HAL
open science

Synthèse des effets des changements climatiques sur les espèces (à large échelle)

Eric Rochard, Géraldine Lassalle

To cite this version:

Eric Rochard, Géraldine Lassalle. Synthèse des effets des changements climatiques sur les espèces (à large échelle). [Rapport de recherche] irstea. 2009, pp.15. hal-02593857

HAL Id: hal-02593857

https://hal.inrae.fr/hal-02593857

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Synthèse des effets des changements climatiques sur les espèces (à large échelle)

Aout 2009

Eric ROCHARD &
Géraldine LASSALLE

UR EPBX Bordeaux
50 Avenue de Verdun
33612 Cestas

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Préambule

Nous avons essentiellement focalisé notre approche au niveau spécifique, ceci dans l'optique d'une complémentarité avec le travail mené par les autres membres du groupe habitats et peuplements. Notre regard est tourné vers les estuaires, plus largement les milieux aquatiques mais nous avons également ponctuellement lorsque les avancées étaient plus nettes considéré la bibliographie concernant les végétaux terrestre et les oiseaux ce qui devrait permettre une articulation avec les synthèses concernant l'effet du changement climatique sur ces deux groupes. Pour ce document la synthèse des travaux menés sur les conséquences du changement climatique au niveau mondial constitue l'essentiel du développement. Un seul travail a jusqu'à lors été réalisé sur la Seine sur l'effet du changement climatique. Les perspectives tiennent compte des connaissances actuelles et des travaux en cours elles sont clairement inscrites dans le contexte de l'estuaire de la Seine même si par construction les approches statistiques se nourrissent de données provenant de très nombreux sites géographiquement dispersés. Ce domaine est très actuel mais à contrario toute synthèse est nécessairement rapidement obsolète.

Introduction

Pour mettre en évidence, comprendre voire anticiper les effets du changement climatique sur le vivant, deux approches complémentaires sont mises en œuvre. Il s'agit d'une part d'observer des objets plus ou moins complexes (depuis des cellules jusqu'à des écosystèmes) et d'analyser leur évolution (structure, caractéristiques, fonctionnement) par rapport à l'évolution simultanée de leur environnement. Les analyses menées à partir de ces chroniques d'observation renseignent sur les évolutions passées ; elles peuvent amener à identifier les mécanismes à l'œuvre mais permettent difficilement des projections autres que tendancielles. D'autre part, dans les cas les plus simples, on peut envisager de modéliser l'évolution des objets observés et la projeter dans le futur sous contraintes du changement climatique. Cette approche a surtout été menée pour des espèces, elle permet de dégager des tendances et de tester des scénarios mais la spécificité des réponses empêche toute généralisation. Pour les objets les plus complexes tels les écosystèmes on commence juste à documenter des trajectoires basées sur l'évolution de leur composition fonctionnelle ou de certaines caractéristiques élémentairs comme la structure en taille.

A) Chroniques d'observation

Ce sont historiquement les premières approches à avoir été menées, elles démontrent, listent et tente de relativiser les effets perceptibles du changement climatique sur le vivant (Hughes, 2000 ; Walther et al., 2002 ; Tylianakis et al., 2008) (Figure 1).

Les observations peuvent concerner des espèces ou des groupes (spécifiques, phylogénétiques, fonctionnels), voire des écosystèmes (Murawski, 1993 ; Poulard & Blanchard, 2005 ; Daufresne et al., 2009).

La nécessité de longues (voire très longues) chroniques permettant[1] de mettre en évidence clairement les effets du changement climatique limite le nombre de cas disponibles à des espèces bien suivies (emblématiques ou avec des intérêts économiques majeurs) : 70 ans de suivi des saumons du Pacifique *Oncorhynchus sp.* (Downton & Miller, 1998 ; Welch & Nagasawa, 1998) ; 60 ans de suivi du saumon Atlantique *Salmo*

[1] On considère empiriquement qu'il faut au moins trente ans de données pour dégager une influence du changement climatique.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

salar au Pays de Galles (Aprahamian et al., 2008) ; 50 ans de suivi de la même espèce en Irlande (Boylan & Adams, 2006) ; 38 ans pour les stocks de morue *Gadus Morhua* de l'Atlantique nord (Brander, 2005) où à des sites particulièrement surveillés 30 ans de suivi de la macrofaune de l'estuaire de la Gironde (Delpech, 2007) ; 20 ans de suivis des macroinvertébrés du Rhône (Daufresne et al., 2003 ; Daufresne et al., 2007).

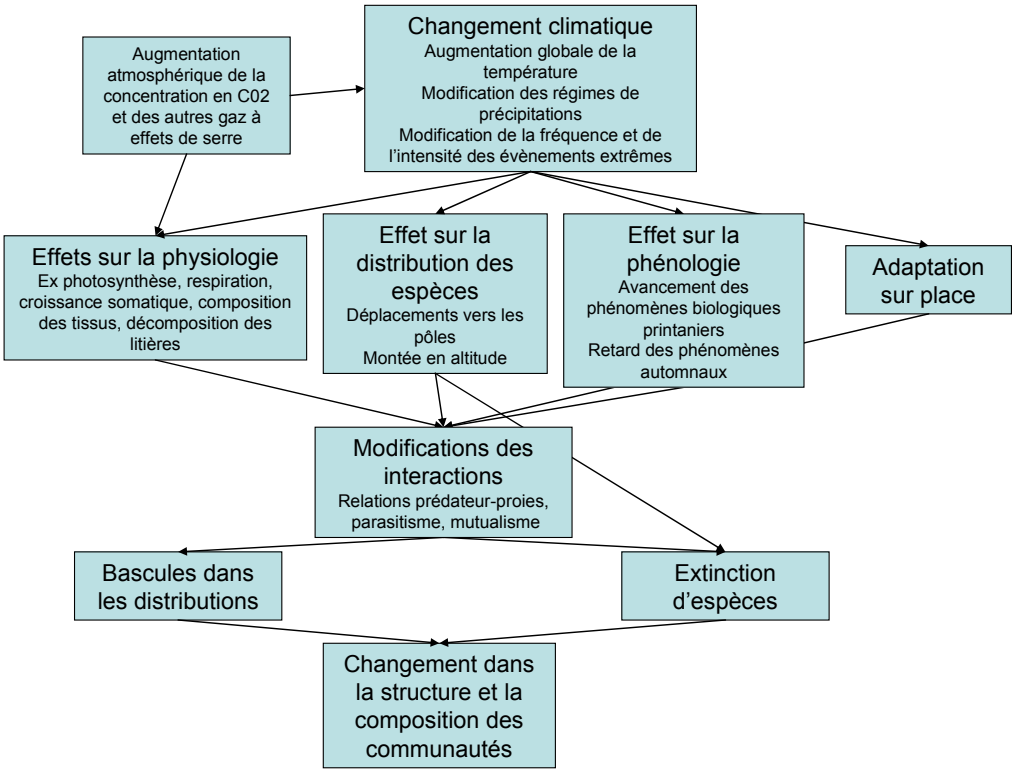


Figure 1 Canevas global des conséquences du CC sur le vivant, adapté d'après Hughes (2000)

Ces chroniques permettent de mettre en évidence des modifications des caractéristiques de ces populations ou de ces communautés (abondance, croissance, fécondité, distribution géographique, structure en taille) (Clark & Hare, 2002 ; Brander, 2005 ; Daufresne, et al., 2009) en liaison avec des variables climatiques (Meynecke et al., 2006) ou des indices dérivés de variables climatiques comme par exemple le NAO (Sandvik et al., 2008), sans pour autant prévoir les évolutions à venir. Elles mettent en évidence les évolutions spatiales (extension, régression) de la distribution des espèces (Thomas et al., 2006). Parmesan & Yohe (2003) ont ainsi montré pour un ensemble d'espèces que le décalage des aires de distribution vers les pôles atteignait 6,1 km/décade. Les zones d'hivernages de certaines espèces d'oiseaux se sont ainsi décalées vers le nord (Maclean et al., 2008). Pour d'autres la distance entre les zones de nidification et les zones d'hivernage augmente, conduisant les individus à des migrations de plus en plus longues (Doswald et al., 2009).

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

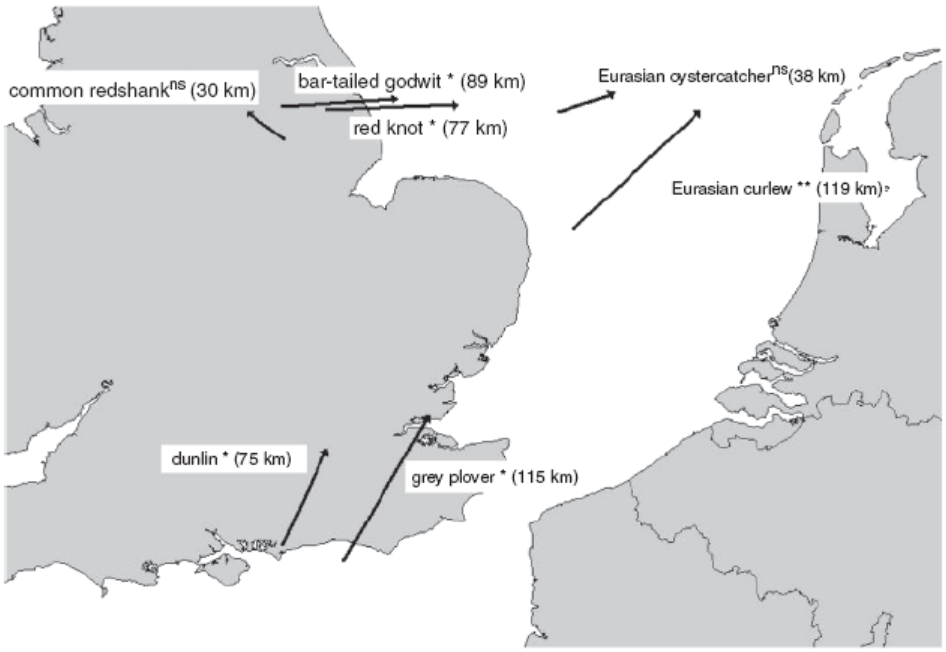


Figure 2A l'échelle régionale déplacement de populations. Ex. direction et importance des déplacements des centroïdes de sept populations d'oiseaux d'eau en hivernage (1981-2000)d'après (Maclean, et al., 2008)

A petite échelle Ficke et al. (2007) ont montré les conséquences sur l'utilisation des habitats avec une restriction de la tranche d'eau utilisée.

Ces observations ont également permis de mettre en évidence des modifications de phénologie (calendrier des évènements) (Menzel, 2002) même si pour les espèces aquatiques les informations disponibles (Taylor, 2008) sont nettement plus limitées que pour les végétaux (Morin et al., 2009) ou les oiseaux. Pour ces deux groupes les phénomènes ont été finement décortiqués mettant en évidence le plus souvent une migration printanière plus précoce en réponse à des températures plus clémentes (Hüppop & Winkel, 2006 ; Sparks et al., 2007 ; Weidinger & Kral, 2007 ; Dickey et al., 2008 ; Maclean, et al., 2008 ; Van Buskirk et al., 2009), une interaction entre le climat et l'abondance des espèces (Miller-Rushing et al., 2008) mais aussi dans certains cas es limitations à ces adaptations comme par exemple le lien entre date de début des migrations et durée du jour (Coppack et al., 2008). Contrairement aux végétaux le milieu aquatique se prête peu à des analyses rétrospectives pédagogiques et très démonstratives utilisant des documents de façon détourné (Sparks, 2007). Une analyse à large échelle des chroniques de migrations des poissons est toutefois prévue par notre équipe en 2010.

Ces chroniques sont à la base de tous les autres développements et permettent la validation des modèles. Elles ne sont pas toujours comparables entre elles (méthodologie variables), et sont surtout peu généralisables (cout).

Des approches globales assez empiriques et plutôt qualitatives ont également été publiées récemment.(Graham & Harrod, 2009 ; Heino et al., 2009 ; Johnson et al., 2009)

Le changement climatique n'est pas seul à l'œuvre et il est très difficile, surtout à des échelles locales de déconvoluer l'influence des différents drivers du changement global (climat, pollution, fragmentation des milieux) plutôt synergiques (Ficke, et al., 2007 ; Brook et al., 2008).

B) Modèles

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

La plupart des modèles construits jusqu'à lors sur la distribution spatiale des espèces repose sur la théorie des niches (Hutchinson, 1957) et le concept des enveloppes bioclimatiques. Le concept des filtres environnementaux proposé par Tonn (1990) en est une adaptation pratique aux milieux aquatiques continentaux. Il s'agit de modèles probabilistes basés sur des jeux de données observées (+- historiques) très conséquents (Guisan & Zimmermann, 2000 ; Austin, 2002 ; Guisan et al., 2002 ; Vaughan & Ormerod, 2005 ; Austin, 2007). Ces approches ont été accompagné de nombreux développements méthodologiques plus ou moins sophistiqués (GAM, régressions logistiques multiples, réseaux de neurones, boosted regression trees) et plus ou moins élégamment spatialisés (Lehmann et al., 2002 ; Luoto et al., 2005 ; Heikkinen et al., 2006). On retiendra que ces modèles ont globalement une bonne capacité à expliquer et à prédire la distribution des espèces. Pour l'essentiel ces modèles ne concernent que des espèces terrestres (arbres, oiseaux, papillons, …), ceci est essentiellement du au nettement plus grand nombre de chroniques de données disponibles.

Les modèles peuvent être strictement climatiques, basés sur diverses expressions de la température et des précipitations ou des indices climatiques comme ceux dérivés de la dérive nord Atlantique (Hurrell, 1995 ; Hurrel et al., 2001 ; Drinkwater et al., 2003 ; Stenseth et al., 2003 ; Straile et al., 2003 ; Visbeck et al., 2003). Ils peuvent également intégrer d'autres facteurs de l'environnement, variables selon les groupes que l'on cherche à modéliser. Ces approches imposent dans tous les cas un compromis entre signification écologique des variables et disponibilités des données à large échelle.

Avec des modèles établis à partir de données observées il est envisageable de se projeter dans le futur en utilisant l'un ou l'autre des scénarios SRES établis par le Giec et l'un ou l'autre des modèles couplés océan-atmosphère. Le plus souvent les auteurs en choisissent un seul, là encore pour des raisons de disponibilité des donnés. La mise à disposition d'un outil simplifiant les démarches a permis ces derniers temps la prise en compte plus systématique de différents scénarios (Solymosi et al., 2008).

En milieu aquatique ce type d'approche a été utilisé pour les poissons migrateurs européens (Béguer et al., 2007 ; Lassalle, 2008 ; Lassalle et al., 2008a ; Lassalle et al., 2009 ; Lassalle & Rochard, 2009 ; Lassalle et al., In press) et à plus petite échelle pour les communautés piscicoles du bassin de la Garonne (Buisson et al., 2008a ; Buisson et al., 2008b). Le même type d'approche a été conduit pour les espèces néozélandaise (poissons et certains décapodes) dans les bassin versants (Joy & Death, 2004 ; Leathwick et al., 2008) et spécifiquement dans les estuaires (Francis et al., 2005).

Dans quelques très rares cas (aucun à notre connaissance en milieu aquatique) des auteurs sont parvenus à coupler plusieurs modèles : come par exemple : paysage, oiseaux et parasites (Jewell et al., 2007), ou paysage, pratiques forestières et oiseaux.

Des limitations importantes (théoriques et pratiques)

A partir d'approches muséographiques (listes des espèces recensées) il est théoriquement impossible et, sauf exceptions, pratiquement très difficile de pouvoir établir là où une espèce est absente (Zaniewski et al., 2002 ; Lütolf et al., 2006).

Ce type de modèle amène rapidement à assimiler l'aire de distribution d'une espèce et sa niche écologique (Soberon, 2007). Les distributions observées (niches réalisées) résultent pourtant d'une restriction de l'aire de distribution potentielle, compte tenu notamment des interactions avec les autres espèces. Ces interactions peuvent évoluer dans un sens ou un autre compte tenu de l'adaptation des espèces au nouveau contexte. Les espèces vont s'adapter jusqu'à un certain point (Angilletta et al., 2003) notamment les organismes

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

inférieurs (Skelly et al., 2007 ; Dormann, in press) et les travaux menés sur les arbres ont montré que cette capacité d'adaptation était plus importante qu'imaginé au départ. Cette adaptation peut dans certains cas aller jusqu'au changement de niche écologique (Pearman et al., 2008).

Le grain des données de départ influe fortement sur les résultats. Les modèles basés sur les grains les plus grossiers sous estiment les pertes de potentiel (Trivedi et al., 2008)

Des réflexions en cours sur la façon d'intégrer les processus

La question se pose actuellement de savoir comment les espèces vont s'adapter au changement climatique, à la fois dans leur localisation actuelle (la théorie des normes de réactions nous donne quelques éléments pour l'imaginer au moins qualitativement (Stearns, 1977 ; Stearns & Crandall, 1984 ; Stearns & Koella, 1986) et spatialement. On dispose pour certains arbres de données paléontologiques permettant de comprendre ce qui s'est déjà passé (Pearson, 2006). Cette dimension qui constitue un défi actuel (Thuiller et al., 2008) nécessite une très large intégration des processus la prise en compte de la dynamique spatiale des espèces ; des dynamiques des populations et des métapopulations, des processus de migrations (Kearney & Porter, 2009).

Traits d'histoire de vie

Caractéristiques des individus le long d'un gradient latitudinal ou altitudinal

On dispose d'un cadre théorique : les normes de réactions (Stearns, 2000 ; Fischer & Fiedler, 2002 ; Heino et al., 2002) qui permet d'expliquer de quelles façons une espèce le long d'un gradient peut pour maximiser son adaptation à l'environnement ajuster ses traits d'histoire de vie. Empiriquement on retrouve le cas particulier d'un gradient de température sous le nom de règle de Bergman (Meiri et al., 2007). Des auteurs ont ainsi montré l'influence de la latitude et de la température :

- sur la croissance, l'âge et la taille des smolts, l'âge à la maturité et le taux d'itéroparité chez la Truite de mer *Salmo trutta* (L'Abee-Lund et al., 1989 ; Jonsson & L'Abée-Lund, 1993) ;
- sur le nombre et la taille des œufs chez le saumon *Oncorhinchus kisutch* (Fleming & Gross, 1990) ;
- sur la taille des géniteurs de grande alose *Alosa alosa* (Lassalle et al., 2008b).

Le même type de phénomène a été mis en évidence chez les amphibiens en fonction de gradients altitudinaux (Morrison & Hero, 2003)et chez les oiseaux (Jiguet et al., 2007). Pour autant il n'y a pas d'évidence d'une évolution génétique en liaison avec CC (Gienapp et al., 2008).

Dynamique des populations

Approche macroécologique

Une augmentation de t° peut être approchée par un déplacement le long d'un gradient de latitude. On peut ainsi utiliser les observations faites sur une période homogène à différentes latitudes et longitudes (approche synchronique), ce qui est souvent plus simple que de disposer de longues séries chronologiques (approche diachronique). On a ainsi peut établir un lien entre t° de l'eau de surface et succès de reproduction chez les oiseaux de mer (Sandvik, et al., 2008) et entre croissance et latitude chez la truite (Jensen et al., 2000)

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Observations locales et approche expérimentale des liens entre température et processus

Les nombreux travaux de Thermoécologie menés depuis les années 1980 suite au développement de l'industrie nucléaire nous fournissent une idée assez précise des phénomènes agissant à différentes échelles (des enzymes mitochondriales au comportement de l'individu) (Pörtner, 2001 ; Ficke, et al., 2007) (Figure 3). On a ainsi put établir des niches thermiques (Magnuson & Destasio, 1997) pour différentes espèces ou stades comme les jeunes Salmonidés (Jensen et al., 1989), les larves de lamproies(Holmes & Lin, 1994 ; Holmes & Youson, 1994 ; 1997 ; Holmes & Youson, 1998). Le mode d'action de la température dans la dynamique des populations a également été analysé comme dans le cas de l'éperlan *Osmerus eperlanus* (Pronier & Rochard, 1998) avec une influence en cascade sur la croissance, l'âge à la première maturité et les effectifs de la population.
Ces travaux ont été synthétisés repris et précisés ces dernières années dans le contexte du changement climatique par exemple pour examiner les possibilités de survie et de croissance des jeunes de la grande alose (Jatteau et Charles travaux en cours).

On dispose de données sur un nombre encore insuffisant d'espèces et la diversité des protocoles expérimentaux limitent les comparaisons. Expérimentalement on approche vraisemblablement ainsi plutôt la niche théorique que la niche réalisée.

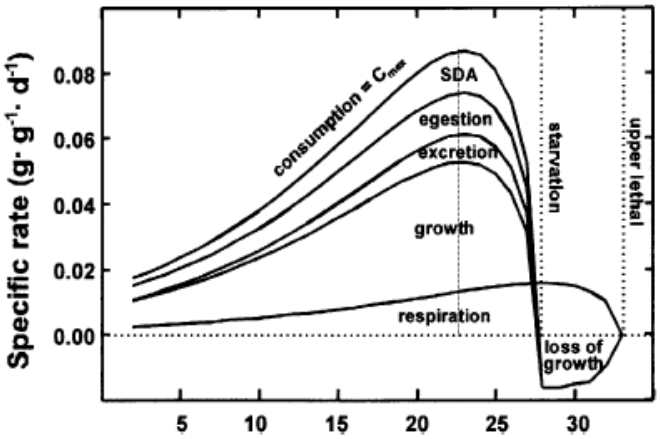


Fig. 3 The energy budget of a yellow perch as a function of temperature. Note the rapid decline in growth as temperature increases beyond 25°C. The vertical dotted line at 23°C indicates the optimal temperature and maximum metabolic scope for this species. From Kitchell et al. (1977), used with permission

Figure 3 Enchainement des processus physiologiques (Ficke et al., 2007)

Modèles de dynamique de population (matriciel ou individus centré) incluant explicitement la température

On cherche ainsi à tester in silico l'évolution d'une population selon un scénario climatique donné avec comme question sous jacentes l'identification des conditions conduisant à la persistance ou non d'une espèce. On peut ainsi examiner les effets synergiques de différents facteurs comme dans le cas des populations de truites *Salmo trutta* et *Oncorhynchus mykiss* (Jager et al., 1999) , du chabot *Cottus gobio* (Chaumot et al., 2006), du Saumon *Oncorhynchus tshawytscha* (Angilletta et al., 2008 ; Crozier et al., 2008) Figure 4et du saumon atlantique (Prévost et al. Travaux en cours). Ces travaux fournissent des aides précieuses à la décision locale, mais ils ne fournissent des réponses

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

qu'à l'échelle des populations, des réflexions sont en cours pour changer d'échelle (métapopulations)

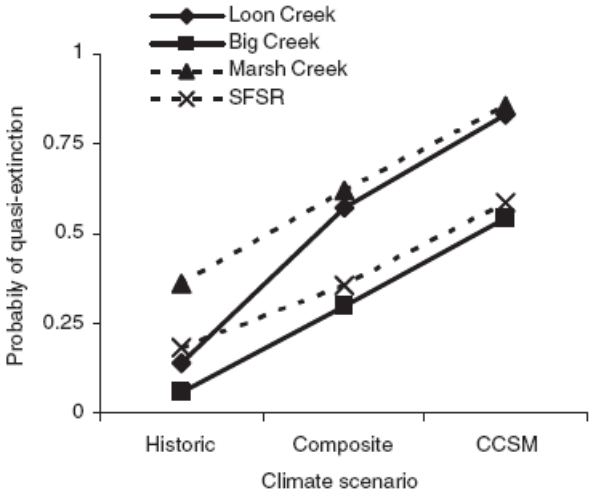
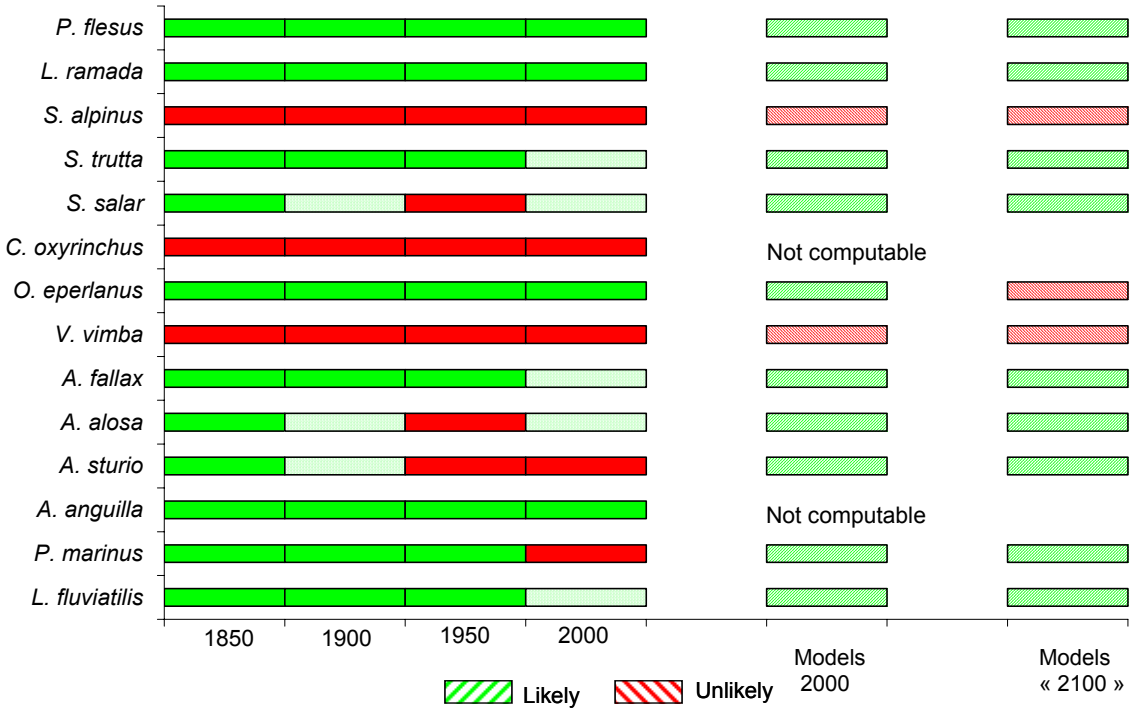


Fig. 5 Quasi-extinction probabilities under different climate scenarios. Solid lines represent temperature-sensitive populations, and dotted lines represent flow-sensitive populations.

Figure 4 Probabilité d'extinction de plusieurs populations de Saumon pacifique *Oncorhynchus* , selon plusieurs scénarios climatiques locaux (Crozier et al., 2008)

Dans le cas de la Seine

Dans un récent travail nous avons appliqué un modèle de niche pour estimer les espèces migratrices pour lesquelles la Seine resterait un environnement potentiellement favorable (Rochard et al., 2007 ; Rochard et al., in press). Cette approche à petite échelle reste toutefois une extrapolation délicate de modèles statistiques qui doivent surtout être utilisés à plus large échelle.



CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Figure 5 Présences observées à différentes périodes (1850, 1900, 1950, 2000) des espèces migratrices présentes sur la façade atlantique européenne. Et projections issus des modèles de niches (Béguer, et al., 2007) pour 2000 et 2100.

Questions futures

Les interactions sont majeures pour la définition et le fonctionnement des écosystèmes (réseaux trophiques). Aujourd'hui on les connait encore très mal et on ne sait pas les prendre en compte dans les modèles. On prévoit des changements majeurs de fonctionnement « regime shift » des écosystèmes mais on ne sait pas pour quelles conditions ils se produiront ni comment se déroulera la phase transitoire. Enfin le changement climatique n'est pas la seule pression en œuvre et ne sait pas déconvoluer l'influence des variables.

« *Ce rapide survol a permis à votre Rapporteur d'insister sur l'intérêt qu'il y aurait à pouvoir* ***évaluer les conséquences possibles d'un changement climatique global à partir d'inventaires précis de données quantitatives à la fois dans l'espace et dans le temps****. A partir de cela, il serait peut-être envisageable de* ***développer des modèles de fonctionnement de l'écosystème marin****. »* (Deneux, 2002)

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Références bibliographiques mentionnées dans ce document

Angilletta, M.J., Wilson, R.S., Navas, C.A., and James, R.S. (2003) Tradeoffs and the evolution of thermal reaction norms. *Trends in Ecology & Evolution* 18, 234-240

Angilletta, M.J.J., Steel, E.A., Bartz, K., K. , Kingsolver, J., G. , Scheuerell, M., D. , Beckman, B., R., and Crozier, L., G. (2008) Big dams and salmon evolution: changes in thermal regimes and their potential evolutionary consequences. *Evolutionary Applications* 1, 286-299

Aprahamian, M., Davidson, I., C., and Cove, R., J. (2008) Life history changes in Atlantic salmon from the River Dee, Wales. *Hydrobiologia* 602, 61-78

Austin, M. (2007) Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling* 200, 1-19

Austin, M.P. (2002) Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling* 157, 101-118

Béguer, M., Beaulaton, L., and Rochard, E. (2007) Distribution and richness of diadromous fish assemblages in Western Europe: large scale explanatory factors. *Ecology of Freshwater Fish* 16, 221-237

Boylan, P., and Adams, C.E. (2006) The influence of broad scale climatic phenomena on long term trends in Atlantic salmon population size: an example from the River Foyle, Ireland. *Journal of Fish Biology* 68, 276-283

Brander, K.M. (2005) Cod recruitment is strongly affected by climate when stock biomass is low. *ICES Journal of Marine Science* 62, 339-343

Brook, B.W., Sodhi, N.S., and Bradshaw, C.J.A. (2008) Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology & Evolution* 23, 453-460

Buisson, L., Blanc, L., and Grenouillet, G. (2008a) Modelling stream fish species distribution in a river network: the relative effects of temperature versus physical factors. *Ecology of Freshwater Fish* 17, 244-257

Buisson, L., Thuiller, W., Lek, S., Lim, P., and Grenouillet, G. (2008b) Climate change hastens the turnover of stream fish assemblages. *Global Change Biology* 14, 2232-2248

Chaumot, A., Milioni, N., Abdoli, A., Pont, D., and Charles, S. (2006) First step of a modeling approach to evaluate spatial heterogeneity in a fish (Cottus gobio) population dynamics. *Ecological Modelling* 197, 263-273

Clark, W.G., and Hare, S.R. (2002) Effects of climate and stock size on recruitment and growth of Pacific halibut. *North American Journal of Fisheries Management* 22, 852-862

Coppack, T., Tindemans, I., Czisch, M., Van der Linden, A., Berthold, P., and Pulido, F. (2008) Can long-distance migratory birds adjust to the advancement of spring by shortening migration distance? The response of the pied flycatcher to latitudinal photoperiodic variation. *Global Change Biology* 14, 2516-2522

Crozier, L.G., Zabel, R.W., and Hamlet, A.F. (2008) Predicting differential effects of climate change at the population level with life-cycle models of spring Chinook salmon. *Global Change Biology* 14, 236-249

Daufresne, M., Bady, P., and Fruget, J.-F. (2007) Impacts of global changes and extreme hydroclimatic events on macroinvertebrate community structures in the French Rhône River. *Oecologia* 151, 544-559

Daufresne, M., Lengfellner, K., and Sommer, U. (2009) Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 6

Daufresne, M., Roger, M.C., Capra, H., and Lamouroux, N. (2003) Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhône River: Effects of climatic factors. *Global Change Biology* 10, 124-140

Deneux, M. (2002) Rapport sur l'évaluation de l'ampleur des changements climatiques, de leurs cause et de leur impact prévisible sur la géographie de la france à l'horizon, 2025, 2050 et 2100. 291, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Dickey, M.-H., Gauthier, G., and Cadieux, M.-C. (2008) Climatic effects on the breeding phenology and reproductive success of an arctic-nesting goose species. *Global Change Biology* 14, 1973-1985
Dormann, C.F. (in press) Promising the future? Global change projections of species distributions. *Basic and Applied Ecology* In Press, Corrected Proof
Doswald, N., Willis, S.G., Collingham, Y.C., Pain, D.J., Green, R.E., and Huntley, B. (2009) Potential impacts of climatic change on the breeding and non-breeding ranges and migration distance of European *Sylvia* warblers. *Journal of Biogeography* 9999
Downton, M.W., and Miller, K.A. (1998) Relationships between Alaskan salmon catch and North Pacific climate on interannual and interdecadal time scales. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55, 2255-2265
Drinkwater, K.F., Belgrano, A., Borja, A., Conversi, A., Edwards, M., Greene, C.H., Ottersen, G., Pershing, A.J., and Walker, H. (2003) The Response of Marine Ecosystems to Climate Variability Associated With the North Atlantic Oscillation. In *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact.* (Hurrell, J.W*., et al.*, eds), 211-234, American Geophysical Union
Ficke, A., Myrick, C., and Hansen, L. (2007) Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 17, 581-613
Fischer, K., and Fiedler, K. (2002) Reaction norms for age and size at maturity in response to temperature: a test of the compound interest hypothesis. *Evolutionary Ecology* 16, 333-349
Fleming, I.A., and Gross, M.R. (1990) Latitudinal clines: a trade-off between egg number and size in Pacific salmon. *Ecology* 71, 1-11
Francis, M.P., Morrison, M.A., Leathwick, J., Walsh, C., and Middleton, C. (2005) Predictive models of small fish presence and abundance in northern New Zealand harbours. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 64, 419-435
Gienapp, P., Teplitsky, C., Alho, J.S., Mills, J.A., and Merila, J. (2008) Climate change and evolution: disentangling environmental and genetic responses. *Molecular Ecology* 17, 167-178
Graham, C.T., and Harrod, C. (2009) Implications of climate change for the fishes of the British Isles. *Journal of Fish Biology* 74, 1143-1205
Guisan, A., Edwards, T.C., and Hastie, T. (2002) Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling* 157, 89-100
Guisan, A., and Zimmermann, N.E. (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135, 147-186
Heikkinen, R.K., Luoto, M., Araujo, M.B., Virkkala, R., Thuiller, W., and Sykes, M.T. (2006) Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography* 30, 751-777
Heino, J., Virkkala, R., and Toivonen, H. (2009) Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biol. Rev.* 84, 39-54
Heino, M., Dieckmann, U., and God, O.R. (2002) Measuring probabilistic reaction norms for age and size at maturation. *Evolution* 56, 669-678
Holmes, J.A., and Lin, P. (1994) Thermal niche of larval sea lamprey, Petromyzon marinus. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51, 253-262
Holmes, J.A., and Youson, J.H. (1994) Fall condition factor and temperature influence the incidence of metamorphosis in sea lampreys, Petromyzon marinus. *Canadian Journal of Zoology* 72, 1134-1140
Holmes, J.A., and Youson, J.H. (1997) Laboratory study of the effects of spring warming and larval density on the metamorphosis of sea lampreys. *Transactions of the American Fisheries Society* 126, 647-657
Holmes, J.A., and Youson, J.H. (1998) Extreme and optimal temperatures for metamorphosis in sea lampreys. *Transactions of the American Fisheries Society* 127, 206-211
Hughes, L. (2000) Biological consequences of global warming: Is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution* 15, 56-61
Hüppop, O., and Winkel, W. (2006) Climate change and timing of spring migration in the long-distance migrant *Ficedula hypoleuca* in central Europe: the role of spatially different temperature changes along migration routes. *Journal of Ornithology* 147, 344-353
Hurrel, J., Kushnir, Y., and Visbeck, M. (2001) The North Atlantic Oscillation. *Science* 291, 603-605

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Hurrell, J.W. (1995) Decadal Trends in the North-Atlantic Oscillation - Regional Temperatures and Precipitation. *Science* 269, 676-679
Jager, H.I., Van Winkle, W., and Holcomb, B.D. (1999) Would hydrologic climate changes in Sierra Nevada streams influence trout persistence. *Transactions of the American Fisheries Society* 128, 222-240
Jensen, A.J., Johnsen, B.O., and Saksgard, L. (1989) Temperature requirements in atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), and arctic char (*Salvelinus alpinus*) from hachting to initial feeding compared with geographic distribution. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences* 46, 786-789
Jewell, K.J., Arcese, P., and Gergel, S.E. (2007) Robust predictions of species distribution: Spatial habitat models for a brood parasite. *Biological Conservation* 140, 259-272
Jiguet, F., Gadot, A.-S., Julliard, R., Newson, S.E., and Couvet, D. (2007) Climate envelope, life history traits and the resilience of birds facing global change. *Global Change Biology* 13, 1672-1684
Johnson, A.C., Acreman, M.C., Dunbar, M.J., Feist, S.W., Giacomello, A.M., Gozlan, R.E., Hinsley, S.A., Ibbotson, A.T., Jarvie, H.P., Jones, J.I., Longshaw, M., Maberly, S.C., Marsh, T.J., Neal, C., Newman, J.R., Nunn, M.A., Pickup, R.W., Reynard, N.S., Sullivan, C.A., Sumpter, J.P., and Williams, R.J. (2009) The British river of the future: How climate change and human activity might affect two contrasting river ecosystems in England. *Science of The Total Environment* 407, 4787-4798
Jonsson, B., and L'Abée-Lund, J.H. (1993) Latitudinal clines in life-history variables of anadromous brown trout in Europe. *Journal of Fish Biology* 43, 1-16
Joy, M.K., and Death, R.G. (2004) Predictive modelling and spatial mapping of freshwater fish and decapod assemblages using GIS and neural networks. *Freshwater Biol* 49, 1036-1052
Kearney, M., and Porter, W. (2009) Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters* 12, 334-350
L'Abee-Lund, J.H., Jonsson, B., Jensen, A.J., Saettem Leif, M., Heggberget, T.G., Johnsen, B.O., and Naesje, T.F. (1989) Latitudinal Variation in Life-History Characteristics of Sea-Run Migrant Brown Trout *Salmo trutta*. *Journal of Animal Ecology* 58, 525-542
Lassalle, G. (2008) *Impacts des changements globaux sur la distribution des poissons migrateurs amphihalins, une approche par modélisation à l'échelle continentale*. PhD thesis, Université de Bordeaux I
Lassalle, G., Béguer, M., Beaulaton, L., and Rochard, E. (2008a) Diadromous fish conservation plans need to consider global warming issues: An approach using biogeographical models. *Biological Conservation* 141, 1105-1118
Lassalle, G., Béguer, M., Beaulaton, L., and Rochard, E. (In press) Learning from the past to predict the future: responses of European diadromous fish to climate change. *American Fisheries Society Symposium*
Lassalle, G., Crouzet, P., and Rochard, E. (2009) Modelling the current distribution of European diadromous fishes: an approach integrating regional anthropogenic pressures. *Freshwater Biology* 54, 587-606
Lassalle, G., and Rochard, E. (2009) Impact of twenty-first century climate change on diadromous fish spread over Europe, North Africa and the Middle East. *Global Change Biology* 15, 1072-1089
Lassalle, G., Trancart, T., Lambert, P., and Rochard, E. (2008b) Latitudinal variations in age and size at maturity among Allis shad *Alosa alosa* populations. *Journal of Fish Biology* 73, 1799-1809
Leathwick, J.R., Elith, J., Chadderton, W.L., Rowe, D., and Hastie, T. (2008) Dispersal, disturbance and the contrasting biogeographies of New Zealand's diadromous and non-diadromous fish species. *Journal of Biogeography* 35, 1481-1497
Lehmann, A., Overton, J.M., and Leathwick, J.R. (2002) GRASP: generalized regression analysis and spatial prediction. *Ecological Modelling* 157, 189-207
Luoto, M., Poyry, J., Heikkinen, R.K., and Saarinen, K. (2005) Uncertainty of bioclimate envelope models based on the geographical distribution of species. *Global Ecology and Biogeography* 14, 575-584
Lütolf, M., Kienast, F., and Guisan, A. (2006) The ghost of past species occurrence: improving species distribution models for presence-only data. *Journal of Applied Ecology* 43, 802-815

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Maclean, I.M.D., Austin, G.E., Rehfisch, M.M., Blew, J., Crowe, O., Delany, S., Devos, K., Deceuninck, B., Günther, K., Laursen, K., Roomen, M.V.A.N., and Wahl, J. (2008) Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter. *Global Change Biology* 14, 2489-2500
Magnuson, J., and Destasio, B. (1997) Thermal niche of fishes and global warming In *GLOBAL WARMING: IMPLICATIONS FOR FRESHWATER AND MARINE FISH* (Series, S.o.E.B.S., ed)
Meiri, S., Yom-Tov, Y., and Geffen, E. (2007) What determines conformity to Bergmann's rule? *Global Ecology and Biogeography* 16, 788-794
Menzel, A. (2002) Phenology: Its Importance to the Global Change Community. *Climatic Change* 54, 379-385
Meynecke, J.-O., Lee, S.Y., Duke, N.C., and Warnken, J. (2006) Effect of rainfall as a component of climate change on estuarine fish production in Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 69, 491-504
Miller-Rushing, A.J., Lloyd-Evans, T.L., Primack, R.B., and Satzinger, P. (2008) Bird migration times, climate change, and changing population sizes. *Global Change Biology* 14, 1-14
Morin, X., Lechowicz, M.J., Augspurger, C., O'Keefe, J., Viner, D., and Chuine, I. (2009) Leaf phenology in 22 North American tree species during the 21st century. *Global Change Biology* 15, 961-975
Morrison, C., and Hero, J.M. (2003) Geographic variation in life-history characteristics of amphibians: a review. *Journal of Animal Ecology* 72, 270-279
Murawski, S.A. (1993) Climate change and marine fish distribution : Forecasting from historical analogy. *Transactions of the American Fisheries Society* 122, 647-658
Parmesan, C., and Yohe, G. (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, 37-42
Pearman, P.B., Guisan, A., Broennimann, O., and Randin, C.F. (2008) Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology & Evolution* 23, 149-158
Pearson, R.G. (2006) Climate change and the migration capacity of species. *Trends in Ecology & Evolution* 21, 111-113
Pörtner, H. (2001) Climate change and temperature-dependent biogeography: oxygen limitation of thermal tolerance in animals. *Naturwissenschaften* 88, 137-146
Poulard, J.C., and Blanchard, F. (2005) The impact of climate change on the fish community structure of the eastern continental shelf of the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science* 62, 1436-1443
Pronier, O., and Rochard, E. (1998) Fonctionnement d'une population d'éperlan (*Osmerus eperlanus*, Osmériformes Osmeridae) située en limite méridionale de son aire de répartition, influence de la température. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 350-51, 479-497
Rochard, E., Marchal, J., Pellegrini, P., Béguer, M., Ombredane, D., Gazeau, C., Baglinière, J.L., Croze, O., Menvielle, E., and Lassalle, G. (2007) Identification éco-anthropologique d'espèces migratrices, emblématiques de la reconquête d'un milieu fortement anthropisé, la Seine. In *Programme Seine aval*, 143, Cemagref Bordeaux, Rennes Agrocampus, Muséum National d'histoire Naturelle
Rochard, E., Pellegrini, P., Marchal, J., Béguer, M., Ombredane, D., Lassalle, G., Menvielle, E., and Baglinière, J.L. (in press) Diadromous diversity recovery and wish of inhabitants: Lesson from an eco anthropological approach (The Seine basin, France). In *Proceedings of the international symposium Challenges for Diadromous Fishes in a Dynamic Global Environmen* (AFS, ed)
Sandvik, H., Coulson, T.I.M., and Saether, B.-E. (2008) A latitudinal gradient in climate effects on seabird demography: results from interspecific analyses. *Global Change Biology* 14, 703-713
Skelly, D.K., Joseph, L.N., Possingham, H.P., Freidenburg, L.K., Farrugia, T.J., Kinnison, M.T., and Hendry, A.P. (2007) Evolutionary Responses to Climate Change. *Conservation Biology* 21, 1353-1355
Soberon, J. (2007) Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters* 10, 1115-1123
Solymosi, N., Kern, A., Maroti-Agots, A., Horvath, L., and Erdelyi, K. (2008) TETYN: An easy to use tool for extracting climatic parameters from Tyndall data sets. *Environmental Modelling & Software* 23

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Sparks, T., Huber, K., Bland, R., Crick, H., Croxton, P., Flood, J., Loxton, R., Mason, C., Newnham, J., and Tryjanowski, P. (2007) How consistent are trends in arrival (and departure) dates of migrant birds in the UK? *Journal of Ornithology*
Sparks, T.H. (2007) Lateral thinking on data to identify climate impacts. *Trends in Ecology & Evolution* 22, 169-171
Stearns, S.C. (1977) The Evolution of Life History Traits: A Critique of the Theory and a Review of the Data. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 145-171
Stearns, S.C. (2000) Life history evolution: Successes, limitations, and prospects. *Naturwissenschaften* 87, 476-486
Stearns, S.C., and Crandall, R.E. (1984) Plasticity for age and size at sexual maturity: a life history response to unavoidable stress. Academic Press
Stearns, S.C., and Koella, J.C. (1986) The evolution of phenotypic plasticity in life-history traits: predictions of reaction norms for age and size at maturity. *Evolution* 40, 893-913
Stenseth, N.C., Ottersen, G., Hurrell, J.W., Mysterud, A., Lima, M., Chan, K.S., Yoccoz, N.G., and Adlandsvik, B. (2003) Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Nino Southern Oscillation and beyond. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 270, 2087-2096
Straile, D., Livingstone, D.M., Weyhenmeyer, G.A., and George, D.G. (2003) The Response of Freshwater Ecosystems to Climate Variability Associated with the North Atlantic Oscillation. In *The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact* (Hurrell, J.W.*, et al.*, eds), 263-279
Taylor, S.G. (2008) Climate warming causes phenological shift in Pink Salmon, Oncorhynchus gorbuscha, behavior at Auke Creek, Alaska. *Global Change Biology* 14, 229-235
Thomas, C.D., Franco, A.M.A., and Hill, J.K. (2006) Range retractions and extinction in the face of climate warming. *Trends in Ecology & Evolution* 21, 415-416
Thuiller, W., Albert, C., Araujo, M.B., Berry, P.M., Cabeza, M., Guisan, A., Hickler, T., Midgley, G.F., Paterson, J., Schurr, F.M., Sykes, M.T., and Zimmermann, N.E. (2008) Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9, 137-152
Tonn, W. (1990) Climate Change and Fish Communities: A Conceptual Framework. *Transactions of the American Fisheries Society* 119, 337-352
Trivedi, M.R., Berry, P.M., Morecroft, M.D., and Dawson, T.P. (2008) Spatial scale affects bioclimate model projections of climate change impacts on mountain plants. *Global Change Biology* 14, 1089-1103
Tylianakis, J.M., Didham, R.K., Bascompte, J., and Wardle, D.A. (2008) Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 11, 1351-1363
Van Buskirk, J., Mulvihill, R.S., and Leberman, R.C. (2009) Variable shifts in spring and autumn migration phenology in North American songbirds associated with climate change. *Global Change Biology* 15, 760-771
Vaughan, I.P., and Ormerod, S.J. (2005) The continuing challenges of testing species distribution models. *Journal of Applied Ecology* 42, 720-730
Visbeck, M., Chassignet, E.P., Curry, R.G., Delworth, T.L., Dickson, R.R., and Krahmann, G. (2003) The Ocean's Response to North Atlantic Oscillation Variability. In *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact.* (Hurrell, J.W.*, et al.*, eds), 113-145, American Geophysical Union
Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O., and Bairlein, F. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, 389-395
Weidinger, K., and Kral, M. (2007) Climatic effects on arrival and laying dates in a long-distance migrant, the Collared Flycatcher *Ficedula albicollis*. *Ibis* 0, ???-???
Welch, D., and Nagasawa, I. (1998) Thermal limits and ocean migrations of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*): long-term consequences of global warming. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55, 937-948

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Zaniewski, A.E., Lehmann, A., and Overton, J.M.C. (2002) Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. *Ecological Modelling* 157, 261-280

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref