

# **Programme Gestion et Impacts du Changement climatiques GICC**

**APR 2001**

## **8/01 - Influence du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique du bassin de la Seine**

### **Résumé du rapport final**

**Coordinateur : Agnès Ducharne**

L'objectif du projet GICC-Seine est d'étudier l'influence du changement climatique (CC), en relation avec les changements des contraintes anthropiques directes, sur la ressource en eau dans le bassin de la Seine. Ce projet ne se limite pas aux aspects hydrologiques du CC. Il vise aussi à analyser les conséquences directes et indirectes des modifications climatiques sur la qualité biogéochimique de l'hydrosystème (nutriments dont nitrates, oxygène, eutrophisation...).

Ce travail repose sur une démarche analytique, qui commence par découpler les différentes composantes du système, avant d'analyser leurs réponses croisées. Le seul élément qui fait l'objet d'une modélisation explicite est l'hydrosystème Seine. Nous avons utilisé un ensemble de 4 modèles, articulés au cours de la dernière décennie dans le cadre du programme PIREN-Seine pour simuler le fonctionnement hydrologique et biogéochimique de l'hydrosystème Seine (réseau hydrographique de surface, bassin versant hydrologique, système agricole et aquifères). Ces modèles permettent d'explorer et de quantifier l'impact croisé de 3 familles de scénarios portant sur les forçages de l'hydrosystème :

- scénarios de CC, basés sur 12 simulations du CC au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle par des MCG, afin de couvrir une large gamme des incertitudes liées à ces simulations,
- scénarios d'évolution du bassin versant agricole et des rejets ponctuels aux cours d'eau, à l'horizon 2050-2100, par la méthode prospective des scénarios. Nous avons choisi de construire des scénarios contrastés, susceptibles d'avoir des impacts importants sur l'hydrosystème. Leur comparaison avec ceux du CC nous a ainsi permis de mieux cerner l'importance de ces derniers quant à l'évolution future du bassin.

Nous avons d'abord évalué les impacts directs du CC. En ce qui concerne l'hydrologie du bassin, nous avons montré une intensification des contrastes saisonniers du débit de la Seine qui se traduit par une diminution très robuste des débits d'étiages. L'évolution des débits de crue est en revanche moins certaine. L'humidité de la zone racinaire diminue de manière systématique, mais les variations de niveau piézométrique des nappes aquifères restent généralement faibles. Nous avons aussi montré que les impacts directs du CC sur la production agricole du bassin de la Seine sont globalement positifs (cycles culturels réduits, ce qui facilite la maturité complète des cultures ; augmentation du rendement des cultures). Le CC entraîne aussi une minéralisation accrue de l'azote du sol. Celle-ci s'accompagne d'une augmentation (i) du flux de nitrates du sol vers les nappes, et (ii) de la concentration en nitrates

dans ces dernières, qui dépasse à l'horizon 2100 la norme de potabilité dans une large fraction des aquifères.

Le scénario d'agriculture raisonnée permet en revanche de réduire notablement la concentration nitrique moyenne de l'eau infiltrée et dans les aquifères à l'horizon 2100. Les impacts de l'agriculture raisonnée et du CC sont du même ordre de grandeur mais opposés, et leur impact croisé indique que le CC annihile en large part l'influence positive de l'agriculture raisonnée sur la pollution azotée des aquifères du bassin.

Nous avons enfin simulé l'impact des 3 familles de scénarios des contraintes de l'hydrosystème (CC, agriculture, rejets ponctuels) sur la qualité biogéochimique de la Seine. L'impact le plus marquant est l'amélioration drastique de la qualité des cours d'eau par la réduction générale des rejets ponctuels dans les 3 scénarios construits à l'horizon 2050. Par son influence sur les apports diffus en nitrates depuis les nappes et le bassin versant agricole, le CC entraîne une augmentation significative de la teneur en nitrates dans les cours d'eau. Cet impact est du même ordre de grandeur (10 mgNO<sub>3</sub>/l environ) que celui de l'agriculture raisonnée, mais antagoniste. En ce qui concerne les autres variables de qualité biogéochimique, l'impact du CC est largement dominé par celui du réchauffement de l'eau sur la dynamique spatio-temporelle des populations biologiques. Si les rejets ponctuels sont réduits, cet impact est plutôt positif. A l'exception notable des nitrates, l'impact du CC est du même ordre de grandeur que celui des différences entre les 3 scénarios de rejets ponctuels, et donc très marginal par rapport à celui de la réduction générale des rejets selon ces 3 scénarios.

En conclusion, l'impact du CC sur le bassin de la Seine, dessiné à l'horizon 2100 par l'ensemble de ces résultats, est loin d'être catastrophique. Cette image ne prétend bien sûr pas être une projection de l'état du bassin, car elle ignore nombre de facteurs de changements, liés ou non au CC, et qui constituent autant de perspectives à notre travail.

**Mots-clés :** Changement Climatique, Bassin de la Seine, Hydrologie, Aquifères, Agriculture, Qualité de l'eau, Nitrates, Pollutions ponctuelles, Gestion de l'eau, Prospective, Scénarios.

## 1. Participants

Ce projet émane du programme PIREN-Seine, cofinancé par le CNRS et les principaux acteurs de la gestion de l'eau dans le bassin de la Seine. Il a bénéficié à ce titre des acquis de 10 ans de travail et de collaboration, en terme de modélisation et de réflexion prospective notamment. Il a aussi bénéficié du retour d'expérience du projet "GICC Rhône", auquel les participants du CIG/ENSMP sont également associés.

Sept équipes impliquées dans le programme PIREN-Seine ont ainsi participé en étroite collaboration au projet :

	Équipes	Personnes	Statut	% temps	Mois
1	UMR Sisyphe : UPMC	A. Ducharne G. Billen J. Garnier S. Théry J.E. Sicart F. Curie C. Lavaud	Chargée de recherche Directeur de recherche Directrice de recherche Ingénieur d'étude CDD Post-doctorant CDD Stagiaire DEA Stagiaire EPF (4ème année)	70% / 2 ans 20% / 2 ans 10% / 2 ans 60% / 1 an 100 % / 5mois 30% / 6 mois 100% / 2 mois	17 5 2.5 8 5 2 2
2	UMR Sisyphe: CIG/ENSMP (ARMINES)	E. Ledoux P. Viennot E. Gomez C. Baubion	Directeur de recherche Ingénieur de recherche Post-doctorant CDD Stagiaire DEA	10% / 2 ans 40% / 2 ans 85% / 1 ans 100% / 6 mois	2.5 10 10 6
3	INRA Laon: Unité d'Agronomie	B. Mary N. Beaudoin S. Lebonvallet E. Souboua	Directeur de recherche Ingénieur de recherche Ingénieur CDD Post-doctorante CDD	5% / 2 ans 20% / 2 ans 100% / 8 mois 100% / 4 mois	1 5 8 4
4	INRA Avignon	N. Brisson	Directrice de recherche	15% / 2 ans	3.5
5	INRA Mirecourt: UR Systèmes Agraires et Développement	M. Benoit C. Mignolet C. Schott	Directeur de recherche Ingénieur de recherche Post-doctorante CDD	15% / 2 ans 20% / 2 ans 100% / 1 an	3.5 5 12

	Équipes	Personnes	Statut	% temps	Mois
6	ENGREF: Equipe RGTE Equipe RGTE	L. Mermet H. Kieken A. Aboualkhair	Professeur Thésitif Stagiaire DEA	5% / 2 ans 60% / 1 an 100% / 6 mois	1 8 6
7	AScA	X. Poux G. Olive G. Ducos	Chef de projet Stagiaire DEA Stagiaire DEA	50% / 2 ans 100% / 6mois 100% / 6mois	12 6 6
	7 équipes		12 chercheurs statutaires 6 CDD 7 étudiants		68 46 28
			24 personnes		143

Les participants sont également impliqués dans plusieurs programmes ou réseaux internationaux concernant le fonctionnement des hydrosystèmes et des agrosystèmes. On relèvera le Nordic Network for Research and Education “ Integrated approaches to drainage basins nutrient inputs and coastal eutrophication ”, le réseau européen Si-WEBS, les programmes “ Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle ” (BAHC) et “ Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone ” (LOICZ) de l'IGBP...

Nos travaux ont enfin bénéficié de plusieurs collaborations extérieures :

- Météo-France :
  - Michel Déqué nous a fourni les sorties de 3 paires de simulations du changement climatique par le modèle ARPEGE
  - données météorologiques SAFRAN-CROCUS
- Projet GICC-BD « Bases de données des simulations du changement climatique à l'usage des études d'impact » coordonné par Jan Polcher (LMD) : résultats d'une paire de simulations du changement climatique par le modèle LMD6.