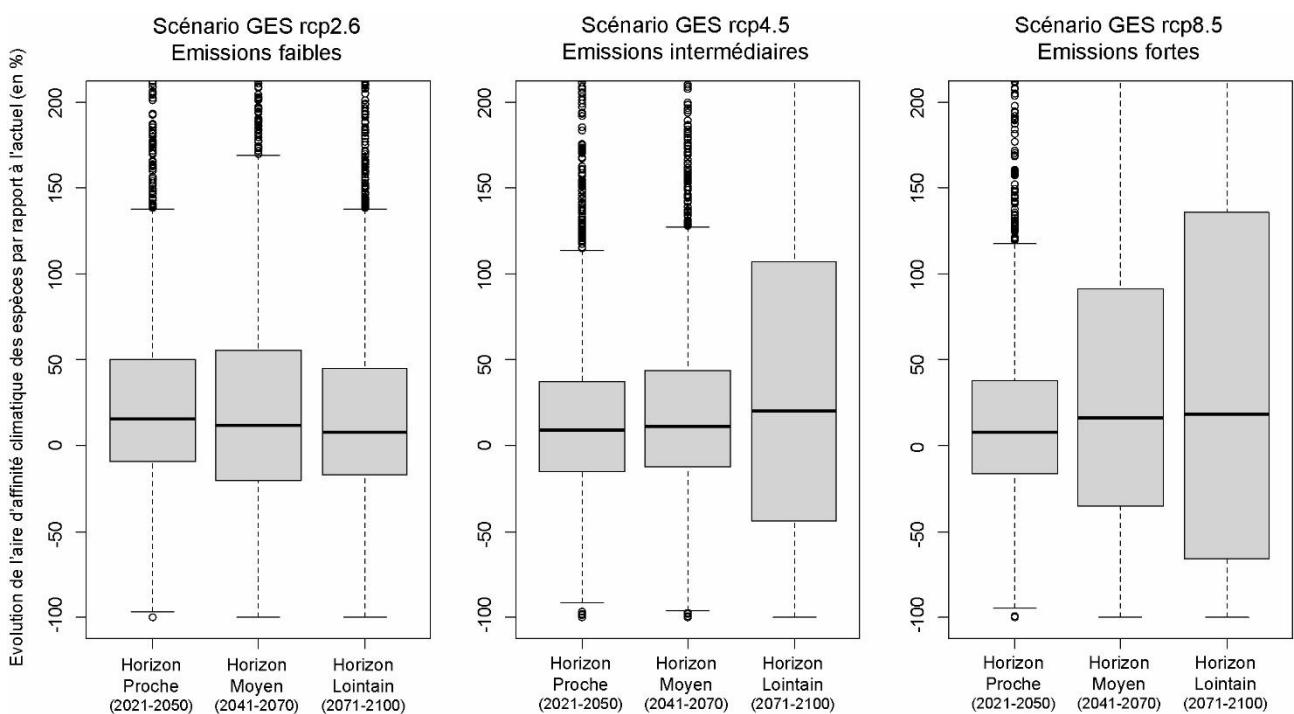


Figure 12 : Boîtes à moustaches des pourcentages d'évolution de l'aire d'affinité climatique et environnementale des espèces pour les 9 combinaisons de scénarios/horizons (tiré de David & Romeyer, 2021)

Les tendances prédites pour les deux autres scénarios, RCP4.5 et RCP8.5, sont plus univoques. En effet, la dynamique en progression de l'aire d'affinité climatique observée dès le premier horizon s'accentue au second et se confirme au troisième. On note toutefois une sorte de palier entre les horizons moyen et lointain en ce qui concerne le RCP4.5, avec notamment une explosion des écarts pour l'horizon lointain entre espèces qui progressent et espèces qui régressent. Ces écarts étaient restés contenus pour l'horizon moyen, ce qui constitue la principale différence avec les résultats obtenus pour ce même horizon avec le RCP8.5.

Ce dernier scénario, le plus émissif, voit les aires d'affinité climatique des plantes connaître des variations majeures dès l'horizon moyen et la divergence entre espèces en progression et espèces en régression s'accentue encore davantage au cours de l'horizon lointain.

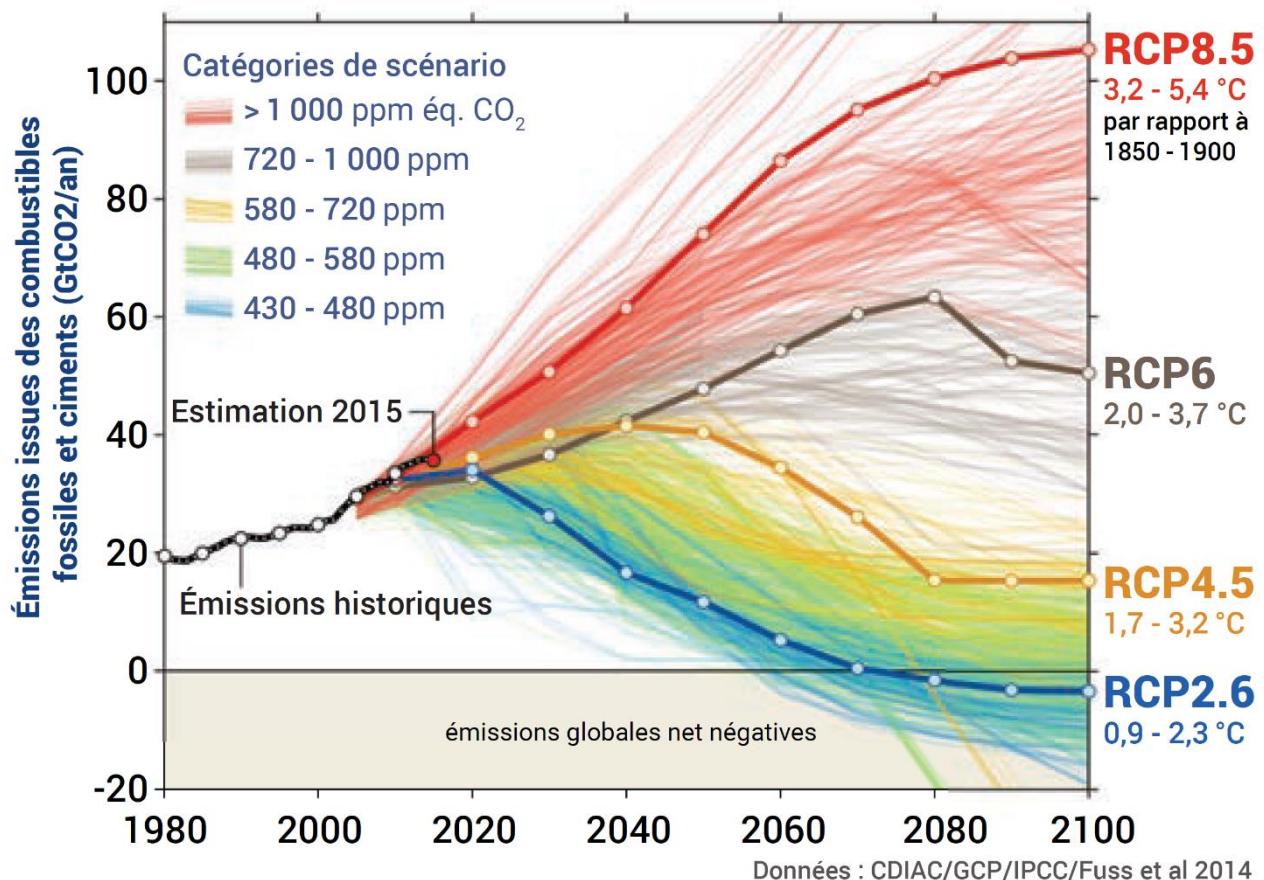


Figure 13 : Évolution des émissions entre 1980 et 2100, selon les différents scénarios disponibles. Source : Global Carbon Project. (Tiré de : Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS 2020 pour la métropole, Météo France, Soubeyroux et al. 2021)

Dans le cadre d'une analyse des menaces qui pèsent sur les espèces dans le futur, il apparaît pertinent de prendre comme référence le scénario RCP 8.5 pour envisager les impacts les plus importants sur les plantes de la région. Cela se justifie par le fait que les mesures des émissions cumulées de GES entre 2005 et 2020 semblent avoir plutôt suivi ce scénario (Schwalm et al., 2020 et Figure 13). Par ailleurs, dans une démarche de prévention et de gestion des risques sur les espèces concernées, il paraît en effet souhaitable, dans un premier temps, d'en identifier un maximum, quitte à réévaluer leur niveau de menace à l'avenir si l'évolution du climat s'avère moins défavorable que prévu.

Horizon temporel

En termes d'horizon temporel ciblé, le choix s'est porté sur l'horizon moyen (H2 : 2041-2070) pour orienter vers une sorte de compromis entre besoin et fiabilité des tendances. Des tendances à moyen voire long terme peuvent sembler plus pertinentes pour apprécier les effets sur la répartition des plantes, notamment lorsque l'on parle parfois d'espèces arbustives ou même d'arbres dont les cycles de vie peuvent être beaucoup plus longs que les intervalles de temps entre l'actuel et l'horizon considéré. Néanmoins, comme dans toute prévision, la fiabilité des simulations climatiques décroît avec la distance temporelle qui est visée, rendant plus incertaines les projections obtenues pour les horizons les plus lointains.

Enfin, en termes de conservation pour la flore et plus précisément pour traiter des espèces menacées par le changement climatique, un laps de temps d'une trentaine d'années (H2 : 15 à 45 ans) pour envisager des actions concrètes de conservation nous paraît plus pertinent qu'un intervalle assez bref d'une dizaine d'années (H1 : 0 à 25 ans) ou qu'un horizon lointain de l'ordre du demi-siècle et plus (H3 : 45 à 75 ans).

II.2.2 Evaluation à dire d'expert de la cohérence des modèles

Afin de se concentrer sur les espèces les plus menacées selon le scénario et horizon temporel retenu, et compte tenu de l'incertitude inhérente aux modèles et projections, il a été décidé, à dire d'expert, de n'évaluer que les espèces ayant un indice de sensibilité inférieur à -30%, correspondant à une contraction de l'aire climatique favorable de 30% d'ici 2041 à 2070. Cela représente 704 espèces au total à expertiser en termes de cohérence sur la tendance évolutive et sur la projection de l'aire climatique favorable, pour chacune d'elle.

Identification à dire d'expert et retrait des espèces présentant des incohérences de modélisation et de projection

Le travail de validation de la pré-liste de 704 espèces a été effectué à dire d'expert par un groupe de 7 botanistes (CHAMMARD Emilie, OLICARD Ludovic, VIDEAU Antonin, BONIFAIT Sylvain, FY Frédéric, LEBLOND Nicolas et ROMEYER Kévin) des Conservatoires Botaniques Nationaux de Nouvelle-Aquitaine (CBN Sud-Atlantique, CBN Massif central, CBN Pyrénées et Midi-Pyrénées). La répartition des espèces à évaluer entre botanistes est basée sur la responsabilité territoriale (nombre de mailles de présence avérée sur chaque territoire d'agrément), et de façon à avoir au moins 2 avis pour chaque espèce. Ce travail repose en premier lieu sur une évaluation de la tendance évolutive et du caractère menacé, compte tenu de leur écologie et de leur répartition à plus large échelle. Pour cela, différents ouvrages et bases de données ont été consultés, notamment Flora Gallica (Tison & Foucault, 2014), la Flore de France méditerranéenne (Tison et al., 2014), les Flores forestières françaises (Rameau et al., 1999 ; Rameau et al., 2008 ; Rameau et al., 2018), Baseflor (Julve, 2016), ainsi que les systèmes d'information GBIF (gbif.org), SIFlore (siflore.fcbn.fr), Euforgen (euforgen.org/species) et Lobelia (lobelia-cbn.fr). En parallèle, l'évaluation a porté sur la détection des incohérences dans les projections, notamment actuelles, liées à différents biais dans les données floristiques (lacunes de connaissances, représentativité chorologique, fiabilité de certaines observations, spontanéité des populations) générant une sur- ou sous-estimation de certaines variables environnementales (ex : sur-représentation des présences sur un type de substrat). Le groupe d'experts s'est réuni à l'issue de cette phase d'évaluation pour discuter des espèces dont le caractère menacé n'était pas consensuel et pour poser un avis définitif les concernant.

Les espèces pour lesquelles la tendance apparaissait douteuse ou contre-intuitive, ou pour lesquelles les projections d'évolution spatiale semblaient incohérentes, ont été écartées. Cela concerne au total 354 espèces dont une part importante, pour des raisons de données de présence avérée trop rares et dispersées, entraînant une fiabilité des modèles insuffisante. Sont également concernées les espèces liées à des conditions micro-stationnelles ou d'occupation du sol trop particulières (ex : murs, cultures, biotopes rudéraux) et dont les conditions macroclimatiques interviennent de façon secondaire dans la présence et la répartition. Par ailleurs, ont été écartées plusieurs espèces à très large répartition ou d'affinité méditerranéenne pour lesquelles leur niche climatique paraissait fortement tronquée sur les gradients thermique et d'aridité. Ceci aurait pu générer une forte sous-estimation de la tolérance à un climat plus chaud et plus aride et ainsi aboutir à une tendance d'évolution contre-intuitive pour les plantes concernées. Enfin, toutes les espèces considérées comme exotiques à l'échelle régionale (Caillon et al., 2022) ont été retirées, du fait des limites de l'approche de modélisation pour bon nombre d'entre elles qui sont en cours de naturalisation. En effet, la niche écologique modélisée pour ces plantes, pour la période actuelle, ne semble alors pas représentative de leur niche potentielle du fait du manque de données au-delà de l'emprise régionale. Un travail de modélisation spécifique à plus large échelle, intégrant l'aire d'indigénat complète, serait nécessaire pour définir la menace climatique pour ces espèces en Nouvelle-Aquitaine (Ubaldi, 2023).

A l'issue de ce processus d'audit des cartes d'évolution d'aire climatique favorable, le caractère menacé par le changement climatique et la cohérence des modèles et projections sont donc validés pour un premier lot d'espèces. Pour un second lot, des ajustements ont été proposés afin d'obtenir des projections jugées plus fiables par le groupe d'experts botanistes.

II.2.3 Révision des seuils pour la binarisation

Extension jugée trop importante des aires d'affinité climatique prédictes

Pour un certain nombre de taxons, le retour des botanistes consultés était que, si la niche écologique actuelle des espèces en question semblait avoir été correctement reconstruite par le modèle, le niveau relativement bas du seuil MTSS qui avait été calculé à partir des critères de spécificité et de sensibilité induisait une extension trop vaste de l'aire d'affinité prédictive pour ces espèces, une fois les cartes binarisées (passage de probabilités allant de 0 à 100% à des affinités suffisantes ou non pour permettre le développement local de l'espèce et codées 0 ou 1, respectivement). Dans la plupart des cas, le nombre de mailles 1x1 km de présence avérée de la plante sur le terrain, servant à reconstruire la niche écologique actuelle de l'espèce, était faible à très faible (quelques dizaines de mailles 1x1 km) et/ou leur répartition spatiale disséminée sur le territoire. Or, le calcul du seuil MTSS visant à définir une valeur permettant d'englober une partie significative des présences avérées (mais tout en évitant au maximum les pseudo-absences), il paraît logique que, pour ces espèces, la barre soit placée à un niveau relativement bas pour arriver à atteindre cet objectif.

Application d'un bonus correctif sur les valeurs seuils utilisées pour la binarisation

Pour pallier ces niveaux jugés trop bas par les botanistes et contraindre un peu plus fortement l'extension de l'aire d'affinité climatique de ces espèces sur les cartes binarisées, une formule « bonus » a donc été utilisée :

$$s_f = s_i + ((1 - s_i) \times 0,05) + ((1 - \frac{n}{2000}) \times 0,15)$$

Avec :

- s_i : seuil MTSS initial
- s_f : seuil MTSS final
- n : nombre de mailles de présence avérée sur le terrain

Cette formule permet d'affecter au seuil MTSS de départ un bonus dont la valeur dépend à la fois de la rareté des présences avérées de l'espèce (n) et de la valeur du seuil MTSS initial (s_i). La logique est que plus l'espèce est rare, et donc le nombre de données de présence avérée la renseignant faible, plus le seuil a tendance à avoir été sous-évalué par le premier calcul. De même, plus le seuil initial est faible, plus le besoin de le rehausser est important. Enfin, cette correction des seuils MTSS a été appliquée uniquement aux espèces comptant moins de 2000 mailles de présence avérées. Au-delà, la modification du seuil initial n'a pas été jugée nécessaire car la grande majorité des cartes produites s'avérait déjà cohérente à dire d'expert, ce qui venait encore appuyer la thèse du déficit de données de présence avérée comme source du biais. L'amplitude maximale du bonus relatif à la rareté est de 0,15 et celle du bonus relatif à la valeur du seuil initial est de 0,05. La somme des deux aboutit donc à un bonus maximal théorique de 0,2 (Figure 14) dans une gamme allant de 0 à 1 pour les seuils MTSS initiaux.

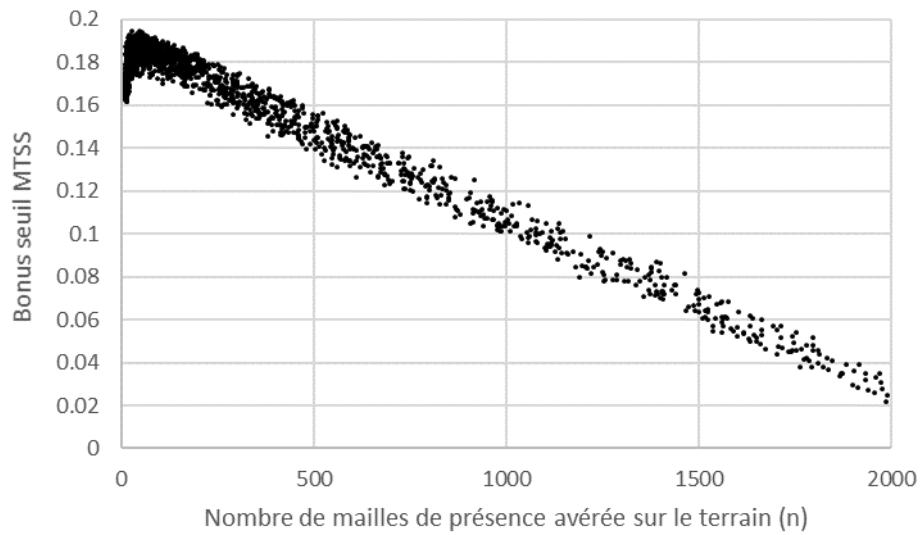


Figure 14 : Bonus ajoutés aux seuils MTSS initiaux en fonction du nombre de mailles 1x1 km de présence avérée pour chaque espèce

Cette amplitude maximale pour les bonus a été établie à l'issue d'une série de tests qui ont de nouveau mobilisé le groupe d'experts botanistes pour auditer les différentes versions des nouvelles cartes d'affinité climatique produites après bonus sur les seuils MTSS. L'ensemble de ce processus a permis de réintégrer plusieurs dizaines d'espèces dans la sélection des espèces menacées. De nouvelles cartes d'évolution d'aire d'affinité climatique ont ainsi été produites (Figure 15 et Figure 16) et évaluées une nouvelle fois à dire d'expert.

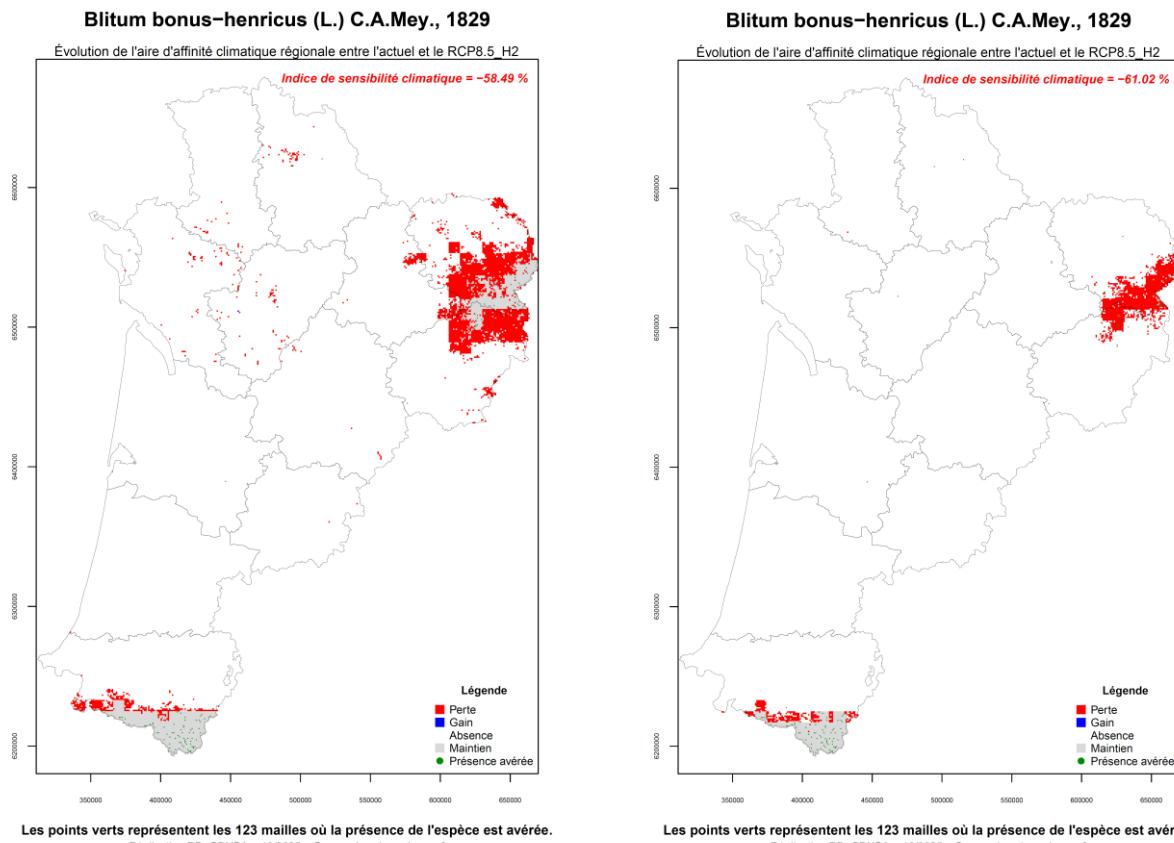
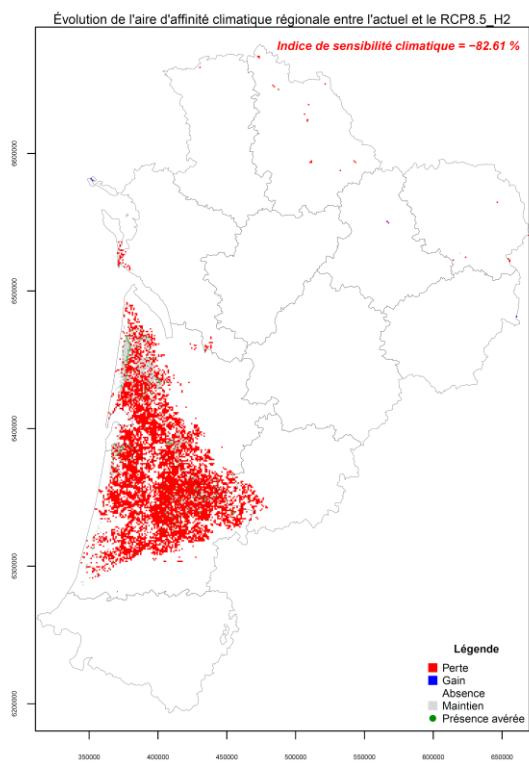


Figure 15 : Cartes d'évolution de l'aire d'affinité climatique prédictive pour *Blitum bonus-henricus* avec le seuil MTSS initial (à gauche) et suite à l'application d'un bonus sur ce seuil initial (à droite)

Caropsis verticillato-inundata (Thore) Rauschert, 1982



Caropsis verticillato-inundata (Thore) Rauschert, 1982

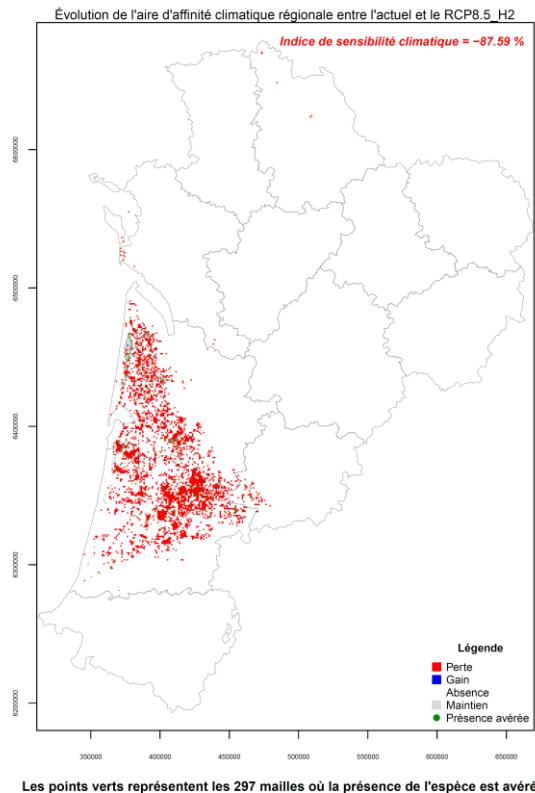


Figure 16 : Cartes d'évolution de l'aire d'affinité climatique prédictive pour *Caropsis verticillato-inundata* avec le seuil MTSS initial (à gauche) et suite à l'application d'un bonus sur ce seuil initial (à droite)

II.2.4 Catégorisation des niveaux de menace climatique

La contraction de l'aire climatique favorable entre la période actuelle et l'horizon moyen (2041-2070) pour le scénario d'émission de GES RCP8.5 présente une intensité plus ou moins marquée en fonction des espèces considérées (Figure 17). Une hiérarchisation de ces niveaux de menace a donc été établie, en lien avec les critères des Listes Rouges et de façon à pouvoir contribuer directement à l'évaluation de certaines d'entre elles à l'avenir.

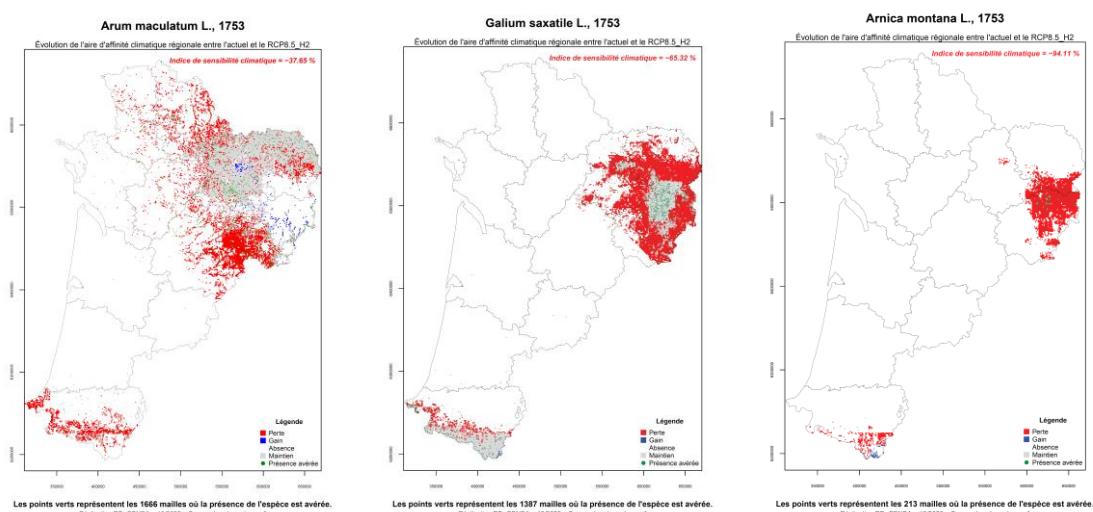


Figure 17 : Cartes d'évolution des aires d'affinité climatique et environnementale illustrant les trois niveaux d'intensité de la menace climatique retenus dans la liste SentiNA

Le critère A3c de la méthode UICN pour la réalisation des Listes rouges régionales (UICN France, 2018), qui traite de la réduction de la population prévue, déduite ou supposée dans le futur, en se basant sur la réduction de la zone d'occurrence et/ou d'occupation, apparaît comme étant celui que ce travail pourrait le plus concrètement alimenter, pour hiérarchiser les espèces menacées par le changement climatique. Les valeurs de seuils établies pour distinguer les différentes catégories de vulnérabilité pour ce critère sont transposées ici pour définir les niveaux de menace climatique. Trois niveaux sont ainsi retenus pour hiérarchiser la menace climatique sur la flore (Tableau 4).

Tableau 4 : Correspondances entre niveaux de menace estimés et indices de sensibilité climatique

Niveau de menace climatique prédit pour l'espèce	Indice de sensibilité climatique de l'espèce (relatif à l'intensité de contraction de l'aire climatique favorable)
Menacée (Me)	-30 à -50%
Fortement menacée (FMe)	-50 à -80%
Très fortement menacée (TFMe)	-80 à -100%



Phegopteris connectilis, plante très fortement menacée par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine (©N. Meslage-CBNSA)

III. RÉSULTATS

III.1 LISTE SENTINELLES DE LA FLORE MENACEE PAR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN NOUVELLE-AQUITAINE : LA LISTE FLORE SENTINA

Le total des espèces dont le caractère menacé par le changement climatique est confirmé, c'est-à-dire celles dont les cartes d'évolution de l'aire d'affinité climatique ont été validées par les experts botanistes et dont la contraction de cette aire est supérieure ou égale à 30% (pour les projections obtenues avec la combinaison scénario/horizon RCP8.5/H2), atteint au final **350 espèces**. Cela représente **16% de la flore modélisée** (2181 espèces) et près de 10% des taxons de Nouvelle-Aquitaine au rang spécifique (3740 espèces).

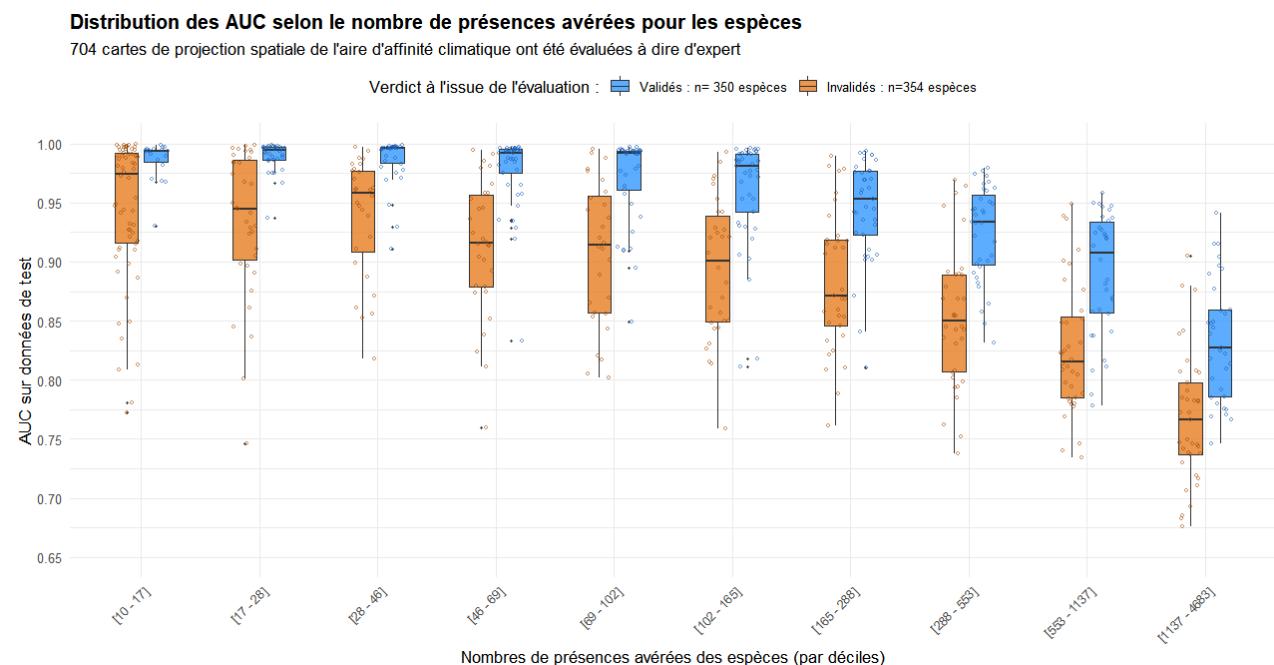


Figure 18 : Distribution des valeurs d'AUC (Area Under the receiver operating characteristic Curve) en fonction du nombre de présences avérées pour les espèces validées et invalidées par les experts botanistes

Les espèces pour lesquelles les projections ont été validées par les experts sont généralement celles qui présentent les meilleurs scores d'AUC (Figure 18) dans leur gamme de rareté (déciles calculés sur la base du nombre total de mailles 1x1 km associées à la présence avérée de l'espèce en Nouvelle-Aquitaine).

Cette liste Sentinelles de la flore menacée par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine est nommée "Liste flore SentiNA". Comme évoqué précédemment, elle n'est pas exhaustive et n'est donc pas définitive. Elle pourra être revue et mise à jour au gré de l'amélioration des connaissances sur la répartition actuelle de la flore et des modèles qui en découlent.

Les indices de sensibilité climatique (= taux de contraction de l'aire totale de répartition potentielle entre l'actuel et l'horizon H2 pour le scénario d'émission de GES RCP8.5, exprimé en %) relatifs à chacune des 350 espèces menacées par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine sont reportés dans le tableau ci-dessous (Tableau 5 et Annexe 8 : Liste Flore SentiNA (format tableur)).

Tableau 5 : Liste des espèces avec niveau de menace climatique prédit en Nouvelle-Aquitaine : liste Flore SentiNA

La nomenclature suit la version Taxref v13, mais pour certaines espèces posant des problématiques nomenclaturales et taxonomiques, le nom retenu avec la version Taxref v18 est indiqué entre parenthèses.

Espèce	Occurrence NA (nb mailles 1 km ²)	Indice de sensibilité climatique (en %)	Niveau de menace climatique
<i>Antinoria agrostidea</i> (DC.) Parl., 1845	13	-100,0	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Goodyera repens</i> (L.) R.Br., 1813	18	-100,0	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Anacamptis coriophora</i> (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase, 1997	56	-100,0	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Vaccinium microcarpum</i> (Turcz. ex Rupr.) Schmalh., 1871	13	-100,0	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Luzula nivea</i> (Nathh.) DC., 1805	20	-100,0	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Equisetum sylvaticum</i> L., 1753	15	-100,0	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Phyteuma gallicum</i> R.Schulz, 1904	12	-100,0	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Dianthus seguieri</i> Vill., 1779	216	-100,0	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Galeopsis segetum</i> Neck., 1770	199	-99,9	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Viola lutea</i> Huds., 1762	11	-99,9	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Thesium alpinum</i> L., 1753	18	-99,9	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Turritis glabra</i> L., 1753	78	-99,9	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Ceratocapnos claviculata</i> (L.) Lidén, 1984	578	-99,6	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Senecio cacaliaster</i> Lam., 1779	66	-99,6	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Achillea ptarmica</i> L., 1753	269	-99,5	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Doronicum austriacum</i> Jacq., 1774	367	-99,5	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Ranunculus aconitifolius</i> L., 1753	515	-99,2	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Rhinanthus alectorolophus</i> (Scop.) Pollich, 1777	74	-99,2	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Senecio ovatus</i> (G.Gaertn., B.Mey. & Scherb.) Willd., 1803	184	-99,2	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Isoetes echinospora</i> Durieu, 1861	23	-99,0	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Colchicum autumnale</i> L., 1753	274	-98,7	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Eriophorum vaginatum</i> L., 1753	257	-98,5	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Prunus padus</i> L., 1753	193	-98,5	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Arnoseris minima</i> (L.) Schweigg. & Körte, 1811	163	-98,4	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Epilobium collinum</i> C.C.Gmel., 1826	95	-98,2	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Galium boreale</i> L., 1753	90	-98,2	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Ranunculus omiophyllus</i> Ten., 1830	425	-98,1	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Comarum palustre</i> L., 1753	810	-97,3	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Cyanus montanus</i> (L.) Hill, 1768	18	-97,0	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Carex pauciflora</i> Lightf., 1777	28	-96,9	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Melampyrum cristatum</i> L., 1753	184	-96,8	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Hypericum maculatum</i> Crantz, 1763	131	-96,6	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Chrysosplenium alternifolium</i> L., 1753	26	-96,3	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Sibthorpia europaea</i> L., 1753	150	-96,1	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Circaea x intermedia</i> Ehrh., 1789	72	-95,7	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Vaccinium oxyccocus</i> L., 1753	194	-95,7	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Andromeda polifolia</i> L., 1753	15	-95,5	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Carex brizoides</i> L., 1755	163	-94,4	Très fortement menacée (TFMe)

Salix aurita L., 1753	408	-94,3	Très fortement menacée (TFMe)
Arnica montana L., 1753	213	-94,1	Très fortement menacée (TFMe)
Bistorta officinalis Delarbre, 1800	498	-93,8	Très fortement menacée (TFMe)
Jacobaea adonidifolia (Loisel.) Mérat, 1812	600	-93,7	Très fortement menacée (TFMe)
Spergula morisonii Boreau, 1847	127	-93,4	Très fortement menacée (TFMe)
Rubus idaeus L., 1753	918	-93,4	Très fortement menacée (TFMe)
Epilobium obscurum Schreb., 1771	1139	-93,3	Très fortement menacée (TFMe)
Ranunculus ololeucos J.Lloyd, 1844	644	-93,1	Très fortement menacée (TFMe)
Luronium natans (L.) Raf., 1840	169	-93,0	Très fortement menacée (TFMe)
Alopecurus geniculatus L., 1753	267	-93,0	Très fortement menacée (TFMe)
Geranium pyrenaicum Burm.f., 1759	655	-92,9	Très fortement menacée (TFMe)
Dactylorhiza majalis (Rchb.) P.F.Hunt & Summerh., 1965	94	-92,5	Très fortement menacée (TFMe)
Apera spica-venti (L.) P.Beauv., 1812	533	-92,3	Très fortement menacée (TFMe)
Thalictrum macrocarpum Gren., 1838	52	-91,9	Très fortement menacée (TFMe)
Callitricha palustris L., 1753	37	-91,2	Très fortement menacée (TFMe)
Sorbus mougeotii Soy.-Will. & Godr., 1858	32	-91,0	Très fortement menacée (TFMe)
Phegopteris connectilis (Michx.) Watt, 1867	138	-90,6	Très fortement menacée (TFMe)
Doronicum pardalianches L., 1753	196	-90,5	Très fortement menacée (TFMe)
Juncus squarrosum L., 1753	471	-90,5	Très fortement menacée (TFMe)
Cardamine heptaphylla (Vill.) O.E.Schulz, 1903	93	-90,1	Très fortement menacée (TFMe)
Asplenium septentrionale (L.) Hoffm., 1795	275	-89,6	Très fortement menacée (TFMe)
Coeloglossum viride (L.) Hartm., 1820	90	-89,6	Très fortement menacée (TFMe)
Sambucus racemosa L., 1753	551	-89,5	Très fortement menacée (TFMe)
Trisetum baregense Laffitte & Miégev., 1874	16	-88,7	Très fortement menacée (TFMe)
Aethusa cynapium L., 1753	413	-88,6	Très fortement menacée (TFMe)
Euphorbia hyberna L., 1753	299	-88,1	Très fortement menacée (TFMe)
Carex rostrata Stokes, 1787	869	-88,1	Très fortement menacée (TFMe)
Carex canescens L., 1753	172	-87,6	Très fortement menacée (TFMe)
Caropsis verticillato-inundata (Thore) Rauschert, 1982	297	-87,6	Très fortement menacée (TFMe)
Lunaria rediviva L., 1753	39	-87,3	Très fortement menacée (TFMe)
Myriophyllum alterniflorum DC., 1815	507	-86,7	Très fortement menacée (TFMe)
Ribes alpinum L., 1753	439	-85,8	Très fortement menacée (TFMe)
Aster pyrenaeus Desf. ex DC., 1805	12	-85,8	Très fortement menacée (TFMe)
Asperula hirta Ramond, 1800	136	-85,6	Très fortement menacée (TFMe)
Gymnocarpium dryopteris (L.) Newman, 1851	157	-85,5	Très fortement menacée (TFMe)
Alchemilla coriacea Buser, 1891	24	-85,3	Très fortement menacée (TFMe)
Ajuga pyramidalis L., 1753	53	-85,3	Très fortement menacée (TFMe)
Utricularia minor L., 1753	96	-85,1	Très fortement menacée (TFMe)
Omalotheca sylvatica (L.) Sch.Bip. & F.W.Schultz, 1861	303	-84,2	Très fortement menacée (TFMe)
Elatine hexandra (Lapierre) DC., 1808	173	-84,1	Très fortement menacée (TFMe)
Laserpitium latifolium L., 1753	272	-84,1	Très fortement menacée (TFMe)
Pinus mugo Turra, 1764 (sensu Pinus uncinata Ramond ex DC., 1805)	51	-83,9	Très fortement menacée (TFMe)
Nardus stricta L., 1753	1324	-83,8	Très fortement menacée (TFMe)
Ranunculus hederaceus L., 1753	214	-83,7	Très fortement menacée (TFMe)

<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt, 1794	113	-83,5	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Limosella aquatica</i> L., 1753	51	-82,6	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Lycopodiella inundata</i> (L.) Holub, 1964	68	-82,3	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard, 1778	807	-81,8	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Gentiana lutea</i> L., 1753	251	-81,3	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Epilobium montanum</i> L., 1753	1431	-80,5	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Rumex arifolius</i> All., 1773	30	-80,3	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Veratrum album</i> L., 1753	135	-80,2	Très fortement menacée (TFMe)
<i>Littorella uniflora</i> (L.) Asch., 1864	378	-79,9	Fortement menacée (FMe)
<i>Cardamine pentaphyllos</i> (L.) Crantz, 1769	26	-79,5	Fortement menacée (FMe)
<i>Carex macrostylos</i> Lapeyr., 1813	20	-79,2	Fortement menacée (FMe)
<i>Epilobium angustifolium</i> L., 1753	835	-79,2	Fortement menacée (FMe)
<i>Arctostaphylos alpinus</i> (L.) Spreng., 1825	28	-79,1	Fortement menacée (FMe)
<i>Ranunculus thora</i> L., 1753	40	-78,6	Fortement menacée (FMe)
<i>Veronica scutellata</i> L., 1753	800	-78,4	Fortement menacée (FMe)
<i>Paris quadrifolia</i> L., 1753	163	-78,2	Fortement menacée (FMe)
<i>Alchemilla xanthochlora</i> Rothm., 1937	27	-78,0	Fortement menacée (FMe)
<i>Sorbus aucuparia</i> L., 1753	1348	-78,0	Fortement menacée (FMe)
<i>Viola palustris</i> L., 1753	1140	-77,8	Fortement menacée (FMe)
<i>Ajuga genevensis</i> L., 1753	38	-77,5	Fortement menacée (FMe)
<i>Salix caprea</i> L., 1753	1775	-76,9	Fortement menacée (FMe)
<i>Myosotis secunda</i> A.Murray, 1836	210	-76,9	Fortement menacée (FMe)
<i>Geranium sylvaticum</i> L., 1753	239	-76,2	Fortement menacée (FMe)
<i>Rhynchospora fusca</i> (L.) W.T.Aiton, 1810	460	-76,1	Fortement menacée (FMe)
<i>Alopecurus aequalis</i> Sobol., 1799	106	-76,1	Fortement menacée (FMe)
<i>Epilobium palustre</i> L., 1753	664	-76,0	Fortement menacée (FMe)
<i>Aegopodium podagraria</i> L., 1753	229	-75,6	Fortement menacée (FMe)
<i>Chaerophyllum hirsutum</i> L., 1753	357	-75,6	Fortement menacée (FMe)
<i>Buglossoides gastonii</i> (Benth.) I.M.Johnst., 1954	40	-75,4	Fortement menacée (FMe)
<i>Euphrasia salisburgensis</i> Funck, 1794	59	-75,3	Fortement menacée (FMe)
<i>Corydalis solida</i> (L.) Clairv., 1811	269	-75,3	Fortement menacée (FMe)
<i>Oxybasis glauca</i> (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch, 2012	56	-74,8	Fortement menacée (FMe)
<i>Laserpitium nestleri</i> Soy.-Will., 1828	69	-74,7	Fortement menacée (FMe)
<i>Pyrola minor</i> L., 1753	55	-74,5	Fortement menacée (FMe)
<i>Saxifraga aretioides</i> Lapeyr., 1801	17	-74,5	Fortement menacée (FMe)
<i>Potentilla fagineicola</i> Lamotte, 1877	118	-74,3	Fortement menacée (FMe)
<i>Meum athamanticum</i> Jacq., 1776	58	-74,2	Fortement menacée (FMe)
<i>Poa chaixii</i> Vill., 1786	83	-74,0	Fortement menacée (FMe)
<i>Anthyllis montana</i> L., 1753	25	-73,7	Fortement menacée (FMe)
<i>Menyanthes trifoliata</i> L., 1753	537	-73,1	Fortement menacée (FMe)
<i>Adoxa moschatellina</i> L., 1753	671	-72,7	Fortement menacée (FMe)
<i>Globularia repens</i> Lam., 1779	87	-72,3	Fortement menacée (FMe)
<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop., 1771	353	-71,8	Fortement menacée (FMe)
<i>Geum pyrenaicum</i> Mill., 1768	77	-71,5	Fortement menacée (FMe)
<i>Dryas octopetala</i> L., 1753	71	-71,2	Fortement menacée (FMe)
<i>Vaccinium myrtillus</i> L., 1753	1058	-71,0	Fortement menacée (FMe)

<i>Heracleum sphondylium</i> L., 1753	3095	-70,8	Fortement menacée (FMe)
<i>Sempervivum arachnoideum</i> L., 1753	52	-70,8	Fortement menacée (FMe)
<i>Isopyrum thalictroides</i> L., 1753	405	-70,7	Fortement menacée (FMe)
<i>Paronychia kapela</i> (Hacq.) A.Kern., 1869	84	-70,6	Fortement menacée (FMe)
<i>Pseudoturritis turrita</i> (L.) Al-Shehbaz, 2005	145	-70,4	Fortement menacée (FMe)
<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. & Schult., 1817	256	-70,3	Fortement menacée (FMe)
<i>Vicia orobus</i> DC., 1815	37	-70,2	Fortement menacée (FMe)
<i>Daphne cneorum</i> L., 1753	44	-69,8	Fortement menacée (FMe)
<i>Primula integrifolia</i> L., 1753	26	-69,1	Fortement menacée (FMe)
<i>Carduus carlinoides</i> Gouan, 1773	70	-69,0	Fortement menacée (FMe)
<i>Gentianopsis ciliata</i> (L.) Ma, 1951	21	-68,7	Fortement menacée (FMe)
<i>Epilobium duriaeae</i> J.Gay ex Godr., 1849	17	-68,5	Fortement menacée (FMe)
<i>Prenanthes purpurea</i> L., 1753	74	-68,4	Fortement menacée (FMe)
<i>Phleum alpinum</i> L., 1753	68	-68,3	Fortement menacée (FMe)
<i>Polygonatum verticillatum</i> (L.) All., 1785	105	-67,9	Fortement menacée (FMe)
<i>Rumex maritimus</i> L., 1753	28	-67,5	Fortement menacée (FMe)
<i>Epikeros pyrenaeus</i> (L.) Raf., 1840	79	-67,3	Fortement menacée (FMe)
<i>Allium victorialis</i> L., 1753	34	-66,9	Fortement menacée (FMe)
<i>Pedicularis pyrenaica</i> J.Gay, 1832	37	-66,2	Fortement menacée (FMe)
<i>Oenanthe peucedanifolia</i> Pollich, 1776	54	-66,1	Fortement menacée (FMe)
<i>Stellaria nemorum</i> L., 1753	57	-65,9	Fortement menacée (FMe)
<i>Pilularia globulifera</i> L., 1753	145	-65,6	Fortement menacée (FMe)
<i>Galium saxatile</i> L., 1753	1387	-65,3	Fortement menacée (FMe)
<i>Aconitum variegatum</i> L., 1753	45	-65,2	Fortement menacée (FMe)
<i>Sagina saginoides</i> (L.) H.Karst., 1882	19	-65,0	Fortement menacée (FMe)
<i>Dryopteris oreades</i> Fomin, 1911	33	-64,9	Fortement menacée (FMe)
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., 1791	666	-64,7	Fortement menacée (FMe)
<i>Daphne mezereum</i> L., 1753	48	-64,4	Fortement menacée (FMe)
<i>Scorzoneroidea pyrenaica</i> (Gouan) Holub, 1977	21	-63,6	Fortement menacée (FMe)
<i>Adenostyles alliariae</i> (Gouan) A.Kern., 1871	168	-63,5	Fortement menacée (FMe)
<i>Heracleum pyrenaicum</i> Lam., 1785	112	-63,1	Fortement menacée (FMe)
<i>Sedum atratum</i> L., 1763	23	-63,0	Fortement menacée (FMe)
<i>Crepis paludosa</i> (L.) Moench, 1794	301	-63,0	Fortement menacée (FMe)
<i>Dactylorhiza incarnata</i> (L.) Soó, 1962	165	-62,9	Fortement menacée (FMe)
<i>Gentianella campestris</i> (L.) Börner, 1912	50	-62,5	Fortement menacée (FMe)
<i>Erythronium dens-canis</i> L., 1753	217	-61,9	Fortement menacée (FMe)
<i>Valeriana pyrenaica</i> L., 1753	129	-61,9	Fortement menacée (FMe)
<i>Rumex aquitanicus</i> Rech.f., 1929	31	-61,7	Fortement menacée (FMe)
<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn., 1791	55	-61,4	Fortement menacée (FMe)
<i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq., 1762	68	-61,4	Fortement menacée (FMe)
<i>Blitum bonus-henricus</i> (L.) C.A.Mey., 1829	123	-61,0	Fortement menacée (FMe)
<i>Ribes petraeum</i> Wulfen, 1781	13	-60,9	Fortement menacée (FMe)
<i>Crepis pyrenaica</i> (L.) Greuter, 1970	25	-60,8	Fortement menacée (FMe)
<i>Tractema lilio-hyacinthus</i> (L.) Speta, 1998	663	-60,6	Fortement menacée (FMe)
<i>Cuscuta europaea</i> L., 1753	51	-60,5	Fortement menacée (FMe)
<i>Androsace villosa</i> L., 1753	80	-60,3	Fortement menacée (FMe)

Dianthus superbus L., 1755	143	-60,2	Fortement menacée (FMe)
Cystopteris montana (Lam.) Desv., 1827	13	-60,1	Fortement menacée (FMe)
Verbascum nigrum L., 1753	585	-59,9	Fortement menacée (FMe)
Anemone alpina L., 1753	54	-59,9	Fortement menacée (FMe)
Callitricha hamulata Kütz. ex W.D.J.Koch, 1837	418	-59,7	Fortement menacée (FMe)
Atropa belladonna L., 1753	16	-59,4	Fortement menacée (FMe)
Myosotis alpestris F.W.Schmidt, 1794	20	-59,3	Fortement menacée (FMe)
Cruciata glabra (L.) Ehrend., 1958	589	-59,1	Fortement menacée (FMe)
Epilobium lanceolatum Sebast. & Mauri, 1818	354	-59,0	Fortement menacée (FMe)
Festuca rivularis Boiss., 1838	211	-58,7	Fortement menacée (FMe)
Mentha longifolia (L.) Huds., 1762	109	-58,3	Fortement menacée (FMe)
Myrica gale L., 1753	537	-58,2	Fortement menacée (FMe)
Iberis carnosa Willd., 1800	19	-58,1	Fortement menacée (FMe)
Sorbus aria (L.) Crantz, 1763	730	-58,0	Fortement menacée (FMe)
Genista anglica L., 1753	966	-57,9	Fortement menacée (FMe)
Armeria pubinervis Boiss., 1848	144	-57,8	Fortement menacée (FMe)
Fagus sylvatica L., 1753	3862	-57,7	Fortement menacée (FMe)
Carex hostiana DC., 1813	106	-57,4	Fortement menacée (FMe)
Scilla bifolia L., 1753	284	-57,0	Fortement menacée (FMe)
Anemone narcissiflora L., 1753	31	-56,8	Fortement menacée (FMe)
Bistorta vivipara (L.) Delarbre, 1800	71	-56,5	Fortement menacée (FMe)
Lilium martagon L., 1753	138	-56,5	Fortement menacée (FMe)
Senecio doronicum (L.) L., 1759	23	-56,5	Fortement menacée (FMe)
Anarrhinum bellidifolium (L.) Willd., 1800	120	-56,2	Fortement menacée (FMe)
Neotinea ustulata (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase, 1997	684	-56,2	Fortement menacée (FMe)
Linaria alpina (L.) Mill., 1768	129	-55,9	Fortement menacée (FMe)
Scorzoneraoides autumnalis (L.) Moench, 1794	1389	-55,9	Fortement menacée (FMe)
Valeriana apula Pourr., 1788	34	-55,6	Fortement menacée (FMe)
Vicia pyrenaica Pourr., 1788	64	-55,2	Fortement menacée (FMe)
Festuca gautieri (Hack.) K.Richt., 1890	94	-55,2	Fortement menacée (FMe)
Rhamnus pumila Turra, 1764	92	-55,0	Fortement menacée (FMe)
Scleranthus perennis L., 1753	88	-54,8	Fortement menacée (FMe)
Salix repens L., 1753	594	-54,8	Fortement menacée (FMe)
Phyteuma hemisphaericum L., 1753	25	-54,3	Fortement menacée (FMe)
Gypsophila repens L., 1753	74	-54,0	Fortement menacée (FMe)
Trifolium thalii Vill., 1779	62	-53,7	Fortement menacée (FMe)
Alchemilla alpigena Buser, 1894	172	-53,7	Fortement menacée (FMe)
Glyceria maxima (Hartm.) Holmb., 1919	150	-53,5	Fortement menacée (FMe)
Gentiana verna L., 1753	90	-53,4	Fortement menacée (FMe)
Carex strigosa Huds., 1778	228	-53,2	Fortement menacée (FMe)
Actaea spicata L., 1753	17	-52,8	Fortement menacée (FMe)
Senecio pyrenaicus L., 1758	52	-52,7	Fortement menacée (FMe)
Tilia platyphyllos Scop., 1771	1400	-52,7	Fortement menacée (FMe)
Erica tetralix L., 1753	4287	-52,3	Fortement menacée (FMe)
Melica uniflora Retz., 1779	2846	-52,0	Fortement menacée (FMe)
Trifolium montanum L., 1753	37	-52,0	Fortement menacée (FMe)

<i>Horminum pyrenaicum</i> L., 1753	199	-51,5	Fortement menacée (FMe)
<i>Rubus saxatilis</i> L., 1753	15	-51,4	Fortement menacée (FMe)
<i>Geum rivale</i> L., 1753	32	-51,3	Fortement menacée (FMe)
<i>Selaginella selaginoides</i> (L.) P.Beauv. ex Schrank & Mart., 1829	67	-51,3	Fortement menacée (FMe)
<i>Rosa pendulina</i> L., 1753	62	-51,3	Fortement menacée (FMe)
<i>Polystichum lonchitis</i> (L.) Roth, 1799	140	-51,2	Fortement menacée (FMe)
<i>Tilia cordata</i> Mill., 1768	951	-50,8	Fortement menacée (FMe)
<i>Polygala serpyllifolia</i> Hose, 1797	1237	-50,7	Fortement menacée (FMe)
<i>Lycopodium clavatum</i> L., 1753	48	-50,4	Fortement menacée (FMe)
<i>Polystichum aculeatum</i> (L.) Roth, 1799	612	-50,2	Fortement menacée (FMe)
<i>Betula pendula</i> Roth, 1788	4683	-49,9	Menacée (Me)
<i>Asplenium viride</i> Huds., 1762	130	-49,7	Menacée (Me)
<i>Pedicularis tuberosa</i> L., 1753	25	-49,6	Menacée (Me)
<i>Vaccinium uliginosum</i> L., 1753	63	-49,5	Menacée (Me)
<i>Dianthus geminiflorus</i> Loisel., 1807	36	-49,4	Menacée (Me)
<i>Rorippa palustris</i> (L.) Besser, 1821	423	-49,0	Menacée (Me)
<i>Saxifraga oppositifolia</i> L., 1753	33	-49,0	Menacée (Me)
<i>Valeriana montana</i> L., 1753	162	-48,7	Menacée (Me)
<i>Stellaria alsine</i> Grimm, 1767	1716	-48,6	Menacée (Me)
<i>Colchicum montanum</i> L., 1753	69	-48,6	Menacée (Me)
<i>Oreopteris limbosperma</i> (Bellardi ex All.) Holub, 1969	328	-48,6	Menacée (Me)
<i>Plantago alpina</i> L., 1753	88	-47,9	Menacée (Me)
<i>Lonicera pyrenaica</i> L., 1753	65	-47,8	Menacée (Me)
<i>Thymelaea dioica</i> (Gouan) All., 1789	66	-47,7	Menacée (Me)
<i>Alchemilla alpina</i> L., 1753	58	-47,6	Menacée (Me)
<i>Avenula pubescens</i> (Huds.) Dumort., 1868	793	-47,4	Menacée (Me)
<i>Clinopodium alpinum</i> (L.) Kuntze, 1891	99	-47,1	Menacée (Me)
<i>Soldanella alpina</i> L., 1753	33	-47,0	Menacée (Me)
<i>Thymus pulegioides</i> L., 1753	2254	-47,0	Menacée (Me)
<i>Gentiana occidentalis</i> Jakow., 1899	108	-46,9	Menacée (Me)
<i>Hordelymus europaeus</i> (L.) Harz, 1885	58	-46,8	Menacée (Me)
<i>Pimpinella major</i> (L.) Huds., 1762	550	-46,7	Menacée (Me)
<i>Aster alpinus</i> L., 1753	63	-46,2	Menacée (Me)
<i>Elymus caninus</i> (L.) L., 1755	360	-45,7	Menacée (Me)
<i>Bupleurum angulosum</i> L., 1753	96	-45,5	Menacée (Me)
<i>Campanula scheuchzeri</i> Vill., 1779	85	-45,2	Menacée (Me)
<i>Trollius europaeus</i> L., 1753	21	-45,2	Menacée (Me)
<i>Iris latifolia</i> (Mill.) Voss, 1895	107	-45,1	Menacée (Me)
<i>Drymochloa sylvatica</i> (Pollich) Holub, 1984	75	-45,0	Menacée (Me)
<i>Sedum brevifolium</i> DC., 1808	30	-44,9	Menacée (Me)
<i>Tofieldia calyculata</i> (L.) Wahlenb., 1812	111	-44,5	Menacée (Me)
<i>Iberis bernardiana</i> Godr. & Gren., 1848	27	-44,5	Menacée (Me)
<i>Saxifraga praetermissa</i> D.A.Webb, 1963	31	-44,3	Menacée (Me)
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P.Beauv., 1812	1464	-44,2	Menacée (Me)
<i>Aquilegia pyrenaica</i> DC., 1815	113	-44,2	Menacée (Me)
<i>Equisetum fluviatile</i> L., 1753	905	-44,2	Menacée (Me)

Dipsacus pilosus L., 1753	100	-44,0	Menacée (Me)
Rumex longifolius DC., 1815	35	-43,7	Menacée (Me)
Heracleum sibiricum L., 1753	288	-43,6	Menacée (Me)
Lathyrus ochraceus Kitt., 1844	88	-43,1	Menacée (Me)
Hypericum richeri Vill., 1779	239	-43,1	Menacée (Me)
Potentilla nivalis Lapeyr., 1782	26	-43,0	Menacée (Me)
Papaver cambricum L., 1753	217	-42,9	Menacée (Me)
Juncus heterophyllus Dufour, 1825	197	-42,8	Menacée (Me)
Dryopteris dilatata (Hoffm.) A.Gray, 1848	1575	-42,7	Menacée (Me)
Stachys alpina L., 1753	461	-42,7	Menacée (Me)
Utricularia australis R.Br., 1810	491	-42,6	Menacée (Me)
Symphytum officinale L., 1753	690	-42,5	Menacée (Me)
Gentiana acaulis L., 1753	20	-42,5	Menacée (Me)
Carex frigida All., 1785	43	-42,3	Menacée (Me)
Senecio sylvaticus L., 1753	2682	-42,0	Menacée (Me)
Eriophorum angustifolium Honck., 1782	817	-41,9	Menacée (Me)
Dianthus barbatus L., 1753	26	-41,2	Menacée (Me)
Lactuca muralis (L.) Gaertn., 1791	968	-41,1	Menacée (Me)
Potentilla alchemilloides Lapeyr., 1782	148	-41,0	Menacée (Me)
Heliosperma pusillum (Waldst. & Kit.) Rchb., 1844	40	-40,4	Menacée (Me)
Alchemilla saxatilis Buser, 1891	17	-40,3	Menacée (Me)
Salix pyrenaica Gouan, 1773	129	-40,2	Menacée (Me)
Dactylorhiza sambucina (L.) Soó, 1962	23	-40,1	Menacée (Me)
Huperzia selago (L.) Bernh. ex Schrank & Mart., 1829	28	-39,7	Menacée (Me)
Helictotrichon sedenense (Clarion ex DC.) Holub, 1970	90	-39,6	Menacée (Me)
Polygonatum multiflorum (L.) All., 1785	2415	-39,6	Menacée (Me)
Lathyrus vivantii P.Monts., 1981	42	-39,5	Menacée (Me)
Minuartia verna (L.) Hiern, 1899	50	-39,4	Menacée (Me)
Carex echinata Murray, 1770	1636	-38,7	Menacée (Me)
Dianthus hyssopifolius L., 1755	306	-38,6	Menacée (Me)
Dianthus deltoides L., 1753	26	-38,6	Menacée (Me)
Trifolium cernuum Brot., 1816	286	-38,5	Menacée (Me)
Alchemilla acutiloba Opiz, 1838	42	-38,1	Menacée (Me)
Wahlenbergia hederacea (L.) Rchb., 1827	2507	-37,8	Menacée (Me)
Saxifraga paniculata Mill., 1768	141	-37,8	Menacée (Me)
Botrychium lunaria (L.) Sw., 1802	34	-37,7	Menacée (Me)
Arum maculatum L., 1753	1666	-37,7	Menacée (Me)
Primula farinosa L., 1753	70	-37,5	Menacée (Me)
Arenaria grandiflora L., 1759	67	-37,2	Menacée (Me)
Lythrum portula (L.) D.A.Webb, 1967	1115	-37,0	Menacée (Me)
Carex umbrosa Host, 1801	560	-36,9	Menacée (Me)
Euphorbia pyrenaica Jord., 1846	33	-36,6	Menacée (Me)
Lilium pyrenaicum Gouan, 1773	55	-36,5	Menacée (Me)
Arctostaphylos uva-ursi (L.) Spreng., 1825	100	-36,4	Menacée (Me)
Caltha palustris L., 1753	2648	-36,1	Menacée (Me)
Daphne laureola L., 1753	512	-36,1	Menacée (Me)

Ranunculus gouanii Willd., 1799	53	-35,7	Menacée (Me)
Cerastium arvense L., 1753	57	-35,7	Menacée (Me)
Carduus crispus L., 1753	91	-35,4	Menacée (Me)
Digitalis purpurea L., 1753	2758	-35,3	Menacée (Me)
Geranium cinereum Cav., 1787	78	-35,2	Menacée (Me)
Myrrhis odorata (L.) Scop., 1771	40	-35,0	Menacée (Me)
Festuca eskia Ramond ex DC., 1805	71	-35,0	Menacée (Me)
Carex leporina L., 1753	2124	-34,8	Menacée (Me)
Valeriana dioica L., 1753	1140	-34,7	Menacée (Me)
Impatiens noli-tangere L., 1753	646	-34,7	Menacée (Me)
Viola biflora L., 1753	66	-34,7	Menacée (Me)
Aconitum anthora L., 1753	13	-34,6	Menacée (Me)
Crepis pygmaea L., 1753	37	-34,5	Menacée (Me)
Poa nemoralis L., 1753	2430	-34,4	Menacée (Me)
Luzula pediformis (Chaix) DC., 1805	110	-34,3	Menacée (Me)
Orobanche rapum-genistae Thuill., 1799	394	-33,9	Menacée (Me)
Mentha arvensis L., 1753	1796	-33,7	Menacée (Me)
Luzula sylvatica (Huds.) Gaudin, 1811	1379	-33,7	Menacée (Me)
Carex sempervirens Vill., 1787	146	-33,7	Menacée (Me)
Arabis ciliata Clairv., 1811	16	-33,6	Menacée (Me)
Geranium phaeum L., 1753	253	-33,3	Menacée (Me)
Reseda glauca L., 1753	31	-33,2	Menacée (Me)
Scorzoneroïdes duboisii (Sennen) Greuter, 2006	28	-32,8	Menacée (Me)
Dryopteris filix-mas (L.) Schott, 1834	4674	-32,6	Menacée (Me)
Carex vesicaria L., 1753	826	-32,1	Menacée (Me)
Armeria alpina Willd., 1809	17	-32,1	Menacée (Me)
Persicaria amphibia (L.) Gray, 1821	644	-32,0	Menacée (Me)
Myosotis laxa Lehm., 1818	825	-32,0	Menacée (Me)
Asplenium obovatum Viv., 1824	96	-31,8	Menacée (Me)
Anemone hepatica L., 1753	385	-31,6	Menacée (Me)
Eriophorum latifolium Hoppe, 1800	72	-31,5	Menacée (Me)
Glyceria declinata Bréb., 1859	479	-31,3	Menacée (Me)
Ulmus glabra Huds., 1762	462	-31,2	Menacée (Me)
Lactuca plumieri (L.) Gren. & Godr., 1850	84	-31,1	Menacée (Me)
Poa alpina L., 1753	35	-30,9	Menacée (Me)
Rhododendron ferrugineum L., 1753	113	-30,5	Menacée (Me)
Oxalis acetosella L., 1753	2472	-30,4	Menacée (Me)
Pedicularis sylvatica L., 1753	1101	-30,3	Menacée (Me)

III.1.1 Bilan des espèces par niveau de menace et relation avec la rareté

Ces 350 espèces se répartissent par niveau de menace climatique (Tableau 6). Celle-ci touche de façon indifférenciée aussi bien des espèces rares (ex : *Isoetes echinospora*, *Antinoria agrostidea*) ou répandues seulement localement (ex : *Ceratocapnos claviculata*) que des espèces assez communes et largement réparties (ex : *Poa nemoralis*, *Caltha palustris*).

Tableau 6 : Effectifs et proportion des espèces modélisées par niveau de menace climatique

Niveau de menace climatique	Nombre d'espèces concernées	Proportion des espèces modélisées
Menacée (Me)	120	5,5%
Fortement menacée (FMe)	140	6,4%
Très fortement menacée (TFMe)	90	4,1%

Théoriquement, plus une espèce est rare dans un territoire donné, plus sa niche écologique et notamment climatique tend à être étroite, d'où une sensibilité plus importante aux variations du climat. Cela peut expliquer la part importante d'espèces rares dans la liste flore SentiNA. Cependant, certaines espèces assez fréquentes et largement réparties peuvent aussi présenter un indice de sensibilité élevé (ex : *Heracleum sphondylium*, *Sorbus aucuparia*, *Erica tetralix*). Ainsi pour les 350 espèces de la liste Flore SentiNA, le niveau de menace climatique apparaît finalement peu lié à la rareté des espèces (Figure 19).

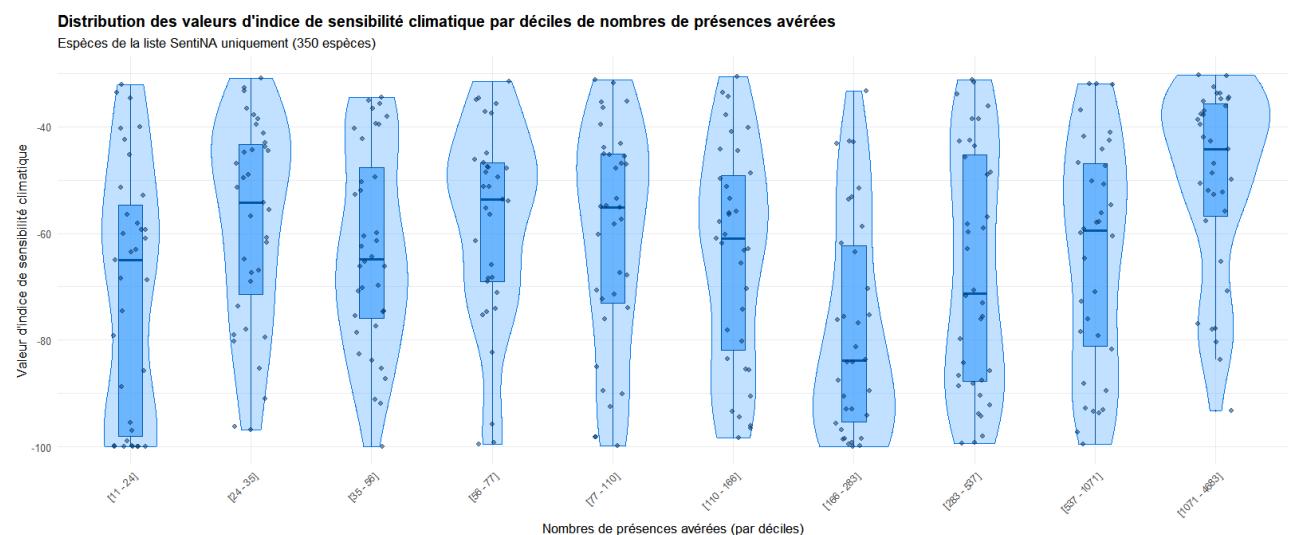


Figure 19 : Distribution des valeurs d'indice de sensibilité climatique en fonction des déciles de nombres de présences avérées pour les 350 espèces de la liste Flore SentiNA

III.1.2 Synthèse biogéographique et écologique des espèces menacées par le changement climatique

En termes biogéographiques, les espèces menacées par le changement climatique sont réparties de façon inégale (Figure 20). Un lot de 157 espèces se rencontrent majoritairement en territoire pyrénéen (piémont et haute chaîne pyrénéenne) dont 133 de façon quasi-exclusive (plus de 80% des mailles de présence avérée) telles que *Horminium pyrenaicum*, *Anemone hepatica* ou *Arctostaphylos uva-ursi*. Cela représente plus de 38% des espèces modélisées inféodées ou majoritaires dans ce territoire (soit 157 espèces menacées sur 409 espèces au total pour ce territoire).

Le Limousin (zone Massif central) concentre 129 espèces menacées dont 46 de façon quasi-exclusive (ex : *Eriophorum vaginatum*, *Maianthemum bifolium*) ; ce qui fait ici 55% des espèces modélisées inféodées ou majoritaires dans cette zone (soit 129 espèces menacées sur 234 espèces au total pour ce territoire).

Enfin, 64 espèces se trouvent majoritairement dans les territoires de plaines de Nouvelle-Aquitaine dont 10 quasi-exclusivement en Aquitaine, la plupart typiques de zones humides du plateau landais (ex : *Caropsis verticillato-inundata*, *Myrica gale*, *Utricularia minor*), et 2 quasi-exclusivement en Poitou-Charentes (*Rumex maritimus* et *Melampyrum cristatum*). Cela représente seulement 4% des espèces modélisées inféodées ou majoritaires dans cette zone (soit 64 espèces menacées sur 1538 espèces au total pour ce territoire). Ces éléments sont cohérents avec le fait que les secteurs de plaines, sous climat naturellement plus chaud et sec, présentent une flore spécifique davantage adaptée à ces contraintes.

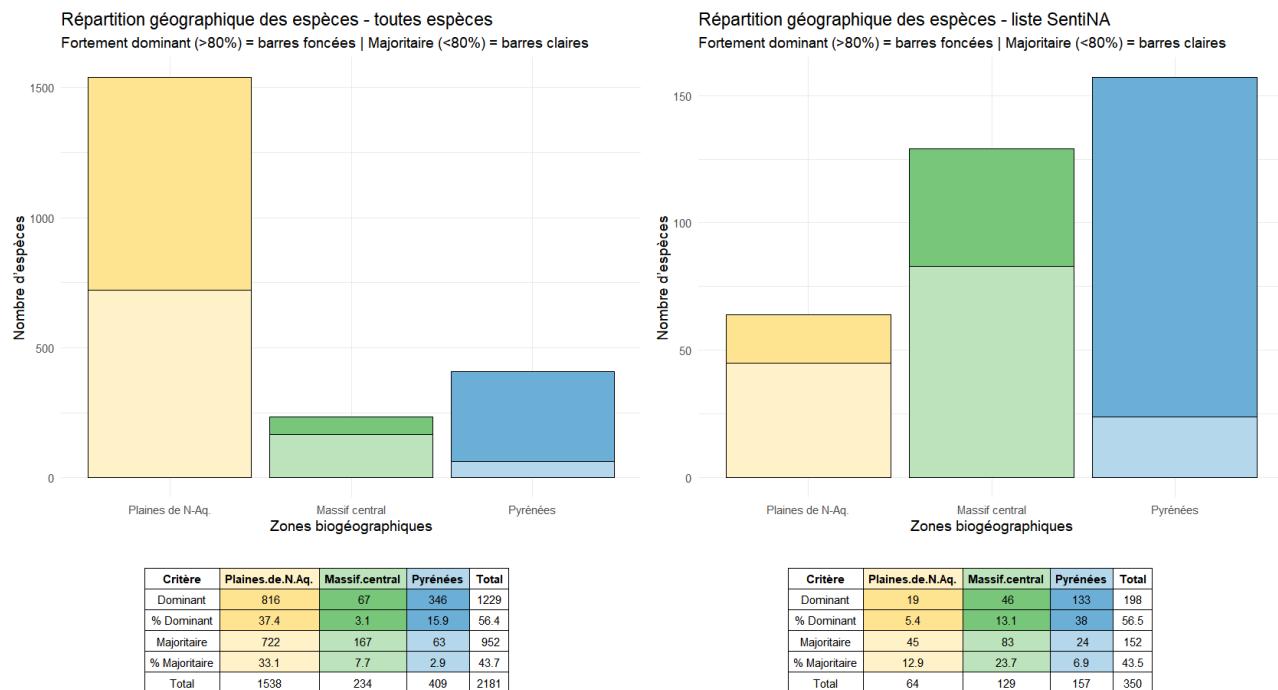


Figure 20 : Répartition en fonction des principales zones biogéographiques de Nouvelle-Aquitaine du nombre d'espèces de flore toutes espèces confondues (2181 espèces - à gauche) et du nombre d'espèces menacées par le changement climatique et mentionnées dans la liste SentiNA (350 espèces - à droite)

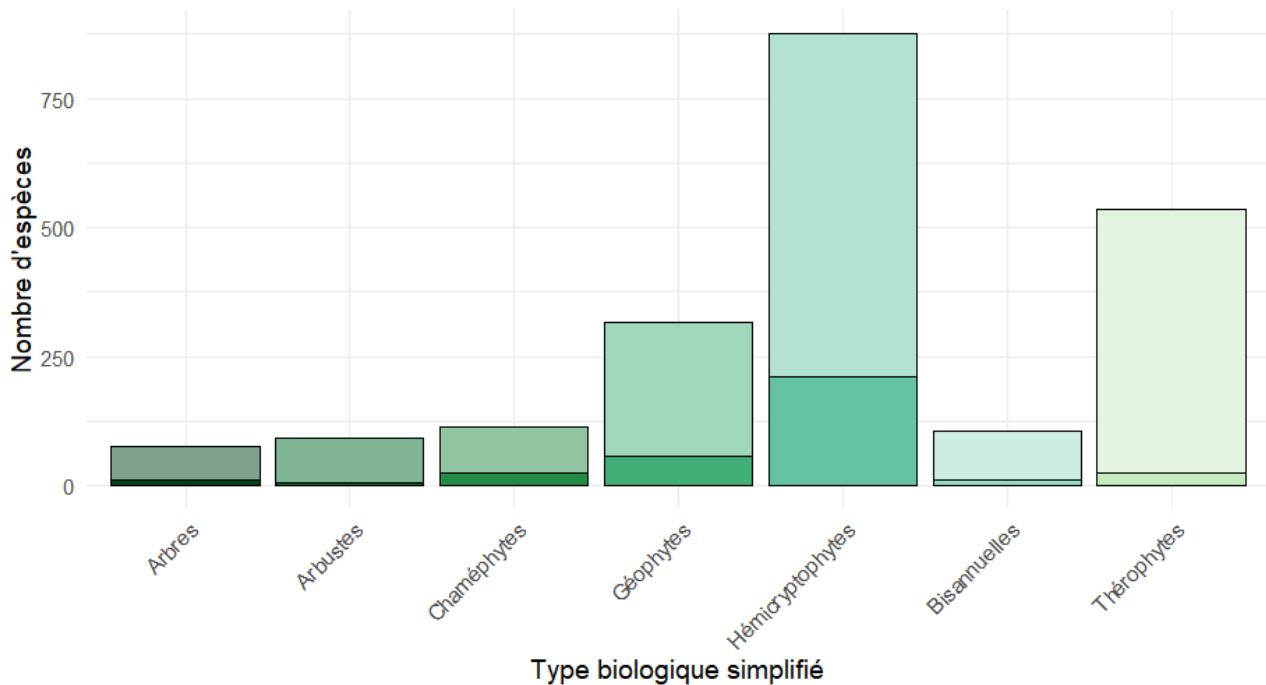
Concernant les types biologiques de plantes menacées (Figure 21), l'immense majorité sont des herbacées avec 332 espèces, suivant les attributs Baseflor (Julve, 2016) simplifiés ici (Annexe 1: Correspondance entre types biologiques d'après Baseflor et types biologiques simplifiés utilisés et précision sur la terminologie (uniquement pour la liste Flore SentiNA)). Les hémicryptophytes telles que *Nardus stricta*, *Galium boreale* ou *Hypericum maculatum* y sont les plus représentées avec 211 espèces et les géophytes comme *Mainthemum bifolium* ou *Rhynchospora fusca* concernent 57 espèces. Les thérophytes, chaméphytes et bisannuelles représentent, quant à elles, respectivement 25, 25 et 12 espèces. Enfin, 11 espèces arborescentes dont *Fagus sylvatica*, *Betula pubescens* et *Tilia cordata* et 7 espèces arbustives dont *Salix aurita* et *Rosa pendulina* complètent ce panorama.

Cette large prévalence des espèces herbacées par rapport aux arbres et arbustes s'explique en premier lieu par leur diversité spécifique bien supérieure dans la flore régionale et pour les espèces modélisées (Figure 21). Toutefois, le nombre d'espèces arbustives et arborées menacées pourrait être sous-estimé ici en lien avec les limites de modélisation pour certaines, parfois largement plantées en dehors de leur aire naturelle et/ou avec des populations subsistantes. C'est notamment le cas pour *Abies alba* ou *Acer pseudoplatanus* dans la région ; ces espèces ne figurent pas dans cette première liste malgré leur vulnérabilité supposée au changement climatique.

L'importance des hémicryptophytes parmi les espèces menacées par le changement climatique, s'agissant d'espèces plutôt représentatives des écosystèmes tempérés, souligne le risque de bouleversements des communautés végétales en Europe tempérée.

Nombre d'espèces par type biologique simplifié

Espèces menacées -> barres foncées | Autres espèces -> barres claires



	Arbres	Arbustes	Chaméphytes	Géophytes	Hémicryptophytes	Bisannuelles	Thérophytes	Total
Espèces total	75	93	113	317	877	105	536	2116
Espèces menacées	11	7	25	57	211	12	25	348
% Menacées	14.7	7.5	22.1	18	24.1	11.4	4.7	16.4

Figure 21 : Répartition en fonction du type biologique simplifié du nombre d'espèces total (2116 espèces ayant un attribut de type biologique renseigné dans Baseflor sur les 2181 espèces rassemblées dans cette étude) ainsi que du nombre et de la proportion d'espèces menacées par le changement climatique (348 espèces renseignées dans Baseflor sur 350 menacées)

En corollaire, les principaux habitats et végétations concernés sont ceux de pelouses, éboulis, tourbières, micro et mégaphorbiaies montagnardes à subalpines (Annexe 3 : Indication de l'optimum phytosociologique (niveau classe) pour les espèces de la liste Flore SentiNA) avec près de 250 espèces cryophiles (adaptées à des températures moyennes inférieures à 4°C, hivers très froids avec gelées prolongées) et psychrophiles (adaptées à des températures moyennes de 4-8°C, hivers froids avec gelées fréquentes et prolongées), soit pour des valeurs de l'indice T (Figure 22) de 0 à 4 dans la base EIVE (Dengler et al., 2023) (Annexe 2 : Correspondance entre valeurs d'indices T et M de la base EIVe et terminologie écologique utilisée). Notons que les espèces mésothermophiles, généralement à large amplitude thermique et très largement majoritaires dans la flore régionale, sont également concernées de façon significative avec 83 espèces menacées.

Nombre d'espèces en fonction du gradient thermique (ElVe_T)

Espèces menacées -> barres foncées | Autres espèces -> barres claires

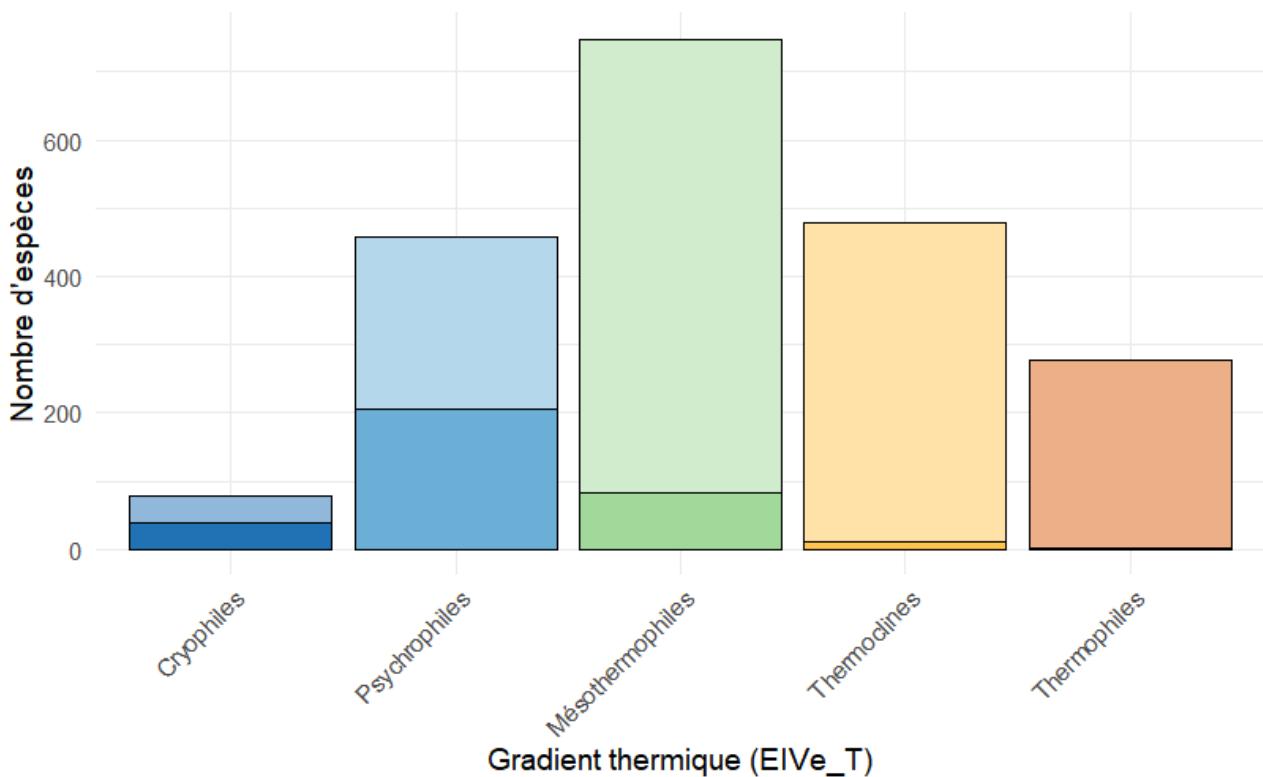
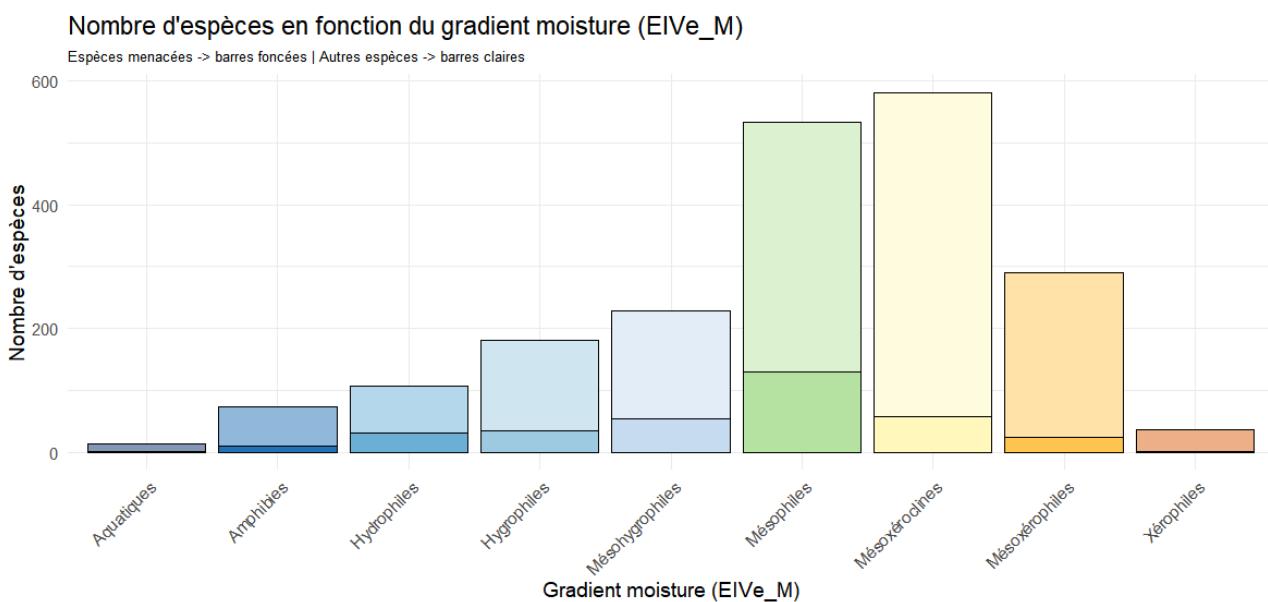


Figure 22 : Répartition en fonction du gradient thermique du nombre d'espèces total (2041 espèces ayant une valeur d'indice ElVe_T renseigné sur les 2181 espèces rassemblées dans cette étude) ainsi que du nombre et de la proportion d'espèces menacées par le changement climatique (340 espèces renseignées par un indice ElVe_T sur 350 menacées)

Les forêts concentrent également un important lot d'espèces : 206 figurent dans la base EuForPlant (Heinken et al., 2022) toutes catégories confondues et 66 sont considérées plus strictement forestières (catégories 1.1 et 1.2). Parmi elles, 136 espèces sont listées pour les forêts françaises de plaines et collines du secteur atlantique et 197 sont listées pour les forêts françaises de montagnes. Cela résonne avec la récente parution de la Liste rouge des écosystèmes forestiers de montagne (UICN France et al., 2025) évaluant la majorité des forêts montagnardes à subalpines comme menacées par le changement climatique (vulnérables [VU] ou en danger [EN]). Ce travail pose toutefois le problème qu'il reste difficile de prédire les trajectoires futures des forêts de montagne de l'Hexagone face aux nombreuses pressions.

Enfin, sur le plan de l'humidité du sol, ce sont les espèces mésophiles et mésoxéroclines qui sont les plus représentées dans la liste flore SentiNA avec respectivement 129 et 57 espèces. Cela paraît logique du fait qu'il s'agit à la fois des espèces majoritaires dans la flore régionale modélisée et de celles qui dépendent le plus directement des conditions climatiques. Par ailleurs, en proportion, les zones humides de façon générale (bas marais, gazons amphibiens, roselières, micro et mégaphorbiaies, prairies humides) sont particulièrement concernées (Figure 23) avec 130 espèces amphibiens (des sols inondés une majorité de l'année) à mésohygrophiles (des sols à engorgement temporaire proche de la surface), soit pour des valeurs de l'indice M de 5 à 9 dans la base EIVE (Dengler et al., 2023).



	Aquatiques	Amphibiens	Hydrophiles	Hygrophiles	Mésohygrophiles	Mésophiles	Mésoxéroclines	Mésoxérophiles	Xérophiles	Total
Espèces total	13	74	106	180	229	533	581	290	36	2042
Espèces menacées	1	10	31	35	53	129	57	24	1	341
% Menacées	7.7	13.5	29.2	19.4	23.1	24.2	9.8	8.3	2.8	16.7

Figure 23 : Répartition en fonction du gradient d'humidité du sol du nombre d'espèces total (2042 espèces ayant une valeur d'indice ElVe_M renseigné sur les 2181 espèces rassemblées dans cette étude) ainsi que du nombre et de la proportion d'espèces menacées par le changement climatique (341 espèces renseignées par un indice ElVe_T sur 350 menacées)

III.2 CARTOGRAPHIE DU RISQUE CLIMATIQUE PREDIT POUR LA FLORE

Une façon d'illustrer la répartition des 350 espèces menacées par le changement climatique sur le territoire néo-aquitain est de générer des cartes de priorisation spatiale *via l'algorithme Zonation* (Moilanen et al., 2009). La version utilisée ici pour cet algorithme (Additive Benefit Function) a pour propriété d'additionner les enjeux des espèces présentes au sein de chaque maille et permet ainsi de faire ressortir, à l'échelle de la région, les zones de concentration en espèces menacées par le changement climatique. Le détail des aspects méthodologiques associés avec la production de ce type de cartes d'enjeux peut être consulté dans le rapport « Hotspots de biodiversité en Nouvelle-Aquitaine » (Collectif, 2021).

Ici, le niveau de menace associé à chacune des espèces a été intégré dans le calcul en utilisant les valeurs de leurs indices de sensibilité climatique comme bioévaluation. Ainsi, les secteurs de concentration maximale correspondent aux territoires occupés par les espèces prédictes comme les plus menacées par le changement climatique et présentes en plus grand nombre à l'échelle de la région.

Lors de l'interprétation de cette carte régionale du risque climatique (Figure 24), il faut tenir compte du fait qu'un certain nombre de plantes (espèces très rares, plantes littorales, problèmes taxonomiques, projections rejetées à dire d'expert) ont été mises de côté pour cette étude, dont l'objectif n'était pas d'arriver à une liste exhaustive des espèces végétales menacées mais plutôt d'identifier celles qui pouvaient y être rattachées de la manière la plus fiable possible, compte-tenu de l'état de la connaissance et des traitements de données effectués. La carte présentée ici n'illustre donc pas la répartition de toutes les plantes qui pourraient à l'avenir se retrouver menacées par le changement climatique mais seulement de celles pour lesquelles cette menace a pu être mise en évidence de manière suffisamment robuste pour le moment.

Comme décrit précédemment (cf. § III.1.2 Synthèse biogéographique et écologique des espèces menacées par le changement climatique), on peut noter la concentration de ces risques dans la partie montagnarde des Pyrénées-Atlantiques et, dans une moindre mesure, sur le piémont de la Chaîne pyrénéenne. L'autre secteur mis en lumière ici correspond à l'ensemble du Limousin, avec une importance particulière du plateau de Millevaches, du secteur environnant le lac de Saint Pardoux en Haute-Vienne et des cours d'eau de l'est de la Corrèze (Dordogne, Doustre, Die, Cère, Maronne, Luzège, Chavanon, etc.). Enfin, le plateau landais ressort également comme un secteur de concentration d'espèces menacées par le changement climatique, avec plus spécialement le réseau des grands étangs arrière-littoraux, les zones humides comme Arjuzanx, Hostens et Saint Magne, les bords de la Leyre, l'étang de Léon et le courant d'Huchet, ainsi que la partie centrale du Médoc. Des concentrations notables d'espèces menacées sont aussi présentes dans la partie des Deux-Sèvres correspondant à l'extrémité sud du Massif armoricain, le long des cours d'eau du département de la Vienne (Clouère, Clain, Dive, etc.), ainsi que ceux de l'est de la Dordogne en Périgord noir (Dordogne, Vézère, Céou, etc.). Certains massifs boisés se distinguent également avec notamment les forêts de Moulière et de Scévolles dans la Vienne, celle de Chizé en Deux-Sèvres et de la Double saintongeaise en Charente-Maritime.

Risque climatique cumulé pour les 350 espèces végétales de la liste SentiNA en Nouvelle-Aquitaine

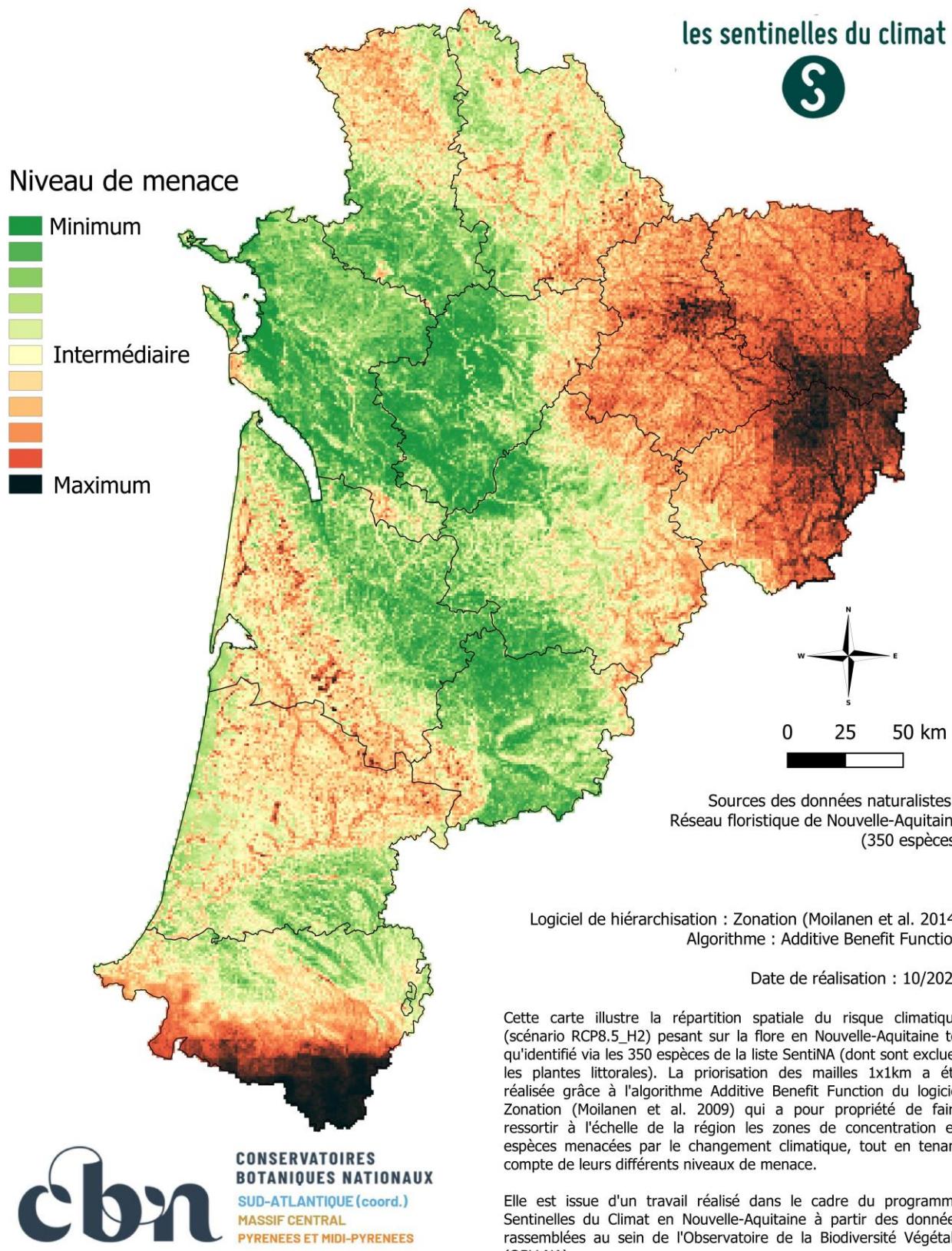


Figure 24 : Carte du risque climatique cumulé pour les 350 espèces végétales de la liste SentiNA en Nouvelle-Aquitaine en tenant compte de leurs différents niveaux de menace

III.3 IMPACTS SELON LA SEVERITE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET L'HORIZON TEMPOREL CONSIDERES

Le caractère menacé des espèces dépend à la fois de l'intensité des émissions de GES, et donc de celui du changement climatique projeté, ainsi que de l'horizon temporel considéré. Si une seule combinaison scénario/horizon a été retenue dans cette étude pour identifier une partie des espèces menacées, il apparaît tout de même judicieux d'examiner, à titre indicatif, les valeurs d'indice de sensibilité climatique qui seraient obtenues selon différentes combinaisons, afin de compléter et enrichir les projections proposées pour les espèces menacées. Le scénario RCP4.5 avec l'horizon intermédiaire H2 (2041-2070) permet ainsi d'illustrer l'effet d'une baisse relative des émissions (par rapport au scénario RCP8.5 plus émissif) sur le nombre d'espèces menacées et leur sensibilité moyenne. D'autre part, les résultats obtenus pour le scénario RCP8.5 au cours de l'horizon proche H1(2021-2050) permettent, quant à eux, d'identifier les espèces les plus à risque à relativement court terme.

Le Tableau 7 présente les effectifs concernés pour chaque niveau de menace climatique. La Figure 25 illustre la dispersion des valeurs d'indice de sensibilité en fonction des 3 combinaisons scénario/horizon. La liste des espèces retenues associées aux valeurs d'indice de sensibilité et de niveau de menace climatique pour chaque combinaison est consultable en annexe (Annexe 4 : liste Flore SentiNA et valeurs d'indice de sensibilité climatique en fonction des 3 couples de scénarios et horizons analysés). Précisons que le groupe d'experts botanistes n'a pas évalué la cohérence des projections pour les deux combinaisons scénario/horizon additionnelles. Cependant, les conclusions de l'audit réalisé à partir des résultats obtenus pour le scénario RCP8.5 pour l'horizon intermédiaire (2041-2070) ont été appliquées de la même façon pour les deux autres combinaisons. Les ajustements (révision des seuils de binarisation) et validation/rejet des projections appliqués pour la combinaison scénario/horizon de référence ont été déclinés de la même manière en fonction des espèces considérées.

Tableau 7 : Effectifs par niveau de menace climatique en fonction des combinaisons scénario/horizon

Niveau de menace climatique	Nombre d'espèces concernées		
	RCP 8.5 Horizon H1 (2021-2050)	RCP 4.5 Horizon H2 (2041-2070)	RCP 8.5 Horizon H2 (2041-2070)
Menacée (Me)	83	74	120
Fortement menacée (FMe)	78	60	140
Très fortement menacée (TFMe)	26	20	90
TOTAL	187	154	350

Les chiffres ci-dessus témoignent en premier lieu de l'influence déterminante du scénario d'émissions de GES considéré et donc de l'intensité du changement climatique associé, sur le nombre d'espèces menacées, avec une division par plus de 2 du nombre d'espèces concernées ; et même une division par 4,5 pour les espèces très fortement menacées entre les scénarios RCP8.5 et RCP4.5.

Par ailleurs, à travers la comparaison des chiffres entre horizons proche H1 et intermédiaire H2 du scénario RCP8.5, on constate la vitesse du changement climatique avec une multiplication par près de 2 du nombre d'espèces menacées en l'espace d'une trentaine d'années et par près de 4 pour les espèces très fortement menacées.

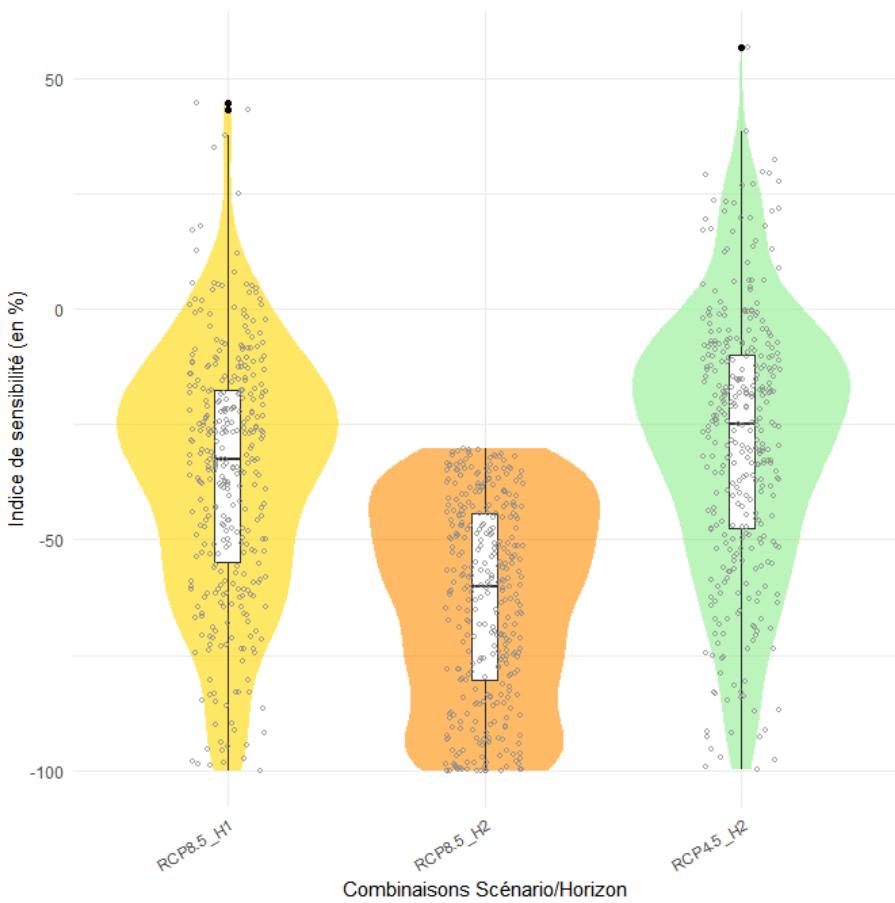


Figure 25 : Dispersion des valeurs de l'indice de sensibilité climatique des espèces végétales en fonction de 3 combinaisons de scénarios et horizons

L'effet de la trajectoire climatique se manifeste aussi sur l'intensité de la sensibilité des plantes. Ainsi, pour les 350 espèces retenues, les valeurs moyennes et médianes de l'indice de sensibilité climatique pour l'horizon H2 sont de -63% et -60% avec le scénario RCP8.5, contre respectivement -28.5% et -25% avec le scénario RCP4.5. Cette division par 2 du pourcentage de contraction de l'aire d'affinité climatique pour près de la moitié des espèces (valeurs médianes) signifie qu'en limitant les émissions de GES, l'impact négatif sur la flore régionale pourrait s'avérer drastiquement moindre.

Concernant l'effet temporel, on observe une dynamique très rapide du changement climatique avec des valeurs moyennes et médianes de l'indice de sensibilité climatique passant de -36% et -33% pour l'horizon proche, à -63% et -60% pour l'horizon intermédiaire, respectivement. L'aire climatique favorable de ces espèces serait alors divisée par 2 en seulement 30 ans.

A court terme, 26 espèces apparaissent très fortement menacées dans la région (Tableau 8). Il s'agit pour la plupart d'espèces assez rares à très rares présentes majoritairement ou quasi-exclusivement en Limousin, d'affinité montagnarde et en limite d'aire de répartition à basse altitude. Ces éléments doivent toutefois être interprétés avec précaution en lien avec les possibles effets de bord pour certaines espèces (ex : *Turritis glabra*, *Senecio ovatus*) en limite d'aire de répartition en Nouvelle-Aquitaine mais assez communes dans le reste du Massif central.

Tableau 8 : Liste des espèces végétales très fortement menacées à court terme (horizon H1 - 2021-2050 et scénario d'émissions de GES RCP8.5) en Nouvelle-Aquitaine

Espèce	Occurrences NA (Nb mailles 1x1 km)	Indice de sensibilité climatique	
		RCP8.5	Horizon H1 (2021-2050)
<i>Luzula nivea</i> (Nathh.) DC., 1805	20		-100.0
<i>Vaccinium microcarpum</i> (Turcz. ex Rupr.) Schmalh., 1871	13		-98.7
<i>Anacamptis coriophora</i> (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase, 1997	56		-98.4
<i>Thesium alpinum</i> L., 1753	18		-98.2
<i>Dianthus seguieri</i> Vill., 1779	216		-98.1
<i>Turritis glabra</i> L., 1753	78		-97.5
<i>Viola lutea</i> Huds., 1762	11		-95.8
<i>Galeopsis segetum</i> Neck., 1770	199		-95.3
<i>Goodyera repens</i> (L.) R.Br., 1813	18		-94.9
<i>Phyteuma gallicum</i> R.Schulz, 1904	12		-94.6
<i>Senecio ovatus</i> (G.Gaertn., B.Mey. & Scherb.) Willd., 1803	184		-93.8
<i>Cyanus montanus</i> (L.) Hill, 1768	18		-91.7
<i>Equisetum sylvaticum</i> L., 1753	15		-91.3
<i>Isoetes echinospora</i> Durieu, 1861	23		-90.2
<i>Senecio cacaliaster</i> Lam., 1779	66		-89.7
<i>Circaeа x intermedia</i> Ehrh., 1789	72		-86.5
<i>Epilobium collinum</i> C.C.Gmel., 1826	95		-85.9
<i>Arnica montana</i> L., 1753	213		-85.1
<i>Prunus padus</i> L., 1753	193		-84.9
<i>Arnoseris minima</i> (L.) Schweigg. & Körte, 1811	163		-83.5
<i>Ranunculus aconitifolius</i> L., 1753	515		-83.4
<i>Antinoria agrostidea</i> (DC.) Parl., 1845	13		-83.1
<i>Doronicum austriacum</i> Jacq., 1774	367		-83.1
<i>Achillea ptarmica</i> L., 1753	269		-83.0
<i>Chrysosplenium alternifolium</i> L., 1753	26		-80.3
<i>Carex brizoides</i> L., 1755	163		-80.3

Ces éléments soulignent une nouvelle fois l'urgence à agir au niveau planétaire pour une diminution drastique des émissions de gaz à effet de serre. En parallèle, ils incitent à accélérer la mise en œuvre et le déploiement de mesures d'atténuation des effets du changement climatique dans les politiques d'aménagement du territoire et de conservation des milieux naturels pour maintenir et améliorer la résistance et la résilience des espèces et des milieux qui les abritent.



Fagus sylvatica, plante fortement menacée par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine (©K. Romeyer-CBNSA)

IV. DISCUSSION

IV.1 APPORTS POUR LA BIOEVALUATION ET LA CONSERVATION DE LA FLORE REGIONALE

Cette première liste Flore SentiNA demeure incomplète pour des raisons inhérentes à la démarche de modélisation vis-à-vis des espèces rares (notamment la non prise en compte des espèces littorales), mais aussi en lien avec certaines limites détaillées par la suite. Elle n'est donc pas définitive et pourra être revue et mise à jour au fil de l'amélioration des connaissances sur la flore et de la complexification des modèles. Ces ajouts devraient à terme permettre d'intégrer notamment des espèces dont le caractère menacé est largement suspecté à dire d'expert, voire confirmé dans d'autres territoires, tels que le Sapin pectiné à l'échelle européenne (Mauri et al., 2022) ou la Gentiane des marais dans la péninsule ibérique (Freitas et al., 2025).

Bien qu'elle ne soit pas exhaustive, ni exempte de certains biais et basée sur des modèles prédictifs, cette liste fournit un premier document d'alerte sur la menace climatique directe pesant sur une partie de la flore car liée à la perte potentielle de conditions climatiques favorables. Cela ne signifie pas que les espèces concernées seront nécessairement en régression dans un avenir proche mais plutôt que le risque d'un déclin en termes d'abondance et de répartition sera plus important. Autrement dit, ces espèces sont celles pour lesquelles la dette climatique, c'est-à-dire l'éloignement à leurs conditions climatiques optimales (Bertrand et al., 2016 ; Menendez et al., 2006 ; Svenning & Sandel, 2013), sera la plus forte.

IV.1.1 Contribution aux travaux de bioévaluation

Afin de mieux tenir compte de ce risque dans l'évaluation des enjeux de conservation de la flore régionale, cette liste pourrait contribuer à la Liste rouge régionale pour la flore vasculaire. Elle pourrait concrètement alimenter le critère A3c, qui traite de la réduction de la population prévue, déduite ou supposée dans le futur, en se basant sur la réduction de la zone d'occurrence et/ou d'occupation (IUCN France, 2018), et qui a servi ici de base pour la hiérarchisation des niveaux de menace climatique, à l'instar de ce qui a été opéré dans des travaux similaires à l'échelle des Alpes françaises (Chassignolle et al., 2024). Cela permettra en outre de préciser la part de la flore menacée pour des raisons climatiques. Toutefois, il faut noter que ce critère s'évalue sur 10 ans ou 3 générations, limitant théoriquement son application aux espèces ayant des temps de génération assez longs. Pour pallier cette limite méthodologique, le niveau de menace climatique des espèces pour le scénario RCP 8.5 et l'horizon proche H1 (2021-2050) indiqué en annexe (Annexe 4 : liste Flore SentiNA et valeurs d'indice de sensibilité climatique en fonction des 3 couples de scénarios et horizons analysés) pourrait être utilisé. Une réflexion sera également à mener pour déterminer dans quelle mesure la liste Flore SentiNA pourrait alimenter le critère E qui traite plus généralement de la probabilité d'extinction, en lien avec une régression des aires d'occurrence/d'occupation, dans un horizon maximum de 100 ans.

En parallèle et en complément de la Liste rouge, ce travail sur la flore menacée par le changement climatique serait mobilisable pour la hiérarchisation des enjeux de conservation de la flore, aussi bien à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine qu'au niveau plus local (sites du Conservatoire d'Espaces Naturels, Réserves, forêts communales ou domaniales, Espaces Naturels Sensibles, etc.). Ces éléments pourraient, par ailleurs, être utilisés dans l'évaluation du paramètre "Perspectives futures" de l'état de conservation des espèces et habitats d'intérêt communautaire (Bensettiti et al., 2012).

Il est nécessaire de garder à l'esprit que des lacunes de connaissances, ou d'informations suffisamment fiables, sur la sensibilité climatique demeurent pour un nombre important des espèces de la région. Toutefois, cela n'enlève pas l'intérêt du caractère menacé validé pour ce premier lot d'espèces et son utilisation dans le cadre de ces travaux. Un travail complémentaire passant par la résolution de certaines limites et biais de modélisation sera nécessaire pour combler en partie ces lacunes, afin d'identifier au mieux et avec la plus grande exhaustivité possible les autres espèces végétales menacées. De la même façon, l'identification des espèces stables ou ayant une sensibilité positive au changement climatique, c'est à dire pour lesquelles l'aire climatique favorable pourrait s'étendre ou rester stable, pourrait contribuer de la même façon à la Liste rouge régionale et à la bioévaluation,

appuyant notamment certaines observations d'espèces menacées sur les listes rouges qui ont tendance à progresser depuis quelques années.

Par ailleurs, la menace climatique n'est pas équivalente en tous points de la région. En effet, une espèce identifiée comme menacée climatiquement à l'échelle régionale peut s'avérer fortement menacée dans certaines zones, correspondant généralement à ses marges de répartition, et à l'inverse présenter une relative stabilité dans d'autres zones où les conditions climatiques resteront majoritairement favorables (cœur de répartition). Ainsi, une déclinaison de la menace climatique pour chaque espèce à plus fine échelle spatiale pourrait être envisagée afin de mieux définir les enjeux locaux de conservation.

IV.1.2 Prise en compte dans les politiques publiques et mesures de conservation

En parallèle de la contribution à des documents d'orientation de gestion et de conservation, l'identification de la menace climatique pour ce panel d'espèces permet de réaffirmer qu'il paraît nécessaire que le risque climatique soit bien intégré dans les politiques de conservation, de gestion et d'aménagement du territoire (Coudurier et al., 2023).

En premier lieu, la baisse drastique des émissions de gaz à effet de serre reste le levier majeur d'atténuation des effets du changement climatique sur la flore, comme le montre la comparaison du nombre d'espèces menacées et de leur niveau de sensibilité entre les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 (cf. § III.3 Impacts selon la sévérité du changement climatique et l'horizon temporel considérés).

A l'échelle locale et notamment régionale, les enjeux de conservation sous la contrainte du changement climatique consistent à limiter ou réduire la dette climatique afin que les populations, notamment celles en marges de répartition, puissent se maintenir le plus longtemps possible. Ainsi, même si des extinctions locales se produisent, les processus de substitution des espèces et des fonctions écologiques auront davantage de temps pour s'opérer, limitant la perte de richesse spécifique théorique (Menendez et al., 2006).

Plus concrètement, cela doit s'appréhender au niveau paysager à travers l'amélioration des continuités et trames écologiques tout en limitant la fragmentation des habitats naturels, de manière à lever les contraintes de dispersion (Leimu et al., 2010 ; Opdam & Wascher, 2004 ; Pearson & Dawson, 2005 ; Sordello, 2017 ; Préau et al., 2020). Les couloirs de migration privilégiés entre zones de répartition actuelles des espèces et zones potentielles futures doivent être identifiés. Il serait alors nécessaire de mettre en place des mesures de conservation si les continuités écologiques existent déjà, ou de restaurer ces dernières le cas échéant (Préau et al., 2019, 2020). La translation écologique, telle que le passage de versants bien exposés vers des versants ombragés, ou la migration sur de plus longues distances seront ainsi facilitées, comme cela a dû être le cas lors des variations climatiques au cours de l'Holocène (Rey, 1960). Cela permettrait une meilleure persistance locale tout en favorisant des adaptations génétiques à travers des migrations naturelles, autant que possible, et le brassage avec des populations ou individus plus tolérants à la sécheresse. Le lien peut être fait avec l'intérêt génétique et adaptatif des populations en marges de répartition, et notamment des marges chaudes, qui sont naturellement plus résistantes face à de multiples stress (Hampe & Petit, 2005 ; Rehm et al., 2015). Dans une perspective de conservation des espèces menacées par le changement climatique, des expérimentations de récoltes conservatoires de plants/graines provenant des marges chaudes de chaque territoire biogéographique ou région d'origine "Végétal Local" (Malaval et al., 2015) sont conduites localement. Il est attendu que ce matériel implanté ponctuellement puisse accélérer le brassage au sein des populations en cœur de répartition ou en marges plus septentrionales, sans toutefois procéder à l'arasement de toute la végétation spontanée pré-existante, notamment dans le cas de peuplement forestier (IUCN France, 2024).

Par ailleurs, le pouvoir tampon des microclimats mérite une attention particulière vis-à-vis de la résistance des espèces (De Frenne et al., 2013 ; Lenoir et al., 2017 ; Maclean et al., 2015, Walbott, 2018) par l'atténuation des événements climatiques extrêmes. A noter que pour la flore vasculaire, la notion de microclimat concerne les conditions climatiques à une échelle spatiale de 10 à 1000m² (De Frenne et al., 2025). Dans le cas des forêts, il apparaît même que les conditions microclimatiques sont plus déterminantes pour la présence des espèces en termes de niche thermique que les conditions macroclimatiques (Haesen et al., 2023). Ces éléments témoignent de l'importance de la préservation du microclimat dans la gestion forestière en lien avec les espèces menacées.

Le rôle positif des essences feuillues caducifoliées, par leur plus grande capacité de transpiration qui augmente la fraîcheur en sous-bois par rapport aux essences sempervirentes feuillues ou résineuses, mérite d'être rappelé (Michalet et al., 2024). De façon plus générale, la diversité des conditions microclimatiques à des échelles spatiales réduites (quelques centaines de m² à 1 km²) pourrait être bénéfique, tant pour la persistance des espèces menacées que pour la colonisation d'espèces plus tolérantes (Guillon & Romeyer, 2025). Cela est en lien avec l'hétérogénéité de la structure de la végétation et donc la diversité des habitats. A ce titre, il apparaît important de réaffirmer le rôle et l'intérêt écologique des haies et lisières (Lecq, 2013 ; de Menthière et al., 2023).

Enfin, la restauration ou le maintien du bon état de conservation des habitats, notamment de zones humides, est un levier de première importance pour assurer la pérennité des espèces. En effet, la bonne fonctionnalité hydrologique avec des sols frais ou humides sur de plus longues durées et avec des variations de nappes plus progressives, notamment en période estivale, permettrait d'améliorer le pouvoir tampon du microclimat sur la température (Greiser et al., 2024). En plus d'assurer des conditions plus propices aux espèces menacées, une bonne alimentation en eau des zones humides permettrait de lutter plus efficacement contre le changement climatique en maintenant l'absorption du carbone par les plantes (Humphrey et al., 2021).

Ces préconisations génériques ne sont pas exhaustives et mériteraient d'être largement approfondies dans l'optique de leur mise en pratique sur le terrain. Pour certaines d'entre elles, cela passera notamment à travers des projets expérimentaux pour acquérir une meilleure compréhension et tester les effets de gestions différencierées ou de restaurations écologiques.

IV.2 LIMITES ACTUELLES ET PERSPECTIVES D'AMELIORATION DES PROJECTIONS

IV.2.1 Mise à jour des données sources

Le déficit de données d'observations pour les plantes de trois départements de l'ex-région Poitou-Charentes (Deux-Sèvres, Vienne et Charente) n'est qu'imparfaitement comblé par les méthodes statistiques utilisées dans cette étude et génère des biais spatiaux dans les résultats. L'inventaire systématique de la flore de ces trois départements est en cours depuis 2021 et la connaissance progresse donc dans ces secteurs déficitaires. Si une couverture exhaustive des mailles ne sera pas atteinte avant plusieurs années, chaque lot de nouvelles données, pour des milieux rencontrés dans cette partie de la région, devrait assurément permettre d'améliorer la reconstruction des niches écologiques des espèces qui s'y développent et donc les projections de leurs aires d'affinité climatique, tant actuelles que futures.

Par ailleurs, les données de variables environnementales qui ont été rassemblées au cours de la première étape de l'étude entre 2019 et 2021 ont été conservées jusqu'à la fin du processus en 2025. Dans cet intervalle de temps, de nombreuses et nouvelles sources de données ont été développées, proposant souvent des résolutions plus fines, des méthodologies plus robustes et des thématiques nouvelles. Un nouvel état des lieux des variables environnementales disponibles à ce jour serait donc souhaitable afin de produire de meilleures projections lors des étapes ultérieures.

Concernant les projections climatiques, les données utilisées jusqu'ici sont celles fournies par le modèle ALADIN52-CNRM (Ouzeau et al., 2014) de projections régionales à l'échelle du territoire de la France métropolitaine, elles-mêmes dérivées des simulations globales CMIP5 par le biais de la méthode ADAMONT. De nouvelles simulations globales, baptisées CMIP6, ont commencé à être développées dès 2016 (Eyring et al., 2016) mais les projections régionales affinées pour la France sont toujours en cours de réalisation à l'heure actuelle. De nouveaux jeux de données nommés DRIAS-2020 et EXPLORE2-2022 sont cependant déjà disponibles. Ils sont toujours obtenus à partir des simulations CMIP5 mais les modèles globaux sélectionnés parmi l'ensemble de ceux disponibles ont été choisis pour représenter au mieux l'enveloppe des résultats obtenus par la version CMIP6 plus récente et jugée plus fiable (panel CMIP5 aligné CMIP6). Par ailleurs, un nouveau jeu d'indicateurs TRACC-2023 (Trajectoire de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique) a aussi été produit par Météo France pour correspondre aux différents niveaux d'objectifs de réchauffement planétaire (+1.5°, +2° et +3°) qui se traduirait par des niveaux de réchauffement en France métropolitaine (+2°, +2.7° et +4°). L'approche change par rapport aux jeux de données DRIAS-2020 et EXPLORE2-2022, passant d'une logique se basant sur les impacts des

émissions de GES à une autre basée sur l'impact des actions de réduction de ces derniers pour limiter le réchauffement. L'intégration de ces données plus récentes nous permettrait donc de mettre à jour nos résultats de projection pour l'évolution chorologique des plantes et/ou de les présenter selon une approche différente ciblée sur les actions d'atténuation possibles.

IV.2.2 Données au-delà de la Nouvelle-Aquitaine

L'élargissement de l'emprise géographique pour la modélisation des espèces permettrait d'améliorer les projections spatiales et temporelles des plantes et la robustesse de l'indice de sensibilité climatique pour le territoire de Nouvelle-Aquitaine. En effet, les limites administratives n'ont pas de sens d'un point de vue écologique et un raisonnement à cette échelle pour la modélisation peut entraîner des biais dans la projection de l'évolution chorologique de certaines espèces (Guisan *et al.*, 2014). L'un des principaux couloirs de migrations de Nouvelle-Aquitaine étant la vallée de la Garonne et les marges calcaires septentrionales du Bassin aquitain (Rey, 1957, 1960), une réflexion à l'échelle de ce territoire serait judicieuse *a minima*. De plus, les espèces méditerranéennes formant un groupe bien identifié de plantes susceptibles d'apparaître et/ou de s'étendre dans la région, la construction de modèles intégrant l'ensemble de la région Occitanie semblerait particulièrement pertinente. De même, l'intégration de données sur l'ensemble du massif pyrénéen préciserait fortement la sensibilité des espèces montagnardes pour les Pyrénées-Atlantiques. La prise en compte des données floristiques et environnementales dans les régions limitrophes au sens plus large assurerait une meilleure modélisation de la niche écologique pour certaines espèces et donc des projections plus fiables à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine.

En effet, la niche climatique, et environnementale au sens plus large, n'a pu être que partiellement appréhendée dans cette étude, d'autant plus que l'aire de répartition de la majorité des espèces dépasse largement les limites géographiques de la Nouvelle-Aquitaine. Ainsi, les milieux extérieurs à cette région, aux conditions écologiques différentes de celles que l'on peut y trouver actuellement mais qui pourraient être amenés à apparaître du fait du changement climatique, ne peuvent être considérés dans le calcul comme favorables au développement des plantes que l'on retrouve pourtant actuellement dans ces autres régions. Cela induit potentiellement des sous-estimations de l'affinité pour certaines plantes dans certaines conditions futures et donc une sous-estimation de l'aire de répartition potentielle proposée pour ces espèces en fonction des différents futurs envisagés.

L'extension de la zone d'étude, afin de prendre en considération l'entièreté de l'unité biogéographique que constitue le Bassin aquitain, permettrait de répondre à un certain nombre des limites exposées plus haut, et par là-même de proposer des constructions plus robustes des aires d'affinité climatique pour chacune des espèces, pour l'actuel et pour le futur.

IV.2.3 Facteurs biotiques

Les co-occurrences d'espèces induites par les superpositions spatiales de multiples espèces apparaissent comme des accumulations virtuelles de plantes en un même lieu. La question de leur compatibilité, au travers de l'ensemble de la gamme des interactions biotiques possibles, n'est pas abordée dans cette étude. Il résulte de ce manque des questions d'ordre stratégique quant aux politiques de conservation et/ou de gestion qui pourraient être mises en place.

Les zones de biodiversité importante projetées à l'horizon de la fin du XXI^e siècle correspondent généralement aussi aux territoires qui connaîtront le plus grand turnover en termes de nombre d'espèces (David & Romeyer, 2021). Ce sont donc des zones qui devraient connaître des arrivées massives mais théoriques de nouvelles plantes (thermophiles notamment, dont des méditerranéennes) en provenance de la région méditerranéenne ou de la péninsule ibérique, qui pourraient en réalité s'avérer tout à fait incompatibles entre-elles. C'est déjà parfois le cas actuellement lorsque certaines espèces, considérées alors comme des EEE (Espèces Exotiques Envahissantes), gagnent rapidement tout l'espace disponible dans certains milieux et réduisent de fait la biodiversité qui s'y trouve. Cette pression potentielle des EEE sur les plantes locales n'a pas été prise en compte jusqu'ici ; or elle

pourrait potentiellement contraindre, de façon significative, le maintien et/ou la migration de certaines espèces autochtones. La liste des espèces menacées proposée ici laisse de côté cette thématique et il est donc envisageable que l'impact négatif de l'arrivée de certaines EEE sur les plantes locales, en lien avec le changement climatique, ait été sous-évalué.

Pour aller plus loin, il serait donc probablement intéressant de faire appel à des méthodes qui ont été développées pour déterminer des taux de chevauchement entre les aires de répartition relatives à plusieurs espèces. Ces méthodes sont dites « analyses de co-occurrence » (D'Amen et al., 2017).

Une autre façon de prendre en compte les relations entre les espèces sur tout un territoire pourrait résider dans l'utilisation de nouveaux types de modèles spatiaux, les JSMD pour Joint Species Distribution Modeling (Pollock et al., 2014), dont le principe consiste à modéliser conjointement les répartitions spatiales de plusieurs espèces pour faire ressortir les interactions entre elles (interactions biotiques), en plus des interactions avec leur environnement (interactions abiotiques). Néanmoins, les capacités prédictives de ces modèles sont encore discutées (Caradima et al., 2019), ainsi que le type de données nécessaires pour obtenir des prédictions robustes (Vallé et al., 2024). Une voie légèrement différente est empruntée par le modèle DeepMaxEnt (Ryckewaert et al., 2024) qui est, par construction, un JSMD mais qui reprend également le principe de maximisation de l'entropie développé dans MaxEnt. Dans le cadre de cette étude, ces aspects relatifs aux interactions biotiques ont, pour le moment, été laissés de côté mais pourront faire l'objet de développements lors de phases ultérieures du programme.

IV.2.4 Pressions anthropiques

De la même manière, une large gamme de pressions anthropiques pourrait aussi venir se combiner avec la modification du climat et induire des menaces sur certaines espèces qui n'ont pas été identifiées dans cette étude. Au premier rang de ces pressions, on peut citer l'artificialisation des sols qui, selon les cas, va rompre des continuités écologiques qui auraient permis la migration des espèces pour suivre le déplacement de leur niche écologique, quand elle ne va pas tout simplement supprimer des milieux propices à leur maintien (David et al., 2024). Les changements d'usages et de pratiques agricoles et sylvicoles peuvent, eux aussi, avoir une influence majeure sur le maintien et/ou le développement des espèces végétales menacées par le changement climatique, et ce, d'autant plus que les surfaces concernées dans la région sont très importantes. Certains auteurs proposent de nourrir leurs modèles de type SDM avec des cartographies prédictives du devenir des usages et de l'occupation du sol sur leur territoire d'étude (Préau et al., 2019 ; Chassignolle et al., 2024).

Dans le cadre de notre étude qui vise à identifier les plantes dont le caractère menacé est le plus probable pour la Nouvelle-Aquitaine, ces aspects n'ont pas été abordés. En effet, si de multiples scénarios d'évolution de l'anthropisation et de son emprise sur le territoire peuvent être proposés, en choisir un seul (ou même quelques-uns) pour servir de base aux projections de la répartition des espèces végétales nous a semblé être une hypothèse forte et par nature invérifiable sur un domaine, les politiques publiques d'aménagement, qui nous a semblé plus sujet aux revirements que le système climatique qui connaît malheureusement une certaine inertie ; l'intensité des émissions futures de GES sera déterminante mais les émissions passées et présentes induisent déjà des conséquences qui seront inévitables. Une façon de contourner ce choix de scénario aurait pu être d'en conserver plusieurs et de couvrir un éventail des possibles pour balayer une gamme assez large d'éventualités. Cependant, le croisement entre ces alternatives, plusieurs scénarios d'émissions de GES et plusieurs horizons temporels aurait pu rendre la somme des résultats peu lisible et difficile à synthétiser pour faire ressortir une liste d'espèces menacées par le changement climatique, sauf à revenir sur un unique choix de scénario et donc faire de nouveau des hypothèses fortes.

Enfin, s'il semble *a priori* tout à fait pertinent de tenir compte de l'évolution de l'occupation du sol pour proposer des projections d'aires de répartition future des espèces, il nous a paru également intéressant de proposer, en premier lieu, des projections d'évolution des aires d'affinité climatique, pour isoler en quelque sorte ce facteur et

produire une première liste d'espèces menacées pour lesquelles c'est bien le changement climatique qui sera le moteur principal de leur régression dans la région.

Une autre façon d'aborder la question nous semble mieux s'accorder avec des objectifs de conservation. Elle consiste, plutôt que de considérer les choix d'aménagements comme des faits inéluctables, à essayer d'identifier les secteurs du territoire actuel qui concentrent les enjeux relatifs à la continuité des trames permettant à l'avenir la migration des espèces (Préau et al., 2020), de leurs aires de présence actuelle vers leurs futures aires d'affinité climatique. L'identification de ces secteurs au travers de modèles reposant sur la théorie des graphes (GrapHab, Foltête et al., 2012), possiblement en combinaison avec d'autres mobilisant la théorie des circuits (Prima et al., 2024), permettrait de mettre ainsi l'accent sur leur préservation lorsqu'ils permettent une continuité fonctionnelle. Elle permettrait aussi théoriquement de proposer des mesures visant à faciliter la migration des espèces lorsque des barrières à la dispersion seraient identifiées.

Le tourisme et les loisirs de nature peuvent aussi parfois se combiner avec les stress induits par le changement climatique sur les plantes pour conduire à une régression de leur aire de répartition (Cherrier et al., 2021).

En ciblant certaines espèces particulières, les cueillettes, si elles ne sont pas pratiquées en suivant certaines préconisations vis-à-vis de la saisonnalité de la récolte, de la densité des effectifs, etc. (Association Française des professionnels de la Cueillette des plantes sauvages, 2022) peuvent également parfois venir fragiliser des populations (Cambecèdes & Garreta, 2018) déjà sous pression du fait des évolutions du climat.

IV.2.5 Capacités de dispersion et traits de vie des espèces

Les cartes de projection actuelles et futures des espèces qui servent ici de base au calcul des différents indicateurs sont établies en considérant uniquement la possibilité pour les plantes de se développer dans des mailles qui présentent une forte affinité écologique et climatique avec la niche calculée pour ces espèces. Cependant, le calcul ne prend pas en compte la capacité des plantes à migrer depuis les mailles qui correspondent à leur aire de répartition actuelle jusqu'aux mailles qui seront supposément favorables à leur développement dans quelques décennies. La capacité de migration, ainsi que le niveau de continuité écologique qui permettra ou non cette migration, demeurent assez largement inconnus pour la plupart des espèces végétales et ne sont pas considérés ici. Cela va avoir comme principal effet de surestimer l'aire de répartition future proposée pour bon nombre d'espèces dont l'aire d'affinité climatique est en progression et/ou en déplacement vers une autre partie du territoire régional, potentiellement de façon tout à fait significative si les distances à parcourir sont importantes.

Une synthèse sur les bases de données disponibles pour les traits de vie des espèces, traits liés à la capacité de dispersion en particulier, mériterait d'être entreprise pour proposer de nouvelles variables à implémenter dans les modèles. L'intégration de ces variables biotiques (type de reproduction, nombre de graines, pollinisation, dissémination, distance de dispersion, etc.) serait utile pour évaluer les potentialités de migration des espèces ou de groupes d'espèces. L'objectif serait de passer d'aires d'affinité climatique, très théoriques, à des projections d'aires de répartition des espèces plus réalistes car limitées dans leur extension par ces propriétés intrinsèques aux différentes plantes. Certains modèles, comme MigClim (Engler et al., 2012), permettent déjà de prendre en compte ces capacités de migration. Toutefois, ces données apparaissent actuellement fragmentaires et ne concernent pas toutes les plantes de la région. Une façon de contourner ce manque d'informations relatives aux capacités de dispersion pour chacune des espèces pourrait être de procéder dans un premier temps à des approximations en définissant des gammes de vitesses par lots de taxons partageant certains critères communs.

D'autre part, l'indication du type biologique semble pertinente pour apprécier les réponses au stress climatique en termes d'efficacité de recrutement post-stress. Le type biologique définit ainsi le comportement d'un taxon lors de la phénophase qui lui est la plus défavorable (Sirvent, 2020). Le changement climatique est de nature à modifier l'intensité et la durée de cette phénophase (ex : diminution de la période de gel, de l'épaisseur et de la durée de la couche neigeuse, raréfaction des effets de nébulosité, exondations précoces, déficits hydriques

accrus, etc.). La prise en compte de ces éléments permettrait de mieux cerner les patterns spatiaux et temporels des taxons, notamment en réponse aux changements des conditions environnementales.

Enfin, une autre manière de procéder pourrait être de calculer des distances moyennes de migration pour chaque plante à partir de la comparaison entre cartes de projection actuelle et future (Bakkenes et al., 2002 ; Reside et al., 2013). Ces distances pourraient ensuite être confrontées aux informations retenues pour décrire les capacités de migration des espèces, afin d'identifier les cas où le déplacement prédict de la niche climatique serait trop rapide pour être suivi par la migration des espèces. Certains auteurs vont jusqu'à déduire des taux d'extinction potentiels à partir de cette différence entre distances nécessaires à parcourir et capacités de migration (Thomas et al., 2004 ; Lenoir & Svenning, 2015).



Littorella uniflora, plante fortement menacée par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine (©N. Meslage-CBNSA)

V. CONCLUSION

Cette étude conclut la première phase des développements entrepris depuis 2019 dans le cadre du programme Sentinelles du Climat en Nouvelle-Aquitaine. Elle présente une démarche méthodologique visant à caractériser la vulnérabilité de la flore régionale, avec pour objectif de proposer une première liste d'espèces végétales menacées par le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine : la liste "Flore SentiNA".

Elle rassemble et synthétise ainsi des méthodes mises en place lors des différentes étapes du programme et détaillées dans trois précédents rapports, afin de mener à bien cet objectif. Ces étapes traitent de la sélection des variables environnementales et la préparation des données floristiques, jusqu'à la production de cartes prospectives des aires climatiques favorables pour la flore, en s'appuyant sur des modèles de projection des distributions spatiales des espèces, établis pour les différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et horizons temporels.

Un indice de sensibilité climatique pour chacune des espèces végétales de la région est déduit de ces projections de l'aire d'affinité climatique et environnementale future par comparaison avec l'aire d'affinité actuelle. Enfin, les 350 espèces considérées comme menacées à l'issue de ce processus, constituant la liste Flore SentiNA, sont catégorisées selon trois niveaux de menace climatique, afin d'identifier celles présentant les plus forts risques à moyen terme (2041-2070) pour le scénario le plus émissif (RCP8.5), c'est-à-dire celui suivi par les tendances mondiales depuis le début du XXI^e siècle. La comparaison avec les indices de sensibilité obtenus pour les autres combinaisons scénario/horizon met également en évidence l'ampleur potentielle des impacts selon la sévérité du changement climatique et les horizons temporels envisagés. Cela souligne une nouvelle fois l'importance d'une réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre, principal levier de conservation de la biodiversité.

Le réchauffement affecte aussi bien des espèces rares que des espèces assez communes. Par ailleurs, il est à noter que le niveau de menace n'apparaît pas corrélé significativement à la rareté des espèces. En effet, bien que la niche climatique modélisée tende à être plus étroite pour les espèces rares, entraînant une sensibilité théoriquement plus importante aux variations du climat, on observe néanmoins que certaines espèces assez fréquentes et largement réparties peuvent aussi présenter un indice de sensibilité élevé.

En termes biogéographiques, la concentration la plus importante en espèces mentionnées comme menacées par le changement climatique dans cette première liste se trouve sur la haute Chaîne pyrénéenne avec 157 espèces concernées. Le Limousin concentre, quant à lui, 129 espèces menacées associées majoritairement à ce territoire, avec un impact particulièrement marqué sur le secteur du plateau de Millevaches. Le secteur dit des plaines de Nouvelle-Aquitaine est également concerné avec 64 espèces identifiées dont 35 espèces plus spécifiquement pour l'Aquitaine, la plupart étant typiques des zones humides du plateau landais. Côté Poitou-Charentes, 17 espèces apparaissent comme menacées, avec un impact notable sur la partie des Deux-Sèvres située à l'extrême sud du Massif armoricain, ainsi que sur les bords des cours d'eau du département de la Vienne. Pour illustrer cela, une cartographie du risque climatique régional est proposée, éclairant ainsi les secteurs géographiques concentrant le plus d'espèces déjà identifiées comme menacées au sein de cette première liste Flore SentiNA.

Les principaux habitats et végétations affectés sont ceux de pelouses, éboulis, tourbières, micro et mégaphorbiaies montagnardes à subalpines avec près de 230 espèces menacées. Les forêts concentrent également un important lot d'espèces, avec 206 plantes associées à ces milieux au sens large et 65 considérées comme plus strictement forestières. Les zones humides sont aussi particulièrement touchées avec 140 espèces inféodées à ces milieux qui sont considérées comme menacées.

La liste Flore SentiNA constitue un outil opérationnel pour la bioévaluation, la conservation et la planification territoriale. Elle permettra d'intégrer la variable climatique dans les stratégies de gestion des habitats naturels et des espèces, et invite à renforcer les dispositifs de suivi, la validation des modèles et l'amélioration continue des projections.

Cette liste des espèces menacées par le changement climatique demeure néanmoins incomplète du fait des limites détaillées et discutées précédemment. Elle est basée sur une démarche de modélisation qui repose elle-même sur un état de l'art des données floristiques, climatiques et environnementales, ainsi que sur des hypothèses et choix de paramétrage qui sont par nature discutables. Les limites de ce type d'approche doivent être prises en compte lors de l'interprétation des résultats.

Elle n'en constitue pas moins un premier jalon qui pourra servir de socle pour de futurs développements et contribuer ainsi à améliorer notre compréhension des impacts du changement climatique sur les espèces végétales de Nouvelle-Aquitaine. Elle pourra être employée comme outil d'aide à la décision pour épauler toute initiative visant à anticiper et atténuer les effets du réchauffement global sur la biodiversité régionale.

Les phases suivantes de développement devraient s'intéresser plus particulièrement à l'actualisation des données floristiques, climatiques et environnementales et, autant que possible, à l'intégration d'interactions biotiques et la prise en compte des capacités de dispersion des espèces. Ce travail devrait enfin être mené sur une emprise géographique plus large que la seule région administrative, *a minima* en intégrant l'intégralité du Bassin aquitain. Ces développements futurs devraient ainsi permettre de compléter progressivement cette première liste Flore SentiNA.

BIBLIOGRAPHIE

ACCLIMATERRA, 2018 - *Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Aquitaine. Pour agir dans les territoires.* Éditions Région Nouvelle-Aquitaine, Bordeaux. 488 p.

AGUIRRE-GUTIERREZ, J., CARVALHEIRO, L.G., POLCE, C., VAN LOON, E.E., RAES, N., REEMER, M., BIESMEIJER, J.C., 2013 - Fit-for-Purpose : Species Distribution Model Performance Depends on Evaluation Criteria – Dutch Hoverflies as a Case Study. *PLOS ONE* 8 : 1-11.

ANCT-COMMISSARIAT DU MASSIF CENTRAL, 2025 - *S'adapter au changement climatique en Massif central - Diagnostic, Plan stratégique d'adaptation au changement climatique.* Agence Nationale de la Cohésion des Territoires, Paris. 93 p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DES PROFESSIONNELS DE LA CUEILLETTE DES PLANTES SAUVAGES, 2022 - *Guide de bonnes pratiques de cueillette de plantes sauvages. Pour une gestion durable de la ressource. Partie générale.* Association Française des professionnels de la Cueillette des plantes sauvages, Milly-la-Forêt. 213 p.

BAHN, V., MCGILL, B.J., 2013 - Testing the predictive performance of distribution models. *Oikos* 122 : 321-331.

BAKKENES, M., ALKEMADE, J.R.M., IHLE, F., LEEMANS, R., LATOUR, J.B., 2002 - Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology* 8 : 390-407.

BARBET-MASSIN, M., JIGUET, F., ALBERT, C.H., THUILLER, W., 2012 - Selecting pseudo-absences for species distribution models : how, where and how many ? *Methods in Ecology and Evolution* 3 : 327-338.

BECK, J., BÖLLER, M., ERHARDT, A., SCHWANGHART, W., 2014 - Spatial bias in the GBIF database and its effect on modeling species' geographic distributions. *Ecological Informatics* 19 : 10-15.

BENSETTITI, F., PUISSAUVE, R., LEPAURE, F., TOUROULT, J., MACIEJEWSKI, L., 2012 - *Evaluation de l'état de conservation des habitats et des espèces d'intérêt communautaire-Guide méthodologique-DHFF article 17, 2007-2012(version 1).* Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris. 76 p.

BERTRAND, R., PEREZ, V., GEGOUT, J.-C., 2012 - Disregarding the edaphic dimension in species distribution models leads to the omission of crucial spatial information under climate change : the case of *Quercus pubescens* in France. *Global Change Biology* 18 : 2648-2660.

BERTRAND, R., RIOFRIO-DILLON, G., LENOIR, J., DRAPIER, J., DE RUFFRAY, P., GEGOUT, J.-C., LOREAU, M., 2016 - Ecological constraints increase the climatic debt in forests. *Nature Communications* 7 : 12643.

BORIA, R.A., OLSON, L.E., GOODMAN, S.M., ANDERSON, R.P., 2014 - Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling* 275 : 73-77.

BOTELLA, C., DENEU, B., MARCOS, D., SERVAJEAN, M., ESTOPINAN, J., LARCHER, T., LEBLANC, C., BONNET, P., JOLY, A., 2023 - *The GeoLifeCLEF 2023 Dataset to evaluate plant species distribution models at high spatial resolution across Europe* [Pré-publication]. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-04152362>.

BREINER, F.T., GUISAN, A., BERGAMINI, A., NOBIS, M.P., 2016 - Overcoming limitations of modelling rare species by using ensembles of small models. *Journal of Animal Ecology* : 1210-1218.

BROTONS, L., THUILLER, W., ARAUJO, M.B., HIRZEL, A.H., 2004 - Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography* 27 : 437-448.

CAILLON, A., BONIFAIT, S., CHABROL L., DAO J., LEBLOND N., RAGACHE Q., 2022 - *Liste hiérarchisée des plantes exotiques envahissantes de Nouvelle-Aquitaine*. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique (coord.), Conservatoire Botanique National du Massif central et Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, Audenge. 116 p.

CAMBECEDES, J., GARRETA, R., 2025 - La cueillette des plantes sauvages : exploitation des ressources naturelles et conservation d'un patrimoine naturel. *Journal of new sciences*, CIRS(13) : 3355-3365

CARADIMA, B., SCHUWIRTH, N., REICHERT, P., 2019 - From individual to joint species distribution models : A comparison of model complexity and predictive performance. *Journal of Biogeography* 46 : 2260-2274.

CHASSIGNOLLE, A., CHAUVIER, Y., DESCHAMPS, G., THUILLER, W., 2024 - *Impact des changements climatiques et de l'utilisation des terres sur la flore de montagne : identification des espèces à risque et protection de la biodiversité dans les Alpes françaises*. Université Grenoble Alpes - LECA. 51 p.

CHEFAOUI, R.M., LOBO, J.M., 2008 - Assessing the effects of pseudo-absences on predictive distribution model performance. *Ecological modelling* 210 : 478-486.

CHERRIER, O., PRIMA, M.-C., ROUVEYROL, P., 2021 - *Cartographie des pressions anthropiques terrestres en France métropolitaine-Catalogue pour un diagnostic du réseau d'espaces protégés*. PatriNat (OFB-CNRS-MNHN), Paris. 110 p.

COLLECTIF, 2021 - *Cartographie des hotspots de biodiversité et des lacunes de protection en Nouvelle-Aquitaine*. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique, Audenge et Ligue de Protection des Oiseaux, Rochefort (coord.). 105 p.

COUDURIER, C., PETIT, L., TISSOT, A.-C., LOCHON, I., DANE, J., CHAMPION, E., 2023 - *Démarche d'adaptation au changement climatique Natur'Adapt – Guide méthodologique d'élaboration d'un diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité et d'un plan d'adaptation à l'échelle d'une aire protégée*. LIFE Natur'Adapt. Réserves Naturelles de France, Dijon. 70 p.

D'AMEN, M., RAHBEK, C., ZIMMERMANN, N.E., GUISAN, A., 2017 - Spatial predictions at the community level: from current approaches to future frameworks. *Biological Reviews* 92 : 169-187.

DAVID, R., 2018 - *Développement d'indicateurs de la sensibilité climatique des espèces végétales en Nouvelle-Aquitaine*. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique, Audenge. 91 p.

DAVID, R., BESNARD, A., CAZE, G., BONIFAIT, S., LE DEZ, M., 2024. *Cartographie des enjeux de biodiversité sous pression d'artificialisation en Nouvelle-Aquitaine*. Conservatoire botanique national Sud-Atlantique, Audenge ; Ligue de protection des oiseaux, Rochefort, 15 p.

DAVID, R., ROMEYER, K., 2019 - Ecologie du changement climatique en région Nouvelle-Aquitaine : Communautés végétales de plaine et de montagne. In : *Programme Les Sentinelles Du Climat - Tome VIII : Écologie Du Changement Climatique En Région Nouvelle-Aquitaine*. Cistude Nature, Eysines : 13-72.

DAVID, R., ROMEYER, K., 2021 - Sensibilité de la flore de Nouvelle-Aquitaine au changement climatique. In : *Programme 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*. Cistude Nature, Eysines : 21-52.

DAY, A., 2012. heatmap.plus : Heatmap with more sensible behavior. Disponible à l'adresse : <http://cran.r-project.org/web/packages/heatmap.plus/heatmap.plus.pdf>.

DE FRENNE, P., BEUGNON, R., KLINGES, D., LENOIR, J., NIITTYNEN, P., PINCEBOURDE, S., SENIOR, R.A., AALTO, J., CHYTRÝ, K., GILLINGHAM, P.K., GREISER, C., GRIL, E., HAESEN, S., KEARNEY, M., KOPECKÝ, M., LE ROUX, P.C., LUOTO, M., MACLEAN, I., MAN, M., PENCZYKOWSKI, R., VAN DEN BRINK, L., VAN DE VONDEL, S., DE PAUW, K., LEMBRECHTS, J.J., KEMPPINEN, J., VAN MEERBEEK, K., 2025. Ten practical guidelines for microclimate research in terrestrial ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution* 16 (2) : 269–294.

DE FRENNE, P., LENOIR, J., LUOTO, M., SCHEFFERS, B.R., ZELLWEGER, F., AALTO, J., ASHCROFT, M.B., CHRISTIANSEN, D.M., DECOCQ, G., DE PAUW, K., GOVAERT, S., GREISER, C., GRIL, E., HAMPE, A., JUCKER, T., KLINGES, D.H., KOELEMEIJER, I.A., LEMBRECHTS, J.J., MARREC, R., MEEUSSEN, C., OGEE, J., TYYSTJÄRVI, V., VANGANSBEKE, P., HYLANDER, K., 2021 - Forest microclimates and climate change : Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology* 27 (11) : 2279–2297.

DE MENTHIERE, C., FALCONE, P., PIVETEAU, V., ORY, X., 2023 - *La haie, levier de la planification écologique*. Rapport n°22114. Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux, Paris. 116 p.

DENGLER, J., JANSEN, F., CHUSOVA, O., HÜLLBUSCH, E., NOBIS, M.P., VAN MEERBEEK, K., AXMANOVA, I., BRUUN, H.H., CHYTRÝ, M., GUARINO, R., 2023 - Ecological Indicator Values for Europe (EIVE) 1.0. *Vegetation Classification and Survey* 4 : 7-29.

DORMANN, C.F., ELITH, J., BACHER, S., BUCHMANN, C., CARL, G., CARRE, G., MARQUEZ, J.R.G., GRUBER, B., LAFOURCADE, B., LEITÃO, P.J., MÜNKEMÜLLER, T., MCCLEAN, C., OSBORNE, P.E., REINEKING, B., SCHRÖDER, B., SKIDMORE, A.K., ZURELL, D., LAUTENBACH, S., 2013 - Collinearity : a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36 (1) : 27–46.

DORMANN, C.F., MCPHERSON, J.M., ARAUJO, M.B., BIVAND, R., BOLLIGER, J., CARL, G., DAVIES, R.G., HIRZEL, A., JETZ, W., KISSLING, W.D., KÜHN, I., OHLEMÜLLER, R., PERES-NETO, P.R., REINEKING, B., SCHRÖDER, B., SCHURR, F.M., WILSON, R., 2007 - Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data : a review. *Ecography* 30 (5) : 609–628.

DUBUIS, A., GIOVANETTINA, S., PELLISSIER, L., POTTIER, J., VITTOZ, P., GUISAN, A., 2013 - Improving the prediction of plant species distribution and community composition by adding edaphic to topo-climatic variables. *Journal of Vegetation Science* 24 (4) : 593–606.

DUDIK, M., PHILLIPS, S.J., SCHAPIRE, R.E., 2006 - Correcting sample selection bias in maximum entropy density estimation. *Advances in neural information processing systems*. 8 p.

EARLE, D., HURLEY, C.B., 2015 - Advances in Dendrogram Seriation for Application to Visualization. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 24 (1) : 1–25.

ELITH, J., GRAHAM, C.H., ANDERSON, R.P., DUDIK, M., FERRIER, S., GUISAN, A., HIJMANS, R.J., HUETTMANN, F., LEATHWICK, J.R., LEHMANN, A., LI, J., LOHMAN, L.G., LOISELLE, B.A., MANION, G., MORITZ, C., NAKAMURA, M., NAKAZAWA, Y., OVERTON, J.M.M., PETERSON, A.T., PHILLIPS, S.J., RICHARDSON, K., SCACHETTI-PEREIRA, R., SCHAPIRE, R.E., SOBERON, J., WILLIAMS, S., WISZ, M.S., ZIMMERMANN, N.E., 2006 - Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29 (2) : 129–151.

ELITH, J., KEARNEY, M., PHILLIPS, S., 2010 - The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution* 1 (4) : 330–342.

ENGLER, R., GUISAN, A., 2009 - MIGCLIM : Predicting plant distribution and dispersal in a changing climate. *Diversity and Distributions* 15 (4) : 590–601.

ENGLER, R., HORDIJK, W., GUISAN, A., 2012 - The MIGCLIM R package – seamless integration of dispersal constraints into projections of species distribution models. *Ecography* 35 (10) : 872–878.

EYRING, V., BONY, S., MEEHL, G.A., SENIOR, C.A., STEVENS, B., STOUFFER, R.J., TAYLOR, K.E., 2016 - Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development* 9(5) : 1937-1958.

FOLTETE, J.-C., CLAUZEL, C., VUIDEL, G., TOURNANT, P., 2012 - Integrating graph-based connectivity metrics into species distribution models. *Landscape Ecology* 27(4) : 557-569.

FOURCADE, Y., ENGLER, J.O., RÖDDER, D., SECONDI, J., 2014 - Mapping Species Distributions with MAXENT Using a Geographically Biased Sample of Presence Data : A Performance Assessment of Methods for Correcting Sampling Bias. *PLOS ONE* 9(5) : 97-122.

FREITAS, T.R., MARTINS, S., JESUS, J., CAMPOS, J., FERNANDES, A., MENZ, C., MARAVALHAS, E., FRAGA, H., SANTOS, J.A., 2025 - Bio-Ecological Indicators for Gentiana pneumonanthe L. Climatic Suitability in the Iberian Peninsula. *Plants* 14(18) : 28-57.

GALILI, T., 2015 - dendextend : an R package for visualizing, adjusting and comparing trees of hierarchical clustering. *Bioinformatics* 31(22) : 3718-3720.

GARGOMINY, O., TERCERIE, S., REGNIER, C., RAMAGE, T., DUPONT, P., DASZKIEWICZ, P., PONCET, L., 2019 - TAXREF v13, référentiel taxonomique pour la France : méthodologie, mise en oeuvre et diffusion [Rapport PatriNat]. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 63 p.

GREISER, C., HEDEROVA, L., VICO, G., WILD, J., MACEK, M., KOPECKÝ, M., 2024 - Higher soil moisture increases microclimate temperature buffering in temperate broadleaf forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 345 : 109828.

GUILLON, M., ROMEYER, K., 2025 - Les sentinelles du climat en Nouvelle-Aquitaine - Leviers d'atténuation et projets de restauration expérimentale [Présentation]. Cistude Nature, Eysines et CBNSA, Audenge.

GUISAN, A., PETITPIERRE, B., BROENNIMANN, O., DAEHLER, C., KUEFFER, C., 2014 - Unifying niche shift studies : insights from biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution* 29(5) : 260-269.

HAESEN, S., LENOIR, J., GRIL, E., DE FRENNE, P., LEMBRECHTS, J.J., KOPECKÝ, M., MACEK, M., MAN, M., WILD, J., VAN MEERBEEK, K., 2023 - Microclimate reveals the true thermal niche of forest plant species. *Ecology Letters* 26(12) : 2043-2055.

HAMPE, A., PETIT, R.J., 2005 - Conserving biodiversity under climate change : the rear edge matters. *Ecology Letters* 8(5) : 461-467.

HANLEY, J.A., MCNEIL, B.J., 1982 - The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology* 143(1) : 29-36.

HEINKEN, T., DIEKMANN, M., LIIRA, J., ORCZEWSKA, A., SCHMIDT, M., BRUNET, J., CHYTRÝ, M., CHABRERIE, O., DECOCQ, G., DE FRENNE, P., DREVOJAN, P., DZWONKO, Z., EWALD, J., FEILBERG, J., GRAAE, B.J., GRYTNES, J., HERMY, M., KRIEBITZSCH, W., LAIVINS, M., LENOIR, J., LINDMO, S., MARAGE, D., MAROZAS, V., NIEMEYER, T., PAAL, J., PYSEK, P., ROOSALUSTE, E., SADLO, J., SCHAMINEE, J.H.J., TYLER, T., VERHEYEN, K., WULF, M., VANNESTE, T., 2022 - The European Forest Plant Species List (EuForPlant): Concept and applications. *Journal of Vegetation Science* 33(3) : e13132.

HIJMANS, R.J., ELITH, J., 2021 - Spatial Distribution Models. Rspatial. 100 p. Disponible à l'adresse : <https://rspatial.org/sdm/SDM.pdf>.

HUMPHREY, V., BERG, A., CIAIS, P., GENTINE, P., JUNG, M., REICHSTEIN, M., SENEVIRATNE, S.I., FRANKENBERG, C., 2021 - Soil moisture-atmosphere feedback dominates land carbon uptake variability. *Nature* 592 (7852) : 65-69.

JIMENEZ-VALVERDE, A., LOBO, J.M., 2007 - Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either-or presence-absence. *Acta oecologica* 31(3) : 361-369.

JULVE, P., 2016 - *Baseflor : Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France*. Version d'août 2016 [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/302925607_baseflor.

LEBART, L., MORINEAU, A., PIRON, M., 1995 - *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. Editions Dunod, Paris. 439 p.

LECQ, S., 2013 - *Importance de la structure des haies, des lisières, et de la disponibilité en abris sur la biodiversité, implications en termes de gestion*. PhD Thesis. Université de Poitiers. 200 p.

LEIMU, R., VERGEER, P., ANGELONI, F., OUBORG, N.J., 2010 - Habitat fragmentation, climate change, and inbreeding in plants. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1195(1) : 84-98.

LENOIR, J., HATTAB, T., PIERRE, G., 2017 - Climatic microrefugia under anthropogenic climate change : implications for species redistribution. *Ecography* 40(2) : 253-266.

LENOIR, J., SVENNING, J.-C., 2015 - Climate-related range shifts - a global multidimensional synthesis and new research directions. *Ecography* 38(1) : 15-28.

LIU, C., NEWELL, G., WHITE, M., 2016 - On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence-only data. *Ecology and Evolution* 6(1) : 337-348.

LOBELIA, 2025. *LOBELIA - Système d'information flore-fonge-végétations-habitats* [en ligne]. Consultable à l'adresse : <https://lobelia-cbn.fr/>.

LOBO, J.M., JIMENEZ-VALVERDE, A., REAL, R., 2008 - AUC : a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17(2) : 145-151.

MACLEAN, I.M.D., HOPKINS, J.J., BENNIE, J., LAWSON, C.R., WILSON, R.J., 2015 - Microclimates buffer the responses of plant communities to climate change. *Global Ecology and Biogeography* 24(11) : 1340-1350.

MALAVAL, S., BISCHOFF, A., HEDONT, M., PROVENDIER, D.D., BOUTAUD, M., DAO, J., BARDIN, P., DIXON, L., MILLET, J., 2015 - Végétal local : une marque française pour la conservation de la flore indigène. In : *Colloque Eurogard VII The Seventh European Botanic Gardens Congress, Paris* : 234-242

MAURI, A., GIRARDELLO, M., STRONA, G., BECK, P.S.A., FORZIERI, G., CAUDULLO, G., MANCA, F., CESCATTI, A., 2022 - EU-Trees4F, a dataset on the future distribution of European tree species. *Scientific Data* 9(1) : 37.

MENDOZA, G.H., 2014 - *Identification des risques de perte de biodiversité face aux pressions anthropiques et au changement climatique à l'horizon 2100 : Application de la conservation dynamique au territoire des Alpes-Maritimes*. PhD Thesis. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. 327 p.

MENENDEZ, R., MEGIAS, A.G., HILL, J.K., BRASCHLER, B., WILLIS, S.G., COLLINGHAM, Y., FOX, R., ROY, D.B., THOMAS, C.D., 2006 - Species richness changes lag behind climate change. *Proc. R. Soc. B.* 273(1593) : 1465-1470.

MEROW, C., SMITH, M.J., SILANDER, J.A., 2013 - A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions : what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36(10) : 1058-1069.

MICHALET, R., CARCAILLET, C., DELERUE, F., DOMECK, J.-C., LENOIR, J., 2024 - Assisted migration in a warmer and drier climate : less climate buffering capacity, less facilitation and more fires at temperate latitudes ? *Oikos* 2024 (8) : e10248.

MOD, H.K., SCHERRER, D., LUOTO, M., GUISAN, A., 2016 - What we use is not what we know : environmental predictors in plant distribution models. *Journal of Vegetation Science* 27(6) : 1308-1322.

MOILANEN, A., KUJALA, H., LEATHWICK, J.R., 2009 - The Zonation framework and software for conservation prioritization. *Spatial conservation prioritization* 135 : 196-210.

NENZEN, H.K., ARAUJO, M.B., 2011 - Choice of threshold alters projections of species range shifts under climate change. *Ecological Modelling* 222 (18) : 3346-3354.

NORRIS, D., 2014 - Model Thresholds are More Important than Presence Location Type : Understanding the Distribution of Lowland tapir (*Tapirus Terrestris*) in a Continuous Atlantic Forest of Southeast Brazil. *Tropical Conservation Science* 7(3) : 529-547.

OBV-NA, 2025 - *Observatoire de la biodiversité végétale de Nouvelle-Aquitaine - Système d'information de l'inventaire du patrimoine naturel (SINP)*[base de données en ligne]. Consultable à l'adresse : <https://obv-na.fr/>.

OPDAM, P., WASCHER, D., 2004 - Climate change meets habitat fragmentation : linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological conservation* 117(3) : 285-297.

OUZEAU, G., DEQUE, M., JOUINI, M., PLANTON, S., VAUTARD, R., JOUZEL, J., 2014 - Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. Le climat de la France au XXIe siècle (Volume 4). Direction générale de l'Énergie et du Climat - MEDDE, Paris. 64 p.

PEARSON, R.G., DAWSON, T.P., 2005 - Long-distance plant dispersal and habitat fragmentation : identifying conservation targets for spatial landscape planning under climate change. *Biological Conservation* 123 (3) : 389-401.

PHILLIPS, S.J., 2005 - A brief tutorial on Maxent. *Lessons in Conservation* 3(1) : 108-135.

PHILLIPS, S.J., ANDERSON, R.P., SCHAPIRE, R.E., 2006 - Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190 (3) : 231-259.

PHILLIPS, S.J., DUDIK, M., ELITH, J., GRAHAM, C.H., LEHMANN, A., LEATHWICK, J., FERRIER, S., 2009 - Sample selection bias and presence-only distribution models : implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications* 19 (1) : 181-197.

PIEDALLU, C., PEREZ, V., GEGOUT, J.-C., LEBOURGEOIS, F., BERTRAND, R., 2009 - Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Épicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. *Revue Forestière Française* LXI (6) : 567-593.

POLLOCK, L.J., TINGLEY, R., MORRIS, W.K., GOLDING, N., O'HARA, R.B., PARRIS, K.M., VESK, P.A., MCCARTHY, M.A., 2014 - Understanding co-occurrence by modelling species simultaneously with a Joint Species Distribution Model(JSDM). *Methods in Ecology and Evolution* 5 (5) : 397-406.

PRÉAU, C., ISSELIN-NONDEDEU, F., SELLIER, Y., BERTRAND, R. & GRANDJEAN, F., 2019 - Predicting suitable habitats of four range margin amphibians under climate and land-use changes in southwestern France. *Regional Environmental Change* 19 (1) : 27-38.

PREAU, C., GRANDJEAN, F., SELLIER, Y., GAILLEDRAT, M., BERTRAND, R., ISSELIN-NONDEDEU, F., 2020 - Habitat patches for newts in the face of climate change : local scale assessment combining niche modelling and graph theory. *Scientific Reports* 10(1) : 3570.

PRIMA, M., RENAUD, J., WITTE, I., SUAREZ, L., ROUEYROL, P., FERNANDO, M., SACCHI, A., COSENTINO, F., SANTINI, L., MAIORANO, L., MOREIRA, F., DERTIEN, J., FERNANDEZ, N., THUILLER, W., 2024 - A comprehensive framework to assess multi-species landscape connectivity. *Methods in Ecology and Evolution* 15(12) : 2385-2399.

QUENOUILLE, M.H., 1949 - Approximate tests of correlation in time-series. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 45(3) : 483-484.

RADOSAVLJEVIC, A., ANDERSON, R.P., 2014 - Making better Maxent models of species distributions : complexity, overfitting and evaluation. *Journal of Biogeography* 41(4) : 629-643.

RAMEAU, J.-C., MANSION, D., DUME, G., 1999 - *Flore forestière française tome 2, Montagnes : guide écologique illustré*. CNPF-IDF, Paris. 2432 p.

RAMEAU, J.-C., MANSION, D., DUME, G., GAUBERVILLE, C., 2008 - *Flore forestière française tome 3, région méditerranéenne : Guide écologique illustré*. CNPF-IDF, Paris. 2432 p.

RAMEAU, J.-C., MANSION, D., DUME, G., GAUBERVILLE, C., 2018 - *Flore forestière française tome 1, Plaines et collines : Nouvelle édition revue et augmentée*. CNPF-IDF, Paris. 2464 p.

REHM, E.M., OLIVAS, P., STROUD, J., FEELEY, K.J., 2015 - Losing your edge : climate change and the conservation value of range-edge populations. *Ecology and Evolution* 5(19) : 4315-4326.

RESIDE, A.E., VANDERWAL, J., PHILLIPS, B.L., SHOO, L.P., ROSAUER, D.F., ANDERSON, B.J., WELBERGEN, J.A., MORITZ, C., FERRIER, S., HARDWOOD, T.D., WILLIAMS, K.J., MACKEY, B., HUGH, S., WILLIAMS, S.E., 2013 - Climate change refugia for terrestrial biodiversity. National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast, Queensland.

REY, P., 1960 - *Essai de phytocinétique biogéographique*. Centre national de la recherche scientifique, Paris. 399 p.

REY, P., 1957 - Le déterminisme écologique de la répartition des plantes méditerranéennes en Aquitaine. *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse* V : 131-156.

ROMEYER, K., DAVID, R., 2020 - Flore et végétations des milieux sec, humide, montagnard et forestier : connaître et comprendre leur sensibilité climatique en Nouvelle-Aquitaine. In : *Programme Les Sentinelles Du Climat - Tome IX : Connaitre et Comprendre Pour Protéger Les Espèces Animales et Végétales Face Au Changement Climatique*. Cistude Nature, Eysines : 18-95.

RYCKEWAERT, M., MARCOS, D., BOTELLA, C., SERVAJEAN, M., BONNET, P., JOLY, A., 2024 - Applying the maximum entropy principle to neural networks enhances multi-species distribution models [Pré-publication]. Disponible à l'adresse : <https://arxiv.org/pdf/2412.19217.pdf>

SAKAI, R., WINAND, R., VERBEIREN, T., MOERE, A.V., AERTS, J., 2014 - Dendsort : modular leaf ordering methods for dendrogram representations in R. *F1000Research* 3.

SCHWALM, C.R., GLENDON, S., DUFFY, P.B., 2020 - RCP8.5 tracks cumulative CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 117(33) : 19656-19657.

SHABANI, F., KUMAR, L., AHMADI, M., 2016 - A comparison of absolute performance of different correlative and mechanistic species distribution models in an independent area. *Ecology and Evolution* 6(16) : 5973-5986.

SIRVENT, L., 2020 - *Les types biologiques : Etat de l'art, actualisation des définitions et mise en place d'un référentiel*. Conservatoire Botanique National Méditerranéen de Porquerolles, Hyères. 64 p.

SOBERON, J., PETERSON, A.T., 2005 - Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. *Biodiversity Informatics* 2 : 1-10.

SORDELLO, R., 2017. Des continuités écologiques d'importance nationale aux trames vertes et bleues régionales : quelles méthodes de prise en compte ? *Sciences Eaux & Territoires* (hors série 2017) : 1-10.

SVENNING, J., SANDEL, B., 2013 - Disequilibrium vegetation dynamics under future climate change. *American Journal of Botany* 100 (7) : 1266-1286.

THOMAS, C.D., CAMERON, A., GREEN, R.E., BAKKENES, M., BEAUMONT, L.J., COLLINGHAM, Y.C., ERASMUS, B.F.N., SIQUEIRA, M.F. DE, GRAINGER, A., HANNAH, L., HUGHES, L., HUNTLEY, B., JAARSVELD, A.S. VAN, MIDGLEY, G.F., MILES, L., ORTEGA-HUERTA, M.A., PETERSON, A.T., PHILLIPS, O.L., WILLIAMS, S.E., 2004 - Extinction risk from climate change. *Nature* 427 (6970) : 145-148.

THUILLER, W., ARAUJO, M.B., LAVOREL, S., 2004 - Do we need land-cover data to model species distributions in Europe ? *Journal of Biogeography* 31 (3) : 353-361.

THUILLER, W., LAFOURCADE, B., ENGLER, R., ARAUJO, M.B., 2009 - BIOMOD - a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* 32 (3) : 369-373.

THUILLER, W., LAVOREL, S., ARAUJO, M.B., SYKES, M.T., PRENTICE, I.C., 2005 - Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102 (23) : 8245-8250.

TISON, J.-M., FOUCAULT, B., 2014 - *Flora gallica : flore de France*. Editions Biotope, Mèze. 1196 p.

TISON, J.-M., JAUZEIN, P., MICHAUD, H., 2014 - *Flore de la France méditerranéenne continentale*. Naturalia publications, Turriers. 2080 p.

TUKEY, J.W., 1958 - Bias and confidence in not quite large samples. *Annals of Mathematical Statistics* 29 : 614.

UBALDI, T., 2023 - *Quelles essences pour les forêts françaises de demain ? Approche scientifique du rapport bénéfice/risque pour l'aide à la décision*. Université de Picardie Jules Verne, Amiens. 38 p.

IUCN FRANCE, 2024 - *La migration assistée des arbres (Note de position)*. IUCN France, Paris. 6 p.

IUCN FRANCE, 2018 - *Guide pratique pour la réalisation de Listes rouges régionales des espèces menacées- Méthodologie de l'IUCN & démarche d'élaboration*. IUCN France, Paris. 60 p.

IUCN FRANCE, OFB, MNHN, CBN, IGN, 2025 - *La Liste rouge des écosystèmes en France – Les forêts de montagne, Hexagone et Corse*. IUCN France, Paris. 44 p.

VALAVI, R., GUILLERA-ARROITA, G., LAHOZ-MONFORT, J.J., ELITH, J., 2022 - Predictive performance of presence-only species distribution models : a benchmark study with reproducible code. *Ecological Monographs* 92 (1) : 1486.

VALLE, C., POGGIATO, G., THUILLER, W., JIGUET, F., PRINCE, K., LE VIOL, I., 2024 - Species associations in joint species distribution models : from missing variables to conditional predictions. *Journal of Biogeography* 51 (2) : 311-324.

WALBOTT, M., 2018 - *Rôles des facteurs locaux dans la distribution et la persistance des communautés à hêtre (Fagus sylvatica) en marge d'aire de répartition*. PhD Thesis. Université de Bordeaux 1. 198 p.

WISZ, M.S., GUISAN, A., 2009 - Do pseudo-absence selection strategies influence species distribution models and their predictions ? An information-theoretic approach based on simulated data. *BMC ecology* 9(1) : 1-13.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma du processus de modélisation de la niche écologique de l'espèce puis projection de son aire d'affinité climatique et environnementale à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine	8
Figure 2 : Matrice des corrélations entre les 62 variables disponibles	14
Figure 3 : Matrices des corrélations entre les 35 variables sélectionnées	15
Figure 4 : Exemple de gains d'entraînement obtenus pour chacune des variables selon la méthode du Jackknife pour <i>Nardus Stricta</i> (à gauche) et <i>Litorella uniflora</i> (à droite)	16
Figure 5 : Carte du nombre d'espèces par maille de 1x1 km en Nouvelle-Aquitaine pour lesquelles au moins une observation floristique a été effectuée sur le terrain et rassemblée pour cette étude (source : OBV-NA – février 2020)	22
Figure 6 : Vues détaillées dans différents secteurs de la Nouvelle-Aquitaine du nombre d'espèces par maille de 1x1 km en Nouvelle-Aquitaine pour lesquelles au moins une observation floristique a été effectuée sur le terrain et rassemblée pour cette étude (source : OBV-NA – février 2020)	23
Figure 7 : Illustrations de différents cas de figure lors du processus de désagrégation par échantillonnage systématique au sein des données de présence avérée des espèces	24
Figure 8 : Cartes de projection de l'affinité climatique et environnementale pour <i>Erica tetralix</i> et <i>Melica uniflora</i> pour la période actuelle (1991-2020)	26
Figure 9 : Cartes de projection de l'affinité climatique et environnementale pour <i>Erica tetralix</i> et <i>Melica uniflora</i> pour l'horizon H2 (2041-2070) suivant le scénario RCP8.5 d'émissions de GES	26
Figure 10 : Distribution des valeurs moyennes d'AUC (Area Under the receiver operating characteristic Curve) en fonction du nombre de mailles 1x1 km de présence avérée des espèces	27
Figure 11 : Carte de projection de l'évolution de l'affinité climatique régionale de <i>Fagus sylvatica</i> entre la période actuelle (1991-2020) et l'horizon H2 (2041-2070) pour le scénario RCP8.5 d'émissions de GES	29
Figure 12 : Boites à moustaches des pourcentages d'évolution de l'aire d'affinité climatique et environnementale des espèces pour les 9 combinaisons de scénarios/horizons (tiré de David & Romeyer, 2021)	31
Figure 13 : Évolution des émissions entre 1980 et 2100, selon les différents scénarios disponibles. Source : Global Carbon Project. (Tiré de : Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS 2020 pour la métropole, Météo France, Soubeyroux et al. 2021)	32
Figure 14 : Bonus ajoutés aux seuils MTSS initiaux en fonction du nombre de mailles 1x1 km de présence avérée pour chaque espèce	35
Figure 15 : Cartes d'évolution de l'aire d'affinité climatique prédictive pour <i>Blitum bonus-henricus</i> avec le seuil MTSS initial (à gauche) et suite à l'application d'un bonus sur ce seuil initial (à droite)	35
Figure 16 : Cartes d'évolution de l'aire d'affinité climatique prédictive pour <i>Caropsis verticillato-inundata</i> avec le seuil MTSS initial (à gauche) et suite à l'application d'un bonus sur ce seuil initial (à droite)	36
Figure 17 : Cartes d'évolution des aires d'affinité climatique et environnementale illustrant les trois niveaux d'intensité de la menace climatique retenus dans la liste SentiNA	36

Figure 18 : Distribution des valeurs d'AUC (Area Under the receiver operating characteristic Curve) en fonction du nombre de présences avérées pour les espèces validées et invalidées par les experts botanistes	39
Figure 19 : Distribution des valeurs d'indice de sensibilité climatique en fonction des déciles de nombres de présences avérées pour les 350 espèces de la liste Flore SentiNA	48
Figure 20 : Répartition en fonction des principales zones biogéographiques de Nouvelle-Aquitaine du nombre d'espèces de flore toutes espèces confondues (2181 espèces - à gauche) et du nombre d'espèces menacées par le changement climatique et mentionnées dans la la liste SentiNA (350 espèces - à droite).....	49
Figure 21 : Répartition en fonction du type biologique simplifié du nombre d'espèces total (2116 espèces ayant un attribut de type biologique renseigné dans Baseflor sur les 2181 espèces rassemblées dans cette étude) ainsi que du nombre et de la proportion d'espèces menacées par le changement climatique (348 espèces renseignées dans Baseflor sur 350 menacées).....	50
Figure 22 : Répartition en fonction du gradient thermique du nombre d'espèces total (2041 espèces ayant une valeur d'indice ElVe_T renseigné sur les 2181 espèces rassemblées dans cette étude) ainsi que du nombre et de la proportion d'espèces menacées par le changement climatique (340 espèces renseignées par un indice ElVe_T sur 350 menacées).....	51
Figure 23 : Répartition en fonction du gradient d'humidité du sol du nombre d'espèces total (2042 espèces ayant une valeur d'indice ElVe_M renseigné sur les 2181 espèces rassemblées dans cette étude) ainsi que du nombre et de la proportion d'espèces menacées par le changement climatique (341 espèces renseignées par un indice ElVe_T sur 350 menacées).....	52
Figure 24 : Carte du risque climatique cumulé pour les 350 espèces végétales de la liste SentiNA en Nouvelle-Aquitaine en tenant compte de leurs différents niveaux de menace	54
Figure 25 : Dispersion des valeurs de l'indice de sensibilité climatique des espèces végétales en fonction de 3 combinaisons de scénarios et horizons	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Variables environnementales disponibles	10
Tableau 2 : Variables climatiques disponibles	11
Tableau 3 : Variables climatiques et environnementales retenues, regroupées par grands types (selon Mod et al. 2016).....	17
Tableau 4 : Correspondances entre niveaux de menace estimés et indices de sensibilité climatique	37
Tableau 5 : Liste des espèces avec niveau de menace climatique prédit en Nouvelle-Aquitaine : liste Flore SentiNA	40
Tableau 6 : Effectifs et proportion des espèces modélisées par niveau de menace climatique	48
Tableau 7 : Effectifs par niveau de menace climatique en fonction des combinaisons scénario/horizon	55
Tableau 8 : Liste des espèces végétales très fortement menacées à court terme (horizon H1 - 2021-2050 et scénario d'émissions de GES RCP8.5) en Nouvelle-Aquitaine	57

ANNEXES

ANNEXE 1 : CORRESPONDANCE ENTRE TYPES BIOLOGIQUES D'APRES BASEFLOR ET TYPES BIOLOGIQUES SIMPLIFIES UTILISES ET PRECISION SUR LA TERMINOLOGIE (UNIQUEMENT POUR LA LISTE FLORE SENTINA).....	82
ANNEXE 2 : CORRESPONDANCE ENTRE VALEURS D'INDICES T ET M DE LA BASE EIVE ET TERMINOLOGIE ECOLOGIQUE UTILISEE.....	83
ANNEXE 3 : INDICATION DE L'OPTIMUM PHYTOSOCIOLOGIQUE (NIVEAU CLASSE) POUR LES ESPECES DE LA LISTE FLORE SENTINA.....	84
ANNEXE 4 : LISTE FLORE SENTINA ET VALEURS D'INDICE DE SENSIBILITE CLIMATIQUE EN FONCTION DES 3 COUPLES DE SCENARIOS ET HORIZONS ANALYSES.....	93
ANNEXE 5 : CARTES DE PROJECTION DE L'EVOLUTION DES AIRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTALES FAVORABLES POUR LES ESPECES MENACEES AU COURS DU XXIEME SIECLE.....	102
ANNEXE 6 : CARTES DE PROJECTION DES AIRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTALES FAVORABLES ACTUELLES ET FUTURES POUR LES ESPECES MENACEES AU COURS DU XXIEME SIECLE.....	102
ANNEXE 7 : CARTES POUR LES ESPECES MENACEES AU COURS DU XXIEME SIECLE SOUMISES A RESTRICTIONS DE DIFFUSION SUR CRITERES DE SENSIBILITE.....	102
ANNEXE 8 : LISTE FLORE SENTINA(FORMAT TABLEUR).....	102

ANNEXE 1 : CORRESPONDANCE ENTRE TYPES BIOLOGIQUES D'APRES BASEFLOR ET TYPES BIOLOGIQUES SIMPLIFIES UTILISES ET PRECISION SUR LA TERMINOLOGIE (UNIQUEMENT POUR LA LISTE FLORE SENTINA)

Type biologique d'après Baseflor	Type biologique simplifié		Type biologique simplifié	Nom type biologique simplifié
a-cad	Aa		Aa	Arbres
b-cad	a		a	Arbustes
B-semp	a		h-cham	Chaméphytes
ccou	h-cham		h-geo	Géophytes
ccou-suc	h-cham		h	Hémicryptophytes
Cfru	h-cham		h-bis	Bisannuelles
Cfru-cad	h-cham		h-thero	Thérophytes
cfru-semp	h-cham			
csuf	h-cham			
gbul	h-geo			
gbul-par	h-geo			
grhi	h-geo			
grhi(heri)	h-geo			
Grhi-aqua	h-geo			
gtub	h-geo			
hbis	h-bis			
hbis(hsto)	h-bis			
hbis(test)	h-bis			
hbis-hpar(hros-hpar)	h-bis			
hces	h			
heri	h			
Heri(Grhi)	h			
heri-aqua	h			
heri-hpar	h			
hros	h			
hros(hbis)	h			
hros-hpar	h			
Hrub(b)	h			
hsto	h			
hsto(test)	h			
hsto-aqua-car	h			
test	h-thero			
test(hbis)	h-thero			
test-aqua-car	h-thero			
test-hpar	h-thero			
Test-lia-par	h-thero			
test-suc	h-thero			
tver	h-thero			

ANNEXE 2 : CORRESPONDANCE ENTRE VALEURS D'INDICES T ET M DE LA BASE EIVe ET TERMINOLOGIE ECOLOGIQUE UTILISEE

Valeurs d'indices de la base EIVe	Termes écologiques (adaptés de Baseflor et catalogue végétation N-A)	Indications de biotope
T : Température		
0-2	Cryophiles	Températures moyennes < 4°C, hivers très froids (gélées prolongées)
2-4	Psychrophiles	Températures moyennes de 4-8°C, hivers froids (gélées fréquentes et prolongées)
4-5	Mésothermophiles	Températures moyennes de 8-12°C, hivers frais (gélées fréquentes)
5-6	Thermoclines	Températures moyennes > 10°C, hivers doux (gelées ponctuelles)
6-10	Thermophiles (dont thermoméditerranéennes à subtropicales)	Températures moyennes > 12°C, hivers doux (gelées rares) et étés chauds
M : Humidité du sol		
0-2	Xérophiles (à hyperxérophiles)	Sol très superficiel ou très filtrant, réserve utile très faible
2-3	Mésoxérophiles	Sol superficiel ou filtrant, réserve utile faible
3-4	Mésoxéroclines	Sol peu épais ou ressuyé, réserve utile moyenne
4-5	Mésophiles (à hygroclines)	Sol assez épais non ressuyé, réserve utile correcte
5-6	Mésohygrophiles	Sol assez épais à engorgement temporaire proche de la surface, réserve utile importante
6-7	Hygrophiles	Sol à engorgement temporaire dès la surface, durée d'inondation en semaines
7-8	Hydrophiles	Sol engorgé/inondé pendant 2 à 6 mois
8-9	Amphibies	Sol inondé la majorité de l'année
9-10	Aquatiques	Sol inondé en permanence (base toujours noyée)

ANNEXE 3 : INDICATION DE L'OPTIMUM PHYTOSOCIOLOGIQUE (NIVEAU CLASSE) POUR LES ESPECES DE LA LISTE FLORE SENTINA

Espèce	Indice de sensibilité climatique	Optimum phytosociologique (niveau classe)
<i>Cerastium arvense</i> L., 1753	-35.7	Agropyretea intermedio-repentis
<i>Myosotis laxa</i> Lehm., 1818	-32.0	Agrostietea stoloniferae
<i>Mentha arvensis</i> L., 1753	-33.7	Agrostietea stoloniferae
<i>Scorzoneroïdes autumnalis</i> (L.) Moench, 1794	-55.9	Agrostietea stoloniferae
<i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds., 1762	-58.3	Agrostietea stoloniferae
<i>Alopecurus aequalis</i> Sobol., 1799	-76.1	Agrostietea stoloniferae
<i>Alopecurus geniculatus</i> L., 1753	-93.0	Agrostietea stoloniferae
<i>Colchicum autumnale</i> L., 1753	-98.7	Agrostietea stoloniferae
<i>Alchemilla acutiloba</i> Opiz, 1838	-38.1	Arrhenatheretea elatioris
<i>Pimpinella major</i> (L.) Huds., 1762	-46.7	Arrhenatheretea elatioris
<i>Oenanthe peucedanifolia</i> Pollich, 1776	-66.1	Arrhenatheretea elatioris
<i>Alchemilla xanthochlora</i> Rothm., 1937	-78.0	Arrhenatheretea elatioris
<i>Cyanus montanus</i> (L.) Hill, 1768	-97.0	Arrhenatheretea elatioris
<i>Rhinanthus alectorolophus</i> (Scop.) Pollich, 1777	-99.2	Arrhenatheretea elatioris
<i>Phyteuma gallicum</i> R.Schulz, 1904	-100.0	Arrhenatheretea elatioris
<i>Rumex longifolius</i> DC., 1815	-43.7	Artemisieta vulgaris
<i>Verbascum nigrum</i> L., 1753	-59.9	Artemisieta vulgaris
<i>Blitum bonus-henricus</i> (L.) C.A.Mey., 1829	-61.0	Artemisieta vulgaris
<i>Rumex aquitanicus</i> Rech.f., 1929	-61.7	Artemisieta vulgaris
<i>Asplenium obovatum</i> Viv., 1824	-31.8	Asplenietea trichomanis
<i>Viola biflora</i> L., 1753	-34.7	Asplenietea trichomanis
<i>Saxifraga paniculata</i> Mill., 1768	-37.8	Asplenietea trichomanis
<i>Alchemilla saxatilis</i> Buser, 1891	-40.3	Asplenietea trichomanis
<i>Heliosperma pusillum</i> (Waldst. & Kit.) Rchb., 1844	-40.4	Asplenietea trichomanis
<i>Potentilla alchemilloides</i> Lapeyr., 1782	-41.0	Asplenietea trichomanis
<i>Potentilla nivalis</i> Lapeyr., 1782	-43.0	Asplenietea trichomanis
<i>Thymelaea dioica</i> (Gouan) All., 1789	-47.7	Asplenietea trichomanis
<i>Lonicera pyrenaica</i> L., 1753	-47.8	Asplenietea trichomanis
<i>Asplenium viride</i> Huds., 1762	-49.7	Asplenietea trichomanis
<i>Phyteuma hemisphaericum</i> L., 1753	-54.3	Asplenietea trichomanis
<i>Rhamnus pumila</i> Turra, 1764	-55.0	Asplenietea trichomanis
<i>Valeriana apula</i> Pourr., 1788	-55.6	Asplenietea trichomanis
<i>Saxifraga aretioides</i> Lapeyr., 1801	-74.5	Asplenietea trichomanis
<i>Buglossoides gastonii</i> (Benth.) I.M.Johnst., 1954	-75.4	Asplenietea trichomanis
<i>Asperula hirta</i> Ramond, 1800	-85.6	Asplenietea trichomanis

<i>Asplenium septentrionale</i> (L.) Hoffm., 1795	-89.6	Asplenietea trichomanis
<i>Thalictrum macrocarpum</i> Gren., 1838	-91.9	Asplenietea trichomanis
<i>Epilobium collinum</i> C.C.Gmel., 1826	-98.2	Asplenietea trichomanis
<i>Ribes petraeum</i> Wulfen, 1781	-60.9	Betulo carpatica-Alnetea viridis
<i>Rorippa palustris</i> (L.) Besser, 1821	-49.0	Bidentetea
<i>Rumex maritimus</i> L., 1753	-67.5	Bidentetea
<i>Oxybasis glauca</i> (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch, 2012	-74.8	Bidentetea
<i>Vaccinium uliginosum</i> L., 1753	-49.5	Calluno vulgaris-Ulicetea minoris
<i>Erica tetralix</i> L., 1753	-52.3	Calluno vulgaris-Ulicetea minoris
<i>Genista anglica</i> L., 1753	-57.9	Calluno vulgaris-Ulicetea minoris
<i>Vaccinium myrtillus</i> L., 1753	-71.0	Calluno vulgaris-Ulicetea minoris
<i>Sedum brevifolium</i> DC., 1808	-44.9	Cardaminetea hirsutae
<i>Apera spica-venti</i> (L.) P.Beauv., 1812	-92.3	Cardaminetea hirsutae
<i>Galeopsis segetum</i> Neck., 1770	-99.9	Cardaminetea hirsutae
<i>Armeria alpina</i> Willd., 1809	-32.1	Caricetea curvulae
<i>Pedicularis tuberosa</i> L., 1753	-49.6	Caricetea curvulae
<i>Senecio pyrenaicus</i> L., 1758	-52.7	Caricetea curvulae
<i>Festuca gautieri</i> (Hack.) K.Richt., 1890	-55.2	Caricetea curvulae
<i>Pedicularis pyrenaica</i> J.Gay, 1832	-66.2	Caricetea curvulae
<i>Primula integrifolia</i> L., 1753	-69.1	Caricetea curvulae
<i>Geum pyrenaicum</i> Mill., 1768	-71.5	Caricetea curvulae
<i>Carex macrostylos</i> Lapeyr., 1813	-79.2	Caricetea curvulae
<i>Trisetum baregense</i> Laffitte & Miégev., 1874	-88.7	Caricetea curvulae
<i>Minuartia verna</i> (L.) Hiern, 1899	-39.4	Carici rupestris-Kobresietea myosuroidis
<i>Aster alpinus</i> L., 1753	-46.2	Carici rupestris-Kobresietea myosuroidis
<i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq., 1762	-61.4	Carici rupestris-Kobresietea myosuroidis
<i>Dryas octopetala</i> L., 1753	-71.2	Carici rupestris-Kobresietea myosuroidis
<i>Salix repens</i> L., 1753	-54.8	Carici-Salicetea cinereae
<i>Myrica gale</i> L., 1753	-58.2	Carici-Salicetea cinereae
<i>Salix aurita</i> L., 1753	-94.3	Carici-Salicetea cinereae
<i>Ulmus glabra</i> Huds., 1762	-31.2	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
<i>Anemone hepatica</i> L., 1753	-31.6	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
<i>Daphne laureola</i> L., 1753	-36.1	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
<i>Tilia cordata</i> Mill., 1768	-50.8	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
<i>Rubus saxatilis</i> L., 1753	-51.4	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
<i>Melica uniflora</i> Retz., 1779	-52.0	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop., 1771	-52.7	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
<i>Fagus sylvatica</i> L., 1753	-57.7	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
<i>Sorbus aria</i> (L.) Crantz, 1763	-58.0	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
<i>Tractema lilio-hyacinthus</i> (L.) Speta, 1998	-60.6	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
<i>Erythronium dens-canis</i> L., 1753	-61.9	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae

Daphne mezereum L., 1753	-64.4	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Stellaria nemorum L., 1753	-65.9	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Polygonatum verticillatum (L.) All., 1785	-67.9	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Prenanthes purpurea L., 1753	-68.4	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Pyrola minor L., 1753	-74.5	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Cardamine pentaphyllos (L.) Crantz, 1769	-79.5	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Maianthemum bifolium (L.) F.W.Schmidt, 1794	-83.5	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Gymnocarpium dryopteris (L.) Newman, 1851	-85.5	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Lunaria rediviva L., 1753	-87.3	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Phegopteris connectilis (Michx.) Watt, 1867	-90.6	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Circaea x intermedia Ehrh., 1789	-95.7	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Goodyera repens (L.) R.Br., 1813	-100.0	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Luzula nivea (Nathh.) DC., 1805	-100.0	Carpino betuli-Fagetea sylvaticae
Orobanche rapum-genistae Thuill., 1799	-33.9	Cytisetea scopario-striati
Arabis ciliata Clairv., 1811	-33.6	Elyno-Seslerietea
Carex sempervirens Vill., 1787	-33.7	Elyno-Seslerietea
Geranium cinereum Cav., 1787	-35.2	Elyno-Seslerietea
Helictotrichon sedenense (Clarion ex DC.) Holub, 1970	-39.6	Elyno-Seslerietea
Salix pyrenaica Gouan, 1773	-40.2	Elyno-Seslerietea
Iris latifolia (Mill.) Voss, 1895	-45.1	Elyno-Seslerietea
Colchicum montanum L., 1753	-48.6	Elyno-Seslerietea
Horminum pyrenaicum L., 1753	-51.5	Elyno-Seslerietea
Gentiana verna L., 1753	-53.4	Elyno-Seslerietea
Alchemilla alpigena Buser, 1894	-53.7	Elyno-Seslerietea
Trifolium thalii Vill., 1779	-53.7	Elyno-Seslerietea
Gypsophila repens L., 1753	-54.0	Elyno-Seslerietea
Vicia pyrenaica Pourr., 1788	-55.2	Elyno-Seslerietea
Senecio doronicum (L.) L., 1759	-56.5	Elyno-Seslerietea
Anemone narcissiflora L., 1753	-56.8	Elyno-Seslerietea
Armeria pubinervis Boiss., 1848	-57.8	Elyno-Seslerietea
Myosotis alpestris F.W.Schmidt, 1794	-59.3	Elyno-Seslerietea
Anemone alpina L., 1753	-59.9	Elyno-Seslerietea
Androsace villosa L., 1753	-60.3	Elyno-Seslerietea
Daphne cneorum L., 1753	-69.8	Elyno-Seslerietea
Globularia repens Lam., 1779	-72.3	Elyno-Seslerietea
Euphrasia salisburgensis Funck, 1794	-75.3	Elyno-Seslerietea
Ranunculus thora L., 1753	-78.6	Elyno-Seslerietea
Gentiana lutea L., 1753	-81.3	Elyno-Seslerietea
Digitalis purpurea L., 1753	-35.3	Epilobietea angustifolii
Senecio sylvaticus L., 1753	-42.0	Epilobietea angustifolii
Atropa belladonna L., 1753	-59.4	Epilobietea angustifolii

<i>Cuscuta europaea</i> L., 1753	-60.5	Epilobetea angustifolii
<i>Epilobium angustifolium</i> L., 1753	-79.2	Epilobetea angustifolii
<i>Omalotheca sylvatica</i> (L.) Sch.Bip. & F.W.Schultz, 1861	-84.2	Epilobetea angustifolii
<i>Rubus idaeus</i> L., 1753	-93.4	Epilobetea angustifolii
<i>Senecio ovatus</i> (G.Gaertn., B.Mey. & Scherb.) Willd., 1803	-99.2	Epilobetea angustifolii
<i>Aconitum anthora</i> L., 1753	-34.6	Festuco-Brometea
<i>Dianthus deltoides</i> L., 1753	-38.6	Festuco-Brometea
<i>Dactylorhiza sambucina</i> (L.) Soó, 1962	-40.1	Festuco-Brometea
<i>Gentiana occidentalis</i> Jakow., 1899	-46.9	Festuco-Brometea
<i>Clinopodium alpinum</i> (L.) Kuntze, 1891	-47.1	Festuco-Brometea
<i>Avenula pubescens</i> (Huds.) Dumort., 1868	-47.4	Festuco-Brometea
<i>Trifolium montanum</i> L., 1753	-52.0	Festuco-Brometea
<i>Neotinea ustulata</i> (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase, 1997	-56.2	Festuco-Brometea
<i>Gentianopsis ciliata</i> (L.) Ma, 1951	-68.7	Festuco-Brometea
<i>Anthyllis montana</i> L., 1753	-73.7	Festuco-Brometea
<i>Ajuga genevensis</i> L., 1753	-77.5	Festuco-Brometea
<i>Geranium pyrenaicum</i> Burm.f., 1759	-92.9	Festuco-Brometea
<i>Thesium alpinum</i> L., 1753	-99.9	Festuco-Brometea
<i>Anacamptis coriophora</i> (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase, 1997	-100.0	Festuco-Brometea
<i>Valeriana dioica</i> L., 1753	-34.7	Filipendulo ulmariae-Convolvuletea sepium
<i>Carduus crispus</i> L., 1753	-35.4	Filipendulo ulmariae-Convolvuletea sepium
<i>Symphytum officinale</i> L., 1753	-42.5	Filipendulo ulmariae-Convolvuletea sepium
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P.Beauv., 1812	-44.2	Filipendulo ulmariae-Convolvuletea sepium
<i>Crepis paludosa</i> (L.) Moench, 1794	-63.0	Filipendulo ulmariae-Convolvuletea sepium
<i>Chaerophyllum hirsutum</i> L., 1753	-75.6	Filipendulo ulmariae-Convolvuletea sepium
<i>Achillea ptarmica</i> L., 1753	-99.5	Filipendulo ulmariae-Convolvuletea sepium
<i>Oxalis acetosella</i> L., 1753	-30.4	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott, 1834	-32.6	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Geranium phaeum</i> L., 1753	-33.3	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Poa nemoralis</i> L., 1753	-34.4	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Impatiens noli-tangere</i> L., 1753	-34.7	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Arum maculatum</i> L., 1753	-37.7	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All., 1785	-39.6	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Lactuca muralis</i> (L.) Gaertn., 1791	-41.1	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Stachys alpina</i> L., 1753	-42.7	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Dryopteris dilatata</i> (Hoffm.) A.Gray, 1848	-42.7	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Heracleum sibiricum</i> L., 1753	-43.6	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Dipsacus pilosus</i> L., 1753	-44.0	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Drymochloa sylvatica</i> (Pollich) Holub, 1984	-45.0	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Elymus caninus</i> (L.) L., 1755	-45.7	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Hordelymus europaeus</i> (L.) Harz, 1885	-46.8	Galio aparines-Urticetea dioicae

<i>Polystichum aculeatum</i> (L.) Roth, 1799	-50.2	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Scilla bifolia</i> L., 1753	-57.0	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Isopyrum thalictroides</i> L., 1753	-70.7	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Heracleum sphondylium</i> L., 1753	-70.8	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop., 1771	-71.8	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Adoxa moschatellina</i> L., 1753	-72.7	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Corydalis solida</i> (L.) Clairv., 1811	-75.3	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Aegopodium podagraria</i> L., 1753	-75.6	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Geranium sylvaticum</i> L., 1753	-76.2	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Paris quadrifolia</i> L., 1753	-78.2	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Epilobium montanum</i> L., 1753	-80.5	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Euphorbia hyberna</i> L., 1753	-88.1	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Aethusa cynapium</i> L., 1753	-88.6	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Cardamine heptaphylla</i> (Vill.) O.E.Schulz, 1903	-90.1	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Doronicum pardalianches</i> L., 1753	-90.5	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Carex brizoides</i> L., 1755	-94.4	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Turritis glabra</i> L., 1753	-99.9	Galio aparines-Urticetea dioicae
<i>Glyceria declinata</i> Bréb., 1859	-31.3	Glycerio fluitantis-Nasturtietea officinalis
<i>Trifolium cernuum</i> Brot., 1816	-38.5	Helianthemetea guttati
<i>Sedum atratum</i> L., 1763	-63.0	Helianthemetea guttati
<i>Spergula morisonii</i> Boreau, 1847	-93.4	Helianthemetea guttati
<i>Arnoseris minima</i> (L.) Schweigg. & Körte, 1811	-98.4	Helianthemetea guttati
<i>Lythrum portula</i> (L.) D.A.Webb, 1967	-37.0	Juncetea bufonii
<i>Stellaria alsine</i> Grimm, 1767	-48.6	Juncetea bufonii
<i>Limosella aquatica</i> L., 1753	-82.6	Juncetea bufonii
<i>Elatine hexandra</i> (Lapierre) DC., 1808	-84.1	Juncetea bufonii
<i>Callitricha palustris</i> L., 1753	-91.2	Juncetea bufonii
<i>Thymus pulegioides</i> L., 1753	-47.0	Koelerio-Corynephoretea canescens
<i>Utricularia australis</i> R.Br., 1810	-42.6	Lemnetea minoris
<i>Juncus heterophyllus</i> Dufour, 1825	-42.8	Littorelletea uniflorae
<i>Pilularia globulifera</i> L., 1753	-65.6	Littorelletea uniflorae
<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. & Schult., 1817	-70.3	Littorelletea uniflorae
<i>Myosotis secunda</i> A.Murray, 1836	-76.9	Littorelletea uniflorae
<i>Littorella uniflora</i> (L.) Asch., 1864	-79.9	Littorelletea uniflorae
<i>Caropsis verticillato-inundata</i> (Thore) Rauschert, 1982	-87.6	Littorelletea uniflorae
<i>Ranunculus ololeucus</i> J.Lloyd, 1844	-93.1	Littorelletea uniflorae
<i>Ranunculus omiophyllus</i> Ten., 1830	-98.1	Littorelletea uniflorae
<i>Isoetes echinospora</i> Durieu, 1861	-99.0	Littorelletea uniflorae
<i>Antinoria agrostidea</i> (DC.) Parl., 1845	-100.0	Littorelletea uniflorae
<i>Rhododendron ferrugineum</i> L., 1753	-30.5	Loiseleurio procumbentis-Vaccinietea
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng., 1825	-36.4	Loiseleurio procumbentis-Vaccinietea

<i>Huperzia selago</i> (L.) Bernh. ex Schrank & Mart., 1829	-39.7	Loiseleurio procumbentis-Vaccinietea
<i>Arctostaphylos alpinus</i> (L.) Spreng., 1825	-79.1	Loiseleurio procumbentis-Vaccinietea
<i>Luzula sylvatica</i> (Huds.) Gaudin, 1811	-33.7	Melampyro pratensis-Holcetea mollis
<i>Carex umbrosa</i> Host, 1801	-36.9	Melampyro pratensis-Holcetea mollis
<i>Dianthus barbatus</i> L., 1753	-41.2	Melampyro pratensis-Holcetea mollis
<i>Oreopteris limbosperma</i> (Bellardi ex All.) Holub, 1969	-48.6	Melampyro pratensis-Holcetea mollis
<i>Cruciata glabra</i> (L.) Ehrend., 1958	-59.1	Melampyro pratensis-Holcetea mollis
<i>Vicia orobus</i> DC., 1815	-70.2	Melampyro pratensis-Holcetea mollis
<i>Poa chaixii</i> Vill., 1786	-74.0	Melampyro pratensis-Holcetea mollis
<i>Ceratocapnos clavicularis</i> (L.) Lidén, 1984	-99.6	Melampyro pratensis-Holcetea mollis
<i>Scorzoneraoides duboisii</i> (Sennen) Greuter, 2006	-32.8	Montio fontanae-Cardaminetea amarae
<i>Caltha palustris</i> L., 1753	-36.1	Montio fontanae-Cardaminetea amarae
<i>Wahlenbergia hederacea</i> (L.) Rchb., 1827	-37.8	Montio fontanae-Cardaminetea amarae
<i>Carex strigosa</i> Huds., 1778	-53.2	Montio fontanae-Cardaminetea amarae
<i>Festuca rivularis</i> Boiss., 1838	-58.7	Montio fontanae-Cardaminetea amarae
<i>Ranunculus hederaceus</i> L., 1753	-83.7	Montio fontanae-Cardaminetea amarae
<i>Alchemilla coriacea</i> Buser, 1891	-85.3	Montio fontanae-Cardaminetea amarae
<i>Epilobium obscurum</i> Schreb., 1771	-93.3	Montio fontanae-Cardaminetea amarae
<i>Sibthorpia europaea</i> L., 1753	-96.1	Montio fontanae-Cardaminetea amarae
<i>Chrysosplenium alternifolium</i> L., 1753	-96.3	Montio fontanae-Cardaminetea amarae
<i>Lactuca plumieri</i> (L.) Gren. & Godr., 1850	-31.1	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Myrrhis odorata</i> (L.) Scop., 1771	-35.0	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Lathyrus vivantii</i> P. Monts., 1981	-39.5	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Papaver cambricum</i> L., 1753	-42.9	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Trollius europaeus</i> L., 1753	-45.2	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Valeriana montana</i> L., 1753	-48.7	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Rosa pendulina</i> L., 1753	-51.3	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Geum rivale</i> L., 1753	-51.3	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Actaea spicata</i> L., 1753	-52.8	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Lilium martagon</i> L., 1753	-56.5	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Crepis pyrenaica</i> (L.) Greuter, 1970	-60.8	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Valeriana pyrenaica</i> L., 1753	-61.9	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Heracleum pyrenaeicum</i> Lam., 1785	-63.1	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Adenostyles alliariae</i> (Gouan) A. Kern., 1871	-63.5	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Aconitum variegatum</i> L., 1753	-65.2	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Allium victorialis</i> L., 1753	-66.9	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Epilobium duriaeui</i> J. Gay ex Godr., 1849	-68.5	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Veratrum album</i> L., 1753	-80.2	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Rumex arifolius</i> All., 1773	-80.3	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Aster pyrenaeus</i> Desf. ex DC., 1805	-85.8	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
<i>Bistorta officinalis</i> Delarbre, 1800	-93.8	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati

Ranunculus aconitifolius L., 1753	-99.2	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
Doronicum austriacum Jacq., 1774	-99.5	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
Senecio cacaliaster Lam., 1779	-99.6	Mulgedio alpini-Aconitetea variegati
Pedicularis sylvatica L., 1753	-30.3	Nardetea strictae
Luzula pediformis (Chaix) DC., 1805	-34.3	Nardetea strictae
Carex leporina L., 1753	-34.8	Nardetea strictae
Festuca eskia Ramond ex DC., 1805	-35.0	Nardetea strictae
Botrychium lunaria (L.) Sw., 1802	-37.7	Nardetea strictae
Gentiana acaulis L., 1753	-42.5	Nardetea strictae
Hypericum richeri Vill., 1779	-43.1	Nardetea strictae
Campanula scheuchzeri Vill., 1779	-45.2	Nardetea strictae
Alchemilla alpina L., 1753	-47.6	Nardetea strictae
Plantago alpina L., 1753	-47.9	Nardetea strictae
Dianthus geminiflorus Loisel., 1807	-49.4	Nardetea strictae
Lycopodium clavatum L., 1753	-50.4	Nardetea strictae
Polygala serpyllifolia Hose, 1797	-50.7	Nardetea strictae
Antennaria dioica (L.) Gaertn., 1791	-61.4	Nardetea strictae
Gentianella campestris (L.) Börner, 1912	-62.5	Nardetea strictae
Scorzoneroïdes pyrenaica (Gouan) Holub, 1977	-63.6	Nardetea strictae
Galium saxatile L., 1753	-65.3	Nardetea strictae
Meum athamanticum Jacq., 1776	-74.2	Nardetea strictae
Potentilla fagineicola Lamotte, 1877	-74.3	Nardetea strictae
Nardus stricta L., 1753	-83.8	Nardetea strictae
Ajuga pyramidalis L., 1753	-85.3	Nardetea strictae
Coeloglossum viride (L.) Hartm., 1820	-89.6	Nardetea strictae
Juncus squarrosus L., 1753	-90.5	Nardetea strictae
Jacobaea adonidifolia (Loisel.) Mérat, 1812	-93.7	Nardetea strictae
Arnica montana L., 1753	-94.1	Nardetea strictae
Hypericum maculatum Crantz, 1763	-96.6	Nardetea strictae
Viola lutea Huds., 1762	-99.9	Nardetea strictae
Dianthus seguieri Vill., 1779	-100.0	Nardetea strictae
Lycopodiella inundata (L.) Holub, 1964	-82.3	Oxycocco palustris-Sphagnetea magellanici
Andromeda polifolia L., 1753	-95.5	Oxycocco palustris-Sphagnetea magellanici
Vaccinium oxycoccus L., 1753	-95.7	Oxycocco palustris-Sphagnetea magellanici
Carex pauciflora Lightf., 1777	-96.9	Oxycocco palustris-Sphagnetea magellanici
Eriophorum vaginatum L., 1753	-98.5	Oxycocco palustris-Sphagnetea magellanici
Vaccinium microcarpum (Turcz. ex Rupr.) Schmalh., 1871	-100.0	Oxycocco palustris-Sphagnetea magellanici
Carex vesicaria L., 1753	-32.1	Phragmito australis-Magnocaricetea elatae
Equisetum fluviatile L., 1753	-44.2	Phragmito australis-Magnocaricetea elatae
Glyceria maxima (Hartm.) Holmb., 1919	-53.5	Phragmito australis-Magnocaricetea elatae
Persicaria amphibia (L.) Gray, 1821	-32.0	Potametea

<i>Callitrichia hamulata</i> Kütz. ex W.D.J.Koch, 1837	-59.7	Potametea
<i>Myriophyllum alterniflorum</i> DC., 1815	-86.7	Potametea
<i>Luronium natans</i> (L.) Raf., 1840	-93.0	Potametea
<i>Betula pendula</i> Roth, 1788	-49.9	Quercetea robori-petraeae
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., 1791	-64.7	Quercetea robori-petraeae
<i>Sorbus aucuparia</i> L., 1753	-78.0	Quercetea robori-petraeae
<i>Salix caprea</i> L., 1753	-76.9	Rhamno catharticae-Prunetea spinosae
<i>Ribes alpinum</i> L., 1753	-85.8	Rhamno catharticae-Prunetea spinosae
<i>Sambucus racemosa</i> L., 1753	-89.5	Rhamno catharticae-Prunetea spinosae
<i>Sorbus mougeotii</i> Soy.-Will. & Godr., 1858	-91.0	Rhamno catharticae-Prunetea spinosae
<i>Prunus padus</i> L., 1753	-98.5	Rhamno catharticae-Prunetea spinosae
<i>Poa alpina</i> L., 1753	-30.9	Salicetea herbaceae
<i>Soldanella alpina</i> L., 1753	-47.0	Salicetea herbaceae
<i>Sagina saginoides</i> (L.) H.Karst., 1882	-65.0	Salicetea herbaceae
<i>Phleum alpinum</i> L., 1753	-68.3	Salicetea herbaceae
<i>Eriophorum latifolium</i> Hoppe, 1800	-31.5	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Primula farinosa</i> L., 1753	-37.5	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Carex echinata</i> Murray, 1770	-38.7	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck., 1782	-41.9	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Carex frigida</i> All., 1785	-42.3	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Tofieldia calyculata</i> (L.) Wahlenb., 1812	-44.5	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Selaginella selaginoides</i> (L.) P.Beauv. ex Schrank & Mart., 1829	-51.3	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Delarbret, 1800	-56.5	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Carex hostiana</i> DC., 1813	-57.4	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Dianthus superbus</i> L., 1755	-60.2	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Dactylorhiza incarnata</i> (L.) Soó, 1962	-62.9	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Epikeros pyrenaeus</i> (L.) Raf., 1840	-67.3	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Menyanthes trifoliata</i> L., 1753	-73.1	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Epilobium palustre</i> L., 1753	-76.0	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Rhynchospora fusca</i> (L.) W.T.Aiton, 1810	-76.1	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Viola palustris</i> L., 1753	-77.8	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Veronica scutellata</i> L., 1753	-78.4	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard, 1778	-81.8	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Carex canescens</i> L., 1753	-87.6	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Carex rostrata</i> Stokes, 1787	-88.1	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Dactylorhiza majalis</i> (Rchb.)P.F.Hunt & Summerh., 1965	-92.5	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Comarum palustre</i> L., 1753	-97.3	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Galium boreale</i> L., 1753	-98.2	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Equisetum sylvaticum</i> L., 1753	-100.0	Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae
<i>Scleranthus perennis</i> L., 1753	-54.8	Sedo albi-Scleranthetea biennis
<i>Anarrhinum bellidifolium</i> (L.) Willd., 1800	-56.2	Sedo albi-Scleranthetea biennis

<i>Sempervivum arachnoideum</i> L., 1753	-70.8	Sedo albi-Scleranthetea biennis
<i>Dianthus hyssopifolius</i> L., 1755	-38.6	Stipo capensis-Trachynietea distachyae
<i>Paronychia kapela</i> (Hacq.) A.Kern., 1869	-70.6	Stipo capensis-Trachynietea distachyae
<i>Reseda glauca</i> L., 1753	-33.2	Thlaspietea rotundifolii
<i>Crepis pygmaea</i> L., 1753	-34.5	Thlaspietea rotundifolii
<i>Ranunculus gouanii</i> Willd., 1799	-35.7	Thlaspietea rotundifolii
<i>Euphorbia pyrenaica</i> Jord., 1846	-36.6	Thlaspietea rotundifolii
<i>Arenaria grandiflora</i> L., 1759	-37.2	Thlaspietea rotundifolii
<i>Aquilegia pyrenaica</i> DC., 1815	-44.2	Thlaspietea rotundifolii
<i>Saxifraga praetermissa</i> D.A.Webb, 1963	-44.3	Thlaspietea rotundifolii
<i>Iberis bernardiana</i> Godr. & Gren., 1848	-44.5	Thlaspietea rotundifolii
<i>Bupleurum angulosum</i> L., 1753	-45.5	Thlaspietea rotundifolii
<i>Saxifraga oppositifolia</i> L., 1753	-49.0	Thlaspietea rotundifolii
<i>Polystichum lonchitis</i> (L.) Roth, 1799	-51.2	Thlaspietea rotundifolii
<i>Linaria alpina</i> (L.) Mill., 1768	-55.9	Thlaspietea rotundifolii
<i>Iberis carnosa</i> Willd., 1800	-58.1	Thlaspietea rotundifolii
<i>Epilobium lanceolatum</i> Sebast. & Mauri, 1818	-59.0	Thlaspietea rotundifolii
<i>Cystopteris montana</i> (Lam.) Desv., 1827	-60.1	Thlaspietea rotundifolii
<i>Dryopteris oreades</i> Fomin, 1911	-64.9	Thlaspietea rotundifolii
<i>Carduus carlinoides</i> Gouan, 1773	-69.0	Thlaspietea rotundifolii
<i>Lilium pyrenaicum</i> Gouan, 1773	-36.5	Trifolio medii-Geranietae sanguinei
<i>Lathyrus ochraceus</i> Kitt., 1844	-43.1	Trifolio medii-Geranietae sanguinei
<i>Pseudoturritis turrita</i> (L.) Al-Shehbaz, 2005	-70.4	Trifolio medii-Geranietae sanguinei
<i>Laserpitium nestleri</i> Soy.-Will., 1828	-74.7	Trifolio medii-Geranietae sanguinei
<i>Laserpitium latifolium</i> L., 1753	-84.1	Trifolio medii-Geranietae sanguinei
<i>Melampyrum cristatum</i> L., 1753	-96.8	Trifolio medii-Geranietae sanguinei
<i>Utricularia minor</i> L., 1753	-85.1	Utricularietea intermedio-minoris
<i>Pinus mugo</i> Turra, 1764 (sensu <i>Pinus uncinata</i> Ramond ex DC., 1805)	-83.9	Vaccinio-Piceetea

ANNEXE 4 : LISTE FLORE SENTINA ET VALEURS D'INDICE DE SENSIBILITE CLIMATIQUE EN FONCTION DES 3 COUPLES DE SCENARIOS ET HORIZONS ANALYSES

Espèce	Occurrence NA (nb mailles 1 km ²)	Indice de sensibilité climatique		
		RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
		Horizon 2041-2070	Horizon 2041-2070	Horizon 2021-2050
Pedicularis sylvatica L., 1753	1101	-30.3	-19.3	-19.9
Oxalis acetosella L., 1753	2472	-30.4	-1.5	-14.1
Rhododendron ferrugineum L., 1753	113	-30.5	-17.3	-21.4
Poa alpina L., 1753	35	-30.9	-4.3	4.0
Lactuca plumieri (L.) Gren. & Godr., 1850	84	-31.1	-7.0	-0.9
Ulmus glabra Huds., 1762	462	-31.2	-1.9	-6.3
Glyceria declinata Bréb., 1859	479	-31.3	-1.2	-18.1
Eriophorum latifolium Hoppe, 1800	72	-31.5	-7.7	-28.6
Anemone hepatica L., 1753	385	-31.6	17.0	2.1
Asplenium obovatum Viv., 1824	96	-31.8	-29.7	-8.6
Myosotis laxa Lehm., 1818	825	-32.0	17.5	-5.2
Persicaria amphibia (L.) Gray, 1821	644	-32.0	16.9	-2.3
Armeria alpina Willd., 1809	17	-32.1	0.0	5.2
Carex vesicaria L., 1753	826	-32.1	4.2	-15.5
Dryopteris filix-mas (L.) Schott, 1834	4674	-32.6	-20.4	-24.7
Scorzoneroïdes duboisii (Sennen) Greuter, 2006	28	-32.8	-35.3	-12.9
Reseda glauca L., 1753	31	-33.2	27.7	2.2
Geranium phaeum L., 1753	253	-33.3	-25.3	-7.9
Arabis ciliata Clairv., 1811	16	-33.6	19.7	37.5
Carex sempervirens Vill., 1787	146	-33.7	6.2	-3.9
Luzula sylvatica (Huds.) Gaudin, 1811	1379	-33.7	-18.4	-25.4
Mentha arvensis L., 1753	1796	-33.7	-6.8	-15.4
Orobanche rapum-genistae Thuill., 1799	394	-33.9	-32.4	-19.7
Luzula pediformis (Chaix) DC., 1805	110	-34.3	-21.2	0.9
Poa nemoralis L., 1753	2430	-34.4	-18.3	-19.2
Crepis pygmaea L., 1753	37	-34.5	21.8	-7.7
Aconitum anthora L., 1753	13	-34.6	29.0	34.9
Viola biflora L., 1753	66	-34.7	12.8	-8.8
Impatiens noli-tangere L., 1753	646	-34.7	-13.2	-20.2
Valeriana dioica L., 1753	1140	-34.7	-6.7	-12.3
Carex leporina L., 1753	2124	-34.8	-14.6	-17.5
Festuca eskia Ramond ex DC., 1805	71	-35.0	-7.3	-19.9
Myrrhis odorata (L.) Scop., 1771	40	-35.0	-7.5	-0.1
Geranium cinereum Cav., 1787	78	-35.2	5.8	-18.0
Digitalis purpurea L., 1753	2758	-35.3	-9.2	-11.5

Espèce	Occurrence NA (nb mailles 1 km ²)	Indice de sensibilité climatique		
		RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
		Horizon 2041-2070	Horizon 2041-2070	Horizon 2021-2050
<i>Carduus crispus</i> L., 1753	91	-35.4	-46.5	-45.6
<i>Cerastium arvense</i> L., 1753	57	-35.7	-30.1	-16.8
<i>Ranunculus gouanii</i> Willd., 1799	53	-35.7	-21.0	8.0
<i>Daphne laureola</i> L., 1753	512	-36.1	1.5	-8.6
<i>Caltha palustris</i> L., 1753	2648	-36.1	-15.1	-21.9
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng., 1825	100	-36.4	-0.9	-8.2
<i>Lilium pyrenaicum</i> Gouan, 1773	55	-36.5	-14.3	-15.6
<i>Euphorbia pyrenaica</i> Jord., 1846	33	-36.6	29.8	-62.3
<i>Carex umbrosa</i> Host, 1801	560	-36.9	-24.8	-6.6
<i>Lythrum portula</i> (L.) D.A.Webb, 1967	1115	-37.0	-12.3	-23.2
<i>Arenaria grandiflora</i> L., 1759	67	-37.2	-25.5	-18.4
<i>Primula farinosa</i> L., 1753	70	-37.5	-0.9	-0.2
<i>Arum maculatum</i> L., 1753	1666	-37.7	-30.7	-19.5
<i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw., 1802	34	-37.7	32.3	-25.9
<i>Saxifraga paniculata</i> Mill., 1768	141	-37.8	-9.4	-21.5
<i>Wahlenbergia hederacea</i> (L.) Rchb., 1827	2507	-37.8	1.3	-13.2
<i>Alchemilla acutiloba</i> Opiz, 1838	42	-38.1	-17.0	-1.2
<i>Trifolium cernuum</i> Brot., 1816	286	-38.5	-6.4	4.4
<i>Dianthus deltoides</i> L., 1753	26	-38.6	-20.4	-26.7
<i>Dianthus hyssopifolius</i> L., 1755	306	-38.6	-21.6	-31.9
<i>Carex echinata</i> Murray, 1770	1636	-38.7	-10.4	-24.7
<i>Minuartia verna</i> (L.) Hiern, 1899	50	-39.4	-14.5	-12.7
<i>Lathyrus vivantii</i> P.Monts., 1981	42	-39.5	12.9	-34.2
<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All., 1785	2415	-39.6	-4.3	-22.2
<i>Helictotrichon sedenense</i> (Clarion ex DC.) Holub, 1970	90	-39.6	-0.4	-23.0
<i>Huperzia selago</i> (L.) Bernh. ex Schrank & Mart., 1829	28	-39.7	5.3	12.2
<i>Dactylorhiza sambucina</i> (L.) Soó, 1962	23	-40.1	-8.8	-3.8
<i>Salix pyrenaica</i> Gouan, 1773	129	-40.2	-13.2	-17.2
<i>Alchemilla saxatilis</i> Buser, 1891	17	-40.3	-70.3	1.7
<i>Heliosperma pusillum</i> (Waldst. & Kit.) Rchb., 1844	40	-40.4	26.9	-30.3
<i>Potentilla alchemilloides</i> Lapeyr., 1782	148	-41.0	-13.6	-16.7
<i>Lactuca muralis</i> (L.) Gaertn., 1791	968	-41.1	-34.1	-32.9
<i>Dianthus barbatus</i> L., 1753	26	-41.2	-32.2	-27.5
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck., 1782	817	-41.9	3.8	-27.0
<i>Senecio sylvaticus</i> L., 1753	2682	-42.0	-15.9	-14.0
<i>Carex frigida</i> All., 1785	43	-42.3	23.6	-9.2
<i>Gentiana acaulis</i> L., 1753	20	-42.5	-4.9	-24.3
<i>Symphytum officinale</i> L., 1753	690	-42.5	-21.4	-17.7
<i>Utricularia australis</i> R.Br., 1810	491	-42.6	-28.5	-34.2
<i>Stachys alpina</i> L., 1753	461	-42.7	23.0	-10.7
<i>Dryopteris dilatata</i> (Hoffm.) A.Gray, 1848	1575	-42.7	-8.0	-25.2

Espèce	Occurrence NA (nb mailles 1 km ²)	Indice de sensibilité climatique		
		RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
		Horizon 2041-2070	Horizon 2041-2070	Horizon 2021-2050
Juncus heterophyllus Dufour, 1825	197	-42.8	-10.9	-8.3
Papaver cambricum L., 1753	217	-42.9	-5.1	-23.9
Potentilla nivalis Lapeyr., 1782	26	-43.0	4.7	25.0
Hypericum richeri Vill., 1779	239	-43.1	-21.8	-26.4
Lathyrus ochraceus Kitt., 1844	88	-43.1	-21.0	-11.3
Heracleum sibiricum L., 1753	288	-43.6	10.0	-9.9
Rumex longifolius DC., 1815	35	-43.7	-46.8	-10.1
Dipsacus pilosus L., 1753	100	-44.0	-8.1	-24.6
Equisetum fluviatile L., 1753	905	-44.2	-12.4	-23.4
Aquilegia pyrenaica DC., 1815	113	-44.2	6.0	3.6
Deschampsia cespitosa (L.) P.Beauv., 1812	1464	-44.2	-29.5	-26.3
Saxifraga praetermissa D.A.Webb, 1963	31	-44.3	-8.6	17.1
Iberis bernardiana Godr. & Gren., 1848	27	-44.5	21.1	-33.1
Tofieldia calyculata (L.) Wahlenb., 1812	111	-44.5	-9.8	-20.9
Sedum brevifolium DC., 1808	30	-44.9	-4.8	44.5
Drymochloa sylvatica (Pollich) Holub, 1984	75	-45.0	-8.4	-31.1
Iris latifolia (Mill.) Voss, 1895	107	-45.1	-36.4	-23.6
Trollius europaeus L., 1753	21	-45.2	-19.1	-33.9
Campanula scheuchzeri Vill., 1779	85	-45.2	-24.4	-23.9
Bupleurum angulosum L., 1753	96	-45.5	-0.7	-26.6
Elymus caninus (L.) L., 1755	360	-45.7	-33.8	-24.7
Aster alpinus L., 1753	63	-46.2	19.5	-18.2
Pimpinella major (L.) Huds., 1762	550	-46.7	-24.2	-51.5
Hordelymus europaeus (L.) Harz, 1885	58	-46.8	-23.8	-28.7
Gentiana occidentalis Jakow., 1899	108	-46.9	-8.1	5.5
Thymus pulegioides L., 1753	2254	-47.0	-11.0	-22.1
Soldanella alpina L., 1753	33	-47.0	-11.3	-12.6
Clinopodium alpinum (L.) Kuntze, 1891	99	-47.1	-33.8	-21.6
Avenula pubescens (Huds.) Dumort., 1868	793	-47.4	-41.3	-21.1
Alchemilla alpina L., 1753	58	-47.6	-24.2	-11.6
Thymelaea dioica (Gouan) All., 1789	66	-47.7	8.8	-10.7
Lonicera pyrenaica L., 1753	65	-47.8	-12.8	-71.0
Plantago alpina L., 1753	88	-47.9	-24.3	-11.3
Oreopteris limbosperma (Bellardi ex All.) Holub, 1969	328	-48.6	-12.7	-32.5
Colchicum montanum L., 1753	69	-48.6	-23.2	-31.8
Stellaria alsine Grimm, 1767	1716	-48.6	-10.7	-22.2
Valeriana montana L., 1753	162	-48.7	-13.6	5.1
Rorippa palustris (L.) Besser, 1821	423	-49.0	-16.6	-33.0
Saxifraga oppositifolia L., 1753	33	-49.0	-26.8	-12.4
Dianthus geminiflorus Loisel., 1807	36	-49.4	-20.6	-11.8
Vaccinium uliginosum L., 1753	63	-49.5	-26.3	-16.5
Pedicularis tuberosa L., 1753	25	-49.6	-1.4	-1.8

Espèce	Occurrence NA (nb mailles 1 km ²)	Indice de sensibilité climatique		
		RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
		Horizon 2041-2070	Horizon 2041-2070	Horizon 2021-2050
<i>Asplenium viride</i> Huds., 1762	130	-49.7	6.1	3.6
<i>Betula pendula</i> Roth, 1788	4683	-49.9	-27.9	-27.0
<i>Polystichum aculeatum</i> (L.) Roth, 1799	612	-50.2	-39.9	-38.5
<i>Lycopodium clavatum</i> L., 1753	48	-50.4	38.5	-18.2
<i>Polygala serpyllifolia</i> Hose, 1797	1237	-50.7	-18.0	-33.5
<i>Tilia cordata</i> Mill., 1768	951	-50.8	-26.3	-33.5
<i>Polystichum lonchitis</i> (L.) Roth, 1799	140	-51.2	-17.0	-30.9
<i>Rosa pendulina</i> L., 1753	62	-51.3	-10.4	-5.0
<i>Selaginella selaginoides</i> (L.) P.Beauv. ex Schrank & Mart., 1829	67	-51.3	-9.0	5.2
<i>Geum rivale</i> L., 1753	32	-51.3	-7.5	-25.0
<i>Rubus saxatilis</i> L., 1753	15	-51.4	-16.9	-26.3
<i>Horminum pyrenaicum</i> L., 1753	199	-51.5	-18.8	-40.5
<i>Trifolium montanum</i> L., 1753	37	-52.0	-44.4	-32.4
<i>Melica uniflora</i> Retz., 1779	2846	-52.0	-11.5	-32.6
<i>Erica tetralix</i> L., 1753	4287	-52.3	-14.5	-21.7
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop., 1771	1400	-52.7	-11.3	-26.2
<i>Senecio pyrenaicus</i> L., 1758	52	-52.7	-0.3	12.6
<i>Actaea spicata</i> L., 1753	17	-52.8	-37.1	-42.7
<i>Carex strigosa</i> Huds., 1778	228	-53.2	-7.6	-25.7
<i>Gentiana verna</i> L., 1753	90	-53.4	-25.4	-35.1
<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb., 1919	150	-53.5	-40.4	-14.8
<i>Alchemilla alpigena</i> Buser, 1894	172	-53.7	-7.7	-15.2
<i>Trifolium thalii</i> Vill., 1779	62	-53.7	-30.3	-10.7
<i>Gypsophila repens</i> L., 1753	74	-54.0	12.3	-26.8
<i>Phyteuma hemisphaericum</i> L., 1753	25	-54.3	-33.3	43.0
<i>Salix repens</i> L., 1753	594	-54.8	-7.7	-14.3
<i>Scleranthus perennis</i> L., 1753	88	-54.8	-29.1	-41.4
<i>Rhamnus pumila</i> Turra, 1764	92	-55.0	-1.5	-12.5
<i>Festuca gautieri</i> (Hack.) K.Richt., 1890	94	-55.2	0.0	-43.5
<i>Vicia pyrenaica</i> Pourr., 1788	64	-55.2	-18.2	-15.9
<i>Valeriana apula</i> Pourr., 1788	34	-55.6	-6.4	-26.4
<i>Scorzoneroïdes autumnalis</i> (L.) Moench, 1794	1389	-55.9	-17.1	-22.6
<i>Linaria alpina</i> (L.) Mill., 1768	129	-55.9	-24.8	-30.5
<i>Neotinea ustulata</i> (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase, 1997	684	-56.2	-56.3	-55.2
<i>Anarrhinum bellidifolium</i> (L.) Willd., 1800	120	-56.2	-43.1	-49.5
<i>Senecio doronicum</i> (L.) L., 1759	23	-56.5	-18.8	-8.8
<i>Lilium martagon</i> L., 1753	138	-56.5	-33.4	-45.7
<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Delarbre, 1800	71	-56.5	-15.5	-22.2
<i>Anemone narcissiflora</i> L., 1753	31	-56.8	-4.7	-37.4
<i>Scilla bifolia</i> L., 1753	284	-57.0	-59.4	-52.4
<i>Carex hostiana</i> DC., 1813	106	-57.4	23.2	-17.5
<i>Fagus sylvatica</i> L., 1753	3862	-57.7	-18.5	-26.2

Espèce	Occurrence NA (nb mailles 1 km ²)	Indice de sensibilité climatique		
		RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
		Horizon 2041-2070	Horizon 2041-2070	Horizon 2021-2050
Armeria pubinervis Boiss., 1848	144	-57.8	-17.8	-35.8
Genista anglica L., 1753	966	-57.9	-52.3	-47.1
Sorbus aria (L.) Crantz, 1763	730	-58.0	-32.0	-36.1
Iberis carnosa Willd., 1800	19	-58.1	29.4	-7.4
Myrica gale L., 1753	537	-58.2	21.1	-21.7
Mentha longifolia (L.) Huds., 1762	109	-58.3	-49.3	-32.7
Festuca rivularis Boiss., 1838	211	-58.7	-7.1	-23.9
Epilobium lanceolatum Sebast. & Mauri, 1818	354	-59.0	-15.3	-50.7
Cruciata glabra (L.) Ehrend., 1958	589	-59.1	-2.5	-14.9
Myosotis alpestris F.W.Schmidt, 1794	20	-59.3	56.8	0.3
Atropa belladonna L., 1753	16	-59.4	-40.4	-38.0
Callitricha hamulata Kütz. ex W.D.J.Koch, 1837	418	-59.7	-10.3	-30.3
Anemone alpina L., 1753	54	-59.9	-17.9	-35.6
Verbascum nigrum L., 1753	585	-59.9	-36.2	-33.4
Cystopteris montana (Lam.) Desv., 1827	13	-60.1	-10.2	-33.8
Dianthus superbus L., 1755	143	-60.2	-69.7	-37.4
Androsace villosa L., 1753	80	-60.3	-12.4	-19.8
Cuscuta europaea L., 1753	51	-60.5	-39.9	-37.5
Tractema lilio-hyacinthus (L.) Speta, 1998	663	-60.6	-22.9	-25.1
Crepis pyrenaica (L.) Greuter, 1970	25	-60.8	-24.8	-7.3
Ribes petraeum Wulfen, 1781	13	-60.9	-26.3	-26.7
Blitum bonus-henricus (L.) C.A.Mey., 1829	123	-61.0	-24.7	-18.3
Silene acaulis (L.) Jacq., 1762	68	-61.4	-20.5	-12.0
Antennaria dioica (L.) Gaertn., 1791	55	-61.4	-24.2	-36.2
Rumex aquitanicus Rech.f., 1929	31	-61.7	-20.2	-17.4
Erythronium dens-canis L., 1753	217	-61.9	-36.9	-35.5
Valeriana pyrenaica L., 1753	129	-61.9	-18.8	-21.9
Gentianella campestris (L.) Börner, 1912	50	-62.5	-16.9	-26.6
Dactylorhiza incarnata (L.) Soó, 1962	165	-62.9	-37.8	-26.2
Crepis paludosa (L.) Moench, 1794	301	-63.0	-17.7	-25.9
Sedum atratum L., 1763	23	-63.0	-0.6	-14.6
Heracleum pyrenaicum Lam., 1785	112	-63.1	-30.8	-37.2
Adenostyles alliariae (Gouan) A.Kern., 1871	168	-63.5	-28.4	-28.8
Scorzoneroides pyrenaica (Gouan) Holub, 1977	21	-63.6	-12.9	-27.3
Daphne mezereum L., 1753	48	-64.4	-45.5	-48.0
Betula pubescens Ehrh., 1791	666	-64.7	-32.9	-26.3
Dryopteris oreades Fomin, 1911	33	-64.9	-42.3	-38.6
Sagina saginoides (L.) H.Karst., 1882	19	-65.0	-2.0	17.8
Aconitum variegatum L., 1753	45	-65.2	-37.1	-37.3
Galium saxatile L., 1753	1387	-65.3	-18.1	-26.8
Pilularia globulifera L., 1753	145	-65.6	-33.5	-53.2
Stellaria nemorum L., 1753	57	-65.9	-12.5	-47.5

Espèce	Occurrence NA (nb mailles 1 km ²)	Indice de sensibilité climatique		
		RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
		Horizon 2041-2070	Horizon 2041-2070	Horizon 2021-2050
Oenanthe peucedanifolia Pollich, 1776	54	-66.1	-49.5	-38.1
Pedicularis pyrenaica J.Gay, 1832	37	-66.2	13.4	-2.6
Allium victorialis L., 1753	34	-66.9	-49.0	-17.9
Epikeros pyrenaeus (L.) Raf., 1840	79	-67.3	-36.6	-17.9
Rumex maritimus L., 1753	28	-67.5	-63.3	-28.0
Polygonatum verticillatum (L.) All., 1785	105	-67.9	-50.8	-64.7
Phleum alpinum L., 1753	68	-68.3	-23.1	-10.8
Prenanthes purpurea L., 1753	74	-68.4	-44.4	-36.5
Epilobium duriae J.Gay ex Godr., 1849	17	-68.5	-31.8	-34.4
Gentianopsis ciliata (L.) Ma, 1951	21	-68.7	-26.5	-43.4
Carduus carlinoides Gouan, 1773	70	-69.0	-17.7	-29.7
Primula integrifolia L., 1753	26	-69.1	-16.1	-1.3
Daphne cneorum L., 1753	44	-69.8	-51.4	-35.1
Vicia orobus DC., 1815	37	-70.2	-10.0	-69.7
Eleocharis acicularis (L.) Roem. & Schult., 1817	256	-70.3	-46.0	-38.5
Pseudoturritis turrita (L.) Al-Shehbaz, 2005	145	-70.4	-37.3	-38.9
Paronychia kapela (Hacq.) A.Kern., 1869	84	-70.6	-17.5	0.8
Isopyrum thalictroides L., 1753	405	-70.7	-38.6	-32.6
Sempervivum arachnoideum L., 1753	52	-70.8	-43.6	-50.1
Heracleum sphondylium L., 1753	3095	-70.8	-25.4	-31.4
Vaccinium myrtillus L., 1753	1058	-71.0	-38.7	-34.2
Dryas octopetala L., 1753	71	-71.2	-18.2	-45.9
Geum pyrenaicum Mill., 1768	77	-71.5	-34.3	-64.4
Galium odoratum (L.) Scop., 1771	353	-71.8	-50.4	-61.7
Globularia repens Lam., 1779	87	-72.3	-18.2	-53.8
Adoxa moschatellina L., 1753	671	-72.7	-44.8	-52.9
Menyanthes trifoliata L., 1753	537	-73.1	-29.3	-45.0
Anthyllis montana L., 1753	25	-73.7	-19.9	-42.4
Poa chaixii Vill., 1786	83	-74.0	-7.3	-36.7
Meum athamanticum Jacq., 1776	58	-74.2	-61.5	-59.8
Potentilla fagineicola Lamotte, 1877	118	-74.3	-50.0	-66.9
Saxifraga aretioides Lapeyr., 1801	17	-74.5	-73.6	-65.9
Pyrola minor L., 1753	55	-74.5	-33.6	-51.0
Laserpitium nestleri Soy.-Will., 1828	69	-74.7	-24.0	-66.1
Oxybasis glauca (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch, 2012	56	-74.8	-60.1	-53.0
Corydalis solida (L.) Clairv., 1811	269	-75.3	-48.7	-64.0
Euphrasia salisburgensis Funck, 1794	59	-75.3	-13.2	-18.4
Buglossoides gastonii (Benth.) I.M.Johnst., 1954	40	-75.4	-0.6	-51.2
Chaerophyllum hirsutum L., 1753	357	-75.6	-22.2	-45.0
Aegopodium podagraria L., 1753	229	-75.6	-10.1	-46.8
Epilobium palustre L., 1753	664	-76.0	-29.5	-37.9
Alopecurus aequalis Sobol., 1799	106	-76.1	-25.2	-31.7

Espèce	Occurrence NA (nb mailles 1 km ²)	Indice de sensibilité climatique		
		RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
		Horizon 2041-2070	Horizon 2041-2070	Horizon 2021-2050
<i>Rhynchospora fusca</i> (L.) W.T.Aiton, 1810	460	-76.1	-63.3	-59.3
<i>Geranium sylvaticum</i> L., 1753	239	-76.2	-60.2	-67.8
<i>Myosotis secunda</i> A.Murray, 1836	210	-76.9	-4.6	-41.5
<i>Salix caprea</i> L., 1753	1775	-76.9	-33.0	-34.9
<i>Ajuga genevensis</i> L., 1753	38	-77.5	19.7	5.6
<i>Viola palustris</i> L., 1753	1140	-77.8	-33.5	-46.7
<i>Sorbus aucuparia</i> L., 1753	1348	-78.0	-33.9	-42.2
<i>Alchemilla xanthochlora</i> Rothm., 1937	27	-78.0	-35.5	-71.3
<i>Paris quadrifolia</i> L., 1753	163	-78.2	-58.8	-48.3
<i>Veronica scutellata</i> L., 1753	800	-78.4	-30.5	-34.8
<i>Ranunculus thora</i> L., 1753	40	-78.6	-49.8	-44.0
<i>Arctostaphylos alpinus</i> (L.) Spreng., 1825	28	-79.1	-15.2	-66.2
<i>Epilobium angustifolium</i> L., 1753	835	-79.2	-51.6	-57.0
<i>Carex macrostylos</i> Lapeyr., 1813	20	-79.2	-15.3	-51.0
<i>Cardamine pentaphyllos</i> (L.) Crantz, 1769	26	-79.5	-47.0	-49.8
<i>Littorella uniflora</i> (L.) Asch., 1864	378	-79.9	-31.9	-48.3
<i>Veratrum album</i> L., 1753	135	-80.2	-68.8	-62.4
<i>Rumex arifolius</i> All., 1773	30	-80.3	-19.1	-52.6
<i>Epilobium montanum</i> L., 1753	1431	-80.5	-36.2	-57.3
<i>Gentiana lutea</i> L., 1753	251	-81.3	-56.4	-61.9
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard, 1778	807	-81.8	-39.6	-47.6
<i>Lycopodiella inundata</i> (L.) Holub, 1964	68	-82.3	26.7	-49.1
<i>Limosella aquatica</i> L., 1753	51	-82.6	-69.1	-60.7
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt, 1794	113	-83.5	-55.2	-69.0
<i>Ranunculus hederaceus</i> L., 1753	214	-83.7	-47.3	-61.6
<i>Nardus stricta</i> L., 1753	1324	-83.8	-47.8	-59.0
<i>Pinus mugo</i> Turra, 1764 (sensu <i>Pinus uncinata</i> Ramond ex DC., 1805)	51	-83.9	-31.5	-11.0
<i>Laserpitium latifolium</i> L., 1753	272	-84.1	-71.8	-73.0
<i>Elatine hexandra</i> (Lapierre) DC., 1808	173	-84.1	-54.4	-55.4
<i>Omalotheca sylvatica</i> (L.) Sch.Bip. & F.W.Schultz, 1861	303	-84.2	-39.2	-56.0
<i>Utricularia minor</i> L., 1753	96	-85.1	-32.7	-52.2
<i>Alchemilla coriacea</i> Buser, 1891	24	-85.3	-81.5	-45.7
<i>Ajuga pyramidalis</i> L., 1753	53	-85.3	-74.6	-74.4
<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newman, 1851	157	-85.5	-56.9	-55.6
<i>Asperula hirta</i> Ramond, 1800	136	-85.6	-31.2	-43.0
<i>Aster pyrenaeus</i> Desf. ex DC., 1805	12	-85.8	14.6	-39.2
<i>Ribes alpinum</i> L., 1753	439	-85.8	-61.7	-60.0
<i>Myriophyllum alterniflorum</i> DC., 1815	507	-86.7	-55.7	-51.1
<i>Lunaria rediviva</i> L., 1753	39	-87.3	-83.1	-69.8
<i>Caropsis verticillato-inundata</i> (Thore) Rauschert, 1982	297	-87.6	-38.3	-58.0
<i>Carex canescens</i> L., 1753	172	-87.6	-47.3	-60.6
<i>Carex rostrata</i> Stokes, 1787	869	-88.1	-51.8	-64.7

Espèce	Occurrence NA (nb mailles 1 km ²)	Indice de sensibilité climatique		
		RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
		Horizon 2041-2070	Horizon 2041-2070	Horizon 2021-2050
Euphorbia hyberna L., 1753	299	-88.1	-64.3	-61.6
Aethusa cynapium L., 1753	413	-88.6	-49.1	-62.1
Trisetum baregense Laffitte & Miégev., 1874	16	-88.7	18.0	-43.2
Sambucus racemosa L., 1753	551	-89.5	-54.6	-61.1
Asplenium septentrionale (L.) Hoffm., 1795	275	-89.6	-61.6	-58.8
Coeloglossum viride (L.) Hartm., 1820	90	-89.6	-65.4	-66.7
Cardamine heptaphylla (Vill.) O.E.Schulz, 1903	93	-90.1	-61.9	-71.0
Juncus squarrosus L., 1753	471	-90.5	-30.1	-61.8
Doronicum pardalianches L., 1753	196	-90.5	-47.7	-71.2
Phegopteris connectilis (Michx.) Watt, 1867	138	-90.6	-67.2	-71.7
Sorbus mougeotii Soy.-Will. & Godr., 1858	32	-91.0	-40.4	-50.0
Callitricha palustris L., 1753	37	-91.2	-52.0	-57.6
Thalictrum macrocarpum Gren., 1838	52	-91.9	-3.3	-26.9
Apera spica-venti (L.) P.Beauv., 1812	533	-92.3	-68.2	-72.8
Dactylorhiza majalis (Rchb.) P.F.Hunt & Summerh., 1965	94	-92.5	-78.8	-62.4
Geranium pyrenaicum Burm.f., 1759	655	-92.9	-67.3	-68.0
Alopecurus geniculatus L., 1753	267	-93.0	-30.8	-37.0
Luronium natans (L.) Raf., 1840	169	-93.0	-50.7	-73.8
Ranunculus ololeucus J.Lloyd, 1844	644	-93.1	-42.8	-59.6
Epilobium obscurum Schreb., 1771	1139	-93.3	-29.0	-52.7
Rubus idaeus L., 1753	918	-93.4	-53.7	-59.0
Spergula morisonii Boreau, 1847	127	-93.4	-72.5	-73.6
Jacobaea adonidifolia (Loisel.) Mérat, 1812	600	-93.7	-51.9	-73.6
Bistorta officinalis Delarbre, 1800	498	-93.8	-56.0	-63.7
Arnica montana L., 1753	213	-94.1	-62.8	-85.1
Salix aurita L., 1753	408	-94.3	-68.6	-72.7
Carex brizoides L., 1755	163	-94.4	-75.7	-80.3
Andromeda polifolia L., 1753	15	-95.5	-59.6	-38.2
Vaccinium oxycoccus L., 1753	194	-95.7	-17.8	5.0
Circaeа x intermedia Ehrh., 1789	72	-95.7	-70.5	-86.5
Sibthorpia europaea L., 1753	150	-96.1	-6.0	-60.6
Chrysosplenium alternifolium L., 1753	26	-96.3	-70.7	-80.3
Hypericum maculatum Crantz, 1763	131	-96.6	-75.0	-70.7
Melampyrum cristatum L., 1753	184	-96.8	-87.1	-59.3
Carex pauciflora Lightf., 1777	28	-96.9	-45.6	-44.9
Cyanus montanus (L.) Hill, 1768	18	-97.0	-92.6	-91.7
Comarum palustre L., 1753	810	-97.3	-56.8	-74.5
Ranunculus omiophyllus Ten., 1830	425	-98.1	-62.5	-76.4
Galium boreale L., 1753	90	-98.2	-84.0	-73.8
Epilobium collinum C.C.Gmel., 1826	95	-98.2	-67.3	-85.9
Arnoseris minima (L.) Schweigg. & Körte, 1811	163	-98.4	-80.6	-83.5
Eriophorum vaginatum L., 1753	257	-98.5	-53.1	-47.0

Espèce	Occurrence NA (nb mailles 1 km ²)	Indice de sensibilité climatique		
		RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
		Horizon 2041-2070	Horizon 2041-2070	Horizon 2021-2050
<i>Prunus padus</i> L., 1753	193	-98.5	-75.5	-84.9
<i>Colchicum autumnale</i> L., 1753	274	-98.7	-66.0	-64.7
<i>Isoetes echinospora</i> Durieu, 1861	23	-99.0	-73.6	-90.2
<i>Senecio ovatus</i> (G.Gaertn., B.Mey. & Scherb.) Willd., 1803	184	-99.2	-35.6	-93.8
<i>Rhinanthus aleotorolophus</i> (Scop.) Pollich, 1777	74	-99.2	-44.5	-60.6
<i>Ranunculus aconitifolius</i> L., 1753	515	-99.2	-86.8	-83.4
<i>Doronicum austriacum</i> Jacq., 1774	367	-99.5	-83.2	-83.1
<i>Achillea ptarmica</i> L., 1753	269	-99.5	-91.9	-83.0
<i>Senecio cacaliaster</i> Lam., 1779	66	-99.6	-83.0	-89.7
<i>Ceratocapnos claviculata</i> (L.) Lidén, 1984	578	-99.6	-54.8	-49.7
<i>Turritis glabra</i> L., 1753	78	-99.9	-91.6	-97.5
<i>Thesium alpinum</i> L., 1753	18	-99.9	-84.7	-98.2
<i>Viola lutea</i> Huds., 1762	11	-99.9	-97.6	-95.8
<i>Galeopsis segetum</i> Neck., 1770	199	-99.9	-91.3	-95.3
<i>Dianthus seguieri</i> Vill., 1779	216	-100.0	-95.5	-98.1
<i>Antinoria agrostidea</i> (DC.) Parl., 1845	13	-100.0	-58.5	-83.1
<i>Goodyera repens</i> (L.) R.Br., 1813	18	-100.0	-63.8	-94.9
<i>Vaccinium microcarpum</i> (Turcz. ex Rupr.) Schmalh., 1871	13	-100.0	-84.3	-98.7
<i>Anacamptis coriophora</i> (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase, 1997	56	-100.0	-99.6	-98.4
<i>Equisetum sylvaticum</i> L., 1753	15	-100.0	-92.6	-91.3
<i>Phyteuma gallicum</i> R.Schulz, 1904	12	-100.0	-99.1	-94.6
<i>Luzula nivea</i> (Nathh.) DC., 1805	20	-100.0	-97.0	-100.0

ANNEXE 5 : CARTES DE PROJECTION DE L'EVOLUTION DES AIRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTALES FAVORABLES POUR LES ESPECES MENACEES AU COURS DU XXIEME SIECLE

L'annexe 5 (contenant 342 cartes) peut être téléchargée via le lien suivant :

https://obv-na.fr/ofsa/ressources/8_docs/Annexe_5_Flore_SentiNA_Cartes_evolution_aires_favorables_RCP8.5H2.pdf

ANNEXE 6 : CARTES DE PROJECTION DES AIRES CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTALES FAVORABLES ACTUELLES ET FUTURES POUR LES ESPECES MENACEES AU COURS DU XXIEME SIECLE

L'annexe 6 (contenant 2 x 342 cartes) peut être téléchargée via le lien suivant :

https://obv-na.fr/ofsa/ressources/8_docs/Annexe_6_Flore_SentiNA_Cartes_aires_favorables_actuelles_et_RCP8.5H2.pdf

ANNEXE 7 : CARTES POUR LES ESPECES MENACEES AU COURS DU XXIEME SIECLE SOUMISES A RESTRICTIONS DE DIFFUSION SUR CRITERES DE SENSIBILITE

L'annexe 7 (contenant 3 x 8 cartes) peut être transmise sur demande à contact@obv-na.fr ou contact@cbnsa.fr.

ANNEXE 8 : LISTE FLORE SENTINA (FORMAT TABLEUR)

L'annexe 8 peut être téléchargée via le lien suivant :

https://obv-na.fr/ofsa/ressources/8_docs/Annexe_8_Tableur_Liste_Flore_SentiNA_v1.xlsx

**CONTACT****CBN Sud-Atlantique**

Domaine de Certes
47 avenue de Certes
33980 Audenge
Tel. 05 57 76 18 07
contact@cbnsa.fr

CBN Massif central Antenne Limousin

Cité administrative
22 rue des pénitents blancs
87000 Limoges
Tel. 05 19 03 21 99
conservatoire.siege@cbnmc.fr

CBN Pyrénées Midi-Pyrénées

Vallon de Salut
BP 70315
65203 Bagnères-de-Bigorre cedex
Tel. 05.62.95.85.30
contact@cbnpmp.fr

POUR EN SAVOIR PLUS

<https://cbnsa.fr/>

<https://www.cbnmc.fr/>

<https://obv-na.fr/>

<http://cbnpmp.blogspot.com/>

