

Influence du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique du bassin de la Seine.

Coordination: Agnès Ducharne (Tél: 01.44.27.51.27; Fax: 01.44.27.51.27; ducharne@biogeodis.jussieu.fr)

Résumé du projet:

L'objectif de ce projet est d'étudier l'influence du changement climatique, en relation avec les changements des contraintes anthropiques directes, sur la ressource en eau dans le bassin de la Seine. Nous nous intéresserons aux aspects hydrologiques du changement climatique, mais aussi aux conséquences directes et indirectes des modifications climatiques sur les flux biogéochimiques et sur la qualité des écosystèmes aquatiques.

Ce travail repose sur une démarche analytique, qui commence par découpler les différentes composantes du système, avant d'analyser leurs réponses croisées. L'évolution des forçages de l'hydrosystème sera appréhendée grâce à des MCG pour le climat, et par des méthodes prospectives originales pour les autres contraintes. Dans ce cadre, une attention particulière sera accordée au secteur agricole, mais d'autres contraintes anthropiques directes seront aussi étudiées (liées au changement climatique, ou indépendantes comme la démographie ou l'urbanisation). La réponse de l'hydrosystème (réseau hydrographique de surface et barrages réservoirs associés, aquifères, et bassin versant agricole) sera simulée par les modèles du PIREN-Seine.

Ils permettront notamment d'explorer l'impact d'une large gamme de scénarios croisés de changement du climat et des autres contraintes, et d'identifier les points de rupture du système, afin de caractériser une enveloppe de vulnérabilité de l'hydrosystème Seine. Un autre objectif est d'évaluer l'ordre de grandeur de impacts du changement climatique par rapport à ceux d'autres tendances d'évolution du système Seine. Enfin, nous tenterons d'envisager les conséquences du changement climatique en terme de gestion de l'eau, en collaboration avec les professionnels de la gestion de l'eau qui sont partenaires du programme PIREN-Seine.

Équipes partenaires:

	<i>Équipes</i>	<i>Personnes</i>
1	UMR Sisyphe / UPMC	A. Ducharne, G. Billen, J. Garnier, S. Théry, M. Meybeck
2	UMR Sisyphe / CIG (via Armines)	E. Ledoux, E. Gomez, P. Viennot
3	INRA Laon: Unité d'Agonomie	B. Mary, N. Beaudoin, N. Brisson, X.
4	INRA Mirecourt: UR SAD	M. Benoit, C. Mignolet, X.
5	ENGREF: Equipe RGTE	L. Mermet, H. Kieken, X.
5bis	ENGREF (viaAScA)	X. Poux

Répartition des tâches et calendrier d'exécution:

Actions	Équipes	Année 2002		Année 2003	
		Semestre 1	Semestre 2	Semestre 1	Semestre 2
Construction des scénarios de forçage					
1. Scénarios de changement climatique sur le bassin de la Seine	1	\u'	\u'		
2. Scénarios des tendances lourdes de l'agriculture	4, 5bis	\u'	\u'		
3. Viabilité des scénarios agricoles sous changement climatique	2, 3, 4		\u'		
4. Prospective et scénarios sur d'autres contraintes anthropiques directes	5, 5bis, 4		\u'	\u'	
Modélisation					
5. Impacts des différents scénarios sur l'hydrosystème de surface	1		\u'	\u'	
6. Impacts sur le domaine souterrain	2, 3, 4		\u'	\u'	
7. Impacts " physiques " sur l'hydrosystème complet	1, 2, 3			\u'	\u'
Analyse des résultats					
8. Caractérisation d'une enveloppe de vulnérabilité de l'hydrosystème	1, 2, 3, 4, 5, 5bis			\u'	\u'
9. Mise en perspective de l'impact du changement climatique	1, 2, 3, 4, 5, 5bis				\u'
10. Impacts en terme de gestion de l'eau: rétrocession aux gestionnaires du bassin	1, 2, 3, 4, 5, 5bis				\u'

Action 1: Scénarios de changement climatique sur le bassin de la Seine

Responsable : A. Ducharme

Nous construirons ces scénarios en perturbant les données météorologiques « actuelles », c'est-à-dire issues d'observations récentes, par des perturbations représentant le changement climatique. Ces perturbations seront basées sur le changement climatique simulé par deux modèles de circulation générale (MCG) : le modèle Arpège (Météo-France) et le modèle LMD-Z (Laboratoire de Météorologie Dynamique). Plusieurs paires de simulations de 10 ans, représentant le climat en conditions 1xCO₂ (1984-1994) et 2xCO₂ (2054-2064) seront exploitées pour appréhender les incertitudes du changement simulé. Toutes ces simulations sont réalisées avec un "zoom" sur l'Europe (i.e. une résolution plus fine dans cette région) si bien que le bassin de la Seine est couvert par une trentaine de mailles d'environ 80 x 80 km².

Enfin, toutes les variables de forçage climatique spécifiques des différents modèles seront calculées pour chaque scénario à partir des variables fournies par les MCG.

Action 2: Scénarios des tendances lourdes de l'agriculture

Responsable : M. Benoit, avec Catherine Mignolet et X. Poux

De l'analyse détaillée de l'évolution et de la spatialisation des pratiques agricoles dans le bassin complet de la Seine au cours des 30 dernières années, nous tenterons de dégager les tendances lourdes d'évolution future de ces pratiques. La segmentation utilisée ici reprendra le maillage spatial en Petites Régions Agricoles qui a prouvé sa robustesse depuis 1947. Ainsi, nous disposerons d'un maillage qui tout en étant compatible avec celui des grands aquifères du bassin de la Seine garde un sens pour étudier les tendances prospectives des activités agricoles.

En parallèle, des hypothèses à long terme seront développées concernant (i) le fonctionnement socio-économique de l'agriculture du bassin de la Seine, selon une approche en termes de système agraires (ii) la situation du bassin dans un espace économique agricole plus vaste (Europe) (iii) de relations entre les systèmes agricoles et les autres activités socio-économiques sur le bassin.

Cette action est la première étape pour définir des images du système agricole à l'horizon d'une cinquantaine d'années. Il faut souligner que ces images sont à ce stade indépendantes du possible changement climatique.

Action 3: Viabilité des scénarios agricoles sous changement climatique

Responsable : B. Mary, avec X. Poux

Plusieurs simulations pluri-annuelles (avec variabilité interannuelle) seront réalisées en forçant le modèle STICS avec d'une part les scénarios des pratiques agricoles futures, et d'autre part les scénarios climatiques (au moins une sélection parmi les plus représentatifs). Pour chacune de ces simulations seront calculés: i) les flux de nitrates quittant la zone racinaire, et ii) les rendements agricoles réalisés.

La viabilité sous changement climatique des différents scénarios d'évolution des pratiques agricoles sera alors analysée en référence aux rendements simulés : on considérera qu'un scénario croisé est viable si les rendements simulés sont supérieurs à une valeur seuil. En cas de stress hydrique, on évaluera de plus le possible gain de productivité lié à l'irrigation. Il faut noter l'importance de l'expertise agronomique à ce stade, en ce qui concerne l'interprétation des résultats du modèle notamment.

En complément, des hypothèses seront développées sur les conséquences du changement climatique sur l'organisation de l'agriculture, sous des angles économiques et politiques et à des échelles macro-économiques (par exemple ; conséquence possibles du changement climatique sur la PAC).

Action 4: Prospective et scénarios sur d'autres contraintes anthropiques directe

Responsable : H. Kieken

Il s'agit ici d'élaborer des scénarios portant sur des thèmes socio-économiques précis, sélectionnés en fonction de leur pertinence en termes d'impact sur l'hydrosystème. Un premier aspect sera d'identifier des scénarios d'évolutions de contraintes anthropiques potentiellement soumises au changement climatique, et d'élaborer des scénarios d'évolution de ces contraintes compatibles avec les scénarios climatiques. On cherchera aussi à identifier des contraintes anthropiques non influencées par le climat mais dont les évolutions futures sont susceptibles d'avoir des impacts sur l'hydrosystème du même ordre de grandeur que ceux résultant du changement climatique (ex: démographie, urbanisation...). Un point important dans l'élaboration de ces scénarios sera d'assurer la cohérence temporelle et causale des différentes hypothèses, et d'aboutir à des jeux de scénarios croisés changement climatique / contraintes anthropiques contrastés par leurs résultats.

L'objectif de tels scénarios est de mettre les évolutions de l'hydrosystème liées au changement climatique en perspective de celles liées à des contraintes anthropiques directes, en répondant aux deux questions suivantes : les changements climatiques envisagés pour l'hydrosystème peuvent-ils avoir des impacts significatifs sur d'autres compartiments socio-économiques ? Les ordres de grandeurs des impacts des scénarios retenus sont-ils significatifs au regard d'autres évolutions des pressions anthropiques ?

Action 5: Impacts des différents scénarios sur l'hydrosystème de surface

Responsable : A. Ducharne, avec G. Billen

L'impact des différents scénarios climatiques et anthropiques sur le fonctionnement de l'hydrosystème de surface sera exploré grâce au modèle Sénèque couplé au schéma de surface CaB, tous deux caractérisés par un faible coût de calcul. Nous privilégierons des simulations courtes (quelques années), suffisantes pour appréhender la réponse de l'hydrosystème aux changements climatiques moyens, ainsi que les relations entre hydrologie et biogéochimie superficielle. Nous analyserons les modifications du fonctionnement : (1) hydrologique (cycle annuel des débits, intensité et fréquence des crues, longueur et sévérité des étiages), et (2) biogéochimique (flux/stockage des nutriments le long du continuum aquatique jusqu'à la mer, bilans carbonés, rapports auto/hétérotrophie, eutrophisation, oxygénation).

De nombreux scénarios climatiques seront explorés. L'extensivité de cette étude de sensibilité permettra de s'affranchir au maximum des incertitudes liées au changement climatique, en indiquant à quels facteurs le fonctionnement de l'hydrosystème Seine est le plus sensible, et quelle amplitude de variation de ces facteurs devient pénalisante pour le système. Cet aspect reposera sur la recherche de « points de rupture » afin de caractériser une enveloppe de vulnérabilité du système.

Enfin, l'analyse des scénarios croisés permettra ultérieurement de sélectionner quelques scénarios climatiques et anthropiques contrastés pour aborder le domaine souterrain, qui nécessite des modèles plus coûteux en temps de calcul. Les résultats obtenus permettront aussi d'alimenter la réflexion prospective menée dans les actions 2, 3, et 4.

Action 6: Impacts des scénarios croisés sur le domaine souterrain

Responsable : E. Ledoux

Un nombre réduit de scénarios de changements climatiques et anthropiques seront sélectionnés pour une analyse croisée détaillée, incluant la prise en compte de la dynamique à long terme des systèmes aquifères. Cette analyse sera menée sur l'intégralité du bassin de la Seine, à l'aide du modèle couplé STICS/MODCOU/NEWSAM. Les simulations seront réalisées sur une période de 30 ans correspondant au temps de réponse escompté des aquifères, en utilisant l'état actuel des nappes comme condition initiale. Cet état actuel sera directement issu des résultats du modèle sur les 30 années passées, selon la démarche rétrospective du PIREN-Seine. Ces simulations seront analysées en terme de qualité des eaux (contamination azotée des nappes, apports diffus au bassin) et de ressources en eau (niveau piézométrique, débits dans le réseau de drainage superficiel).

Sont prévues au plus 9 simulations, croisant 3 scénarios climatiques (conditions actuelles + 2 scénarios contrastés de changement climatique) et 3 scénarios des contraintes anthropiques directes ("business as usual" + 2 scénarios contrastés d'évolution agricole). L'objectif en 2002 est de finaliser la simulation de référence à l'actuel, et de réaliser une simulation sous changement climatique.

Détail des actions commençant en 2003:

Les actions qui commenceront en 2003 sont toutes des actions de synthèse et/ou de restitution des analyses lancées en 2002 sur les différentes composantes de l'hydrosystème.

Action 7: Impacts " physiques " des scénarios croisés sur l'hydrosystème complet

Responsable : A. Ducharne, avec E. Ledoux et B. Mary

Les concentrations moyennes en nitrates des aquifères calculées ci-dessus seront utilisées dans de nouvelles simulations de la qualité de l'eau et des flux biogéochimiques dans l'hydrosystème Seine par le modèle Riverstrahler. Tout d'abord, la comparaison de ces simulations avec leurs analogues du point de vue des scénarios climatiques et anthropiques, mais sans influence des nappes aquifères sur les flux de nitrates au bassin, éclairera l'influence à long terme des nappes sur la qualité des eaux (et notamment le fonctionnement écologique) dans le réseau hydrographique, mais aussi au niveau des zones côtières adjacentes de la Manche.

Action 8: Caractérisation d'une enveloppe de vulnérabilité de l'hydrosystème

Responsable : A. Ducharne, avec tous les partenaires

Le couplage ci-dessus entre les résultats du modèle STICS/MODCOU/NEWSAM et Riverstrahler permettra de faire la **synthèse** des différents impacts possibles du changement climatique (directs, ou indirects via les contraintes anthropiques) sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique de l'hydrosystème.

Les simulations « complètes » permettront notamment de mieux définir l'enveloppe de vulnérabilité de l'hydrosystème, car elles permettront d'aborder des réponses de l'hydrosystème dominées par des rétroactions entre climat et contraintes anthropiques.

Action 9: Mise en perspective de l'impact du changement climatique

Responsable : Hubert Kieken, avec tous les partenaires

Les résultats des différentes simulations (complètes et incomplètes) permettront aussi de classer les combinaisons d'hypothèses correspondantes :

- Combinaison Masque : l'impact du jeu d'hypothèses sur l'hydrosystème vient amortir ou compenser celui résultant du changement climatique,
- Combinaison Amplificatrice : l'impact du jeu d'hypothèses sur l'hydrosystème amplifie celui résultant du changement climatique,
- Combinaison Surdéterminante : les ordres de grandeur des impacts du jeu d'hypothèses sont significativement plus importants que ceux résultants directement du changement climatique.

Ce travail permettra alors de mettre les impacts du changement climatique en perspective de ceux de possibles évolutions du contexte socio-économique du bassin versant, dont l'ordre de grandeur peut-être au moins équivalent. Cette mise en perspective est nécessaire pour aborder rigoureusement les conséquences du changement climatique sur la gestion de l'eau.

Action 10: Impacts en terme de gestion de l'eau: rétrocession aux gestionnaires du bassin

Responsable : G. Billen, X Poux, M. Benoit ???

Il entre dans les objectifs de la présente proposition de fournir une évaluation des impacts ci-dessus en terme de gestion de l'eau dans le bassin. Nous avons délibérément écarté l'idée de modéliser cet aspect. Ceci nécessiterait en effet un modèle intégré de toutes les composantes (hydrologiques, biogéochimiques, agricoles, socio-économiques...) de l'hydrosystème, afin de prendre en compte les rétroactions inévitables entre ces différentes composantes. Le développement d'un tel modèle ne nous semble pas envisageable dans l'état actuel des connaissances, étant donné la complexité du système. En revanche, notre démarche combinant modèles et analyse prospective nous semble permettre d'aborder cette complexité de manière opérationnelle. Dans le cadre de cette stratégie, nous proposons donc d'aborder les problèmes liés à la gestion de l'eau grâce à un atelier de réflexion, organisé avec les principaux acteurs de cette gestion dans le bassin (AESN, GLS, MATE...).