

Programme GICC Gestion et Impacts du Changement Climatique
Séminaire scientifique de restitution
11-12 mai 2006, PARIS

CONSEQUENCES POTENTIELLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES BIOCENOSSES AQUATIQUES ET RIVERAINES FRANÇAIS (2001-2003)

Pont D.¹, Bady P.², Boët P.³, Carrel G.¹, Combe P.M.⁴, Doledec S.², Dutartre A.⁵, Gorge G.⁶, Olivier J.M.², Lamouroux N.⁷, Plante-Tabacchi A.M.⁸, Poirel A.⁹, Rogers C.¹, Tabacchi E.⁸

Présentation orale par PONT Didier

1 : CEMAGREF, UR Hydrobiologie. Grpt Aix en Provence. 3275, Route de Cézanne, CS 40061, 13182 aix en Provence Cedex 5, tel : 33 (0)4 42 66 99 75. e-mail : didier.pont@aix.cemagref.fr

2 : CNRS UMR 5023 Ecologie des Hydrosystèmes Fluviaux. Université Lyon 1

3 : CEMAGREF, UR Écosystèmes estuariens et Poissons migrateurs amphihalins. Grpt Bordeaux

4 : CNRS UMR 5601 Laboratoire d'Economie et de Gestion. U. de Bourgogne

5 : CEMAGREFUR Qualité eaux. Grpt Bordeaux

6 : CEMAGREF, UR Qualité et fonctionnement hydrologique des systèmes aquatiques. Grpt Antony

7 : CEMAGREFUR Hydroécologie Quantitative. Grpt Lyon

8 : CNRS UMR C5171 Laboratoire DYnamique de la BIOdiversité, U. P. Sabatier (Toulouse)

9 : EDF. DTG Grenoble

RESUME DE LA COMMUNICATION

Les conséquences des changements climatiques planétaires sont susceptibles d'affecter de façon significative la plupart des écosystèmes. A l'échelle régionale, les modifications du climat auront de profondes répercussions sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et riverains.

L'objectif de notre programme de recherche est d'analyser dans quelle mesure les changements climatiques tels qu'actuellement attendus en France sont susceptibles :

- de favoriser la propagation des espèces végétales exotiques dans les milieux riverains et aquatiques, parfois au détriment des taxons autochtones,
- de modifier les peuplements de macro-invertébrés et de poissons des cours d'eau français,
- de générer de multiples enjeux socio-économiques

Les résultats attendus sont :

- de mettre en évidence les types d'habitats et/ou les zones géographiques pour lesquels les conséquences biologiques du réchauffement climatique seront les plus marquées,
- de préciser la sensibilité potentielle des espèces ou des taxons face aux changements climatiques à l'échelle de leurs aires de répartition sur le territoire national,
- d'analyser les conséquences liées à la perte d'habitats favorables sur des réseaux hydrographiques test,
- d'évaluer les risques d'expansion des espèces végétales exotiques,
- d'élaborer un cadre pour une réflexion cohérente autour des enjeux halieutiques et associés.

Notre méthodologie privilégie la modélisation à partir de l'exploitation de grandes bases de données existantes et la combinaison d'approches à différentes échelles (nationales et régionales). Ces objectifs sont accessibles dans la mesure où nous pourrions nous appuyer sur les scénarios et prévisions climatiques établis par les autres projets GICC et en particulier le programme GICC-Rhône (E. Leblois, prévisions hydrologiques) et le programme de Y. Polcher (scénarios globaux).

Le programme est structuré en 7 Actions :

Action 1 : Spatialisation des données thermiques à l'échelon national. UMR 5600, UMR 5023

Action 2 : Analyse des réponses biologiques à la variabilité climatique par l'examen de chroniques temporelles. UMR 5023, CEMAGREF Aix et Antony

Action 3 : Modélisation des réponses biologiques à l'échelon national. UMR 5023

Action 4 : Chantier « Adour-Garonne » : Typologie des réponses des espèces végétales exotiques. UMR 5576, CEMAGREF-Bordeaux

Action 5 : Chantier « Bassin du Rhône ». Réponses à la variabilité hydrologique et fragmentation des habitats dans un réseau hydrographique. UMR 5023 CEMAGREF Lyon

Action 6 : Chantier « Bassin de la Seine ». Sensibilité à la température des arbres de décision pour la prédiction des peuplements piscicoles. CEMAGREF-Anthony et Clermont-Ferrand

Action 7 : Enjeux halieutiques et associés. Réponses des acteurs. UMR 5601

Les méthodologies utilisées dans le cadre de cette étude relèvent :

- de l'usage des Systèmes d'Information Géographique en relation avec des techniques relevant de la géostatistique (Actions 1 et 6)
- de l'analyse exploratoire des données par des outils d'analyse multivariée (analyse de co-inertie multiple, Action 2), des procédures de lissage (Action 1,2 et 3), de la technique du hierarchical partitioning (Action 3)
- de la modélisation : modèles non linéaires mixtes (Action 5), modélisation logistique (Actions 3 et 4), arbre de décision (Action 4)
- du couplage de modèles décrivant des processus hydrologiques, hydrauliques et biologiques
- et, plus secondairement, de techniques d'enquêtes et d'expérimentation (Actions 4 et 7).

Seuls certains résultats du projet seront présentés lors de cette communication, et plus particulièrement ceux relatifs aux réponses des populations piscicoles

Spatialisation des données thermiques à l'échelon national.

La création d'une base d'estimations des températures moyennes mensuelles 1980-99, soit 240 couvertures, présente un intérêt majeur : la possibilité de disposer d'une base homogène au niveau national, commun aux différents chantiers régionaux, et à partir de laquelle il a été possible d'élaborer des paramètres optimisés pour la modélisation écologique. L'interpolation a été effectuée à partir d'observations de 534 postes de la Météorologie Nationale, par le krigage des températures réduites au niveau de la mer en fonction du coefficient moyen du gradient thermique d'altitude en France. Les estimations furent ensuite transformées en estimations des températures vraies d'après les altitudes d'un M.N.T. kilométrique (EROS Data Center, USGS). Le contrôle indépendant sur une sélection aléatoire de 120 postes montre une erreur moyenne de $\pm 0,59$ °C et de $\pm 1,84$ °C à un intervalle de confiance à 95%, tandis que l'analyse par station de contrôle relève que certaines d'entre elles présentent des erreurs fortes, systématiquement positives ou négatives (situations atypiques). L'ensemble des estimations mensuelles a été constitué en base de données géoréférencée, diffusée aux équipes participant au programme AQUABIO.

Cinq simulations climatiques ont été prises en compte pour l'évaluation des impacts des changements thermiques sur les biocénoses aquatiques et riveraines. Quatre simulations à base résolution ont été mises à disposition par le Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) du ISPL, Paris (modèles LMD6 A (Sechiba) et B (Bucket) et CNRM A et B). Une cinquième simulation à Haute résolution (simulation ARPEGE+ISBA sous HadCM3, à résolution variable) a été obtenue directement auprès du CNRM, Toulouse pour affiner la représentation spatiale. Alors que les anomalies thermiques des simulations à basse résolution ont été appliquées telle qu'elles au niveau des mailles de simulation (200 à 300 km de côté), les anomalies à haute résolution ont fait l'objet d'une interpolation régularisée (fonction Spline) pour assurer une certaine continuité spatiale. Les anomalies mensuelles ont été calculées par soustraction des valeurs de référence aux valeurs de simulation, puis appliquées aux températures actuelles du S.I.G.

Analyse des réponses piscicoles à la variabilité climatique par l'examen de chroniques temporelles.

Sous nos latitudes, le succès de la reproduction des poissons des eaux courantes est largement contrôlé par la réalisation de conditions physiques favorables ; interaction complexe entre des variables environnementales périodiques et hautement prédictives telles que la durée du jour et la température, et d'autres facteurs abiotiques, nettement moins prévisibles, dépendants de l'hydrologie. La variabilité inter-annuelle du succès de la reproduction des poissons Cyprinidae a été étudiée à partir des données piscicoles collectées depuis 20 ans (1982 et 2001) au droit des sites nucléaires de la vallée du Rhône. Elle est mise en parallèle avec les données thermiques acquises dans le cadre de l'auto-contrôle de ces installations industrielles. L'analyse du régime thermique printanier et estival du Rhône à l'aval de Lyon a été réalisée à partir de 21 descripteurs de 4 chroniques journalières de températures enregistrées par Electricité de France depuis 25 années (1977-2001). Des modifications sensibles du régime sont intervenues depuis la fin des années 1980, traduites par un réchauffement, une précocité des différents seuils thermiques, une réduction de la durée de la période froide et une prolongation de la durée de la période la plus chaude. Si la température apparaît déterminante quant au succès de la reproduction des espèces étudiées, d'autres facteurs abiotiques tels que ceux associés à la variabilité hydrologique ne peuvent être ignorés dans l'étude de cette chronique piscicole.

Modélisation des distributions piscicoles à l'échelon national

L'objectif est d'évaluer les conséquences potentielles du changement climatique sur les espèces de poissons dans les cours d'eau français en se focalisant plus particulièrement sur les aspects liés au réchauffement. De façon plus précise, il s'agit d'évaluer les modifications introduites par les différents scénarios thermiques dans la disponibilité en habitat favorable. Cette approche ne prend donc pas en compte les modifications hydrologiques, les influences des processus de dispersion et des interactions trophiques. Nous avons eu recours, en collaboration avec le Conseil Supérieur de la Pêche, aux données du Réseau Hydrobiologique et Piscicole pour construire des modèles probabilistes prenant en compte la température de l'air au droit des stations, mais également le contexte hydro-morphologique et régional du tronçon de cours d'eau considéré.

Dans une première étape, et à l'aide de la méthode du Hierarchical Partitioning, nous avons évalué, pour les 13 espèces les plus communes, leur sensibilité relative à l'hydro-morphologie locale (pente et largeur mouillée), à la moyenne thermique annuelle et à l'appartenance à l'un des 4 grands bassins français (unité régionale limitant la dispersion). Pour la plupart des espèces, la pente locale du tronçon de cours d'eau est un paramètre majeur et induit une succession des taxons le long de ce gradient écologique. Pour toutes les espèces peuplant préférentiellement l'aval, on observe une réponse positive à l'accroissement de la superficie du bassin drainé, en accord avec la théorie d'un accroissement continu de la richesse le long du gradient longitudinal. La température est un facteur contributif important pour certaines espèces (Chabot, Truite et Ablette en particulier). Enfin, l'unité hydrographique est le facteur prépondérant pour le Chabot. Les faibles contributions observées pour l'amplitude thermique laissent à penser que ce paramètre n'est pas un excellent descripteur de la variabilité thermique intra annuelle et qu'il y a nécessité de recourir à une prise en compte plus fine de cette dernière (variabilité mensuelle).

Sur la base de ces premiers résultats, nous avons cherché à calibrer et à valider des modèles prédictifs de l'occurrence des espèces incluant en tant que variables explicatives, une description de l'habitat physique des espèces et des descripteurs de la variabilité thermique inter-saisonnière. En fonction de la biologie des espèces, nous avons défini quatre saisons biologiques. Par ailleurs, nous avons déterminé que la période optimale de calcul des moyennes thermiques saisonnières à associer à chaque pêche correspondait à une période de cinq ans précédant l'échantillonnage, soit la durée de vie de la plupart des espèces. Les optimums thermiques saisonniers simples ont été calculés pour les 25 taxons. Puis, des modèles de régression logistiques multiples incluant les descripteurs environnementaux les plus significatifs ont été calibrés et validés (matrices de confusion, Indice de Kappa). 22 espèces sont finalement correctement modélisées.

Nous avons alors simulé les réponses de ces taxons aux 5 scénarios de variabilité climatique disponibles afin d'évaluer les conséquences potentielles d'un doublement du CO₂ atmosphérique. En moyenne sur les 5 scénarios, 5 espèces présentent des réductions potentielles fortes de leurs occurrences sur les 792 stations concernées. Il s'agit de 4 espèces cryophiles (Truite, Chabot, Loche franche, Lamproie de Planer) et d'une espèce introduite, la Perche soleil. Pour la Truite, la Lamproie et la Loche, l'impact s'accroît progressivement en fonction de l'accroissement de l'anomalie thermique annuelle, avec des réductions d'occurrence nettes pour des anomalies supérieures à 2°C. Pour le Chabot, seul le scénario *ModMétéo* affecte de façon importante la distribution de cette espèce. A l'inverse, de nombreuses espèces de cyprinidés sont affectées positivement, et de façon continue avec l'accroissement de l'anomalie : Chevaine, Ablette, Perche, Hotu, Barbeau commun et Barbeau méridional. L'épinochette montre également une réponse similaire. Les modifications potentielles d'occurrence pour toutes ces espèces apparaissent importantes, en particulier pour les scénarios présentant des anomalies élevées, supérieures à 2°C (*ModCnrmA*, *ModMétéo*). Enfin, les modifications à attendre des aires de distribution sont fournies par bassin hydrographique et à l'aide de représentations cartographiques.

Les tendances décrites précédemment auraient ainsi des répercussions fortes sur les peuplements piscicoles avec de façon générale, une raréfaction des espèces actuellement caractéristiques des zones amont des réseaux et une extension des espèces de cyprinidés les plus rhéophiles vers ces zones amont. Pour de nombreuses espèces, les anomalies d'occurrence les plus faibles se situeraient dans les bassins côtiers de la Manche et en Bretagne. A l'inverse, l'occurrence de la truite serait gravement affectée sur le bassin de la Seine en raison de l'absence de zone d'altitude refuge.

Facteurs climatiques et densité-dépendance.

A l'échelle populationnelle, les fluctuations d'abondance des juvéniles de gardon (*Rutilus rutilus*) ont été étudiées sur une période de 11 années (1987-1997) au niveau de quatre secteurs du Bas-Rhône. La reproduction apparaît comme un événement synchrone sur tout l'axe rhodanien, indépendant de la distance entre les populations, et directement liée aux facteurs hydro-climatiques. Les températures moyennes de l'eau en juin expliquent ainsi 55 % de la variabilité du recrutement en fin de période de croissance. A l'inverse, l'analyse de la survie apparente des juvéniles durant leur premier hiver (conditions défavorables) met en évidence une liaison significative entre ce taux de survie et leur densité à la fin de leur première année de vie, soit un mécanisme de régulation de type densité-

dépendant. Ces résultats peuvent expliquer la disparition du synchronisme inter-sites chez les juvéniles de un an. Ces résultats démontrent que les interactions biotiques peuvent atténuer de façon significative les conséquences de la variabilité climatique sur le stock d'individus reproducteur chez cette espèce.

Sensibilité écologique des poissons aux anomalies hydrauliques

Cette contribution est ciblée uniquement sur l'impact des changements hydrauliques (vitesses, hauteurs d'eau ...) sur les poissons. L'hydraulique est une caractéristique majeure de l'habitat des espèces aquatiques, qui guide leur choix d'habitat comme leur stratégie évolutive à plus long terme. Une raison supplémentaire du choix de se focaliser sur les changements hydrauliques liés au climat est qu'il existe sur ce bassin des modèles quantitatifs validés reliant les peuplements aux conditions hydrauliques, modèles dont on peut estimer l'incertitude. Notre démarche se base sur le couplage d'une série de modèle reliant les anomalies biologiques aux anomalies hydrauliques, d'une part, et les anomalies hydrauliques aux anomalies hydrologiques mise en évidence par le GICC Rhône en réponse à des scénarios de doublement du CO2 atmosphérique.

La première leçon de cet exercice de modélisation est que nous sommes maintenant capables de réaliser des exercices quantitatifs de modélisation d'impacts biologiques de modification de débits à large échelle. Ce n'était pas possible il y a quelques années où les modèles d'habitat nécessaires pour cet exercice étaient trop complexes et trop peu validés. Répétons toutefois que l'utilisation de modèles d'impact biologiques 'agrégés' ne doit pas faire oublier qu'il impliquent un fonctionnement non-altéré de mécanismes biologiques, à l'échelle des individus, qui peuvent également être sujets à anomalies. C'est le côté 'dangereux' des modèles d'habitat simplifiés que nous utilisons à l'échelle des tronçons de cours d'eau.

Si l'on considère comme plausible une réduction des débits mensuels secs sur le bassin de l'ordre de 30% - 40 % (plusieurs scénarii s'accordant la dessus), une réduction moyenne de la proportion des espèces d'eau courante de 20% est également plausible. Elle pourrait concerner le nord-nord-est du bassin en particulier. Sans être 'catastrophique', cette évolution pourra renforcer la régression générale de ces espèces en Europe (en particulier hotu, ombre commun, vandoise, barbeau), due à l'aménagement des cours d'eau.