

Projet de Fin d'Etudes

**Modélisation des effets des
changements climatiques et des
activités humaines sur la
distribution d'espèces invasives de
plantes**



**Modélisation des effets des
changements climatiques et des
activités humaines sur la
distribution d'espèces invasives de
plantes**

**ABULIKEMU Suliyan
&
WANG Jiayi**

2017-2018

**Directeur de recherche
Francis Isselin**

**Modélisation des effets des changements climatiques
et des activités humaines sur la distribution d'espèces
invasives de plantes**

**Directeur de recherche:
Francis Isselin**

**Auteur:
ABULIKEMU Sulyan
&
WANG Jiayi**

2017-2018

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier dans un premier temps, toute l'équipe d'enseignement du département de l'aménagement et l'environnement de l'école d'ingénieurs.

Avant de commencer ce rapport, nous profitons de l'occasion pour remercier tout d'abord notre professeur, M. Francis Isselin, qui n'a cessé de nous encourager durant le projet et l'a remercié pour sa formation et son cadre généreux. Nous le remercions également pour l'aide et les conseils qu'il nous a mentionnés dans ce rapport dans diverses actions de suivi, ainsi que sa confiance en nous.

Nous tenons à remercier nos professeurs de nous avoir encouragés à mettre notre expérience et nos compétences au travail.

I. Introduction.....	9
1.1. Définition:.....	9
a. L'espèce invasive.....	9
b. Les menaces des plantes invasive.....	10
1.2. Objectifs:.....	12
a. Prédire la tendance de développement d'espèce invasive en France.....	12
b. Favoriser la proposition des gestions ou des managements des espèces invasives.....	12
II. Matériel et Méthode.....	13
2.1. Espèces étudiées.....	13
2.2. Les données d'espèces.....	14
2.3. Les données de bioclim.....	14
2.4. Modélisation de la distribution des espèces.....	17
2.5. Analyse des tendances de développement.....	19
III. Résultats.....	19
3.1. Comparaison de l'état de développement.....	19
3.2. Analyse des résultats du modèle Maxent.....	23
3.3. La distribution actuelle du <i>Cyperus</i> en France.....	26
3.4. La distribution future prévue de <i>Cyperus</i> en France.....	27
IV. Discussion.....	30
4.1. Non-climatique variables.....	30
4.2. Projections futures: incertitude.....	31
4.3. Des gestions de <i>Cyperus eragrostis</i>	31
VI. Conclusion.....	32
VII. Bibilographie.....	33

Directeur de recherche :
Francis Isselin

ABULIKEMU Suliyan
&
WANG Jiaxi
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2017-2018

Modélisation des effets des changements climatiques et des activités humaines sur la distribution d'espèces invasives de plantes

Résumé : Indépendamment, les espèces envahissantes et les changements climatiques sont deux des problèmes commune pour la biodiversité. Cependant, ces deux facteurs ne sont pas sans rapport, parce que le changement climatique peut changer l'équilibre entre les plantes indigènes et exotiques. Une meilleure compréhension de l'impact du changement climatique sur l'évolution des plantes invasives pourrait permettre d'affiner le modèle de prédiction et d'anticiper les actions. En conséquence, nous avons choisi l'espèce envahissante *Cyperus Eragrostis*, qui a envahi la France ces dernières années et été marqué dans les listes rouges mondial ou régionale, pour étudier spécifiquement les effets du changement climatique sur les espèces envahissantes. Nous avons modélisé la pertinence de l'habitat pour une espèce de plante envahissante *Cyperus eragrostis* dans les conditions climatiques actuelles et futures en France. En comparant les projections actuelles et futures, nous trouvons que: selon les projections de distribution future, la superficie totale des habitats propices à cette plante envahissante devrait augmenter de 2,90-4,04%.

Mots Clés : Changements Climatiques, Biomod, Espèces Invasives, Maxent, *Cyperus eragrostis*

I. Introduction

1.1. Definition:

La conservation de la diversité biologique est l'un des enjeux majeurs de notre temps. La prolifération de plantes envahissantes (ou de plantes exotiques envahissantes) apparaît comme une nouvelle menace pour la protection des espèces et des habitats.

Le réchauffement climatique a divers effets sur l'eau, les écosystèmes et la santé. Le changement climatique est actuellement classé dans la 2e position parmi les menaces à la biodiversité (Thuiller, 2007). Les projections climatiques basées sur les scénarios dits SRES (Special Report on Emissions Scenarios) établis par le GIEC prédisent pour la France une augmentation moyenne des températures de 3°C à 5°C d'ici à 2100. [1]

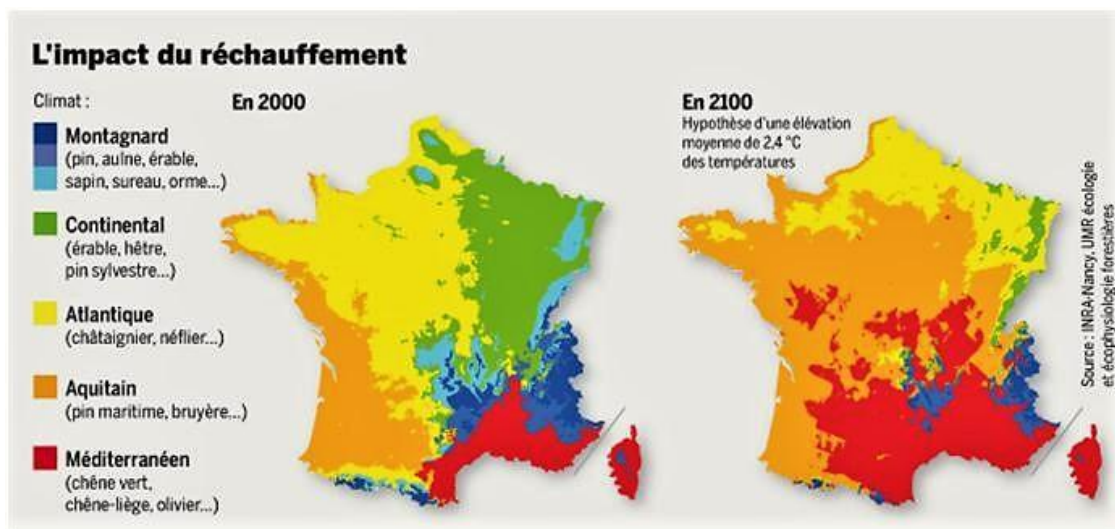


Figure 1: Le changement climatique d'ici à 2100 en France

Source: fdg-info13.com/2014/09/08/la-france-ce-pays-ou-il-fera-moins-bon-vivre/

a. L'espèce invasive

Selon l'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature), l'espèce invasive est définie comme « une espèce exotique dont l'introduction, l'installation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences environnementales et/ou économiques et/ou sanitaires négatives ». (IUCN 2000)[2]

Les scientifiques définissent les plantes envahissantes en fonction de critères spécifiques. Les plantes envahissantes sont des espèces:

- Introduites par les humains, volontairement ou par accident;
- Capacité de maintenir des populations viables dans l'environnement naturel;
- Avoir une capacité significative à diffuser, conduisant à l'expansion de la population;

- Cela tend à créer une population dense qui domine progressivement les espèces indigènes.

b. Les menaces des plantes invasive

Les invasions biologiques sont l'une des plus grandes menaces pour les écosystèmes et la cause de l'extinction des espèces indigènes. La propagation des espèces exotiques dans les communautés naturelles menace la biodiversité indigène et le fonctionnement des systèmes, et produit à un rythme alarmant.

Les plantes invasives causent principalement des problèmes écologiques. Une fois établis dans la nature, ils domineront la végétation et formeront des tapis denses et continus. Ils remplacent les plantes indigènes et leur développement peut conduire à un déclin de la diversité végétale. Cette flore affecte ensuite tous les animaux vivant dans l'environnement (insectes, oiseaux, animaux du sol, etc.). Cela peut entraîner la perte de biodiversité.

L'invasion de plantes peut réduire la fonction de l'écosystème, par exemple en modifiant les propriétés physico-chimiques de l'environnement. Dans les écosystèmes terrestres, les plantes envahissantes peuvent altérer la circulation des éléments minéraux dans les couches supérieures du sol et finalement réduire la qualité de l'humus, ce qui est important pour le bon fonctionnement de l'écosystème. Dans les milieux aquatiques, les plantes envahissantes peuvent recouvrir complètement un étang, empêcher la lumière de pénétrer, freiner le débit d'eau, l'oxygène et étouffer graduellement l'environnement. [3]

La multiplication de ces plantes a causé des pertes économiques considérables. D'une part, les coûts directs liés à la gestion. Une fois installé, il est vraiment difficile de ralentir le rythme du développement. En Flandre, par exemple, le coût de gestion d'une seule plante aquatique envahissante (*Hydrocotyle ranunculoides*) est estimé à environ 1 million d'euros par an. D'autre part, la réduction des activités humaines dans les écosystèmes colonisés par des plantes envahissantes a entraîné des coûts indirects. Au cours des 15 dernières années, le programme LIFE de la Commission européenne a financé des projets impliquant des espèces envahissantes pour un budget total de 44 millions d'euros. [4]

c. Le changement climatique affecte les distributions des espèces invasives

La relation entre l'invasion des espèces et le changement climatique est complexe. Le changement climatique est susceptible de renforcer l'invasion pour occuper de nouvelles

zones, en augmentant simultanément l'adaptabilité dans les communautés naturelles en perturbant l'équilibre dynamique qui les maintient. D'un autre côté, les espèces envahissantes influencent l'ampleur, le rythme et l'impact du changement climatique en modifiant la composition, la structure et la fonction des écosystèmes. [5][6]

Les impacts potentiels du changement climatique sur les espèces et les écosystèmes sont des changements de température, des concentrations de dioxyde de carbone (CO₂), de l'hydrologie, etc.

L'augmentation du niveau de CO₂ dans l'atmosphère stimule les plantes invasives, comparativement aux plantes les plantes invasives réagissent plus fortement aux augmentations du CO₂, ce qui donne un avantage aux espèces envahissantes par rapport aux espèces indigènes. Nagel et ses collaborateurs (2004) ont montré que l'augmentation du CO₂ atmosphérique favorise la croissance des plantes envahissantes (*Bromus madritensis*), mais qu'elles ne présentaient aucune réaction apparente chez les espèces indigènes. Contrairement aux espèces indigènes, les espèces invasives poussent plus vite, deviennent plus grosses et produisent plus de graines. [7]

Parameter	[CO ₂]	<i>Vulpia octoflora</i>	<i>Bromus madritensis</i>	I / N
Construction cost (g g ⁻¹ d ⁻¹)	Ambient	1.95	1.75	0.9
	Elevated	1.78	1.55	0.87
RGR (g g ⁻¹ biomass d ⁻¹)	Ambient	0.054	0.068	1.26
	Elevated	0.062	0.108	1.74
Biomass (g)	Ambient	0.08	0.51	6.4
	Elevated	0.11	0.89	8.1
Seed number plant ⁻¹	Ambient	128	231	1.8
	Elevated	226	533	2.36

Figure 2: Résultats de l'expérience de Nagel et al. (2004)

Source: citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.456.2203&rep=rep1&type=pdf

Alward et al (1999), ils ont étudié la corrélation entre le développement des plantes et la température la plus basse, après une augmentation des températures minimales environ deux fois plus rapide que celle des températures maximales, ils ont conclu que réduit la productivité des herbes naturelles *Bouteloua gracilis* (Une plante C4 native) a réduit et tandis que les plantes *Carex eleocharis* (Une plante C4 exotique *Carex eleocharis*) ont proliféré.[8]

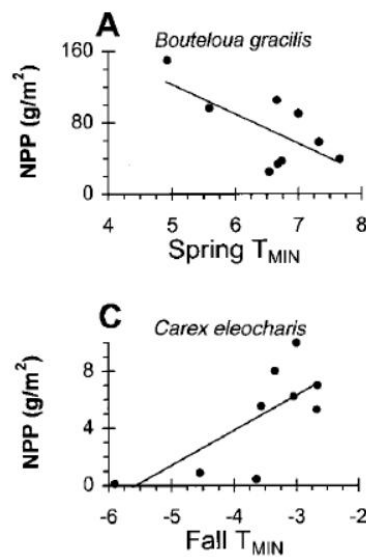


Figure 3: Résultats de l'expérience d'Alward et al. (1999)

Source: pdfs.semanticscholar.org/504b/6c457a3d516a949c9b420abb263593a6b31c.pdf

Dans les forêts du Panama, une prolongation de la saison sèche devrait entraîner l'extinction de 25% des espèces indigènes. Contribuant ainsi au développement des plantes invasives tolérantes à la sécheresse. Les espèces exotiques envahissantes utilisent plus efficacement les ressources en eau et en azote pour les rendre plus compétitives avec les espèces indigènes soumises au stress hydrique. [9]

1.2. Objectifs:

a. Prédire la tendance de développement d'espèce invasive en France.

Amélioration la connaissance sur la présence et la répartition de ces espèces par l'introduction du modèle pour prédire de la tendance de développement de l'invasion des espèces depuis des décennies ou des centaines d'années. Le développement d'une espèce est affecté par le changement climatique et peut affecter la distribution à long terme et la taille de la population de ses espèces dans sa zone. Cette évolution constitue en effet un indicateur indispensable pour juger de l'efficacité des actions menées.

b. Favoriser la proposition des gestions ou des managements des espèces invasives.

Pour lutter contre les invasions biologiques, il est possible d'intervenir à différents stades, sur différents aspects de l'envahissement, La prévention de la distribution du développement des espèces est la première étape pour prendre les mesures appropriées,

mais aussi une étape très importante. En anticipant les tendances futures des espèces envahissantes, des actions peuvent être prises à temps pour éviter leur introduction ou pour inhiber son développement. Nous pouvons également nous concentrer sur les mesures dans les zones fortement touchées en prédisant leur distribution future.

II. Matériel et Méthode:

2.1. Espèces étudiées



Figure 4: *Cyperus*

Source: www.tela-botanica.org

Nous focalisons sur l'espèce invasive *Cyperus eragrostis* pour étudier spécifiquement leur réponse au changement climatique. *Cyperus eragrostis* est une espèce de la famille des Cypéracées. Plante robuste, d'un beau vert, vivace à rhizomes, qui produit également des graines, à tige dressée, triangulaire et glabre. Il peut mesurer de 40 cm à 1 m de haut. Les feuilles, d'un vert clair, sont longues, larges de 5 à 10 mm, presque plates, rudes sur les bords. Les feuilles sont aussi longues que la tige et un peu carénées. Les épillets vert pâle mesurent de 6 à 10 mm. Ils sont réunis en têtes très denses, portées par des pédoncules allongés, de taille très inégale, groupés en ombelle terminale. Cette sorte d'ombelle est dépassée par 5 à 7 longues bractées. Le fruit est un akène trigone. La floraison est dû Juillet à octobre.

Le *Cyperus eragrostis* est une plante originaire d'Amérique tropicale. La première observation documentée de Souchet vigoureux en France date de 1871, dans le département des Alpes-Maritimes. [10]

Plante de milieux humides poussant préférentiellement sur des sols limoneux. On le trouve qu'elle croît presque toujours dans les zones humides riveraines où il peut se propager rapidement. Naturalisé dans la moitié sud et ouest de la France et également le long de la Loire, le souchet robuste est plus localisé ailleurs. Il a envahi le sud-ouest à partir du XIXème siècle, et puis en Auvergne (1970), en Bourgogne (1980). C'est possible que l'extension de *Cyperus* continue. [11]

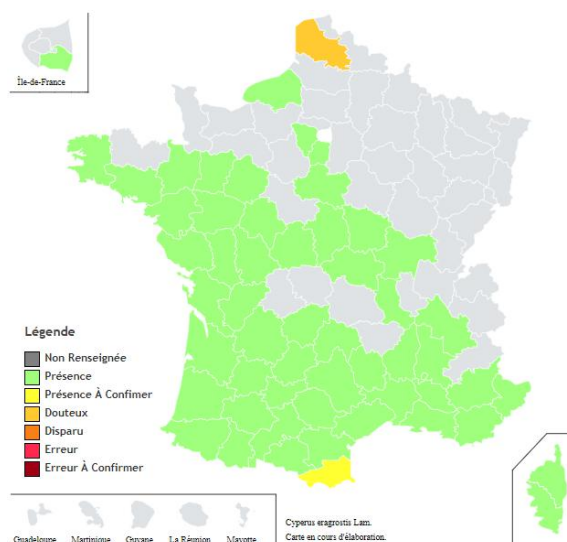


Figure 5: La distribution de *Cyperus eragrostis*

Source: www.tela-botanica.org

À propos de sa dangerosité, on trouve que la répartition étendue de cette plante, les impacts qu'elle occasionne, et sa résistance à certains herbicides font qu'elle est classée invasive majeure. Elle nécessite une gestion à long terme, et des actions coordonnées.

2.2. Les données d'espèces

2450 points de présence géoréférencés (coordonnées) en France. Pour les datasets fournis en format lambert_1993, nous avons converti les données en WGS_1984 afin de faire correspondre les données de bioclimatique et supprimer les biais liés aux points de présence en France.

Nous avons également extrait les pays d'origine de l'espèce (en wgs84 à la base) et faire tourner avec les données de présence fournies par le [GBIF](http://www.gbif.org/citation-guidelines). (www.gbif.org/citation-guidelines)

Toutes les analyses de données ont été effectuées à l'aide d'ArcGIS for Desktop 10.3 (ESRI) [12].

2.3. Les données de bioclim

Nous avons obtenu un ensemble de 19 raster des variables (Tableau 1) bioclimatiques en utilisant une résolution spatiale de 30 secondes d'arc à partir des ensembles de données WorldClim (www.worldclim.org) pour décrire les conditions environnementales actuelles et future pour explorer la relation entre les conditions bioclimatiques et les modèles de

répartition des espèces. Les données climatiques actuelles pour la période 1950-2000 et les données climatiques futures pour 2050 (moyenne des prévisions pour 2041-2060) et 2070 (moyenne des prévisions pour 2061-2080) ont également été incluses. Ce sont les plus récentes projections climatiques GCM (Global climate models) utilisées dans le cinquième rapport d'évaluation du GIEC.

Nous avons seulement utilisé les variables bioclimatiques dans les modèles parce que nous avons supposé que le changement de climat pourrait être une force motrice de modifications aux habitats des espèces.

Pour réduire la multi colinéarité parmi les 19 variables bioclimatiques et une variable d'élévation, les variables corrélées ($r \geq 0,85$ coefficient de corrélation de Pearson) ont été éliminées dans les modèles. [13] Cette réduction des variables prédictives a entraîné l'inclusion de 8 variables pour les modèles. These variables included Annual Mean Temperature (Bio1), Isothermality (Bio3), annual precipitation (Bio12), Temperature Seasonality (Bio4), Mean Temperature of Wettest Quarter (Bio8), Mean Temperature of Driest Quarter (bio9), Precipitation Seasonality (Bio15), Precipitation of Warmest Quarter (Bio18) and Precipitation of Coldest Quarter (Bio19).

Tableau 1: Liste de 19 variables bioclimatiques utilisées dans le développement de modèles bioclimatiques. Les noms et les descriptions sont basés sur WorldClim

Code	Introduction
BIO1	Annual Mean Temperature
BIO2	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))
BIO3	Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	Temperature Seasonality (standard deviation *100)
BIO5	Max Temperature of Warmest Month
BIO6	Min Temperature of Coldest Month
BIO7	Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)
BIO8	Mean Temperature of Wettest Quarter
BIO9	Mean Temperature of Driest Quarter
BIO10	Mean Temperature of Warmest Quarter
BIO11	Mean Temperature of Coldest Quarter
BIO12	Annual Precipitation
BIO13	Precipitation of Wettest Month

BIO14	Precipitation of Driest Month
BIO15	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
BIO16	Precipitation of Wettest Quarter
BIO17	Precipitation of Driest Quarter
BIO18	Precipitation of Warmest Quarter
BIO19	Precipitation of Coldest Quarter

Les climats futurs en 2050 et 2070 étaient les moyennes pour la période de 2041 à 2060 et de 2061 à 2080, respectivement. Nous avons utilisé un total de 4 scénarios de changement climatique pour prédire les futures distributions potentielles des espèces étudiées pour la période donnée, 2050 et 2070. Les 4 scénarios de changement climatique basés sur HadGEM2-ES des modèles de circulation globale (MCG) et deux représentatives concentrations pathways (RCPs). The Fifth Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) incluait les GCMs dans la projection des conditions climatiques mondiales futures, qui ont été incluses dans le Fifth Assessment Report (AR5) du GIEC (cmip.pcmdi.llnl.gov/cmip5/availability.html).

Les scénarios d'émission sont utilisés dans les recherches climatiques pour décrire l'évolution future de diverses variables, notamment les émissions de gaz à effet de serre et de polluants. Ils sont utilisés comme input pour des modèles climatiques et comme base pour l'évaluation des impacts climatiques possibles. Il y a quatre scénarios RCPs (Representative Concentration Pathways): RCP8.5, RCP6, RCP4.5 et RCP2.6. Ses descriptions sont dans le Tableau 2.

Tableau 2: Descriptions des RCPs [14]

	Descriptions des RCPs
RCP8.5	Rising radiative forcing pathway leading to 8.5 W/m ² (~1370 ppm CO ₂ eq) by 2100.
RCP6	Stabilization without overshoot pathway to 6 W/m ² (~850 ppm CO ₂ eq) at stabilization after 2100
RCP4.5	Stabilization without overshoot pathway to 4.5 W/m ² (~650 ppm CO ₂ eq) at stabilization after 2100
RCP2.6	Peak in radiative forcing at ~3 W/m ² (~490 ppm CO ₂ eq) before 2100 and then decline (the selected pathway declines to 2.6 W/m ² by 2100).

Nous avons utilisé une procédure en trois étapes pour cette étude. Premièrement, nous avons recueilli et traité des ensembles de données concernant l'occurrence des espèces de *Cyperus eragrostis*, leurs aires de répartition et les variables bioclimatiques utilisées

dans la modélisation du bioclimatique en France et en pays d'origine (Amérique du sud). Deuxièmement, nous avons développé des modèles pour les conditions actuelles, qui comprenaient la sélection des SDMs (Species distribution models) et générer des conditions bio-climatiques actuelles, y compris la comparaison les niches climatiques de l'espèce en France et dans son aire native, et enfin, nous avons modélisé les conditions futures en France. Les résultats finaux sont des cartes comparant les actuelles et les futures bioclimatiques pour 2050s et 2070s. Ces cartes montrent la distribution de conditions bioclimatiques convenables pour les espèces de *Cyperus eragrostis* et comment elles devraient changer à l'avenir.

2.4.Modélisation de la distribution des espèces

Les modèles sont des outils essentiels pour évaluer les réponses potentielles des plantes aux changements climatiques, en particulier si de grandes échelles spatiales et temporelles sont considérées. Les modèles de distribution statistique des espèces (SDMs) sont de plus en plus utilisés pour prévoir les changements potentiels dans les distributions d'espèces actuelles ou dans différents scénarios de changement climatique. Araujo et New [15] ont souligné que l'utilisation d'un seul algorithme SDMs ne fournirait pas suffisamment d'informations pour savoir si la technique choisie donnait la meilleure précision prédictive pour l'ensemble de données. Ici, nous avons analysé la condition bioclimatique par la distribution de l'espèce en utilisant les SDMs suivants:

Tableau 3 : List de l'algorithme SDM [16]

Nom de l'algorithme	Introduction
GLM (Gneralized Linear Model)	GLMs are a generalization of linear regression that allows the dependent variable to have other than normal distribution. The user has to assume form of relationship between explanatory and response variables.
GAM (Gneralized Addictive Models)	GAMs use specific equations to calculate response curves for subsections of data, thus avoiding assuming the form of relationship between variables as in GLM. GAMs are considered especially useful when relationships between variables are not known a priori.
GBM (Generalized Boosted Model or Boosted Regression Trees)	Unlike GLMs, GBMs combine large amounts of relatively simple models to produce robust estimates of response. In this study boosted regression trees were used to partition the data to homogenous sections by response variables.
CTA (Classification and Regression Tree)	CTA divides dimensional space defined by response variables into homogenous sections by response. Parsimonious classification tree is produced by multiple splitting, seeking to reduce variance in subset.
ANN (Artificial Neural Networks)	ANN is a mathematical or computational model that mimics the structure and function of biological neural networks

	(Ripley, 1996). The neural network is calculated by a large number of artificial neuron connections.
FDA (Flexible Discriminant and Mixture Models)	FDA is an extension of linear discriminant analysis. The method creates a linear combination of variables with normal errors that discriminate between presence and absence observations in relation to explanatory variables.
MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines)	MARS is a regression method useful in assessing situations where model coefficients vary with different levels of explanatory variables. It can also address complex nonlinear interactions between variables.
RF (Random Forest)	RF is a new classification method through machine learning and integration. It is a classifier containing many decision trees. This method uses the concepts of Bagging and random selection, and obtains the final result through a large number of classification tree operations.
Maxent (Maximum Entropy Model)	Maximum entropy methods are very general ways to predict probability distributions given constraints on their moments.

Les modèles statistiques ont d'abord été construits avec la distribution de *Cyperus eragrostis* et les données climatiques actuelles (bioclim). Comme les données de distribution ne contenaient que des présences et non des absences vérifiées, deux ensembles de pseudo-absences ont été créés en sélectionnant au hasard 919 points de données à partir des emplacements où l'espèce n'était pas présente.

Pour calibrer les modèles, les datasets produites par les sélections de pseudo-absence ont été divisées au hasard deux fois avec un rapport de 70/30, de sorte que 70% des données disponibles ont été utilisées pour construire les modèles et les 30% restants pour la calibration, une procédure couramment utilisée, s'il n'y a pas de données indépendantes pour la validation [17]

Après la calibration, un modèle final a été construit avec toutes les données disponibles, de sorte que le nombre total de modèles construits était de 54 (9 modèles, 2 sélections de pseudo-absence, 2 essais d'évaluations exécutées).

Pour projeter les distributions actuelles, un ensemble de modèles a été construit pour réduire l'incertitude liée à la sélection des modèles. [15] Les prévisions d'ensemble ont d'abord été calculées pour chaque exécution de modèle en utilisant la médiane de la probabilité prédite d'occurrence, et finalement la prévision générale d'ensemble a été construite en utilisant toutes les données sur toutes les exécutions du modèle. Les probabilités prédites d'occurrence ont été transformées en prédictions de présence/absence en utilisant un seuil de True Skill Statistic (ci-après TSS) maximisant la précision prédictive du modèle avec les données actuelles. TSS est une méthode fréquemment utilisée pour évaluer la précision SDM. Il comprise entre zéro et un. Plus elle

est proche de un, plus la sensibilité et la spécificité sont grandes, ce qui indique que le modèle a de bonnes capacités de simulation. [18]

2.5. Analyse des tendances de développement

Pour l'affichage et l'analyse ultérieure sur la distribution future, nous avons importé les résultats des modèles Maxent prédisant la présence du *Cyperus eragrostis* (gamme 0-1) dans ArcGIS. Avec une référence à la classification proposée par Yang et al. (2013) [19], cinq classes d'habitats potentiels ont été regroupées: "unsuitable habitat" (0–0.2); "barely suitable habitat" (0.2–0.4); "suitable habitat" (0.4–0.6); "highly suitable habitat" (0.6–0.8) et "very highly suitable habitat" (0.8–1.0). Pour chaque modèle, nous avons calculé l'aire de la distribution optimale, classée comme "highly suitable habitat" et "very highly suitable habitat" (0,6-1). Et puis nous avons comparé les résultats de la distribution actuelle et la distribution future prédite pour voir comment la situation de la distribution va changer.

Enfin, nous avons comparé les cartes d'ensemble actuelles et futures afin de déterminer les zones de stabilité, les gains et les pertes dans des conditions bioclimatiques convenables entre le présent et les deux périodes futures projetées.

III. Résultats:

3.1. Comparaison de l'état de développement

Considérant la différence de l'état de *Cyperus* entre leur habitat d'origine (Amérique du Sud) et en France, nous avons analysé séparément la distribution de *Cyperus* dans leur habitat d'origine et en France. Dans cette analyse, des variables d'environnement que nous avons définies sont des 19 variables bioclimatiques.

Afin de choisir un modèle plus optimisé, nous allons comparer la courbe ROC AUC (receiver operating characteristic curve) et l'indice TSS (true skill statistic). Comme mentionné avant, un modèle avec une valeur AUC proche de 1 ($AUC \geq 0,75$) est considéré comme ayant un bon ajustement. Et une valeur TSS proche de 1 ($TSS > 0.5$) indique un bon pouvoir prédictif.

- Dans l'habitat d'origine (Amérique du Sud)

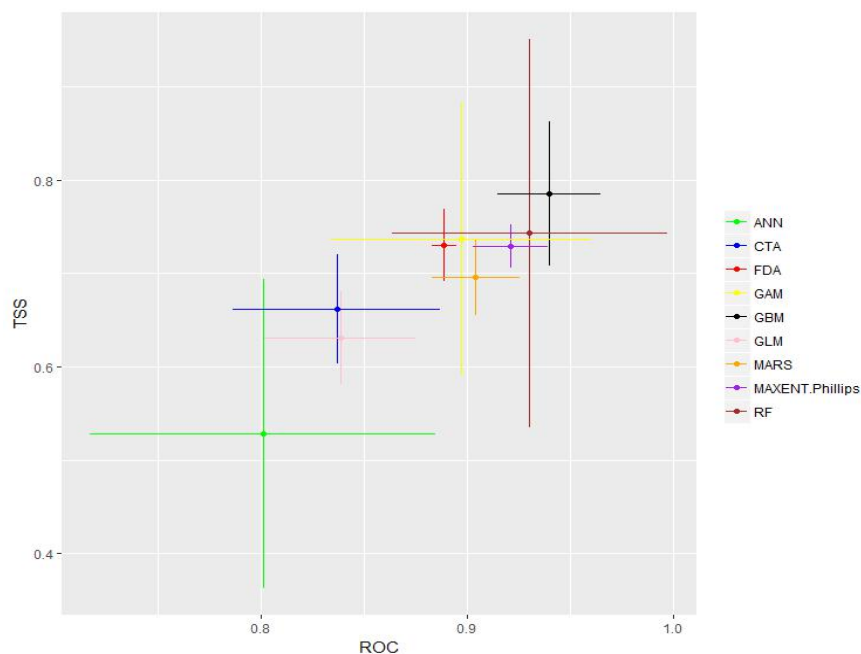


Figure 6: Capacité de prédiction de chaque modèle avec des données en Amérique du Sud
 Nous pouvons voir que les résultats prédits de GBM, RF, Maxent et GAM sont meilleurs quand nous utilisons les 9 modèles pour prédire la distribution dans la zone native de *Cyperus*.

- En France:

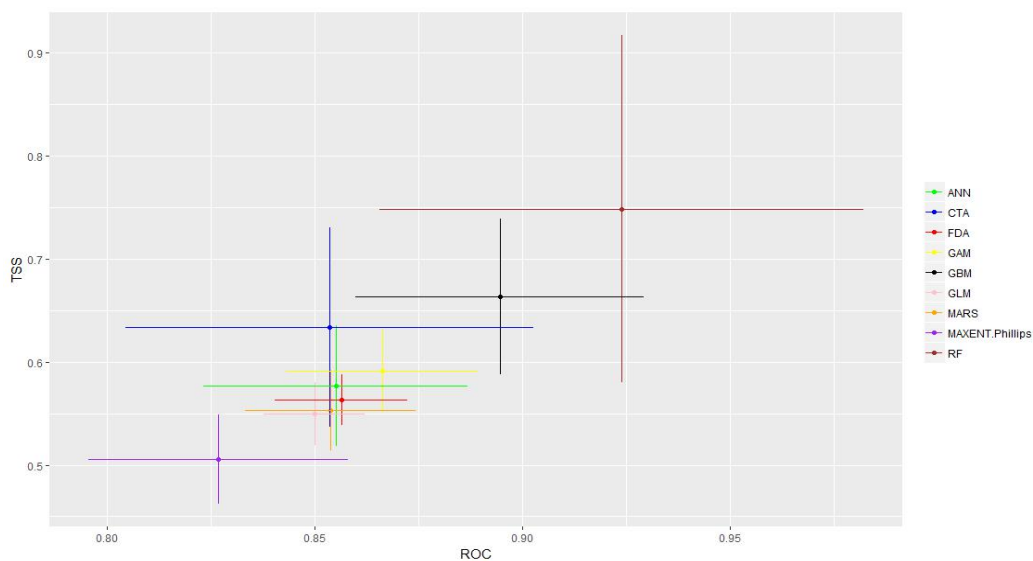


Figure 7: Capacité de prédiction de chaque modèle avec des données en France
 En France, nous avons constaté que les meilleurs modèles sont RF, GBM, CTA et GAM. Après que nous comparons les “response curve”, nous observons la différence entre ces deux milieux.

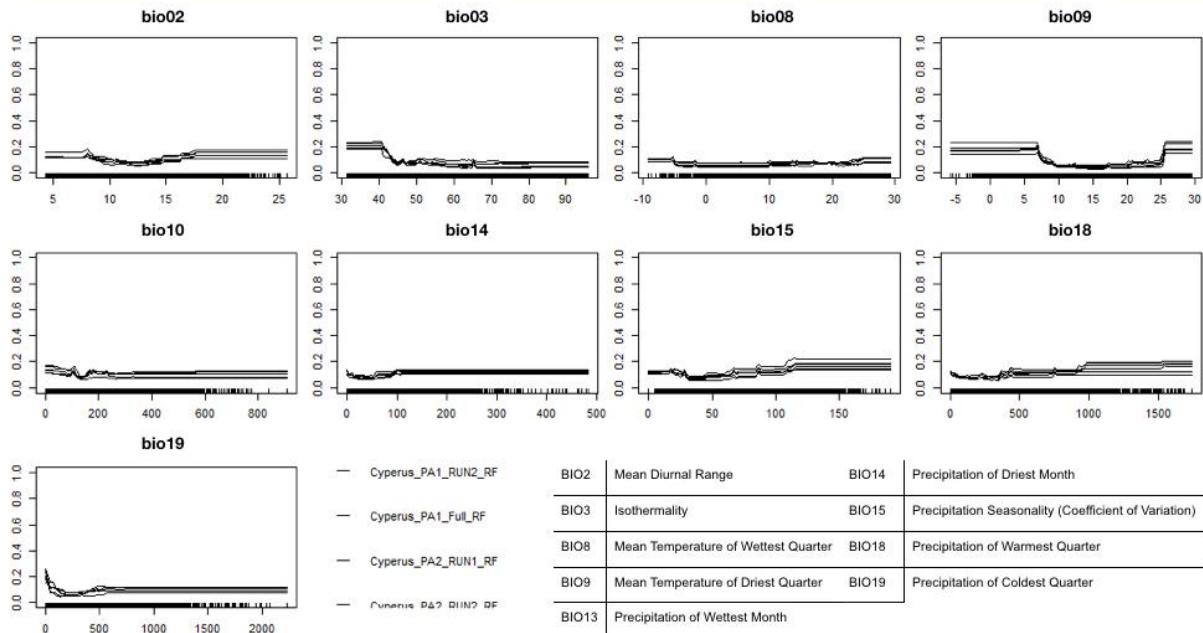


Figure 8: Les courbes de réponse de *Cyperus* au modèle RF en Amérique du Sud

Comme le montre la figure ci-dessus (Figure 8), ce sont les courbes de réponse de *Cyperus* au modèle RF en Amérique du Sud. Neuf des dix-neuf variables environnementales ont été identifiées plus pertinentes pour la biologie et la distribution d'espèce, reflété dans les résultats de la modélisation, l'impact des variables climatiques sur l'espèce n'est pas sensible. L'état du *Cyperus* tend à être plat et stable, sans grandes fluctuations ou changements.

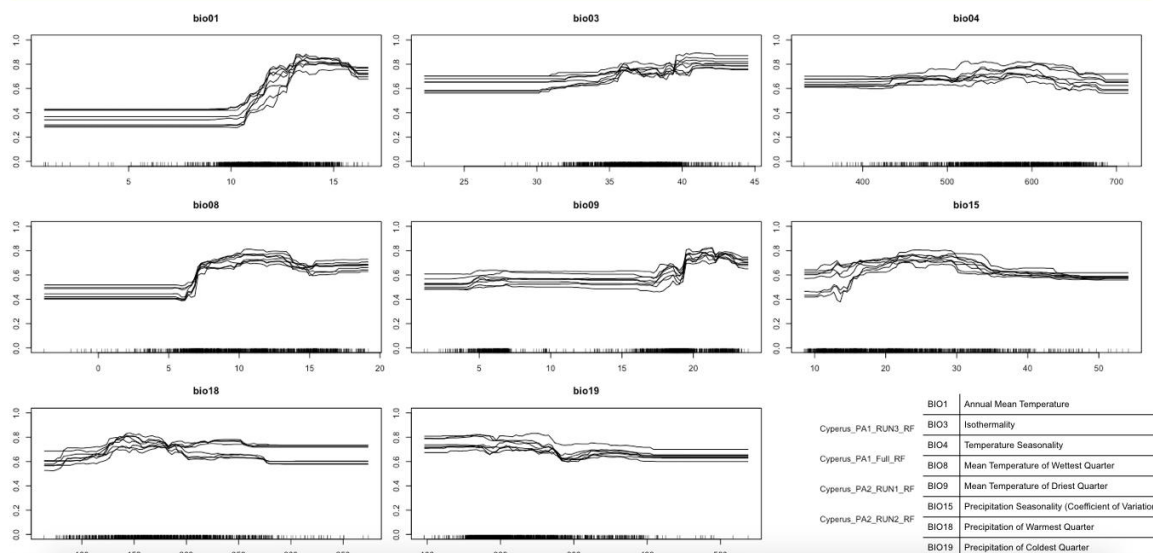


Figure 9: Les courbes de réponse de *Cyperus* au modèle RF en France

Par rapport à la situation dans le pays d'origine (Amérique du Sud), la situation en France est différente. *Cyperus* change de manière significative sous l'influence des variables

climatiques, en particulier les changements du *Cyperus* sous l'effet des changements de température.

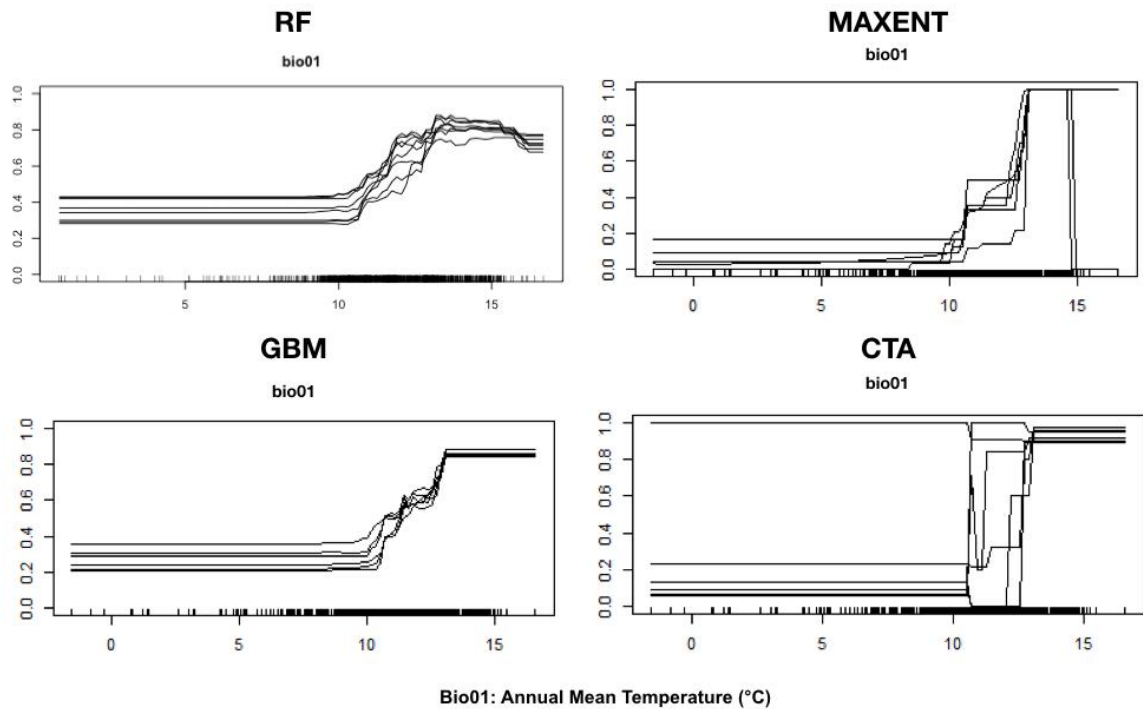


Figure 10: Comparaison des courbes de réponse générées par plusieurs modèles en France par rapport aux variables de température moyenne annuelle

Comme le montre la Figure 10, nous avons comparé des courbes de réponse des modèles RF, MAXENT, GBM et CTA. Nous pouvons clairement observer que la présence de *Cyperus* en France est associée à la température annuelle moyenne comprise entre 10 et 15 degrés. Dans les zones humides (selon Bio 08 dans la Figure 9) sa présence est associée à des températures moyennes entre 7-14 degrés. Par contre dans la zone sèche (selon Bio 09 dans la Figure 9), sa présence est associée à des températures supérieures à 17 degrés.

3.2. Analyse des résultats du modèle Maxent

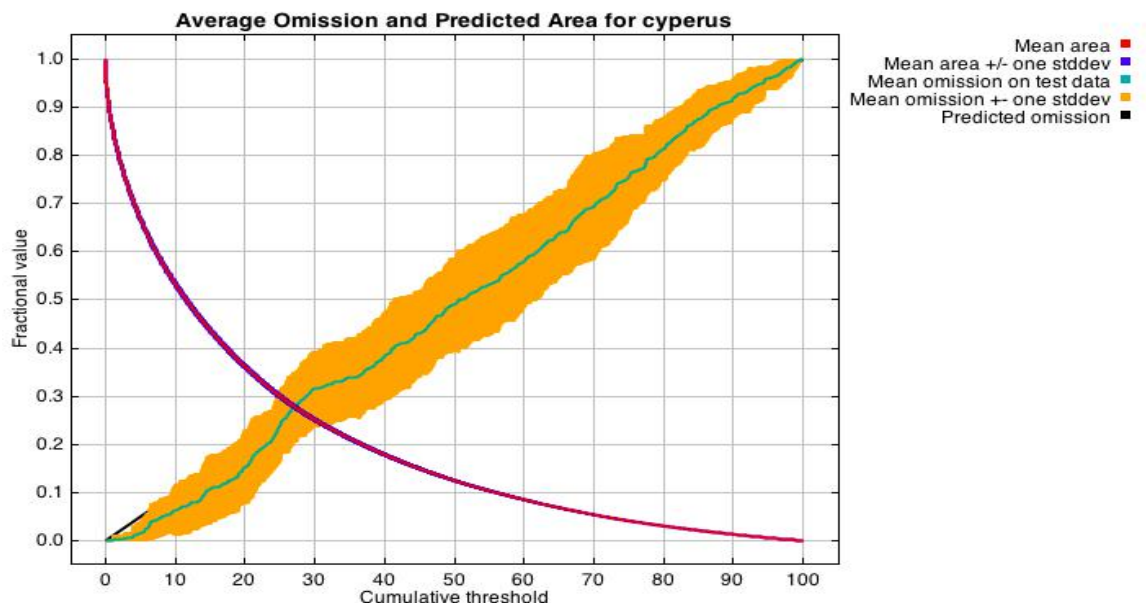


Figure 11: Courbe du taux d'omission pour le *Cyperus* sur des données actuelles

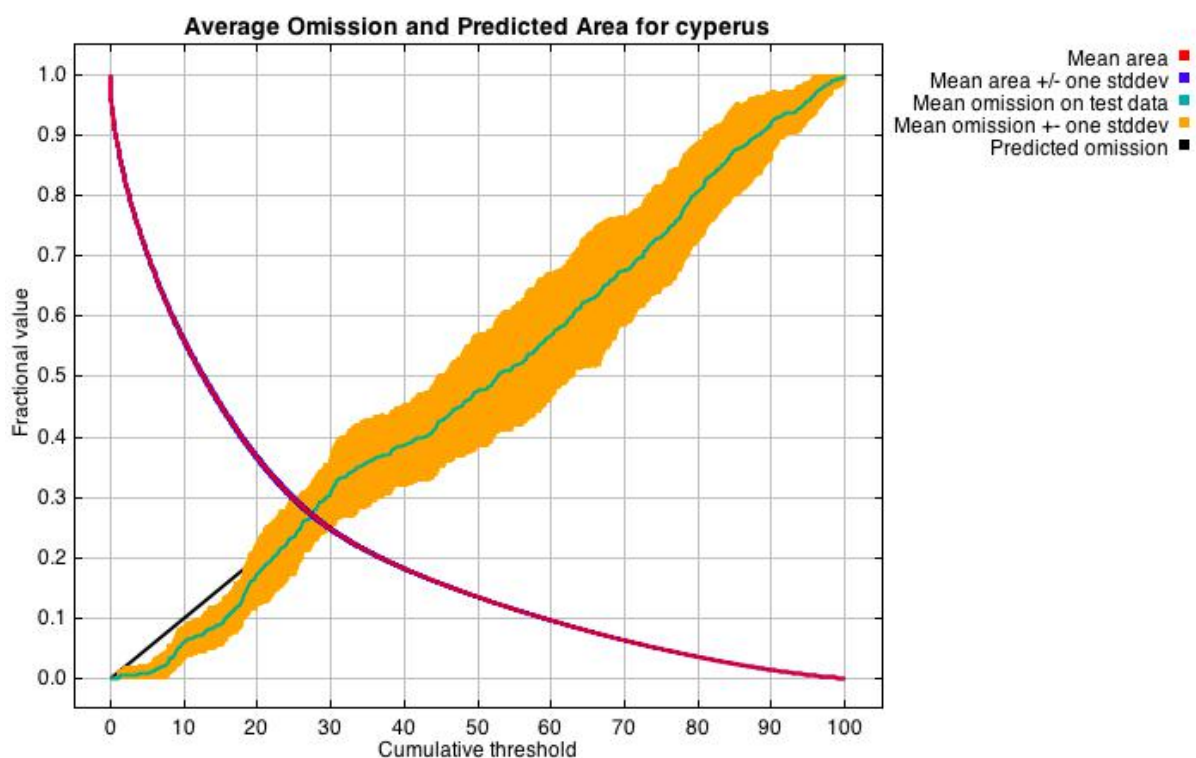


Figure 12: Un des courbes du taux d'omission pour le *Cyperus* sur des données prévues

La valeur de taux d'omission s'agit de la probabilité que l'algorithme fasse erreur sur l'absence. La Figure 11 est la courbe du taux d'omission pour le *Cyperus* sur la base des données actuelles. Le taux d'omission (en vert) se superpose presque parfaitement à la courbe d'omission prédite, cela représente que la probabilité d'une erreur de la part de Maxent sur les absences est basse. Même si nous considérons les écart-types (en jaune), la courbe du taux d'omission est proche de celle de l'omission prédite. Dans le cas des données prévues pour 2070 dans la Figure 12, la courbe du taux d'omission pour le

Cyperus est proche de celle de l'omission prédite. Des courbes du taux d'omission donc indiquent aussi une bonne prédictivité du modèle.

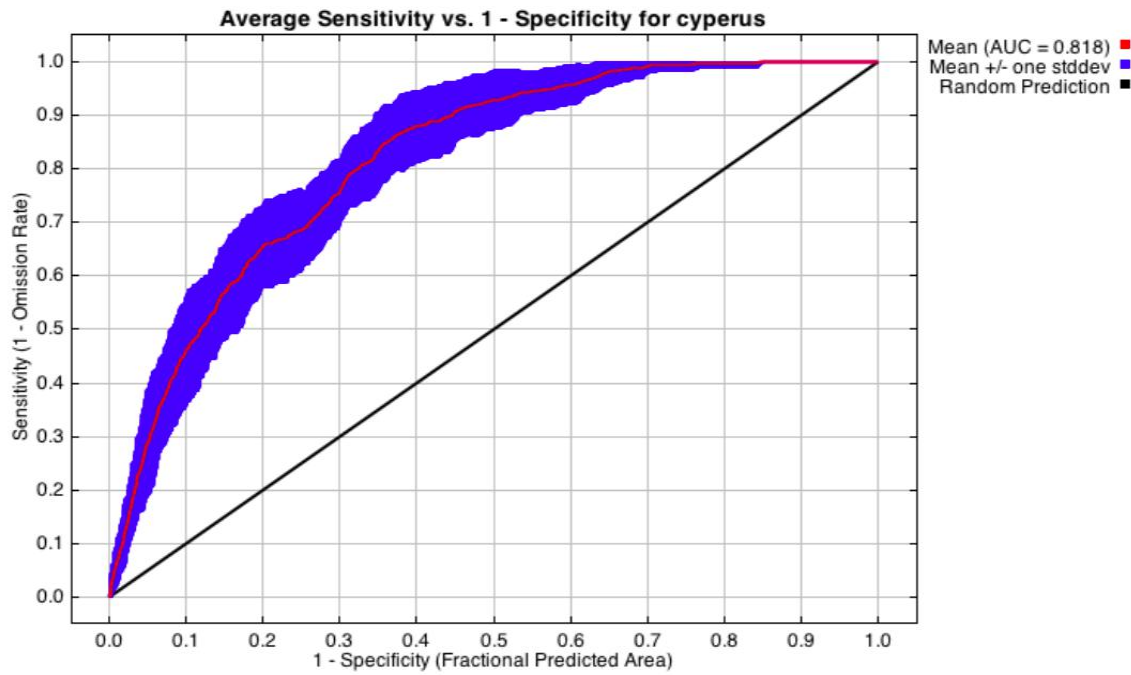


Figure 13: Courbe ROC sur des données actuelles

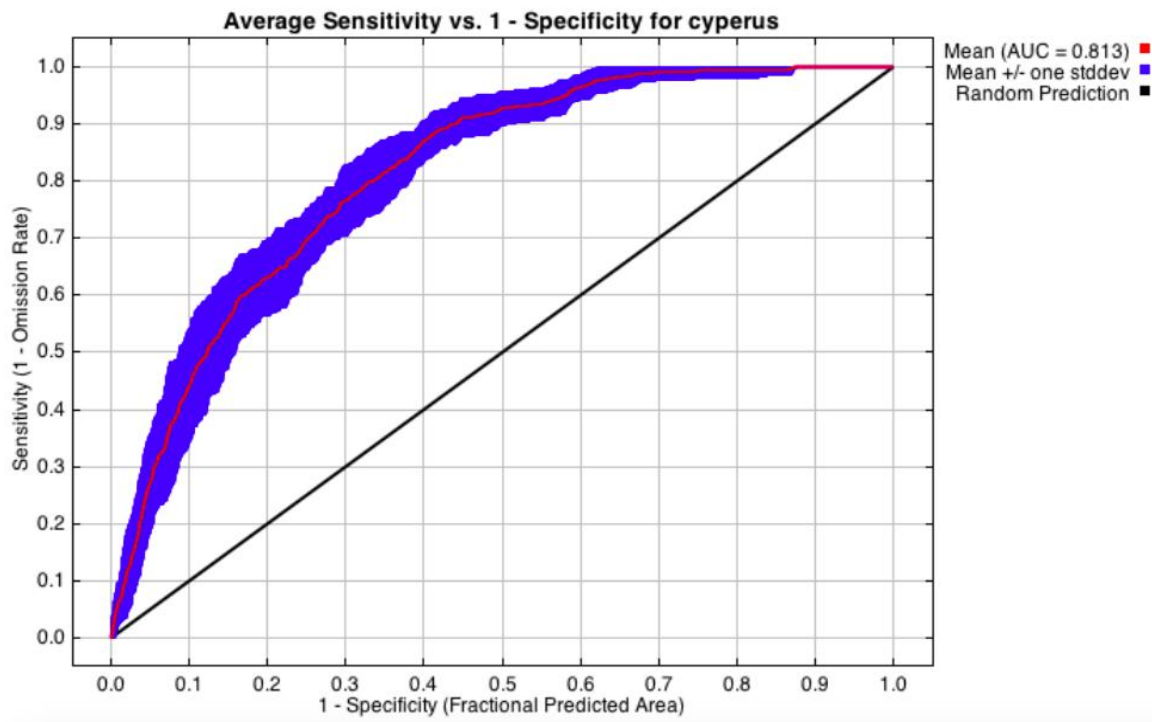


Figure 14: Un des courbes ROC sur des données prévues

La courbe ROC basé sur des données actuelles est éloignée de la courbe ROC du modèle aléatoire et la valeur de l'AUC est de 0,818. La situation est similaire pour la courbe ROC basée sur des données prévues, qui présente une valeur de l'AUC de 0,813. Plus la valeur d'AUC ne s'approche de 1, plus la capacité de distinction du modèle entre

absence et présence de l'espèce en un point donné est importante. Les deux données présentent une bonne précision car les valeurs de leur AUC sont proches de 1.

Le tableau suivant donne des estimations des contributions relatives des variables environnementales au modèle Maxent.

Tableau 4: Le pourcentage de contributions des variables environnementales au modèle Maxent

Environmental Variable	Variable code	Percent contribution	Permutation importance
Température moyenne annuelle	bio01	31.2	10.9
Température maximale du mois le plus chaud	bio05	21.3	3.5
Température moyenne du quartier le plus sec	bio09	14.5	1.4
Température moyenne du quartier le plus froid	bio11	8.2	49.9
Température moyenne du quartier le plus chaud	bio10	4.9	3.6

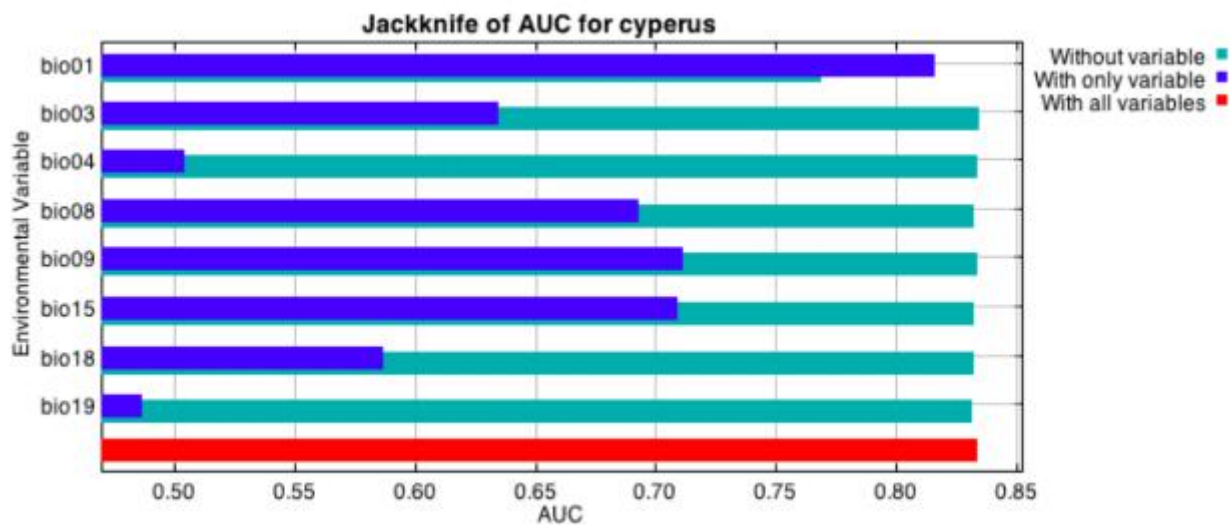


Figure 15 : Jackknife of AUC for *Cyperus*

Parmi les résultats obtenus, nous avons trouvé que la figure Jackknife d'AUC fonctionne mieux. Le test Jackknife d'importance variable a montré que la température moyenne annuelle (Bio 01), la température moyenne du quartier le plus humide (Bio 08), la température moyenne du quartier le plus sec (Bio 9) et la précipitation saisonnalité (Bio 15) étaient les facteurs les plus importants quand nous faisons la prédiction de distribution de *Cyperus*.

3.3. La distribution actuelle du *Cyperus* en France

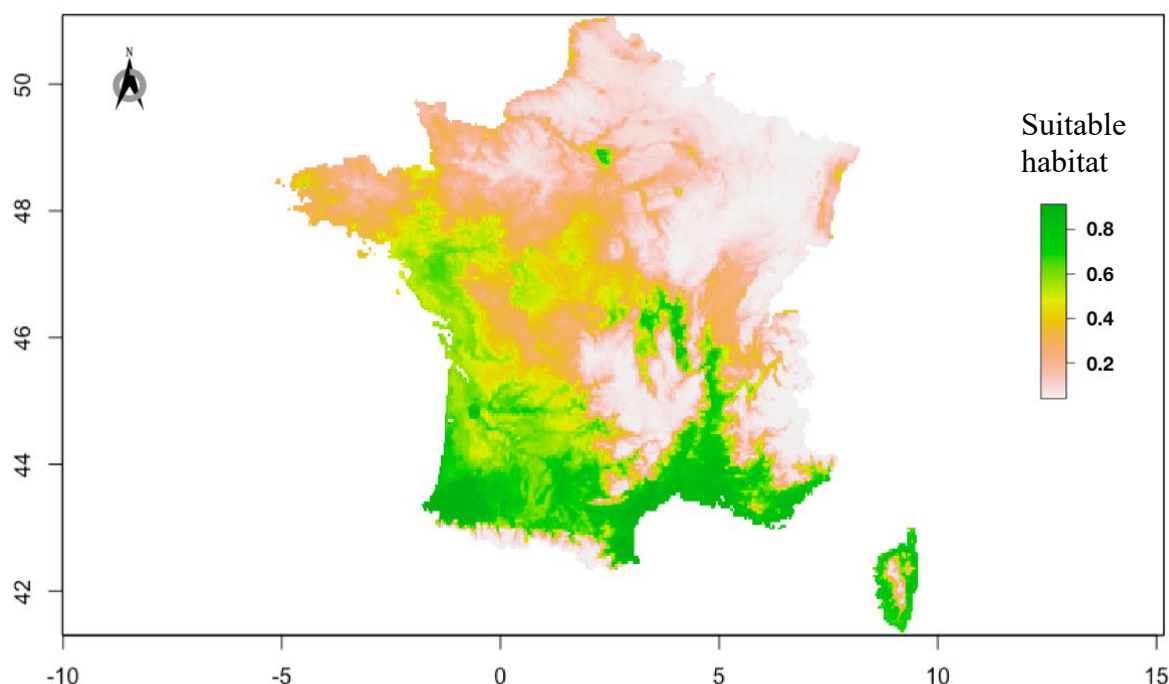


Figure 16: La distribution actuelle du *Cyperus* en France et son adaptabilité (des valeurs plus élevées indiquent une plus suitable habitat)

Les résultats ont montré que, dans les conditions climatiques actuelles, la zone comprise entre 41.3 ° et 51 ° de latitude nord et entre -5.3 ° et 10 ° de longitude est la principale zone potentielle de *Cyperus eragrostis* en France. La zone hautement appropriée (avec une capacité d'adaptation plus que 0.6) était principalement concentrée dans le sud-ouest de la France.

Les zones avec une couleur blanche sur les cartes indiquent les habitats inappropriés des *Cyperus eragrostis*, tandis que ceux avec d'autres couleurs mettent en évidence leurs habitats climatiquement adaptés. Les projections consensuelles ont montré que les habitats climatiquement favorables de la plupart des *Cyperus eragrostis* étaient principalement distribués dans les zones côtières, les zones des parties ouest, sud et sud-ouest de la France dans les conditions climatiques actuelles.

Les distributions d'aptitude du *Cyperus eragrostis* dans les conditions bioclimatiques actuelles sont illustrées à la Figure 16. Dans les conditions climatiques actuelles, le modèle a identifié 15.12% (83,4 km²) de la France en tant que classe "habitat adapté ou très adapté" avec des valeurs d'indice supérieures à 0,60, alors que 73,19% (403,8 km²) identifié comme «inadapté» ou «adapté très faible» avec des valeurs d'indice inférieures à 0,4 (tableau 5). L'indice d'aptitude élevé est détecté dans la région de Languedoc-Roussillon, au centre-sud-ouest du Midi-Pyrénées, et dans la partie sud-ouest du Provence-Alpes-Côte-d'Azur, dans la zone d'étude des *Cyperus eragrostis*.

3.4. La distribution future prévue de *Cyperus* en France

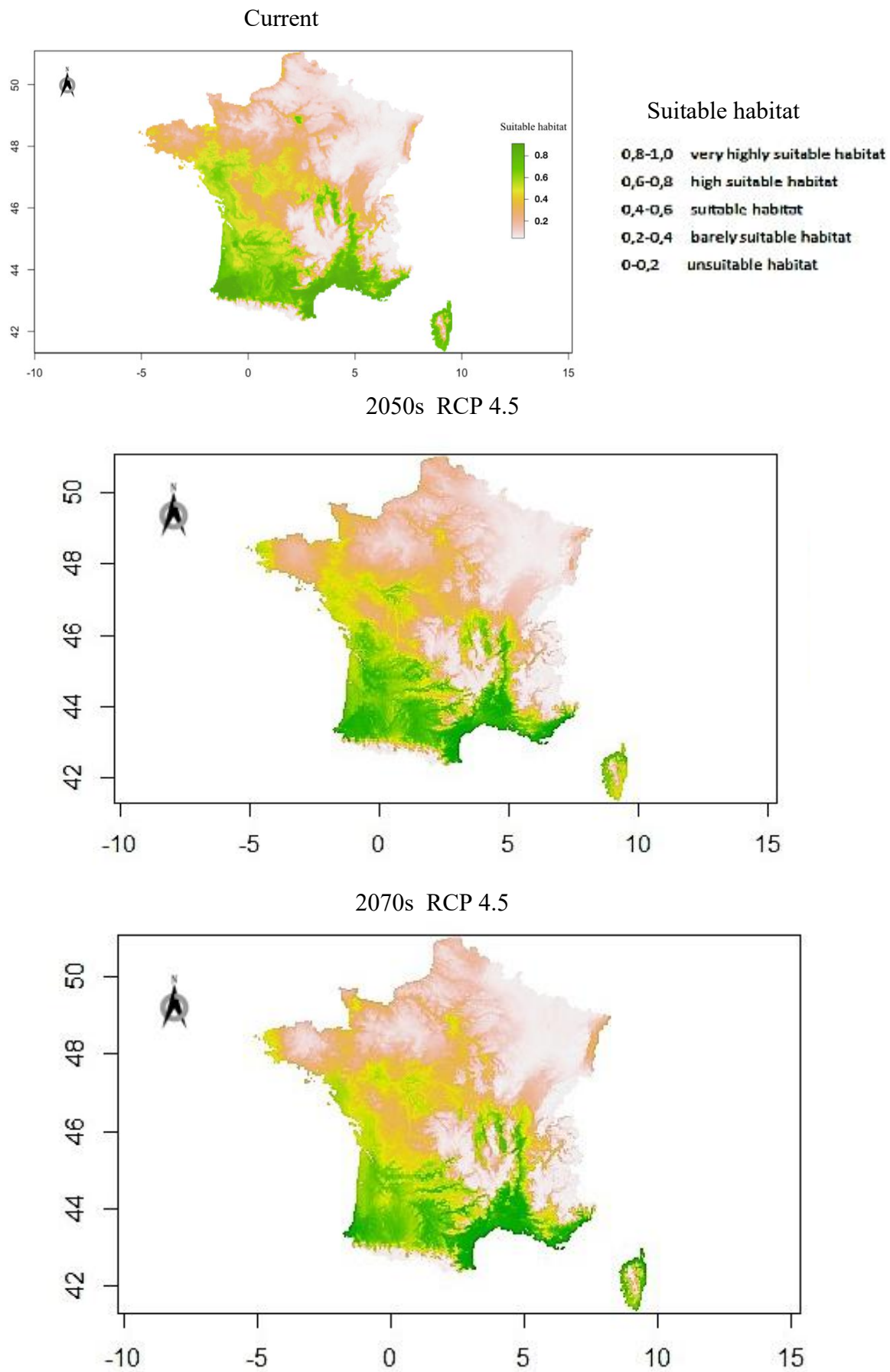


Figure 17: comparer les projections RCP 4.5 avec la projection actuelle

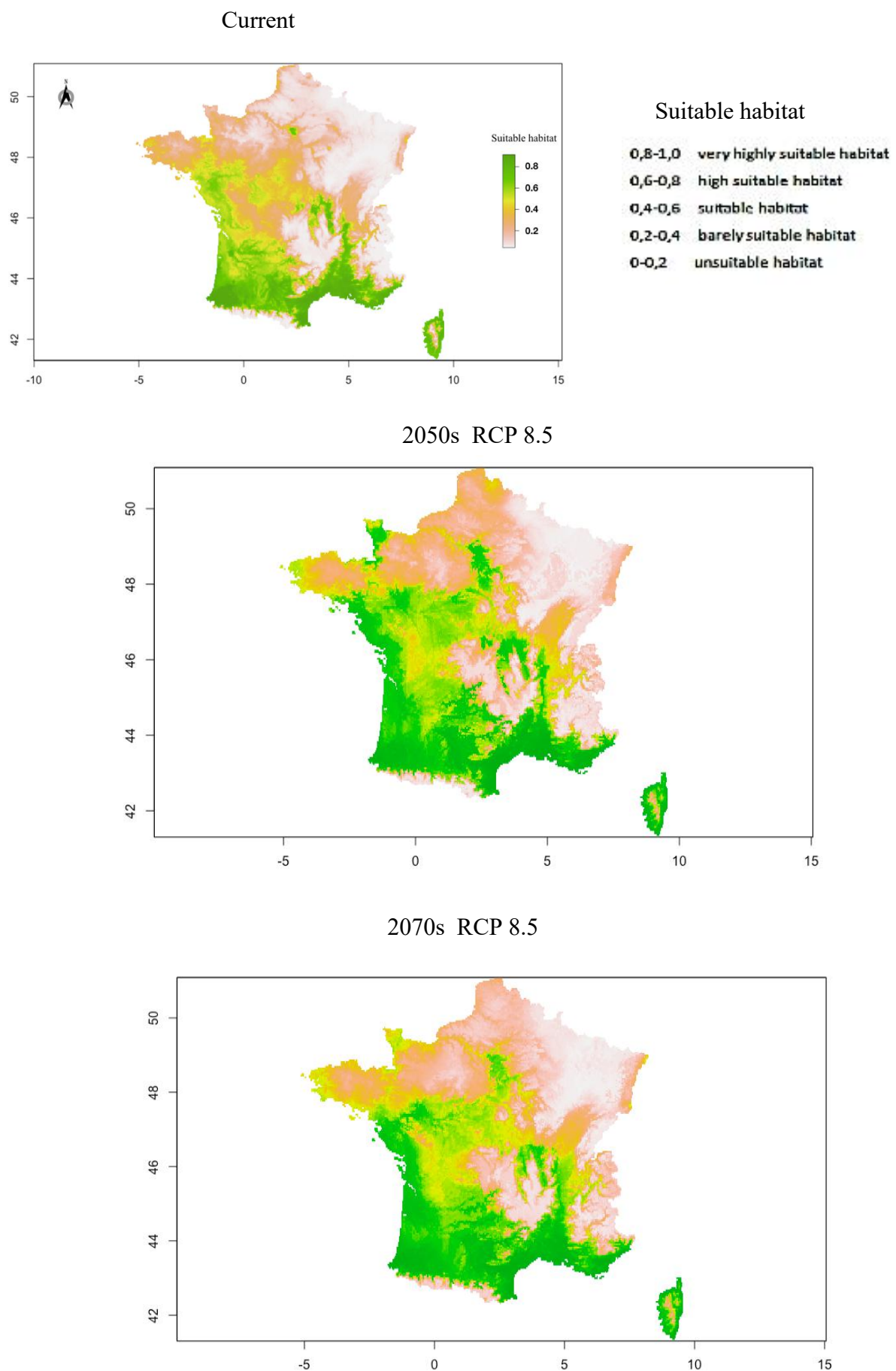


Figure 18: comparer les projections RCP 8.5 avec la projection actuelle
 Pour évaluer l'impact du changement climatique sur les espèces invasives de *Cyperus*, la niche écologique des espèces a été utilisée à l'aide de modèles statistiques de la

distribution d'espèces pour prédire l'avenir dans différents scénarios de changement climatique.

L'aire géographique climatique future potentiellement favorable de *Cyperus eragrostis* dans différents scénarios de changement climatique était relativement stable par rapport à son état actuel (Figure 17 , 18). Dans les années 2050 et 2070, les habitats climatiques convenables étaient encore centralisés dans le sud-ouest de la France et s'étendaient généralement des zones côtières vers les zones intérieures et du sud vers le nord avec les zones côtières de l'ouest et du sud.

Bien que l'emplacement de la distribution potentielle future de *Cyperus eragrostis* soit très similaire à la distribution potentielle actuelle, les résultats de notre modèle suggèrent que la zone d'habitat climatique futur convenable de *Cyperus eragrostis* sous différentes réactions atmosphériques a montré une tendance assez stable mais légèrement croissante en France. Les zones d'habitat de *Cyperus eragrostis* ont augmenté respectivement de 3,41% et de 2,90% selon les scénarios RCP4, 5 et RCP 8,5 d'ici 2050. (Tableau 6) Dans les années 2070, la zone d'habitat climatique a continué d'augmenter sous les RCP4, 5 et RCP 8,5 scénarios, avec des taux croissants de 2,92% et de 4,04% respectivement, les gains d'habitat climatique convenables ont été répartis de manière centralisée dans les zones côtières du sud et sud-ouest (figure 17, 18). Au contraire, la prédiction du modèle pour presque tous les scénarios (RCP 4.5 et 8.5) en 2050 et 2070 a révélé que les zones «inadaptées» ou «habitat convenable» diminueraient en relation à la zone de distribution potentielle actuelle.

Tableau 5: En utilisant des résultats de modèle Maxent et reclassant les zones de projection dans ArcGIS en fonction de la capacité d'adaptation, nous avons obtenu cinq niveaux ("unsuitable habitat" ; "barely suitable habitat" ; "suitable habitat" ; "highly suitable habitat" et "very highly suitable habitat")

%	very highly suitable habitat (0,8-1)	highly suitable habitat (0,6-0,8)	suitable habitat (0,4-0,6)	barely suitable habitat (0,2-0,4)	unsuitable habitat (0-0,2)
current	6.75	8.37	11.69	27.38	45.81
2050-rcp45	7.66	10.87	8.83	28.02	44.62
2050-rcp85	7.69	10.33	8.96	30.07	42.95
2070-rcp45	7.42	10.62	8.76	29.51	43.69
2070-rcp85	7.99	11.17	8.02	28.01	44.81

Tableau 6: Nous avons calculé l'aire de la distribution optimale (classée comme “highly suitable habitat” et “very highly suitable habitat”) de chaque projection et puis nous comparons des résultats de distributions prévues avec le résultat de distribution actuelle

%	highly or very highly suitable habitat (0,6-1)	augmentation comparé avec le taux actuel
current	15.12	-
2050-rcp45	18.53	+ 3.41
2050-rcp85	18.02	+ 2.90
2070-rcp45	18.04	+ 2.92
2070-rcp85	19.16	+ 4.04

IV. Discussion:

4.1. Non-climatique variables

Notre étude n'a utilisé que des données bioclimatiques, nous avons choisi de déterminer les effets des seules variables bioclimatiques et n'avons pas restreint les distributions actuelles et futures en ajoutant les variables non-climatiques, mais il reste nécessaire d'inclure d'autres variables influentes, telles que les variables physiologiques des arbres, la compétition, les capacités de dispersion, les caractéristiques du sol, géologie, etc., afin d'acquérir des prédictions plus pertinentes et plus précises sur l'adéquation des espèces à l'avenir. (Deb et al. 2017b)[20]

Nos résultats suggèrent qu'une zone plus vaste est adaptée au climat pour que *Cyperus eragrostis* se naturalise et se propage potentiellement dans le sud-ouest de la France par rapport à sa distribution actuelle. Cependant, cette espèce n'a pas agressivement colonisé toutes les zones appropriées, dans d'autres parties de la France. Cela pourrait être dû à d'autres paramètres tels que le sol, la compétition interspécifique, les barrières géographiques, les perturbations humaines et d'autres facteurs [21] [22].

Cependant, Nous pensons que des variables autres que le climat pourrait ajouter un pouvoir explicatif dans le modèle. Nous reconnaissons qu'une variable non-climatique importante qui a été montrée pour ajuster la distribution future des secteurs appropriés est la capacité de dispersion de l'espèce [23], malheureusement, nous n'avons pas regardé couvrir dans cette recherche. Dans notre études ultérieur sur les impacts du changement climatique sur ces espèces préoccupantes devraient aborder l'interaction entre le climat et d'autres variables non climatiques qui peuvent avoir des effets profonds sur les populations de *Cyperus eragrostis* et leur habitat.

4.2. Projections futures: incertitude

Bien qu'il y ait eu des différences de résultats entre les quatre modèles climatiques pour 2050 et 2070, toutes les prédictions ont entraîné une augmentation significative de la distribution actuelle des conditions bioclimatiques convenables sur les espèces de *Cyperus eragrostis*.

Bien que de nombreuses caractéristiques robustes puissent être identifiées dans les projections futures, de nombreuses limites associées à la projection des distributions d'espèces dans le futur selon différents scénarios climatiques ont été documentées. Trois grandes catégories d'incertitudes affectant les variables climatiques utilisées pour piloter les SDM incluent: (a) les incertitudes sur les futures concentrations de gaz à effet de serre [24], b) les limites de la précision des réponses climatiques physiques à grande échelle simulées par GCM à l'évolution des niveaux de gaz à effet de serre [25] et (c) les lacunes et hypothèses inhérentes aux méthodes de réduction d'échelle statistique affiner les résultats GCM à un niveau plus fin de détail spatial. [26, 27]

4.3. Des gestions de *Cyperus eragrostis*

Compte tenu de la légère augmentation de la distribution future du *Cyperus eragrostis* en France, nous pensons que des mesures appropriées peuvent être prises dans les zones côtières et dans le sud-ouest pour empêcher la propagation de cette plante. Mais globalement, cette espèce est moins menaçante. Il faut réaliser un outil de sensibilisation à destination des habitants, des élus, des paysagistes et des espaces verts des communes pour la prévention d'invasion. Nous pouvons également mener différentes méthodes de lutte comme le contrôle mécanique ou manuel regroupe l'arrachage, le fauchage, le moissonnage, le débroussaillage et la coupe ou le contrôle peut se faire par l'utilisation d'herbicides et de pesticides, mais les contrôles chimiques sont réglementées en raison de leur impact sur l'environnement, en particulier sur la qualité de l'eau. L'ensemble de tous les possibilités doivent donc être pris en considération pour élaborer des mesures de gestion adéquates.

VI. Conclusion

Dans cette étude, nous avons prédit la gamme potentielle de *Cyperus eragrostis* en France sous le changement climatique. L'espèce a une tendance au développement lent et à l'invasion tranquillement du sud-ouest vers le centre de la France. Cependant, nos prédictions peuvent avoir des limites dues au fait de ne pas considérer d'autres facteurs environnementaux et réponses diverses de cette espèce à un climat changeant. Nous concluons que les variables bioclimatiques seules ne permettent pas toujours de déterminer correctement les conditions appropriées actuelles ou futures. Nous recommandons d'identifier les bioclimatiques appropriées et de caractériser les variables non climatiques spécifiques à l'espèce afin d'éliminer les emplacements modélisés douteux.

Cependant, malgré les limites mentionnées, notre recherche fournit des connaissances de base pour comprendre les effets du changement climatique sur les habitats climatiquement adaptés de cette espèce en France. Pris ensemble, les résultats de la présente étude fournissent des informations primaires pour la planification de la conservation de la végétation côtière en France.

VII. Bibilographie:

1. Andy Reisinger, Richard Nottage, Prima Madan, GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, ..., 103 pages.2007.

www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf

2. Élodie Russier-Decoster, Matthieu Thune-Delplanque, UICN France, 2015. Les espèces exotiques envahissantes sur les sites d'entreprises. Livret 1 : Connaissances et recommandations générales, Paris, France, 40 pages, février 2016.

uicn.fr/wp-content/uploads/2016/09/UICN_Guide_EEE_entreprises_L1.pdf

3. Guilhan Paradis, Laetitia Hugot & Paula Spinosi. Les plantes envahissantes : une menace pour la biodiversité, Nature p18-26, Mai-Juillet 2008.

[www.tela-](http://www.tela-botanica.org/sites/botanique/fr/documents/biblio/articles_en_ligne/Stantari_Plantes_envahissantes_13.pdf)

botanica.org/sites/botanique/fr/documents/biblio/articles_en_ligne/Stantari_Plantes_envahissantes_13.pdf

4. Léa MISCHLER, La problématique des Plantes invasives et la situation en Franche-Comté, Bulletin de Serre Vivante n°36, p 9-12, 2012.

www.lavieduboncote.info/DOC%20PDF/plantes_invasives.pdf

5. Alain Dutartre, Yves Suffran, Changement climatique et invasions biologiques, Janvier 2011.

[www.gt-ibma.eu/wp-](http://www.gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2013/01/110211_ONEMA_CEMAGREF_ACTION_6_CHANGEEMENT_CLIMATIQUE.pdf)

content/uploads/2013/01/110211_ONEMA_CEMAGREF_ACTION_6_CHANGEEMENT_CLIMATIQUE.pdf

6. Neena Priyanka, Joshi PK, Effects of Climate Change on Invasion Potential Distribution of Lantana camara, J Earth Sci Clim Change 2013, 4:6.

www.omicsonline.org/effects-of-climate-change-on-invasion-potential-distribution-of-lantana-camara-2157-7617.1000164.php?aid=19353

7. Montserrat Vilà, Jeffrey D. Corbin, Jeffrey S. Dukes, Joan Pino, Stanley D. Smith, Linking Plant Invasions to Global Environmental Change, *Terrestrial Ecosystems in a Changing World* p 93-102, 2007.

citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.456.2203&rep=rep1&type=pdf

8. Alward, Richard D.; Detling, James K.; and Milchunas, Daniel G., "Grassland Vegetation Changes and Nocturnal Global Warming" (1999). Faculty Publications in the Biological Sciences. 150.

pdfs.semanticscholar.org/504b/6c457a3d516a949c9b420abb263593a6b31c.pdf

9. Zdravko Baruch, Robert B. Jackson, Responses of tropical native and invader C4 grasses to water stress, clipping and increased atmospheric CO2 concentration, *Oecologia* (2005) 145: 522–532.

jacksonlab.stanford.edu/sites/default/files/oecol05.pdf

10. Petr Petřík. *Cyperus eragrostis* – a new alien species for the Czech flora and the history of its invasion of Europe. Preslia, Praha, 75, 2003. P. 17–28.

11. GT IBMA. *Cyperus eragrostis*. Base d'information sur les invasions biologiques en milieux aquatiques. Groupe de travail national Invasions biologiques en milieux aquatiques. UICN France et Onema, 2016.
www.gt-ibma.eu/espece/cyperus-eragrostis/
12. ArcGIS for Desktop, 2016. Disponible à partir de: www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop
13. Graham, M.H., 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology* 84, 2809–2815. onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/02-3114/abstract
14. Dettlef P. van Vuuren. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* (2011) 109:5–31 link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0148-z
15. Araújo MB, New M (2007) Ensemble forecasting of species distributions. *Trends Ecol Evol* 22: 42-47. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17011070
16. Antti Takolander, Modeling climate change impacts on European tree species – Comparing statistical and dynamic models, University of Helsinki Department of Environment
17. Guisan, A., Zimmermann, N. E. 2000: Predictive habitat distribution models in ecology – *Ecological Modelling* 135: 147-186 www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/papers/ecomod135_147.pdf
18. Allouche, O., Tsoar, A., Kadmon, R. 2006: Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS) – *Journal of Applied Ecology* 43: 1223-1232 onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x/full
19. Yang, X.Q., Kushwaha, S.P.S., Saran, S., Xu, J., Roy, P.S., 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecol. Eng.* 51, 83–87 www.researchgate.net/publication/234100417_Maxent_modeling_for_predicting_the_potential_distribution_of_medicinal_plant_Justicia_adhatoda_L_in_Lesser_Himalayan_foothills
20. Deb, J.C., Phinn, S., Butt, N., McAlpine, C.A., 2017b. Climatic induced shifts in the distribution of teak (*Tectona grandis*) in tropical Asia: implications for forest management and planning. *Environ. Manage.* 60 (3), 422–435. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28474209
21. Pearson, R.G., Dawson, T.P., 2005. Long-distance plant dispersal and habitat fragmentation: identifying conservation targets for spatial landscape planning under climate change. *Biol. Cons.* 123, 389–401. citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.525.4599&rep=rep1&type=pdf
22. Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190, 231–259 www.cs.princeton.edu/~schapire/papers/ecolmod.pdf
23. Bateman BL, Murphy HT, Reside AE, et al. (2013) Appropriateness of full-, partial- and no-dispersal scenarios in climate change impact modelling. *Divers Distrib* 19: 1224-1234. silvis.forest.wisc.edu/sites/default/files/uploads/pubs/Bateman%20et%20al%202013%20dispersal%20scenarios%20in%20print.pdf
24. Meinshausen M (2011) The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Clim Change* 109: 213. link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0156-z
25. Knutti R, Sedláček J (2013) Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nat Clim Change* 3: 369-373. www.nature.com/articles/nclimate1716
26. Barsugli JJ (2013) The practitioner's dilemma: How to assess the credibility of downscaled climate projections. *Eos Trans Am Geophys Union* 94: 424-425. agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/2013EO460005
27. Dixon KW (2016) Evaluating the stationarity assumption in statistically downscaled climate projections: is past performance an indicator of future results? *Clim Change* 135: 395-408. link.springer.com/article/10.1007/s10584-016-1598-0