

2.2 Sensibilité climatique des espèces animales

2.2.1 Déterminants de la répartition d'espèces sentinelles en Nouvelle-Aquitaine

Auteurs : Olivier Lourdais, Michaël Guillon

Les travaux de modélisation du CEBC sur les espèces d'amphibiens et reptiles ont débuté en septembre 2018. Le premier axe de recherche qui a été rapidement mise en œuvre s'est concentré sur les aspects de modélisations spatiales. Afin de prédire le plus robustement possible les effets des changements climatiques sur la répartition des espèces l'objectif de ces premiers travaux a été d'identifier l'ensemble des variables climatiques qui définissent les niches climatiques de chacune des espèces. En s'appuyant d'une part sur la connaissance de l'écologie, de la biologie et de la physiologie des espèces, et d'autre part sur les hypothèses des effets mécaniques des changements climatiques sur ces différents niveaux et leurs effets supposés sur la répartition observée de chaque espèce, un ensemble de variables a été identifié comme pertinente pour tester leur capacité à prédire la répartition actuelle des espèces.

Cette étude préliminaire se concentre donc sur les seuls aspects de modélisations corrélatives. Le principal but a été ici d'identifier les variables climatiques essentielles à prendre en considération pour prédire de manière robuste la répartition actuelle des espèces et leur répartition future sous les effets des scénarios de changements climatiques mise à disposition. Une fois les variables climatiques identifiées, l'objectif suivant sera de modéliser au plus près la répartition actuelle des espèces en injectant les variables topographiques et d'habitats. Nous utiliserons également une autre méthode statistique plus robuste mais aussi permettant de prendre en considération différents biais statistique. Pour cela, la plateforme BIOMOD2 et le modèle statistique GAM seront utilisés pour réaliser les modélisations ultérieures.

Ces analyses se sont concentrées sur les anciennes régions Aquitaine et Limousin par l'absence de données sur l'ancienne région Poitou-Charentes. Les Partenariats et conventionnement sont en cours d'élaboration et prévus pour 2019.

- **Matériel et méthodes**

- **Les espèces**

En marge de répartition, les espèces à affinités climatiques froides sont particulièrement dépendantes de conditions climatiques et microclimatiques spécifiques. Elles devraient être particulièrement vulnérables aux problématiques de changements climatiques globaux (Lourdais et al. 2013, Guillon et al. 2014). Trois genres ont été considérés dans ce programme de recherche :

- 1) Amphibiens anoures du genre *Hyla* (REINO et al., 2017) représenté en Nouvelle-Aquitaine par trois espèces à affinités climatiques et répartition contrastées : *Hyla arborea* (climat tempéré,

- répartition médio européenne) et *Hyla moelleri* (climat tempéré, répartition ibérique), *Hyla meridionalis* (climat méditerranéen),
- 2) Reptiles squamates du genre *Zootoca* (FOUCART, 2015) représenté par une espèce mais deux sous-espèces possédant deux modes de reproduction différents et à répartition contrastée : *Zootoca vivipara vivipara* (mode de reproduction vivipare, climat boréal, répartition paléarctique) et *Zootoca vivipara louislantzi* (mode de reproduction ovipare, climat montagnard à répartition pyrénéo-ibérique),
 - 3) Reptiles squamates du genre *Vipera* (GUILLON, 2012) représenté par 3 espèces à affinités climatiques et répartition contrastées : *Vipera berus* (climat boréal, répartition paléarctique), *Vipera seoanei* (climat montagnard à répartition ibérique) et *Vipera aspis* (climat tempéré, répartition médio européenne).

Dans ce contexte il est possible de comparer, au sein des 3 genres considérés, les déterminants de la présence d'espèces à répartitions contrastées.

Les données utilisées représentent des observations non formalisées de type « présence seule ». Ainsi, aucune donnée d'absence n'a été intégrée dans le cadre de cette étude préliminaire. Les bases de données des associations Cistude Nature (ex-Aquitaine) et du GMHL (ex-Limousin) ont été utilisées sur la période 1967 à 2018. L'ensemble représente un nombre important d'observation par espèces (Tab. I).

Tab. I. Bilan du nombre d'observations précises utilisé pour les modélisations.

Espèces	Nombre de points précis (infra kilométrique)
<i>Hyla arborea</i>	310 observations
<i>Hyla molleri</i>	215 observations
<i>Hyla meridionalis</i>	1475 observations
<i>Zootoca v vivipara</i>	479 observations
<i>Zootoca v louislantzi</i>	494 observations
<i>Vipera aspis</i>	392 observations
<i>Vipera berus</i>	102 observations
<i>Vipera seoanei</i>	70 observations

- Variables environnementales considérées

L'ensemble des variables climatiques à notre disposition et pertinentes ont été compilés issu de différentes sources (Météo France AURELHY, WorldClim V2.0, www.cmsaf.eu, PVGIS). L'ensemble représente 23 variables possédant une résolution spatiale de 7 km à 100 m (Tab. II). Les 23 variables ont été transformées afin de bénéficier d'une résolution spatiale de travail la plus importante (100m) et la corrélation deux à deux a été quantifié (Tab. II) :

- Variables d'insolation : irradiation effective des mois d'avril juin et aout ;
- Variables de température : température maximum, minimum et moyenne sur les périodes annuelles, hivernales et estivales, cumul des degrés jours annuel ;
- Variables d'humidité : index d'humidité estival, potentiel évapotranspiration d'avril, juin et août ;
- Variables de précipitations : cumul annuel et estival.
- Aucune variable topographique ou d'habitat n'a été utilisée dans cette première étape.



Tab. II. Table de corrélation des variables climatiques utilisées pour les modélisations préliminaires

	cmsaf04	cmsaf06	cmsaf08	cmsafyear	PET04	PET06	PET08	mi68	prec13	prec678	precsummer	precwinter	ddg5	tmax13	tmax0112	tmaxsummer	tmaxwinter	tave678	tmeansummer	tmeanwinter	tmin13	tminsummer	tminwinter
cmsaf04	1,000	0,902	0,911	0,917	0,582	0,485	0,457	-	-	-	-0,801	-0,682	0,518	0,463	0,470	0,581	0,287	0,611	0,610	0,400	0,520	0,530	0,499
cmsaf06	0,902	1,000	0,954	0,818	0,394	0,446	0,369	0,826	0,751	0,808	-0,754	-0,597	0,218	0,178	0,187	0,378	-0,025	0,340	0,340	0,091	0,234	0,244	0,220
cmsaf08	0,911	0,954	1,000	0,906	0,462	0,446	0,437	0,695	0,695	-	-0,745	-0,608	0,355	0,304	0,316	0,471	0,107	0,462	0,459	0,219	0,354	0,367	0,332
cmsafyear	0,917	0,818	0,906	1,000	0,649	0,452	0,513	-	-	-0,673	-0,668	-0,524	0,654	0,598	0,611	0,645	0,459	0,715	0,710	0,546	0,630	0,646	0,603
PET04	0,582	0,394	0,462	0,649	1,000	0,846	0,903	0,744	-	-	-0,585	-0,617	0,714	0,800	0,808	0,899	0,605	0,844	0,835	0,598	0,584	0,629	0,540
PET06	0,485	0,446	0,446	0,452	0,846	1,000	0,955	0,749	0,624	0,596	-0,614	-0,708	0,290	0,418	0,420	0,704	0,133	0,513	0,510	0,136	0,181	0,241	0,129
PET08	0,457	0,369	0,437	0,513	0,903	0,955	1,000	0,661	0,726	0,626	-0,564	-0,636	0,436	0,560	0,565	0,779	0,304	0,627	0,620	0,294	0,306	0,363	0,257
mi68	-0,826	-0,695	-0,713	-0,744	-	-	-	1,000	0,850	0,926	0,917	0,784	-	-	-0,615	-0,759	-0,388	-0,731	-0,726	-0,473	-	-0,567	-0,533
prec13	-0,751	-0,695	-0,695	-0,593	0,749	0,661	0,645	0,850	1,000	0,910	0,910	0,977	0,606	0,606	-	-0,608	-0,045	-	-0,459	-0,108	0,553	-0,240	-0,173
prec678	-0,808	-0,759	-0,750	-0,673	0,624	0,726	0,651	0,926	0,910	1,000	0,993	0,823	0,267	0,326	-0,321	-0,601	-0,144	-	-0,525	-0,245	0,208	-0,361	-0,344
precsummer	-0,801	-0,754	-0,745	-0,668	0,596	0,626	0,575	0,917	0,910	0,993	1,000	0,822	0,384	0,384	-0,393	-0,601	-0,144	0,529	-0,523	-0,245	0,354	-0,360	-0,342
precwinter	-0,682	-0,597	-0,608	-0,524	0,585	0,614	0,564	0,917	0,910	0,993	1,000	0,822	0,375	0,382	-0,383	-0,598	-0,144	-0,518	-0,523	-0,245	0,353	-0,360	-0,342
ddg5	0,518	0,218	0,355	0,654	0,617	0,708	0,636	0,784	0,977	0,823	0,822	1,000	0,261	0,333	-0,326	-0,603	-0,063	0,440	-0,449	-0,106	0,188	-0,227	-0,147
tmax13	0,463	0,178	0,304	0,598	0,606	0,267	0,384	-	-	-	-0,375	-0,261	1,000	0,935	0,954	0,778	0,923	0,963	0,950	0,965	0,945	0,941	0,934
tmax0112	0,470	0,187	0,316	0,611	0,606	0,326	0,384	0,606	0,326	0,384	-0,382	-0,333	0,935	1,000	0,985	0,900	0,936	0,935	0,942	0,910	0,811	0,816	0,804
tmaxsummer	0,581	0,378	0,471	0,645	0,615	0,321	0,393	0,615	0,321	0,393	-0,383	-0,326	0,954	0,985	1,000	0,878	0,927	0,952	0,936	0,910	0,821	0,824	0,814
tmaxwinter	0,287	-0,025	0,107	0,459	0,759	0,608	-0,601	-	-	-0,598	-0,603	-0,603	0,778	0,900	0,878	1,000	0,692	0,887	0,901	0,676	0,626	0,650	0,601
tave678	0,611	0,340	0,462	0,715	0,388	0,045	0,144	-	-	-	-0,144	-0,063	0,923	0,936	0,927	0,692	1,000	0,837	0,840	0,968	0,842	0,829	0,850
tmeansummer	0,610	0,340	0,459	0,710	0,731	0,452	0,529	0,731	0,452	0,529	-0,518	-0,440	0,963	0,935	0,952	0,887	0,837	1,000	0,987	0,882	0,890	0,906	0,863
tmeanwinter	0,400	0,091	0,219	0,546	0,726	0,459	0,525	0,726	0,459	0,525	-0,523	-0,449	0,950	0,942	0,936	0,901	0,840	0,987	1,000	0,886	0,897	0,915	0,867
tmin13	0,520	0,234	0,354	0,630	0,473	0,108	0,245	-	-	-	-0,245	-0,106	0,965	0,910	0,910	0,676	0,968	0,882	0,886	1,000	0,945	0,925	0,955
tminsummer	0,530	0,244	0,367	0,646	0,553	0,208	0,354	0,553	0,208	0,354	-0,353	-0,188	0,945	0,811	0,821	0,626	0,842	0,890	0,897	0,945	1,000	0,990	0,989
tminwinter	0,499	0,220	0,332	0,603	0,567	0,240	-	0,567	0,240	-	-0,360	-0,227	0,941	0,816	0,824	0,650	0,829	0,906	0,915	0,925	0,990	1,000	0,961
	0,499	0,220	0,332	0,603	0,533	0,173	0,344	0,533	0,173	0,344	-0,342	-0,147	0,934	0,804	0,814	0,601	0,850	0,863	0,867	0,955	0,989	0,961	1,000



cmsaf04 : irradiation d'avril ; cmsaf06 : irradiation de juin ; cmsaf08 : irradiation d'aout ; cmsafyear : irradiation annuelle ; PET04 : Evapotranspiration d'avril ; PET06 : Evapotranspiration de juin ; PET08 : Evapotranspiration d'aout ; mi68 : index d'humidité estival ; prec13 : précipitations annuels (1km) ; prec678 : précipitation estivales (100m) ; precsummer : précipitation estivales (1 km) ; precwinter : précipitation hivernales (1 km) ; ddg5 : degrés jour annuel ; tmax13 : température maximale annuelle (1km) ; tmax0112 : température maximale annuelle (100m) ; tmaxsummer : température maximale estivale (1 km) ; tmaxwinter : température maximale hivernale (1km) ; tave678 : température moyenne estivale (100m) ; tmeansummer : température moyenne estivale (1 km) ; tmeanwinter : température moyenne hivernale (1 km) ; tmin13 : température minimale annuelle (1 km) ; tminsummer : température minimale estivale (1km) ; tminwinter : température minimale hivernale (1km).

– Modélisation

Ce travail préliminaire de modélisation de niche écologique a été réalisé par l'intermédiaire du logiciel MaxEnt (Maximum Entropy Species Distribution Modeling, Version 3.4.1) (PHILLIPS *et al.*, 2017).

De par l'objectif exploratoire de cette étude, l'utilisation du logiciel s'est basée sur des répétitions d'analyses. Cette méthode utilise les répétitions d'une même analyse mais en sélectionnant au hasard à chaque fois parmi les observations de présence un nouveau jeu de données équivalent en nombre nommé « Bootstrap ». Cette méthode permet de conserver l'ensemble du jeu de données d'observations par l'accumulation des répétitions mais également de juger de l'incertitude des prédictions liée notamment aux variables environnementales. Cette approche peut calculer les probabilités de présence calculée à partir de toutes les répétitions (min, médiane, moyenne, max, écart type) sans pouvoir déterminer un seuil sur des prédictions binaires (présence/absence). Ainsi, dans le souci de compris entre le temps de calcul et la qualité des prédictions, 10 répliques ont été réalisés par la méthode de « Bootstrap ». Les prédictions des 10 modèles sont exprimées en probabilités de présence. La répartition potentielle de l'espèce a été assimilée aux valeurs maximums des probabilités de présence obtenues sur les 10 prédictions.

– Autres logiciels

Les logiciels SIG QGIS 2.18.24 (Quantum GIS Development Team, 2018) et le logiciel de traitement et d'analyse statistique R 3.5.1 (R Core Team, 2018) ont été indispensables pour traiter et préparer les variables environnementales spatialisées et les jeux de données de présence.

• Résultats exploratoires

– Résultats sur les rainettes du genre *Hyla*

Au sein du genre *Hyla*, la variable de température minimale hivernale (fortement corrélée aux températures annuelles ou moyennes mensuelles) fait partie des variables les plus explicatives. Du fait de la corrélation des différentes variables de températures, un choix sera à faire pour trouver la variable la plus pertinente écologiquement. La température maximale estivale joue un rôle secondaire comme l'irradiation de juin mais restent toutes deux importantes dans la construction des modèles. L'indice d'humidité est un facteur qui semble également très pertinent notamment pour des différences entre *H. meridionalis* et les deux autres espèces car sa présence semble liée à des gradients plus importants et plus faibles ce qui supporte la prédiction générale d'avoir les espèces de milieux frais plus sensibles à la déshydratation que les espèces méridionales (Fig. 3–Fig. 6).

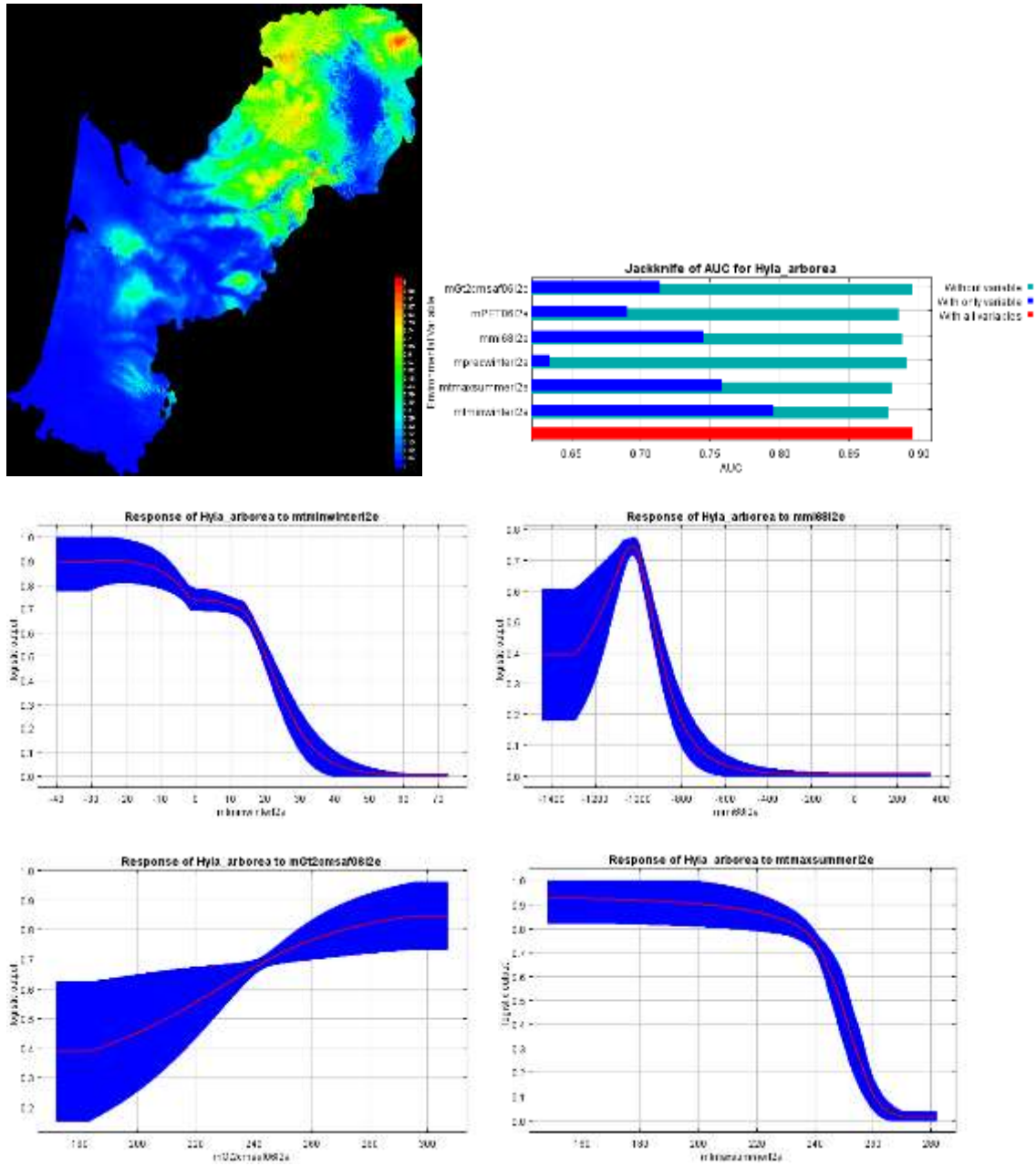


Fig. 3. *Hyla arborea*: AUC = 0.913

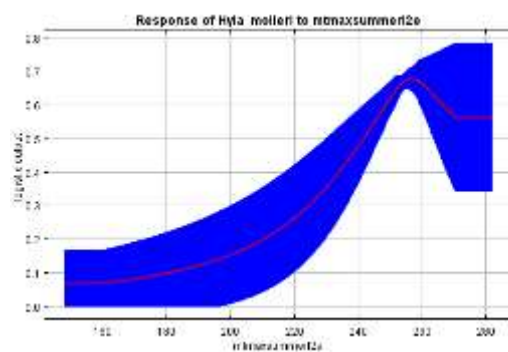
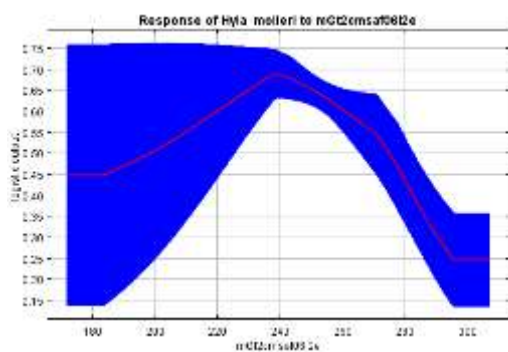
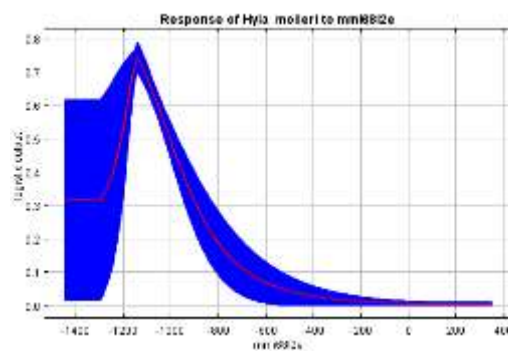
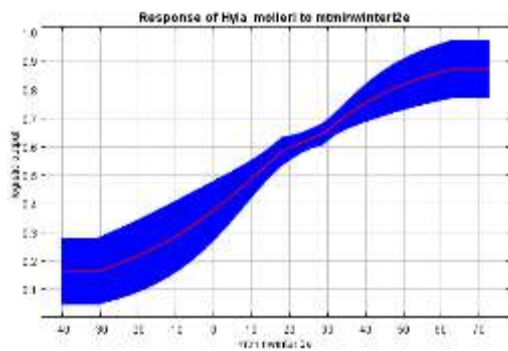
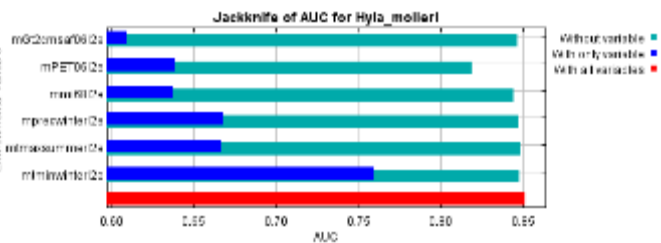
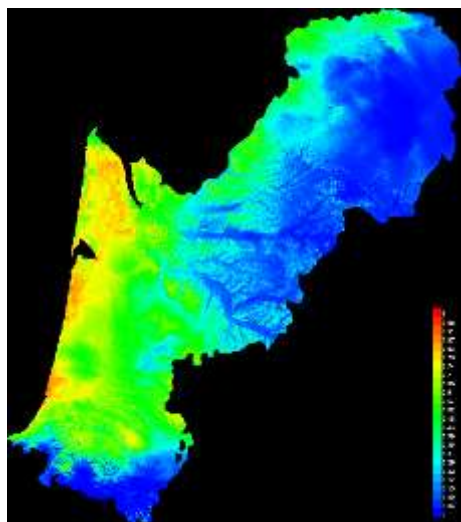


Fig. 4. *Hyla molleri*: AUC = 0.884

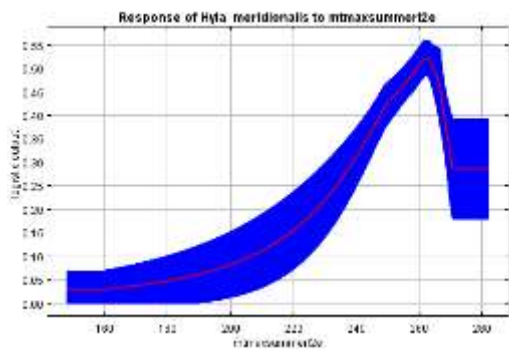
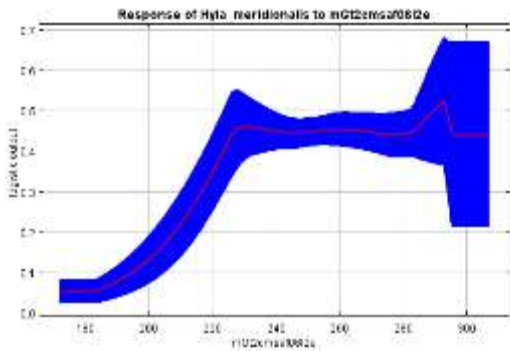
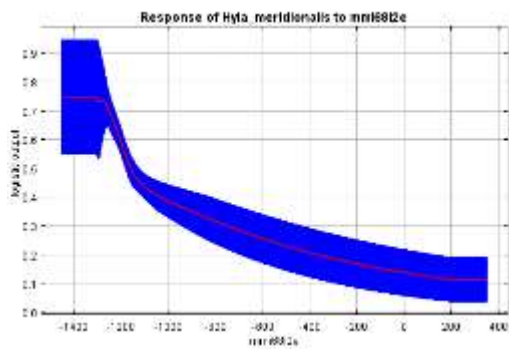
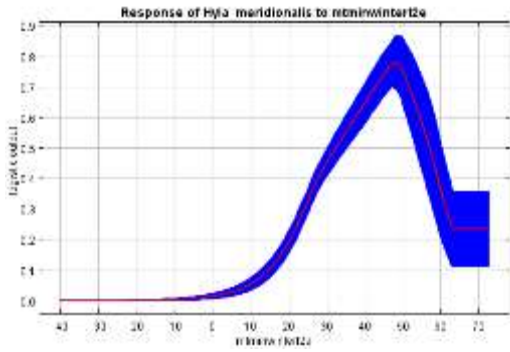
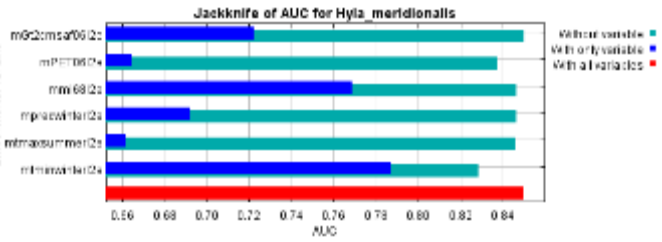
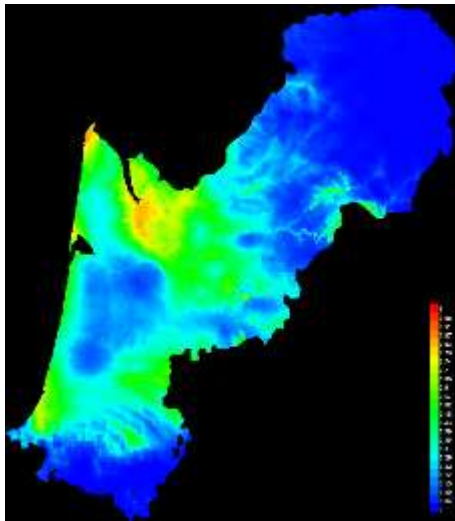


Fig. 5. *Hyla meridionalis*: AUC = 0.857

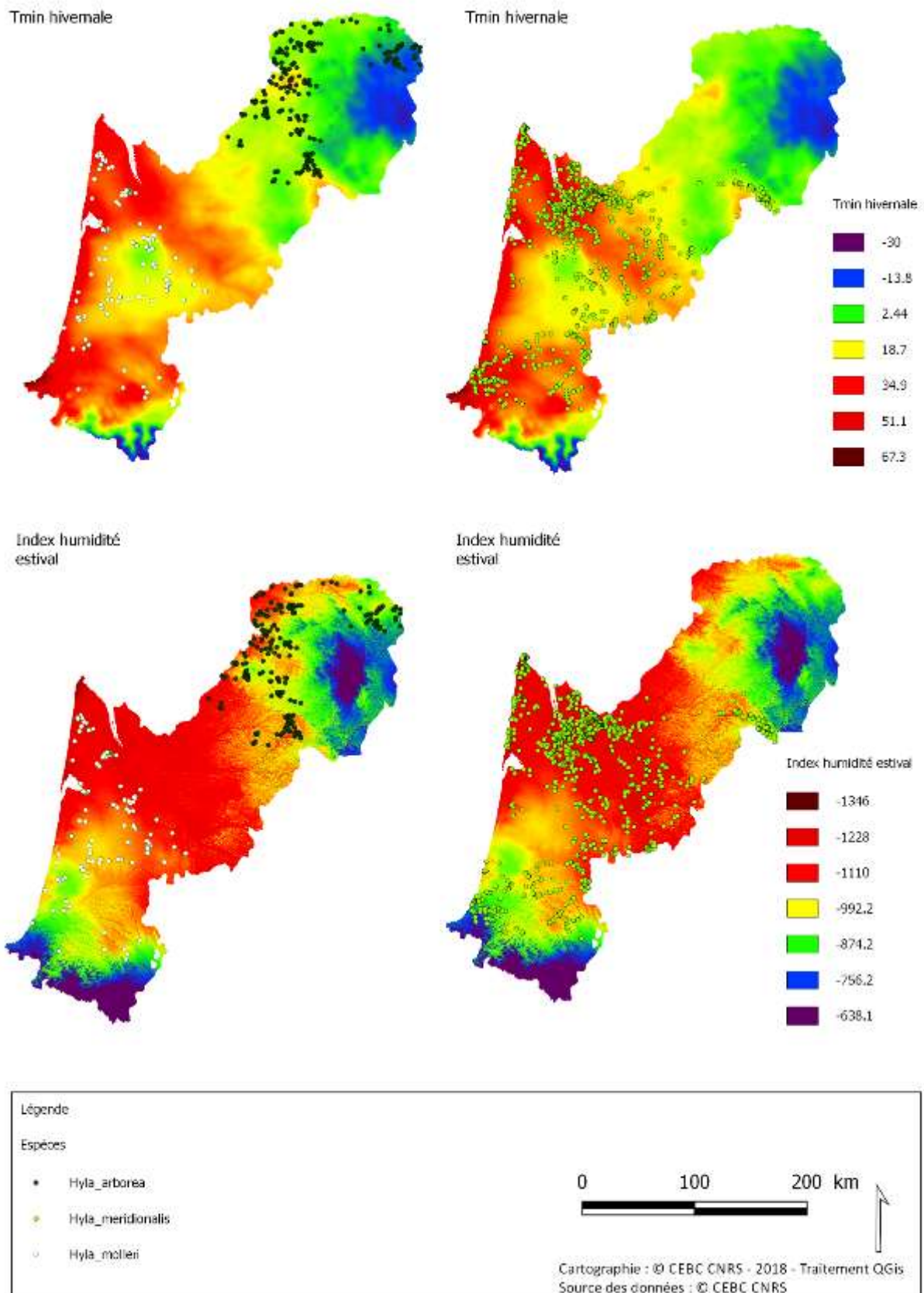


Fig. 6. Sensibilité climatique de *Hyla arborea*, *H. meridionalis*, *H. molleri*.

– Résultats sur les lézards du genre *Zootoca*

Pour les lézards du genre *Zootoca* la variable de température maximale annuelle (fortement corrélée aux températures maximales estivales et aux degrés jours) fait partie des variables les plus explicatives. Du fait de la corrélation des différentes variables de températures, un choix sera à faire pour trouver la variable la plus pertinente écologiquement. Les précipitations et l'irradiation printanière semblent également importantes même si les modèles ont eu des difficultés à le montrer lié aux contraintes statistiques propres au modèle statistique utilisé (Maxent). Les modélisations ultérieures avec un autre modèle statistique permettront de tester cet aspect. Ces résultats semblent également montrer que les populations ovipares de plaines bénéficient de conditions microclimatiques favorables leur permettant de se maintenir dans un environnement chaud. Cet aspect sera spécifiquement testé dans les prochaines modélisations (Fig. 7–Fig. 9).

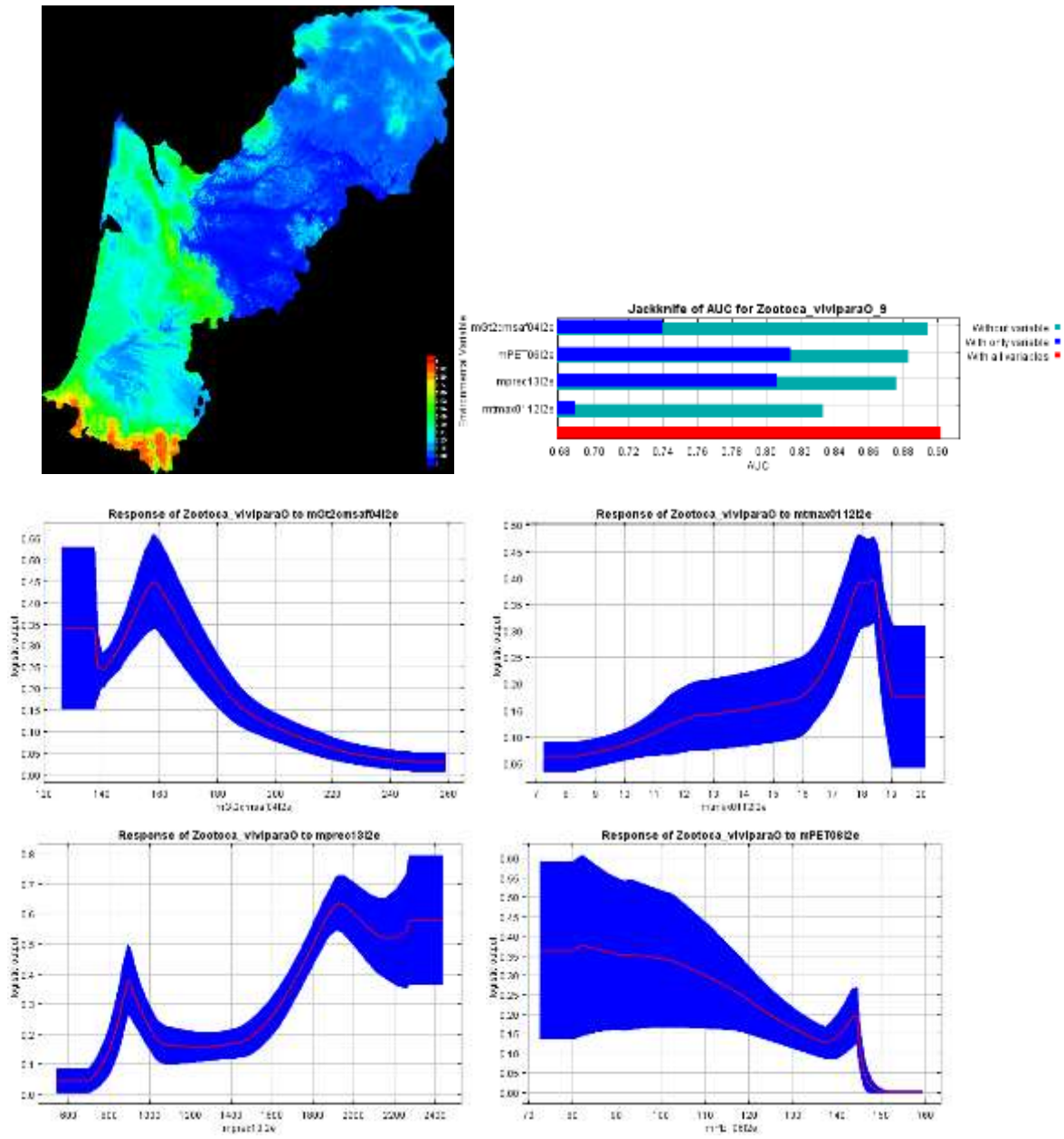


Fig. 7. *Zootoca vivipara ovipare* : AUC = 0.911

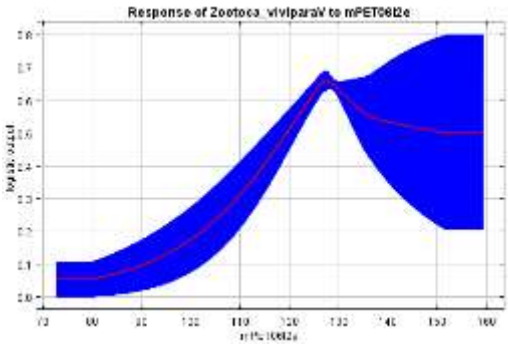
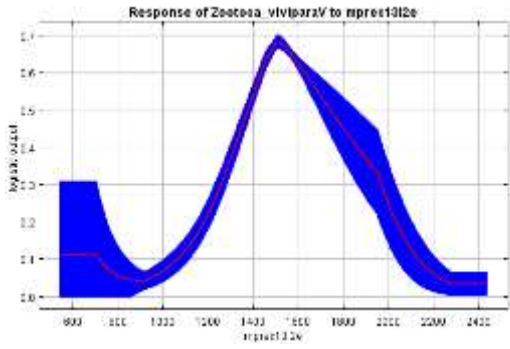
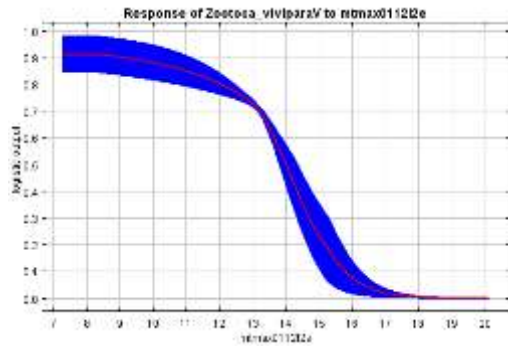
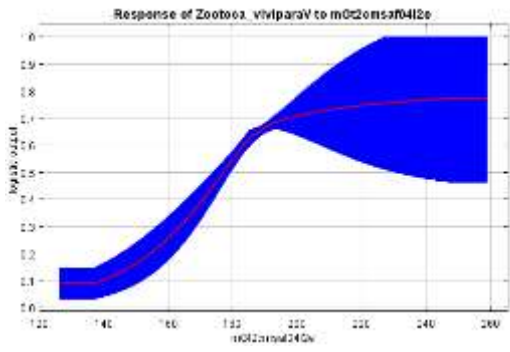
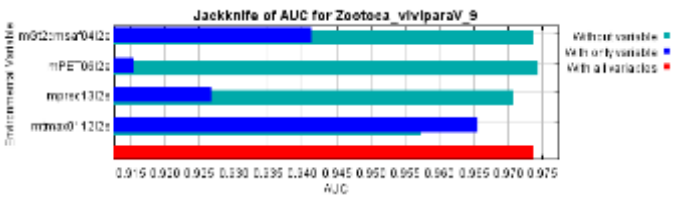
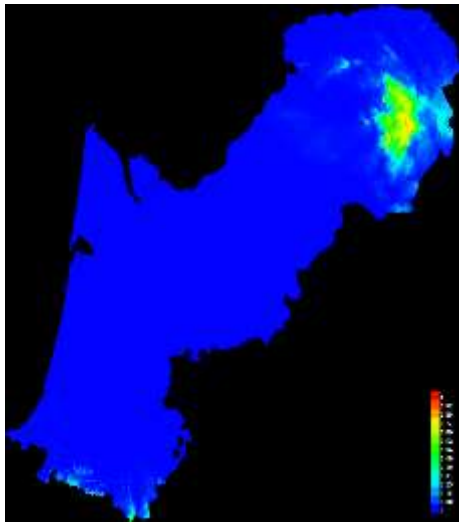


Fig. 8. *Zootoca vivipara vivipare* : AUC = 0.979

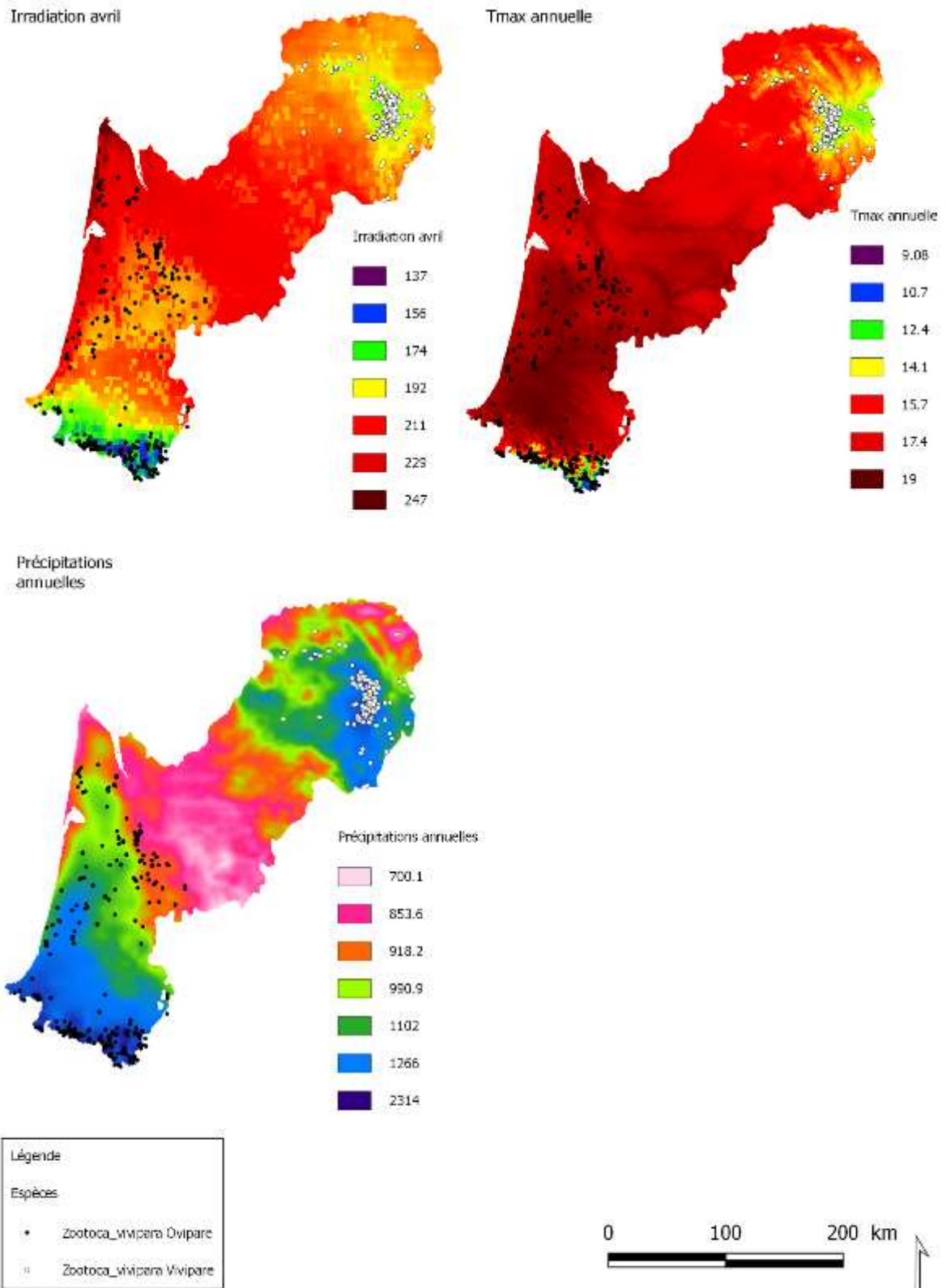


Fig. 9. Sensibilité climatique de *Zootoca vivipara* ovipare et vivipare.

– Résultats sur les serpents du genre *Vipera*

Pour les vipères, la température maximale estivale fait partie des variables les plus explicatives. Ensuite chaque espèce présente des variables plus explicatives différentes telles que l'irradiation de juin, la température minimale hivernale et les précipitations hivernales. La combinaison température maximale estivale et irradiation sera à tester pour la Vipère de Seoane dans les modélisations futures. La Vipère aspic est l'espèce la moins bien prédite ce qui était attendu (effet classique pour les espèces réparties sur la majeure partie d'un territoire). Les variables topographiques et d'habitats permettront d'ajouter des éléments essentiels pour améliorer les prédictions des modèles pour ces trois espèces.

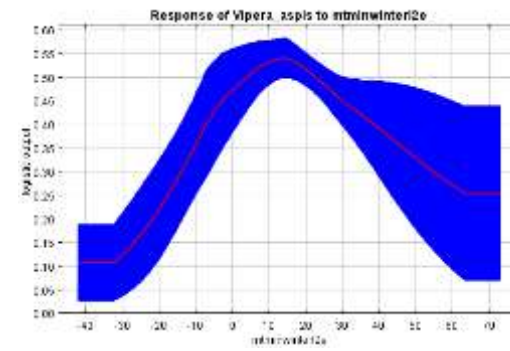
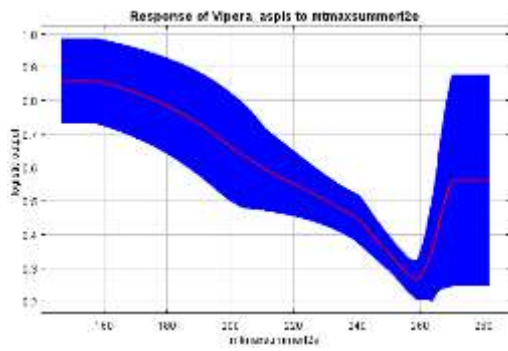
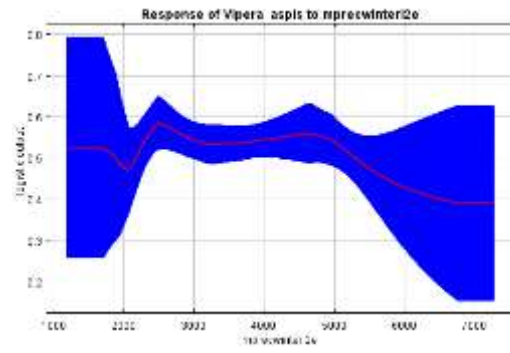
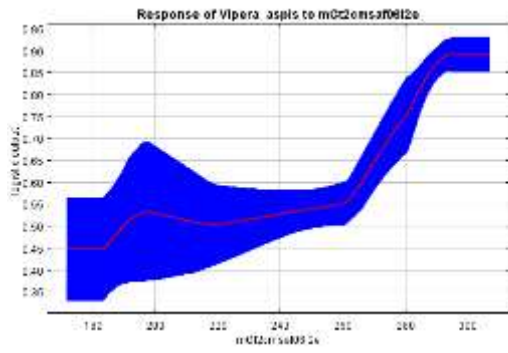
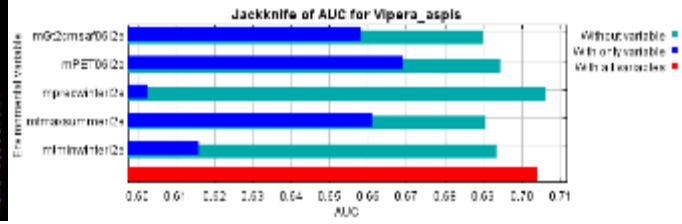
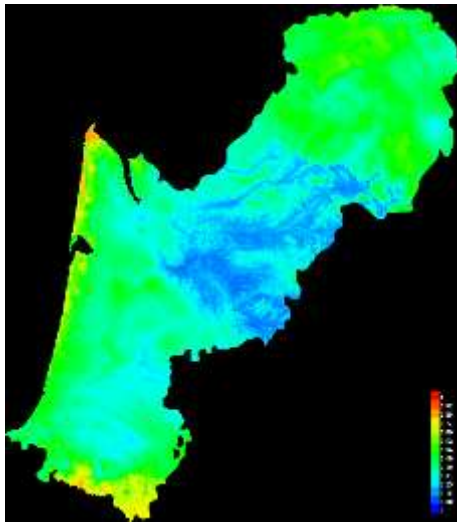


Fig. 10. *Vipera aspis*: AUC = 0.759

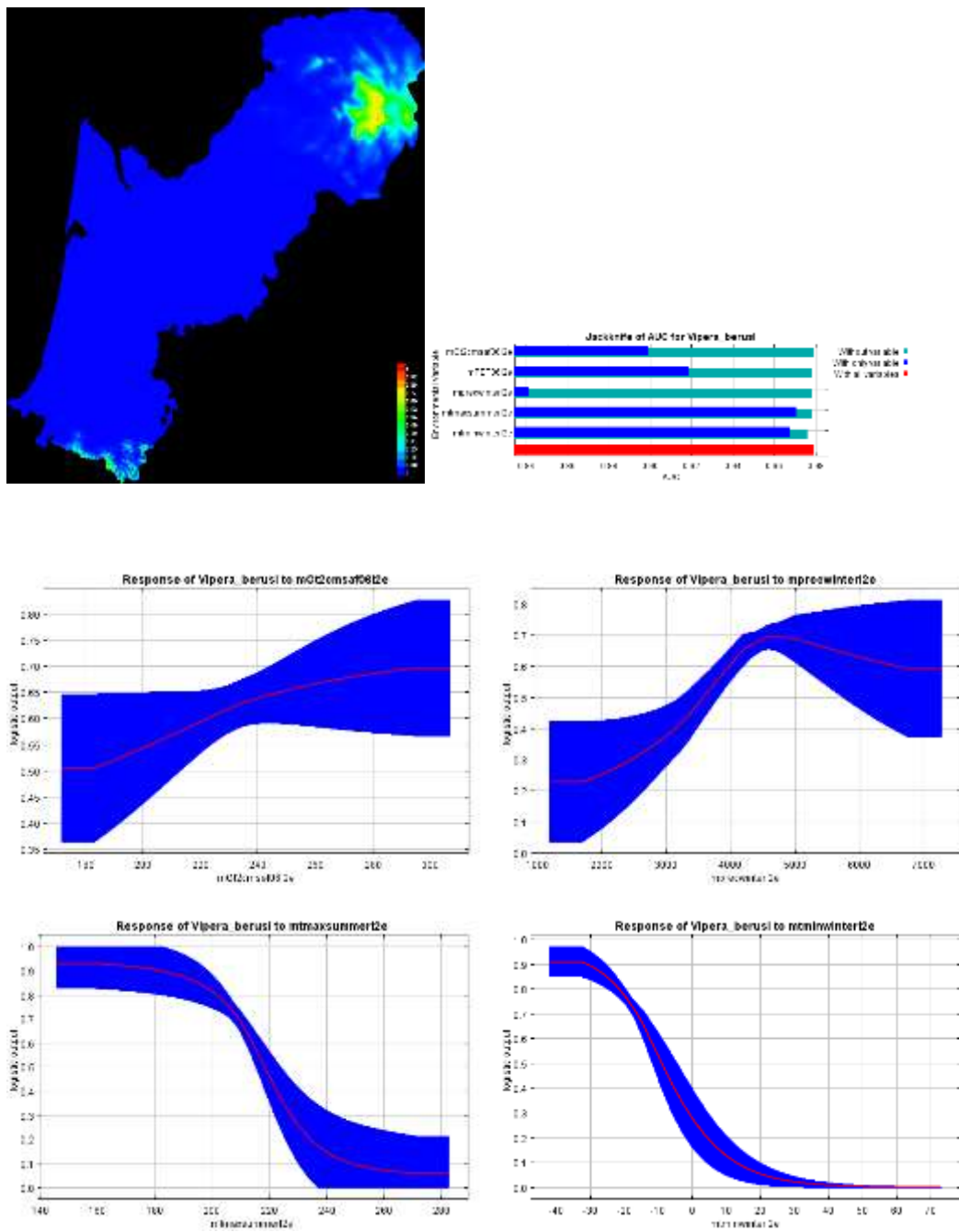


Fig. 11. *Vipera berus*: AUC = 0.982

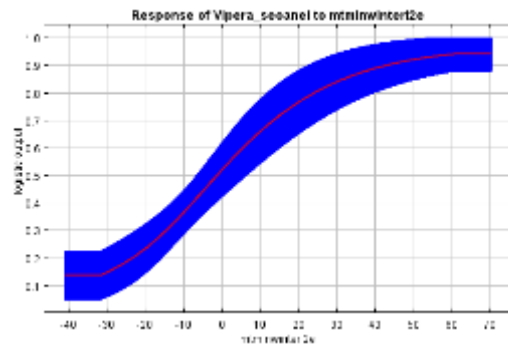
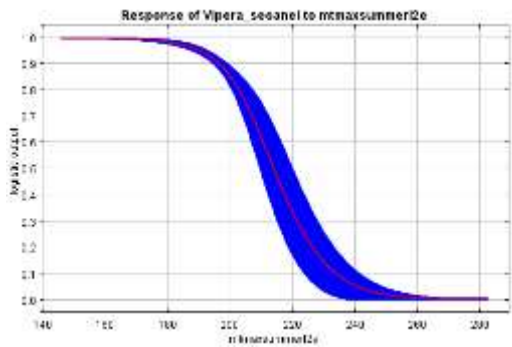
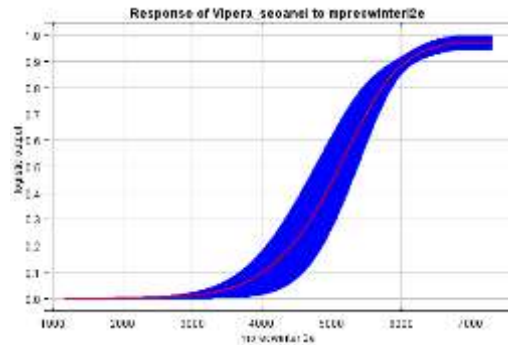
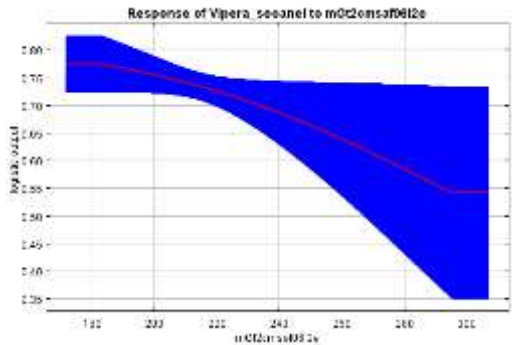
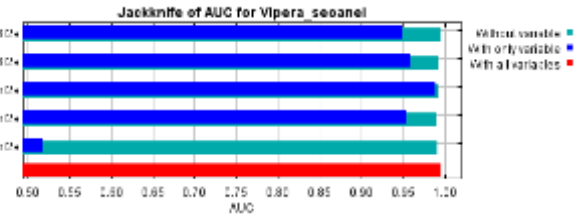
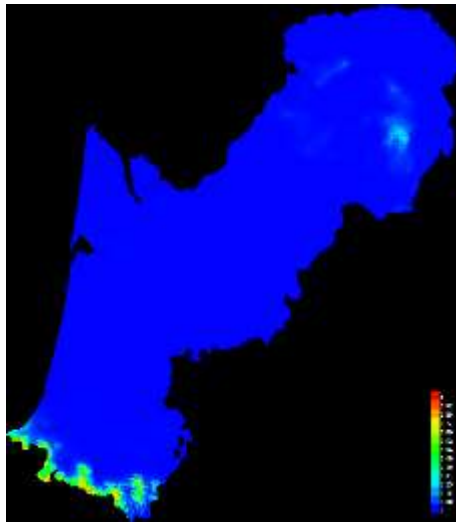


Fig. 12. *Vipera seoanei*: AUC = 0.996

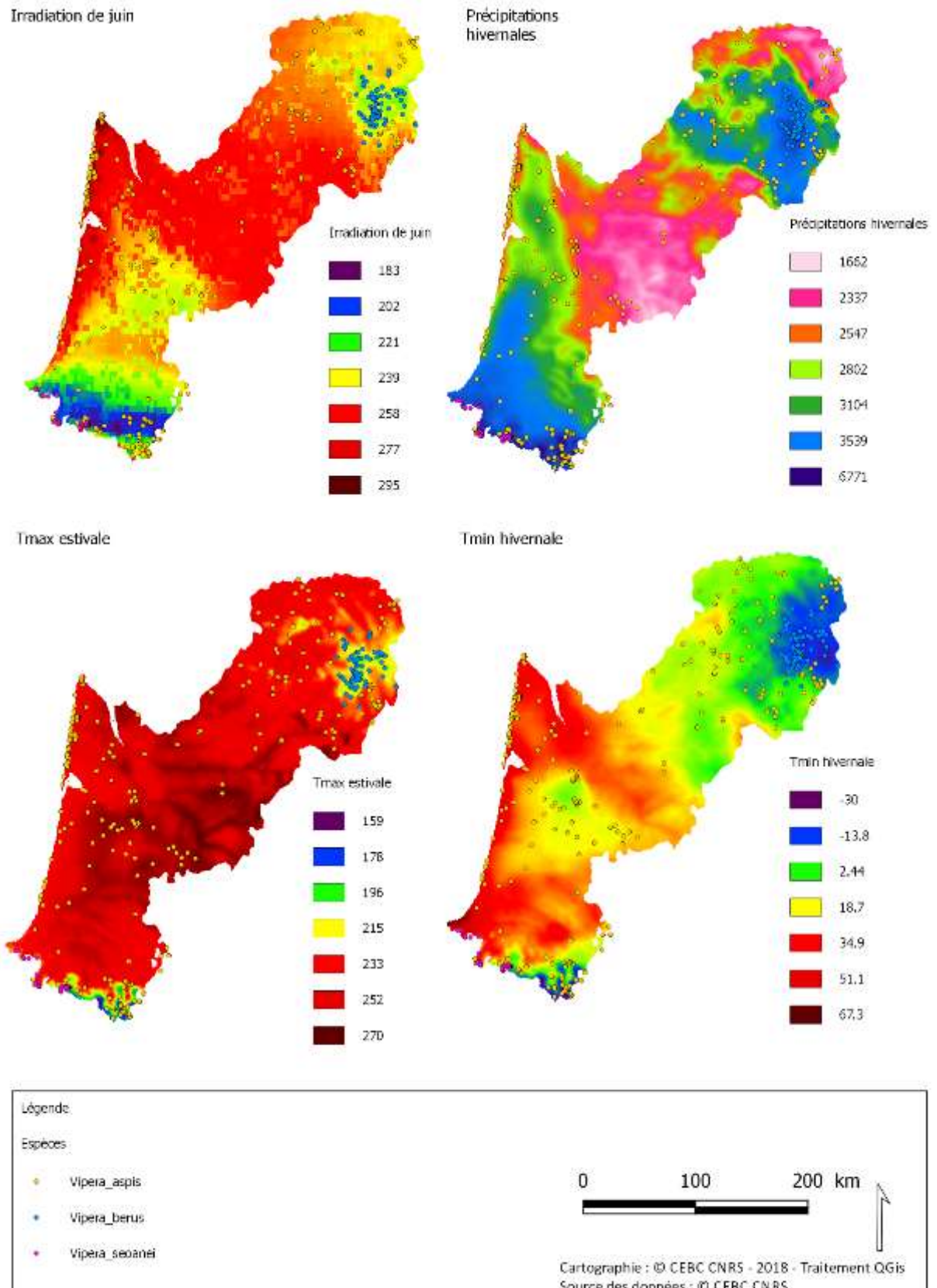


Fig. 13. Sensibilité climatique de *Vipera aspis*, *V. berus*, *V. seoanei*

- Discussion — Perspectives d'analyses et de recherche

a) Approche corrélative et réponses aux changements climatiques

Pour les prochaines analyses, l'outil BIOMOD sera mobilisé. Cette plateforme de calcul déployée sous R permet notamment de tester des hypothèses spécifiques sur la composition de la niche écologique des espèces en mettant en compétition de nombreux modèles. En parallèle, une seule méthode statistique sera utilisée (GAM – Modèles additifs généralisés) permettant de construire des relations mathématiques entre les probabilités de présence et les gradients de chaque variable environnementale écologiquement cohérentes. Ceci est un élément premier pour répondre à un objectif général de prédire de manière robuste les répartitions actuelles et les réponses spatiales futures des espèces sentinelles.

De nouvelles variables potentiellement très explicatives seront ajoutées:

- Topographiques : cet aspect peut avoir de fortes influences à travers des effets ombrages, exposition, pente,
- Zones humides : ces données seront importantes pour tester l'influence des zones humides et notamment des lagunes en plaines. Ces données seront complémentaires des informations topographiques,
- Données habitats : la mobilisation des données sur les paysage sera réalisée pour tester la nature des effets qui peuvent être complémentaires des conditions climatiques.

Des variables climatiques plus robustes seront mobilisées:

Une démarche auprès des services de Météo France est en cours afin de sélectionner les variables et les résolutions spatiales les plus pertinentes en lien avec i) les résultats obtenus par l'étude corrélative préliminaire de 2018 ainsi que ii) les prédictions et connaissances écopysiologiques des espèces. Cette démarche se concentre sur l'acquisition de données issues du modèle SAFRAN de Météo France, l'utilisation de variables explicatives dont certaines non classiquement utilisées (irradiation effective / nébulosité) et de scénarios de changements climatiques régionaux.

b) Approche écopysiologique et modélisation mécaniste

Nous prévoyons de collecter des données physiologiques ciblées (pertes hydriques, métabolisme respiratoire, rythme cardiaque) chez les 3 espèces de rainettes et les lézards du genre *Zootoca*. Ces données seront obtenues sur des individus capturés en nature qui seront amenés en captivité pour des périodes de courtes durées (1 mois). Ces données permettront tout d'abord de comparer les espèces (rainettes du genre *Hyla*) mais également les populations de plaine et de montagne (lézards du genre *Zootoca*). Ces mesures seront réalisées en lien avec d'autres programmes en cours et notamment l'ANR AQUATHERM (coordinateur J.-F. Le Galliard chercheur au CNRS) et le programme régional AQUASTRESS (coordinateur O. Lourdis chercheur au CEBC). Des équipements spécifiques de pointe, disponibles au CEBC seront mobilisés. Il s'agit notamment d'enceintes climatiques, d'appareil de mesure de pertes hydriques cutanées (Aquaflux) et de respirométrie (Sable Systems).

Ces données seront tout d'abord valorisées par des publications comparatives sur les contrastes entre espèces et populations. Elles serviront en parallèle de support à l'élaboration des modèles mécanistes pour prédire les effets des scénarios régionaux de changements climatiques sur la physiologie des espèces. Les modèles mécanistes demandent une connaissance approfondie de la

physiologie des organismes. Malgré le fait qu'ils possèdent souvent un pouvoir prédictif plus réduit sur la répartition observée des espèces que les modèles corrélatifs, cette approche propose un pouvoir explicatif bien plus important sur les facteurs proximaux limitant la répartition des organismes (KEARNEY & PORTER, 2004 ; CHAMAILLE-JAMMES *et al.*, 2006 ; KEARNEY & PORTER, 2009 ; BUCKLEY, 2010). Elle permet aussi d'adresser des situations où l'espèce n'est pas en équilibre avec son environnement (KEARNEY *et al.*, 2008). Cette approche en plein développement ouvre de larges possibilités pour mieux cerner la répartition des espèces (KEARNEY & PORTER, 2009).

c) Analyses génétiques

L'étude des variations génétiques est particulièrement importante pour les espèces sentinelles du climat. Par exemple, chez les vipères, des travaux précédents ont permis de mettre en évidence une zone refuge dans le Sud-Ouest de la France et tester des hypothèses sur la colonisation post glaciaire (URSENBACHER *et al.*, 2015). Des mécanismes d'hybridation ont été également découverts dans les zones de contact (GUILLER *et al.*, 2017).

Des travaux ont été engagés en 2018 à travers un projet mené par le CNRS de Moulis (A. Dupoué) sur la forme ovipare des Lézards du genre *Zootoca*. Les données ont été obtenues récemment et sont en cours d'analyses. Elles permettront de comprendre les relations génétiques des populations de montagne et de plaine.

Des analyses génétiques complémentaires en zones de contact seraient importantes pour clarifier les possibles hybridations entre la Vipère péliade et la Vipère aspic en Limousin. De même des hybridations entre la Rainette verte et la Rainette méridionale ont été mises en évidence en Charente en 2018. Des analyses génétiques seraient donc essentielles à planifier pour étudier les degrés d'introgession dans les zones de contact avec front de colonisation.

d) Suivi des populations

Les suivis long terme de populations de différentes espèces sentinelles ciblées par ce travail sont particulièrement importants et complémentaires à nos travaux centrés sur la répartition et écophysiologie. En effet ces suivis réalisés à l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine sur le Lézard vivipare (cf. § 6.5), la Vipère péliade (cf. § 6.6) et les rainettes (cf. § 6.9) permettront de vérifier et si nécessaire d'ajuster les variables explicatives sélectionnées pour prédire les modifications de répartition des espèces dans le cadre des changements climatiques. Ces suivis long terme permettent également de tester les prédictions issues des approches mécanistes par les aléas extrêmes qui peuvent survenir tout au long des suivis mais également par les tendances globales qui pourront être dégagées sur des périodes de temps longues (15 ans et plus).

Concernant les suivis de rainettes, la mise en place de système d'enregistrement des chants dans les zones de contact et en dehors permettrait de comparer l'influence des conditions météorologiques sur l'activité. Le travail de suivis permettra de clarifier les zones de contact chez les vipères à l'aide de prospections ciblées. L'étude de l'activité dans ces zones de contact sera un objectif particulièrement pertinent et comparable au suivi mené sur les rainettes.