

Modélisation de l'habitat des ressources halieutiques dans le golfe de Gabès et projections selon un scénario de changement global

Tarek HATTAB^{1,2}, F. BEN RAIS LASRAM¹, Ch. SAMMARI².

1: Unité de Recherche UR03AGRO1 Ecosystèmes et Ressources Aquatiques, Institut National Agronomique de Tunisie, 43 Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis, Tunisie

2: Laboratoire du milieu marin, Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, 28 Rue 2 Mars 1934 Salammbô, Tunisie.

ملخص

نمذجة موائل الموارد السمكية في خليج قابس و تصورات في رابطة التغيير الشامل : يقع خليج قابس بالجنوب الشرقي للبلاد التونسية ، حيث أن نشاط الصيد البحري يعرف تطورا كبيرا في البرد وكثافة هذا النشاط له انعكاس سلبي على المنظومة الإيكولوجية ، (نقص في الإنتاجية، تغير في المكونات الخصوصية للمنظمة تقلص في الغطاء النباتي) فهو يعتبر مركز تلوث كبير وأن التغيير الشامل يزداد شدة. قد تبين أن التغيير الشامل يزداد شدة دون تأثير سلبي على عمل المنظومة الإيكولوجية وحتى يومنا هذا لا توجد أي دراسة تبين بطريقة موضوعية للتغيرات التي يمكن أن تطرأ على المنظومة الإيكولوجية بخليج قابس تبعا لذلك خصص هذا العمل لدراسة حساسية الموارد السمكية بخليج قابس بالاعتماد على نمذجة الموائل . في هذا الإطار ترمي تقنية نمذجة الموائل لتأطير الخصوصية الإيكولوجية للكائنات بالاعتماد على تداخل عدة عوامل بيئية تمكن أولا من بإعداد تصور التوزيع الحالي للكائنات و تم عرضها حسب تصورات التغيير الشامل . لتطویر مثل هذه النماذج ، بدأنا بتكوين مجموعة من البيانات في نظام المعلومات الجغرافية الذي يحتوي على معطيات الأنموذج ويضم مجموعة من البيانات المتعلقة بالتوزيعات الجغرافية لأهم الموارد السمكية من حيث التواجد والتغيرات البيئية المفسرة لهذا التوزيع : حرارة سطح البحر (التي تم الحصول عليها من صور الأقمار الصناعية للإستشعار عن بعد NOAA AVHRR) ، تركيزات اليخضور (التي تم الحصول عليها من صور الاقمار الصناعية SeaWiFS) ، العمق والموئل القاعي. بعد إنشاء قاعدة البيانات ، تمكنا من نمذجة التوزيع المكاني لـ 59 نوعية من الاسماك (سمك، رأسيات الأرجل وقشريات) تصور موئله المحتمل في المستقبل من 2010 إلى 2041 ومن 2070 إلى 2099 في إطار التغيير شامل .

كلمات مفاتيح : خليج قابس ، التغيير الشامل ، الموارد السمكية ، نمذجة الموائل ، نظام الجغرافية الرقمية ، الإستشعار عن بعد ، التصورات .

RESUME

Le golfe de Gabès situé au sud-est de la Tunisie, est la région où l'activité de pêche est la plus développée du pays. L'intensité de cette activité a eu des conséquences négatives sur l'écosystème (diminution de la productivité, changements dans la composition spécifique des assemblages, recul du couvert végétal etc...) qui, par ailleurs, est le siège d'une pollution importante et où le changement global se fait de plus en plus ressentir.

Il est maintenant démontré que le changement global ne peut pas être sans impact sur le fonctionnement des écosystèmes. Cependant, jusqu'à aujourd'hui, aucune étude n'a démontré d'une manière objective les modifications qui pourront avoir lieu dans l'écosystème du golfe de Gabès suite à ces changements. Ce travail a donc été consacré à l'étude de la vulnérabilité des ressources halieutiques dans le golfe de Gabès en ayant recours à la modélisation des habitats.

Les modèles d'habitats cherchent à encapsuler la niche écologique des espèces en se basant sur des combinaisons de différentes variables du milieu, ils servent d'abord à prédire la distribution actuelle des espèces, ensuite à la projeter selon des scénarii de changement global.

Pour mettre en place de tels modèles, nous avons d'abord commencé par constituer un jeu de données dans un Système d'Information Géographique (SIG) comportant les inputs des modèles. Ce jeu de données regroupe les distributions spatiales des principales espèces à intérêt halieutique en terme d'occurrence et les variables abiotiques du milieu expliquant cette distribution : la température de surface de la mer (obtenue à partir des images satellite du capteur NOAA AVHRR), les concentrations en chlorophylle-a (obtenues à partir des images satellite SeaWiFS), la bathymétrie et l'habitat benthique.

Une fois le jeu de données construit, nous avons pu modéliser la distribution spatiale de 59 espèces (poissons, céphalopodes et crustacés) et projeter leurs futurs habitats potentiels à l'horizon 2041-2060 et à l'horizon 2070-2099 selon un scénario de changement global.

Mots clé : Golfe de Gabès, changement global, ressources halieutiques, modélisation des habitats, SIG, télédétection satellitaire, projections.

ABSTRACT

Modelling of the housing environment of the halieutic resources in the gulf of Gabès and projections according to a scenario of global change : The gulf of Gabès, southern Tunisia, represents the most productive ecosystem of Tunisian waters. It contributes to more than 40% of the fishing production, generating important spillover and a source of income for 62% of the Tunisian maritime population. This intense activity of fishing

highly impacts n this ecosystem. Indeed, several studies reported, a reduction of the productivity, changes in the specific composition of the species habitat loss etc...

The importance of the problems generated by the intensification of the fishing activity represents a major concern for the researchers whose aim is to study the vulnerability of this ecosystem facing global change. Until today, no survey demonstrated objectively the modifications that could take place in the gulf of Gabès, as consequences of global change.

Since it is now irrefutable that present and future tendencies of the global changes cannot be without impact on the ecosystems functioning, it appears important to promote new approaches which allow to study the vulnerability of the gulf of Gabès to these changes.

Modeling habitat proved to be like a very pertinent tool to solve this kind of problems. These models that try to encapsulate the ecological niche of the species based on combinations of different variables of the environment, serve firstly to predict the present distribution of the species, then to project it according to global change scenarios.

To put such a model in place, we first implemented a data set into a Geographical Information System (GIS) including the inputs of the model. This data set regroups the geographic distributions of the main species with marine interest in term of absence-presence and the abiotic variables of the environment explaining this distribution: sea surface temperature (obtained from images captured by the Advanced Very High. Resolution Radiometer (AVHRR) aboard the NOAA satellite), the chlorophyll-a concentration (obtained from images captured by the Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor), the bathymetry and the benthonic habitat.

Once the data set constructed, we were able to model the geographic distribution of 59 species (fish, cephalopods and crustacea) and projected their future distribution for 2041-2060, and 2070-2099 according to a global change scenario.

Keywords: Gulf of Gabès, global change, marine resources, habitat modeling, GIS, satellite remote sensing, projections

INTRODUCTION

Le golfe de Gabès ou « petite Syrte » représente un écosystème très particulier en Méditerranée ainsi qu'un haut lieu de la pêche tunisienne. Contrairement aux côtes nord de la Tunisie caractérisées par un relief tourmenté et un plateau continental étroit (Azouz, 1973), la région méridionale tunisienne, et plus particulièrement le golfe de Gabès, a une déclinité faible et un relief absent, ce qui donne lieu à un plateau continental très étendu (Ben Othman, 1973). Les fonds sont généralement sablo-vaseux et la chalutabilité est aisée. Ces conditions idéales aux métiers de la pêche combinées à une grande richesse halieutique ont fait que la production halieutique du golfe de Gabès n'a cessé d'augmenter au cours du temps.

A partir des années quatre-vingt, l'accroissement continu de l'effort de pêche et du prélèvement des ressources marines résultant en la baisse de la productivité (Ben Mariem *et al.*, 2005) a marqué le début de la prise de conscience de la surexploitation et de la remise en question de la durabilité de la pêche.

La situation du golfe de Gabès est alarmante à plus d'un titre, et sa dégradation n'est plus à démontrer (Hattour, 1991). Le chalutage abusif et la pollution sont deux problèmes préoccupants qui concernent la santé du golfe et qui exigent impérativement des mesures pour les résoudre. Le problème de la surpêche et de la pollution chimique ont suscité des vives réflexions de la part des gestionnaires de la pêche et de la communauté scientifique. Des

questionnements sur l'avenir du golfe sous l'angle de ces menaces ont largement été soulevés.

De plus, depuis une vingtaine d'année, un changement global pouvant modifier les habitats naturels des espèces a été mis en évidence (Pérez *et al.*, 2006). Par changement global nous n'entendons pas uniquement les changements d'ordre climatique mais également la surexploitation des ressources et la mondialisation des marchés (Fromentin *et al.*, 2007). Cependant, les effets de ce changement sont encore mal étudiés, et aucune étude n'a tenté de quantifier d'une manière objective l'impact du changement global sur la productivité, la biodiversité et le fonctionnement de l'écosystème du golfe de Gabès même si des études à l'échelle de toute la Méditerranée (Ben Rais Lasram *et al.*, 2010) et d'autres écosystèmes existent (e.g. Attrill & Power 2002, Genner *et al.*, 2004, Perry *et al.*, 2005, Dulvy *et al.*, 2008).

Face au déséquilibre écosystémique qui peut être engendré par ces changements et compte tenu de l'étroite relation espèces-milieu, de plus en plus d'études scientifiques se penchent alors sur l'étude des conséquences du changement global sur la biodiversité.

En raison de l'importance du golfe de Gabès pour l'approvisionnement en produit de la mer et de l'ampleur des impacts du changement global sur les espèces et les écosystèmes, une question d'une importance capitale se pose donc : *quel sera l'avenir de la région la plus productive de la Tunisie face au changement global?*

Pour répondre à ce genre de problématique, la modélisation des habitats ou modélisation des niches écologiques s'est imposée comme un outil pertinent. Cette approche, qui a pris un essor récent, permet en effet de déduire les exigences écologiques des espèces à partir de leurs aires de distribution afin de prédire les changements d'affectation de l'espace par les espèces dans un contexte de changement global. Ainsi, elle a été utilisée pour estimer les conséquences du changement global sur les changements d'aires de distribution (Araujo *et al.*, 2006 ; Gritti *et al.*, 2006), pour l'identification d'aires de conservation prioritaires (Pyke *et al.*, 2005) et l'évaluation des invasions potentielles (Rouget *et al.*, 2004 ; Thuiller *et al.*, 2005).

En tentant de répondre à cette question, la présente étude constitue une première contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du golfe de Gabès face au changement global. Pour ce faire, nous avons tout d'abord constitué une importante base de données à référence spatiale contenant toutes les informations disponibles sur les paramètres biotiques et abiotiques du golfe de Gabès, à partir de laquelle nous avons extrait les données d'entrées des modèles d'habitat nous permettant d'explicitier et de quantifier les relations entre 59 espèces à intérêt halieutique et leur milieu. Nous avons pu ainsi prédire la distribution géographique actuelle de ces espèces et de les projeter selon un scénario de changement global, et ce, afin de donner un premier aperçu sur ce que pourrait être la composition spécifique et la distribution spatiale des ressources halieutiques de la zone vers la moitié du siècle (horizon 2041-2060) et la fin du siècle (horizon 2070-2099).

MATERIELS ET METHODES

1 Création du jeu de données

L'élaboration d'un modèle d'habitat nécessite de disposer d'un important jeu de données composé de suffisamment d'information relatives à la distribution spatiales des espèces et des variables abiotiques du milieu structurant cette distribution. Ces variables abiotiques s'expriment par le biais des contraintes physiques de l'environnement, des limites physiologiques des êtres vivants et de leur potentiel adaptatif. Comme nous nous intéressons à quantifier la niche écologique d'espèces marines à intérêt halieutique, c'est-à-dire des poissons, des céphalopodes et des crustacés, alors il nous a paru pertinent de choisir comme variables abiotiques explicatives la température, la profondeur, la production primaire et la nature du fond.

Une importante recherche bibliographique et un grand travail de collecte d'informations nous ont permis de constituer une importante base de donnée

contenant la distribution spatiale des principales espèces à intérêt halieutique du golfe de Gabès.

Les occurrences des espèces ont été déduites à partir des campagnes de prospection par chalutage benthique réalisées par l'INSTM dans le golfe de Gabès à bord du navire de recherche Hannibal à partir de 1999. Et, afin d'attribuer à chaque occurrence (présence ou absence) des différentes espèces, les valeurs des paramètres explicatives du modèle c'est-à-dire les valeurs des variables abiotiques citées plus haut, le recours à l'imagerie satellitaire s'est imposé.

Ainsi, pour la température de surface nous avons exploité les images mensuelles SST prévenant du capteur AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de la NOAA (US National Oceanic and Atmospheric Administration). Les valeurs de température sont restituées à l'aide de l'algorithme MCSST (Multi-Channel-SST).

Des concentrations en Chlorophylle-*a* provenant des images du capteur (Sea Viewing Wide Field of view Sensor) ont été utilisées comme approximation de la productivité primaire, avec l'utilisation d'un algorithme régional de restitution des concentrations en chlorophylle-*a* : MedOC4 développé par Volpe *et al.*, en 2007.

Une fois les images satellites traitées (extraction géographique, géoréférencement et application de l'algorithme), nous avons alors fait appel à une multitude d'analyses spatiales sous ArcGis Desktop 9.2 qui consistent à extraire les valeurs de la SST et de la chlorophylle-*a* contenues dans chaque pixel des images NOAA et SeaWiFS qui coïncident spatialement et temporellement avec les points représentant les traits de chaluts contenant les occurrences des espèces (figure 1).

Pour la bathymétrie et la nature du fond, une analyse spatiale similaire à celle de SST et de la chlorophylle-*a* a permis d'alimenter notre jeu de données en attribuant aux points qui représentent les traits de chalut leur profondeur et les natures de leur fond respectives, et ceci en se basant sur une carte bathymétrique que nous avons créé à partir d'une interpolation géostatistique de 928 points de sonde, et une carte de la nature du fond réalisée par Clairefond et Cochet en 1979 que nous avons numérisé dans un SIG (figure 2).

2. Modélisation des niches écologiques

Pour prédire la distribution spatiale des organismes benthiques, nous avons opté pour l'utilisation des modèles les plus largement utilisés en modélisation des niches écologiques (Ben Rais Lasram, 2009), avec deux méthodes de régression multiple : les modèles linéaires généralisés GLM et les modèles additifs généralisés GAM, 3 arbres de régression : le GBM (Generalised Boosting Models), la CTA (Classification Trees Analysis), et les RF (Random

Forest), une analyse discriminante la MDA (Mixture Discriminant Analysis) et une méthode d'apprentissage ANN (Artificial Neural Network). L'utilisation de plusieurs modèles sur le même jeu de données permet de les comparer et d'identifier celui qui optimisera le mieux les prédictions. La procédure est implémentée dans l'outil BIOMOD (Thuiller, 2003) avec une évaluation de type AUC (Area Under the Curve).

La paramétrisation que nous avons utilisée est celle recommandée par Thuiller (2003) :

- GLM polynomial avec une procédure de sélection des variables les plus significatives basée sur le critère BIC (Bayesian Information Criterion).
- GAM avec une fonction de lissage de type « cubic spline », le degré de lissage a été borné à 4 pour

chaque variable. Comme pour le GLM, une procédure de sélection de variables sur critère BIC a été utilisée.

- CTA avec 10 validations croisées successives.
- RF et MDA sans paramétrisation particulière.
- GBM avec 50 validations croisées successives, le nombre d'arbres a été fixé à 500.
- ANN avec 2 validations croisées successives.

Pour les espèces benthiques, les 4 variables explicatives ont été utilisées pour prédire leur distribution spatiale. Cependant pour les espèces pélagiques la variable nature du fond a été éliminée en raison du lien faible entre ces espèces et cette variable.

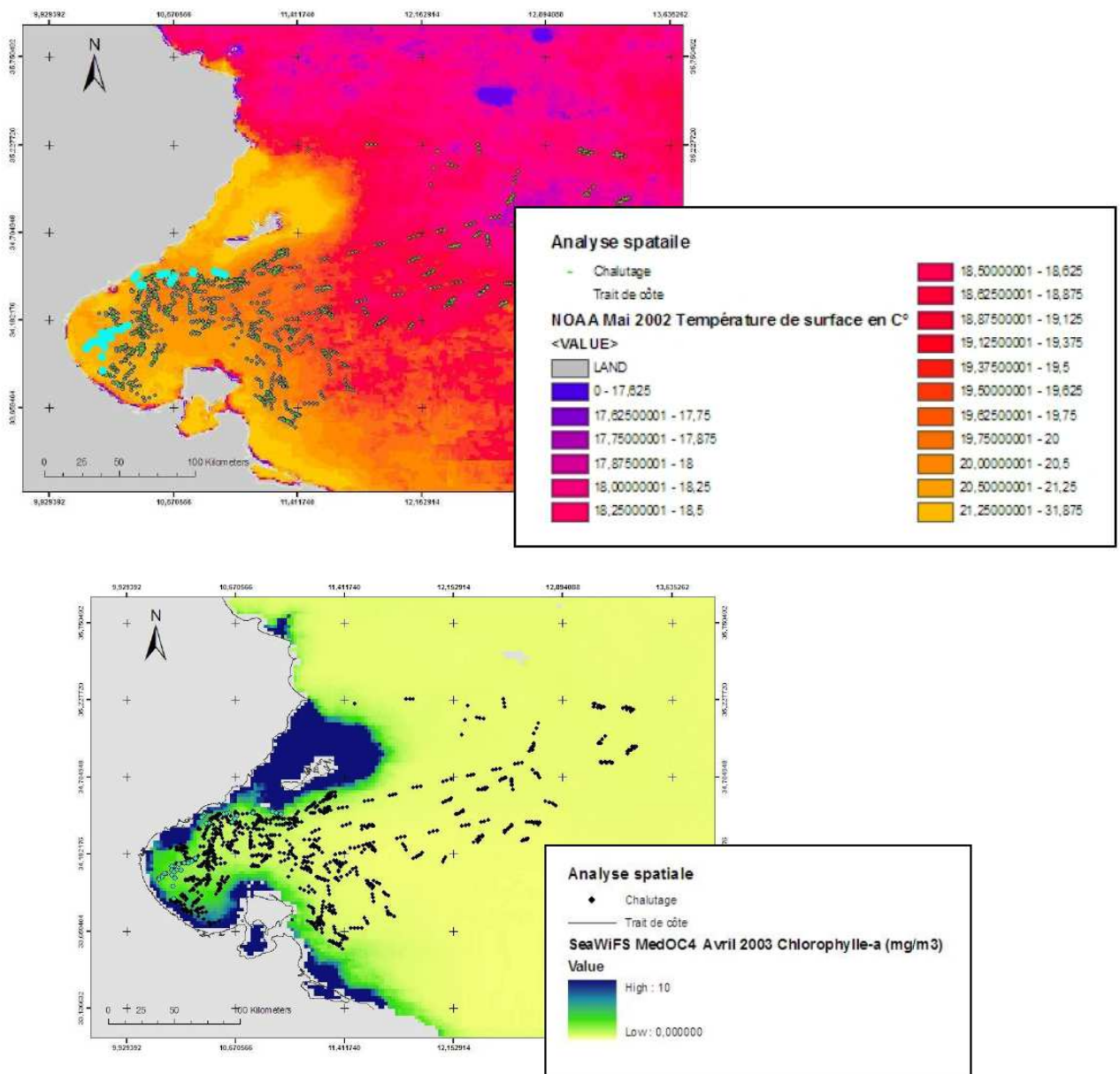


Figure 1 : Exemple d'une carte de température de surface (d'après NOAA) et celle de la chlorophyll-e-a (SeaWiFS MedOC4) utilisées comme entrées dans le modèle d'habitats.

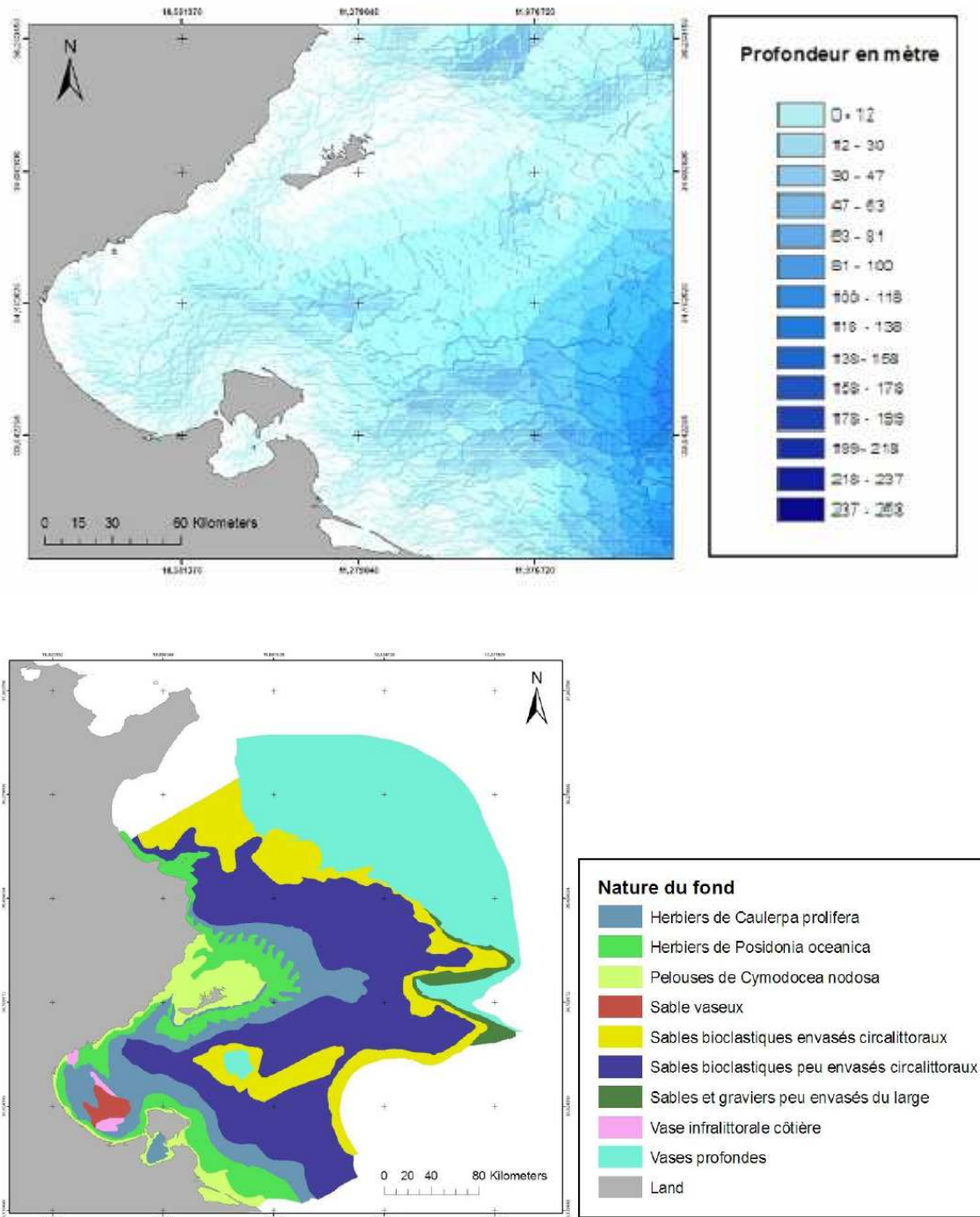


Figure 2 : Carte bathymétrique et de la nature du fond utilisées

L'équation générale du modèle s'écrit comme suit :

$m_{0/1} \text{ Benthique} = \text{facteur (Température)} + \text{facteur (Chlorophylle-a)} + \text{facteur (Bathymétrie)} + \text{facteur (Habitats benthiques)} + \varepsilon_{0/1}$

$m_{0/1} \text{ Pélagique} = \text{facteur (Température)} + \text{facteur (Chlorophylle-a)} + \text{facteur (Bathymétrie)} + \varepsilon_{0/1}$

$m_{0/1}$ représente les probabilités de présence et $\varepsilon_{0/1}$ est l'erreur de prédication

Pour chaque espèce, tous les modèles ont été calibrés en utilisant une base de calibration comportant 70% du jeu de données initial pris aléatoirement. Les 30%

restant représentent une base d'évaluation permettant de tester la puissance prédictive des modèles, en dressant la courbe ROC (Receiving Operating Characteristic) pour chaque espèce et en calculant les AUC.

3 Projection

Une fois nous avons identifié les modèles qui optimisent les prédictions, nous nous sommes basés sur les températures projetées à l'horizon 2041-2060

et à l'horizon 2070-2099 par le modèle OPAMED8 (Somot *et al.*, 2006) et en utilisant la fonction « Projection.Ouput » de BIOMOD, nous avons calculé

pour chaque espèce et pour chaque cellule de notre grille une probabilité d'occurrence future.

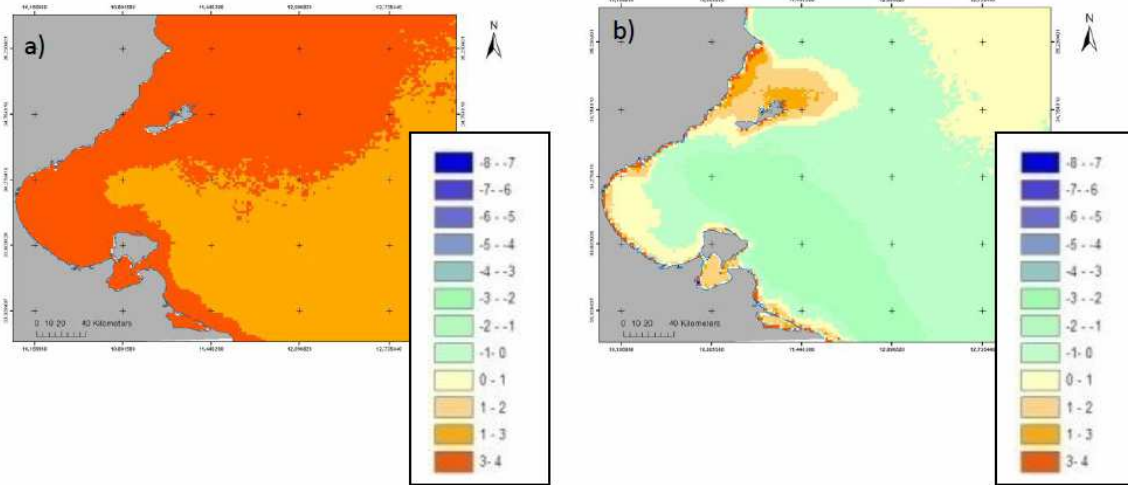


Figure 3 : Exemples des écarts entre la température actuelle et celle à l'hiver de l'horizon 2041-2050 b) et à l'automne de l'horizon 2070-2099 a) prédites par le modèle OPAMED8 (Somot *et al.*, 2006).

RESULTATS

1 Les inputs

Le jeu de données de calibration du modèle (input du modèle) contient 1057 occurrences pour chacune des 59 espèces que nous avons recensées avec leurs valeurs de température, bathymétrie, chlorophylle-*a*, et nature du fond respectives. L'ensemble de ces données s'étale sur 6 années à partir de juillet 1999 jusqu'à décembre 2004 et couvre toutes les saisons de l'année.

2 Prédications et évaluations

La comparaison des moyennes des AUC toute espèce confondue en se basant sur l'échelle de performance des modèles en terme d'AUC donnée par Swets en 1988, montre que dans l'ensemble, les prédictions sont très bonnes voire excellentes à l'exception de l'ANN pour les espèces benthiques et pélagiques et le CTA chez les espèces pélagiques (figure 4).

La comparaison des cartes de distribution issues des observations *in-situ* et les cartes issues de la modélisation confirme la robustesse du modèle (figure 5).

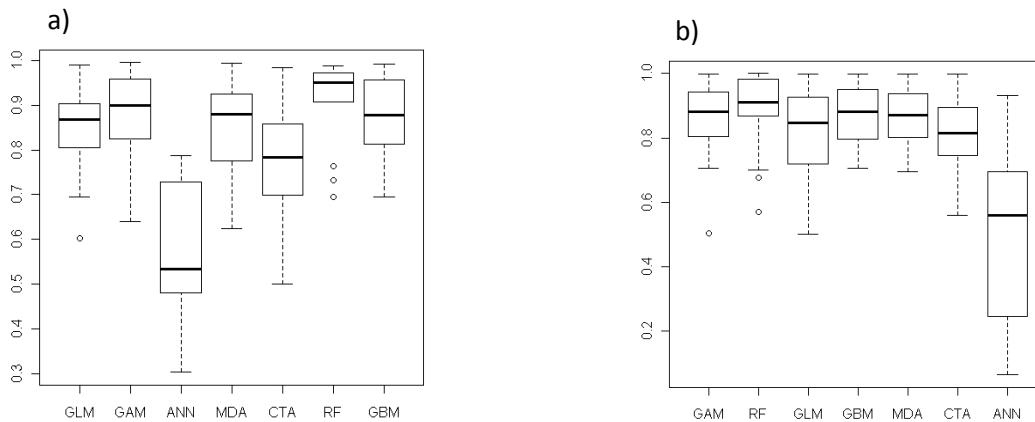


Figure 4 : Moyenne et Ecart-type des AUC toutes espèces confondues pour les différents modèles utilisés pour les espèces pélagiques a) et les espèces benthiques b).

Les résultats obtenus nous permettent d'identifier les modèles à supprimer (ANN pour les espèces benthiques et pélagiques et le CTA pour les espèces pélagiques), cependant la discrimination entre les modèles montrant une AUC élevée est impossible. Comme nous ne pouvons pas avancer la preuve qu'un modèle est plus performant que les autres, choisir l'un d'eux pour effectuer les projections n'est donc pas pertinent, le recours à l'approche consensuelle s'est imposé, cette approche appelée aussi « model averaging » permet d'explorer la tendance centrale de tous les modèles.

Parmi la multitude de méthodes consensuelles qui existent (les méthodes des médianes (Araujo *et al.*, 2005), des moyennes (Araujo & New, 2007), nous avons opté pour la méthode de pondération qui pondère les sorties de chaque modèle par le critère d'évaluation relative, qui est dans notre cas le critère AUC (Thuiller *et al.*, 2004). Cette dernière a été jugée comme la plus performante par Marmion *et al.* (2008) qui ont comparé toutes les méthodes consensuelles et prouvé la supériorité de cette méthode dans la réduction de l'incertitude.

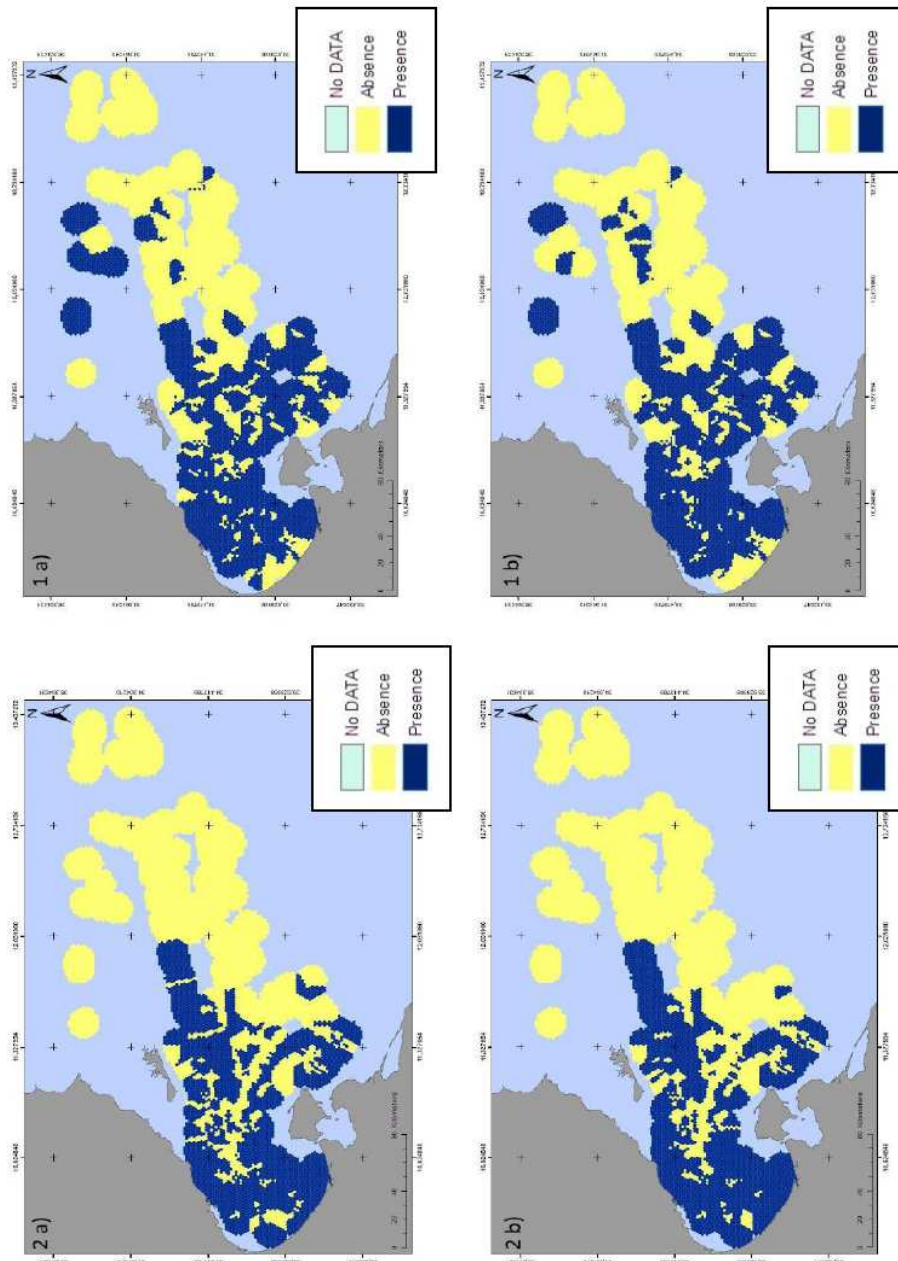


Figure 5 : Cartes de distribution observée (A) et prédite (B) de *Sepia officinalis* (1) et de *Penaeus kerathurus* (2).

3 Projections

Un travail d'interprétation des projections des modèles est encore en cours de réalisation, cependant, le premier constat qu'on peut directement tirer est que pour toutes les espèces nous observerons une modification de leur distribution suite aux changements de température, montrant ainsi l'importance de la température dans la structuration des espèces dans l'espace.

Comme nous pouvons le remarquer sur les cartes de distribution projetées de *Sepia officinalis* et de *Penaeus kerathurus* (figure 6), leur aire de distribution dans le golfe de Gabès sera affectée suite à la modification des combinaisons des variables environnementales du milieu. Pour *Sepia officinalis* la perte d'habitat sera continue tout le long du XXIème siècle, cette espèce réduira sa distribution de 12.2% l'horizon 2041-2060 et par la suite de 1.32% à l'horizon 2070-2099.

Pour *Penaeus kerathurus*, elle perdra 0.57% de son habitat avant la moitié du siècle, et elle gagnera de l'espace par la suite à la fin du siècle, pour étendre sa distribution de 0.19% par rapport au début du siècle. Le bilan de perte et de gain ce sera donc positif pour cette espèce vu que le gain d'espace qui aura lieu à la fin du siècle dépasse la perte de la première moitié du siècle.

Une modification des aires de distribution ne pourra pas être sans effet sur les interactions entre les espèces et par conséquent sur le bon fonctionnement de l'écosystème du golfe. Ainsi, à partir de ces résultats préliminaires, nous pouvons facilement confirmer la vulnérabilité et la sensibilité du Golfe de Gabès au changement global.

CONCLUSION

Comment le changement global récent et futur affecte-t-il la distribution des ressources halieutiques et indirectement la diversité spécifique? Cette étude esquisse les éléments de réponse à cette question. En effet, elle constitue une première tentative de modélisation spatiale des ressources halieutiques du golfe de Gabès et ce dans le but d'en évaluer la vulnérabilité face au changement global.

Pour ce fait, nous avons procédé à la modélisation de la distribution spatiale des 59 espèces en fonction des variables environnementales en utilisant les 7 modèles d'habitats (GLM, GAM, GBM, CTA, RF, MDA, ANN) les plus étudiés en écologie. Nous avons projeté cette distribution selon un scénario de changement global aux horizons 2041-2060 et 2070-2099.

Bien que les modèles utilisés nous aient permis de prédire d'une manière réaliste la distribution spatiale des ressources halieutiques, leur fiabilité dans le futur

reste évidemment plus difficile à évaluer. Même avec d'excellentes prédictions, les incertitudes lors des projections seront fortement dépendantes des incertitudes des outputs du modèle climatique utilisé. Cependant, et malgré l'incertitude liée aux méthodes de modélisation empirique et au choix du modèle climatique, nos résultats donnent un premier aperçu sur ce que pourrait être la composition spécifique et la distribution spatiale des ressources halieutiques de la zone vers la moitié du siècle (horizon 2041-2060) et la fin du siècle (horizon 2070-2099). D'autre part, nous avons montré que les espèces répondent de manière variée au changement global et que cette réponse est fonction des propriétés écologiques des espèces. Toutes les espèces n'ont donc pas les mêmes réponses au changement global.

BIBLIOGRAPHIES

- Araujo MB., Whittaker RJ., Ladle RJ., Erhard M. (2005). Reducing uncertainty in projections of extinction risk from climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 14:529-538.
- Araujo MB., New M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22:42-47.
- Araujo MB., Thuiller W., Pearson RG (2006). Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, 33:1712-1728.
- Attrill MJ., Power M (2002). Climatic influence on a marine fish assemblage. *Nature*, 417:275-278.
- Azouz A. (1973). Les fonds chabutables de la région nord de la Tunisie : cadre physique et biocénose benthique. Bulletin N°2. Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche. Salammbô, 473-563p.
- Ben mariem S., Gharbi H., Bedoui R. (2005). Les pêcheries multispécifiques du golfe de Gabès : Etat d'exploitation des principales espèces benthiques et éléments d'aménagement. Du court au long terme : échelles d'analyse et de gestion des pêches - 7ème Forum Halieumétrique, Nantes. France.
- Ben Othman. S (1973). Le Sud tunisien (golfe de Gabès) : hydrologie, sédimentologie, flore et faune. Thèse de 3e cycle, Biologie marine. Fac. Sci. Tunis, 166p.
- Ben Rais Lasram F., Guilhaumon F., Albouy C., Somot S., Thuiller W & Mouillot D. (2010). The Mediterranean Sea as a 'cul-de-sac' for endemic fishes facing climate change. *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02224.x..

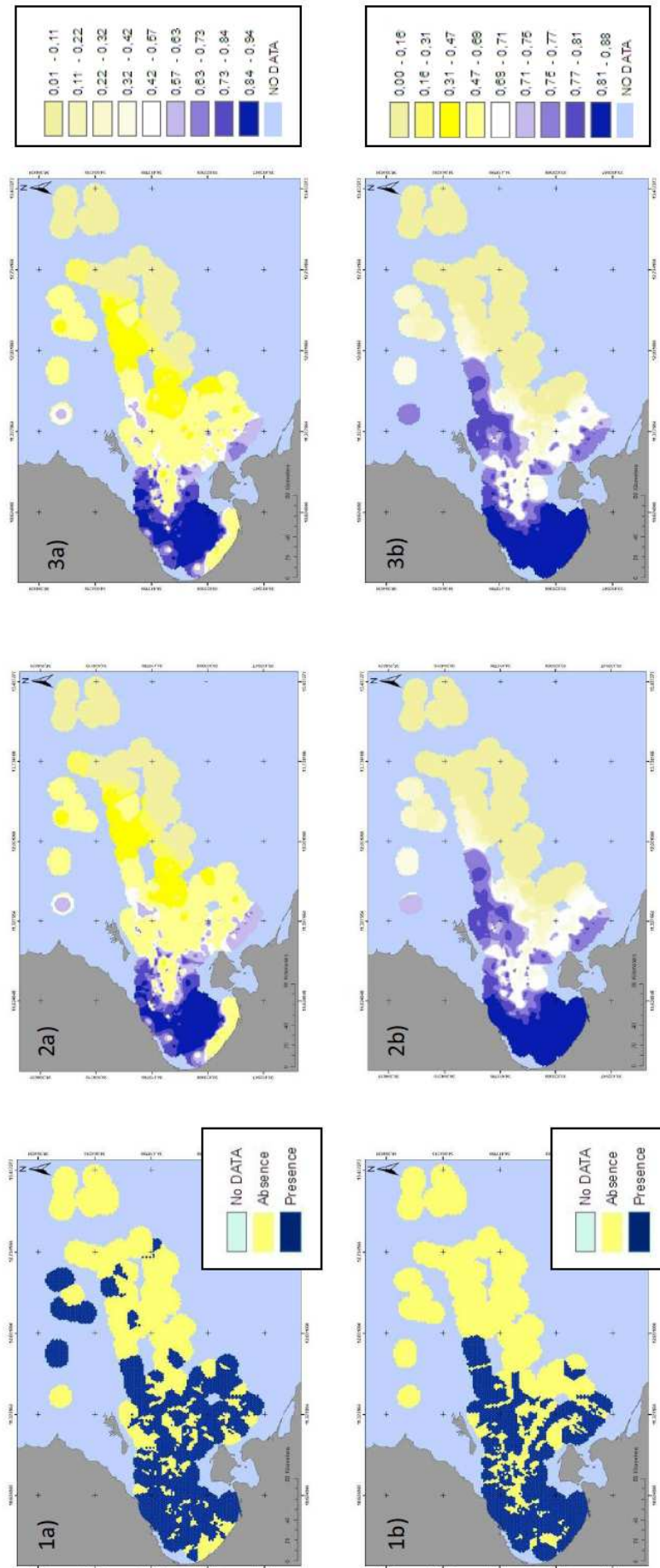


Figure 6 : Distributions géographiques observées pendant la période d'étude (1999-2004) (1), à l'horizon 2041-2060 (2) et à l'horizon 2070-2099 (3) de *Penaeus kerathurus* (a) et *Sepia officinalis* (b) en terme de probabilité de présence : le dégradé de jaune indique les probabilités de présence inférieures au seuil de ségrégation pondéré avec l'AUC calculée pour chaque espèce. Le dégradé de bleu indique les probabilités supérieures à ce seuil.

- Ben Rais Lasram F. (2009). Diversité ichthyologique en Méditerranée : patrons, modélisation et projections dans un contexte de réchauffement global. Thèse, Université Montpellier II sciences et techniques du LANGUEDOC et Institut National Agronomique de Tunisie, France, 299p.
- Clairefond P., Cochet G. (1979). Géologie Méditerranéenne : la mer pélagienne. Tome VI édition l'université de Provence. ISSN : 0397-2844.
- Dulvy NK., Rogers SI., Jennings S., Stelzenmüller V., Dye SR., Skjoldal HR. (2008). Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas. *Journal of Applied Ecology*, 45:1029-1039.
- Fromentin JM., Planque B., Thébaud O. (2007). L'approche écosystémique des pêches: quelles priorités pour la recherche? The ecosystem approach to fisheries: What are the research priorities? Editions Ifremer.
- Genner JM., Sims D., Wearmouth VJ., Southall EJ., Southward AJ., Henderson PA., Hawkins SJ (2004). Regional climatic warming drives long-term community changes of British marine fish. *Proceedings of the Royal Society of London*, 271:655-661.
- Gritti ES., Smith B., Sykes MT (2006) Vulnerability of Mediterranean Basin ecosystem to climate change and invasion by exotic plant species. *Journal of Biogeography*, 33:145-157.
- Hattour., A (1991). Le chalutage dans les eaux Tunisiennes réalités et considérations législatives particulièrement dans le Golfe de Tunis et de Gabès. Note de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche. Salammbô. Tunisie.
- Marmion M., Parviainen M., Luoto M., Heikkinen RK., Thuiller W. (2008). Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions* DOI 10.1111/j.1472-4642.2008.00491.x
- Perry AL., Low PJ., Ellis JR., Reynolds JD. (2005). Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308:1912-1915
- Pyke CR., Andelman SJ., Midgley G. (2005) Identifying priority areas for bioclimatic representation under climate change: a case study for Proteaceae in the Cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation*, 125:1-9.
- Pérez T., Lejeusne C., Aurelle D., Bensoussan N., Boury-Esnault N., Chevaldonné P., Garrabou J., Harmelin J.G., Laubier L., Ledoux J.B., Marschal C., Romano J.C., Torrents O., Vacelet J. (2006). Evaluation des modifications de la biodiversité marine sous l'influence du changement global en Méditerranée Nord Occidentale. Colloque IFB-GICC, Réponses adaptatives au changement global: résultats et prospective, pp. 58-65.
- Rouget M, Richardson D.M, Nel J.L, Le Maitre D.C, Egoh B, Mgidi T (2004) Mapping the potential ranges of major plant invaders in South Africa, Lesotho and Swaziland using climatic suitability. *Diversity and Distributions*, 10:475-484
- Swet KA. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240, 1285-1293.
- Somot S., Sevault F., Déqué M. (2006). Transient climate change scenario simulation of the Mediterranean Sea for the twenty-first century using a high-resolution ocean circulation model. *Climate Dynamics*, 27:851-879.
- Thuiller W. (2003). Impact des changements globaux sur la biodiversité en Europe: projections et incertitudes. Thèse, Université Montpellier II sciences et techniques du LANGUEDOC, France, 344p.
- Thuiller W., Lavorel S., Araujo MB. (2005). Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change *Global Ecology and Biogeography*, 14:347-357.
- Thuiller W., Lavorel S., Midgley G., Lavergne S., Rebelo T. (2004). Relating plant traits and species distributions along bioclimatic gradients for 88 *Leucadendron* taxa *Ecology*, 85:1688-1699
- Volpe, G., D'Ortenzio.F., Marullo.S., Santoleri R., Ribera d'Alcalà M., Vellucci V. (2007). The colour of the Mediterranean Sea: Global versus regional bio-optical algorithms evaluation and implication for satellite chlorophyll estimates. *Remote Sensing of Environment* 107,625-638.