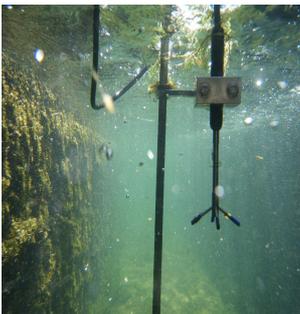


Algues et Gestion de la Qualité de l'Eau en canaux de transport d'eau : de l'écologie des milieux aux stratégies de régulation hydraulique



Séminaire de restitution

Jeudi 02 décembre 2010

**Amphi 206
Montpellier SupAgro**

PRECODD

PRogramme de recherche
ECOtechnologies et Développement Durable



Programme

9 h 00 – 9 h 30 : Accueil des participants.

9 h 45 – 10 h 00 : **Algues et Gestion de la Qualité de l'Eau en canaux de transport d'eau : le projet Algequeau.**

G. Belaud (G-eau)

10 h 00 – 10 h 30 : **Végétation et qualité de l'eau dans les canaux : enjeux pour les gestionnaires de réseaux.**

P. Dollet (SCP), C. Hugodot (ASA Canal de Gignac)

10 h 30 – 11 h 00 : **Végétation et suivi des débits dans les canaux.**

L. Cassan (IMFT), G. Belaud (G-eau)

11 h 00 – 11 h 15 : Pause café

11 h 15 – 11 h 45 : **Systèmes de suivi de la qualité de l'eau et du développement algal.**

P. Dollet (SCP), C. Bertrand (IMEP)

11 h 45 – 12 h 15 : **Effets de la régulation hydraulique sur les communautés algales en mésocosme.**

S. Charpentier (IMEP)

12 h 15 – 12 h 45 : **Les systèmes de régulation de la SCP et l'apport de l'outil SIC et de ses évolutions.**

O. Genthon (SCP)

13 h 00 – 14 h 30 : Déjeuner restaurant SupAgro.

Possibilité de visite du laboratoire d'hydraulique de SupAgro. Démonstrations de logiciel, posters...

14 h 30 – 15 h 00 : **Table ronde : Retour d'expériences des gestionnaires sur la gestion de la végétation.**

C. Hugodot (ASA Gignac), P. Dollet (SCP), O. Genthon (SCP), X. Litrico (G-eau).

15 h 00 – 15 h 30 : **Chasses hydrauliques en canaux de distribution : outil de gestion pour contrôler le développement algal ?**

S. Charpentier (IMEP-SCP)

15 h 30 – 16 h 00 : **Modèle de développement, détachement et transport pour la simulation de la qualité de l'eau lors de chasses hydrauliques.**

O. Fovet (G-eau)

16 h – 16 h 30 : **Vers la prise en compte de paramètres de qualité dans la gestion hydraulique en temps réel.**

X. Litrico (G-eau)

16 h 30 – 16 h 45 : **Bilan et conclusion**

G. Belaud (G-eau)

Algues et Gestion de la Qualité de l'Eau en canaux de transport d'eau : le projet Algequeau.

G. Belaud (UMR G-eau, Montpellier Supagro)

Bon nombre de canaux de transport d'eau brute sont concernés par les développements de végétation et notamment d'algues. Celles-ci affectent la gestion des réseaux de canaux en obstruant les ouvrages de distribution et de régulation, dégradant la mesure des débits voire la qualité de l'eau, sujet particulièrement sensible pour les eaux destinées à la potabilisation ou à la distribution d'eau brute aux particuliers.

Ces questions sont au cœur de ce séminaire de restitution du programme de recherche « Algequeau » sur la gestion des développements d'algues par des méthodes hydrauliques. Ce programme a été mené par deux gestionnaires de réseaux (la Société du Canal de Provence et l'Association Syndicale Autorisée du Canal de Gignac) et deux unités de recherche spécialisées en régulation hydraulique des canaux (Unité Mixte de Recherche Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages) et écologie des eaux continentales (Institut Méditerranéen d'Ecologie et Paléoécologie).

Le projet s'inscrit dans le cadre du programme de recherche « écotecnologies et développement durable » lancé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), partenaire financier, avec l'appui de l'Agence pour l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Au cours des 4 années du projet (2007-2010), le projet s'est attaché à identifier les interactions entre la gestion hydraulique et les développements d'algues, tant au niveau de sites réels qu'en canaux réduits, développer des modèles de simulation des processus, puis à concevoir et analyser des stratégies de régulation de ces compartiments par des méthodes hydrauliques.

Le séminaire présente un retour d'expériences sur les enjeux pour les gestionnaires, sur la métrologie (quel impact des végétaux sur les mesures de débit, quel suivi en continu de la qualité de l'eau) et sur les stratégies de régulation mises en place pour contrôler les peuplements algaux. Il présente aussi les résultats de recherche développés en canaux réduits et sur sites réels, depuis l'écologie du compartiment algal jusqu'au développement de modèles pour la gestion hydraulique et la mise en place de stratégies de régulation innovantes.

Le séminaire doit être l'occasion d'échanger sur ces questions entre gestionnaires, ingénieurs et chercheurs concernés par la gestion des canaux de transport d'eau et de construire des perspectives de travail futures.

Végétation et qualité de l'eau dans les canaux : enjeux pour les gestionnaires de réseaux

P. Dollet (SCP) et C. Hugodot (ASA Canal de Gignac)

Le développement des végétaux et des algues dans les canaux à ciel ouvert est un phénomène naturel dont l'apparition semble aussi inéluctable que les contraintes d'exploitation générées elles mêmes. Les conditions de gestion des canaux, les conditions ambiantes (température, ensoleillement, hydrodynamisme, rugosité des parois, etc.) et bien sûr, la qualité de l'eau sont autant de facteurs qui déterminent l'importance et la rapidité de ce développement.

En cas de prolifération, les algues deviennent plus sensibles aux variations de courant qui peuvent provoquer alors leur détachement partiel. Ces phénomènes ont un caractère aléatoire pour le gestionnaire de réseau qui ne peut ni anticiper leur occurrence, ni en prévoir l'intensité de façon reproductible, en fonction des appels de débits auxquels il doit satisfaire. Des fragments d'algues sont arrachés des bajoyers et des radiers, puis se retrouvent en suspension sous forme de filaments de plusieurs millimètres à plusieurs centimètres de long. On observe aussi des morceaux à l'aspect de flocons. L'eau en dérive transporte également des algues unicellulaires, des morceaux de végétaux et une partie de la matière, organique et minérale, participant à la constitution du périphyton.

Les nuisances se font rapidement sentir pour l'exploitant au niveau des organes de régulation et des équipements de protection des adductions : saturation des dégrilleurs en entrée de galeries ou de réseaux, colmatages des équipements de comptage, etc. La régulation hydraulique devient plus laborieuse et empirique au fur et à mesure que les macrophytes occupent l'espace des canaux (mesure de hauteur d'eau et de débit, coefficient de rugosité) Les algues ont également un impact sur l'usage de l'eau : colmatage des systèmes de filtration (production d'eau potable ou usage industriel), consommation de chlore par la matière organique (production eau potable), etc.

La gravité des conséquences varie selon l'intensité des nuisances et de leur contexte : difficulté de régulation du débit, manque d'eau en aval, chute de pression, erreurs de comptage, dénoyage de galeries (cas extrême), etc. Dans un contexte d'usage AEP ou d'application industrielle particulière, le gestionnaire devra potentiellement faire face à des problématiques organoleptiques, des problématiques de traitabilité (carbone organique, diatomées/filtration) et veiller à l'enjeu sanitaire relatif aux cyanobactéries, même si la qualité de l'eau brute n'indique pas de risque a priori (milieux oligotrophes).

Des opérations de maintenance régulières sont nécessaires pour résoudre les problèmes au fur et à mesure de leur manifestation. In fine, des opérations curatives lourdes s'avèrent inévitables. Pour autant, ces dernières ne permettent d'empêcher une recolonisation rapide des algues et la manifestation de nouvelles nuisances dans un délai relativement court malgré l'ampleur des moyens parfois déployés pour des curages.

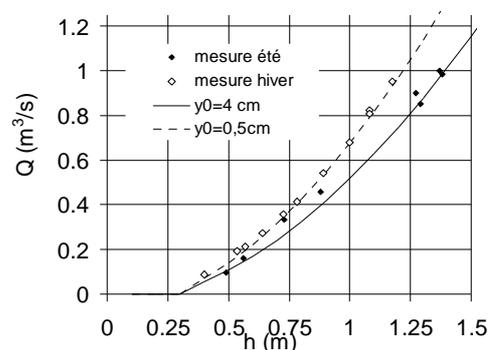
Le principe des chasses hydrauliques expérimentées dans le cadre du projet Algequeau peut constituer une solution intermédiaire aux opérations de maintenance ponctuelles et aux opérations lourdes de réhabilitation des canaux. Leur mise en œuvre nécessite de bien caractériser le comportement du périphyton lors des chasses (sensibilité au décrochement, dynamique de recolonisation), de bien évaluer et de gérer leur impact sur l'exploitation (perturbations hydrauliques, devenir des algues décrochées et transportées en dérive) et sur les milieux récepteurs en cas de décharge des eaux chargées. Ces analyses nécessitent à la fois des approches écologiques et des approches de modélisation couplant l'hydrodynamique et l'hydrobiologie des canaux.

Végétation et suivi des débits dans les canaux

L. Cassan (IMFT), G. Belaud (G-eau)

La mesure des débits dans les canaux est le premier maillon de la gestion hydraulique des canaux, qu'ils soient en phase de modernisation où largement automatisés comme le Canal de Provence.

Les 3 principes les plus fréquemment utilisés sont basés sur les lois d'ouvrages, sur les courbes de tarage et, plus récemment, sur les mesures de vitesse par effet Doppler. Le lien entre ces types de méthodes et l'estimation des débits est largement dépendant de la végétation présente dans les canaux, y compris dans les canaux revêtus où se développent des macrophytes dans les sédiments déposés, des algues et des bryophytes fixés sur les parois même en l'absence de dépôts sédimentaires.



Courbes de tarage en tête de la branche rive droite, Canal de Gignac.

Un enjeu pour les gestionnaires est de pouvoir prendre en compte la présence de végétation dans l'estimation des débits. Cet effet a été mis en évidence par la réalisation de courbes de tarage en début et en fin de saison d'irrigation. Pour certaines stations (voir illustration sur le Canal de Gignac), on obtient, pour une hauteur d'eau donnée, des écarts supérieurs à 20% entre les débits en début de saison (sortie d'hiver) et au moment du pic de végétation (été).

Pour mieux comprendre les processus et mieux les quantifier a priori, un suivi régulier et détaillé des profils de vitesse a été mené sur 2 stations du Canal de Gignac, grâce à des mesures fines à l'ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) donnant accès aux 3 composantes des vitesses locales et à leurs fluctuations (caractérisant l'intensité de la turbulence). Le suivi a été mené au cours de toute une saison de fonctionnement du canal, sur une base mensuelle, au cours de l'année 2010, ce qui permet de mettre en évidence l'évolution des profils de vitesse dont la forme est modifiée à mesure que la végétation croît au cours de la saison.

D'un point de vue scientifique, ces travaux ont l'intérêt de dépasser le cadre du laboratoire expérimental d'une part en s'affranchissant des effets d'échelle, d'autre part en abordant la complexité du terrain avec des végétaux réels et des effets de parois généralement négligés. On montre que les formulations génériques pour les profils de vitesse récemment développées (généralement pour des problèmes de crue) peuvent être appliquées dans les canaux revêtus. Le calcul des profils se fait en considérant une hauteur de rugosité très proche de la hauteur de végétation, puis en ajustant des facteurs de forme qui tiennent compte des rapports largeur-hauteur de l'écoulement ainsi que du caractère non-uniforme de l'écoulement (liées par exemple aux variations de section dans les canaux réels). On peut alors calculer les courbes de tarage exprimant le lien entre débit et hauteur d'eau, et montrer la dérive de ces courbes lorsque l'épaisseur de végétation sur les parois varie.

L'étape suivante est la mise en œuvre effective de la méthode pour corriger les courbes de tarage à partir d'un nombre limité de mesures (hauteur de végétation ou vitesse à quelques points particuliers). La reconstitution des profils de vitesse permettra également de mieux évaluer les débits à partir des mesures par effet Doppler et d'aboutir à des recommandations en termes de protocole de mesure des débit par intégration du champ de vitesse.

Systemes de suivi de la qualite de l'eau et du developpement algal

P. Dollet (SCP), C. Bertrand (IMEP)

Les canaux mediterraneens de transport d'eau brute presentent des interets multiples en qualite de ressources utilisables par les populations humaines (alimentation en eau potable, irrigation, usages industriels). La gestion de la qualite des eaux de ces canaux est donc primordiale et correspond a un besoin croissant, tant pour les gestionnaires de reseaux que pour les utilisateurs finaux.

Comme tout ecosysteme aquatique, un canal abrite divers compartiments biocenotiques dont notamment celui des algues, producteurs primaires majeurs dans les ecosystemes aquatiques continentaux, a la base de la chaine trophique. Les algues colonisent toutes les zones humides du globe, que ce soit des milieux courants ou stagnants, dulçaquicoles ou marins, permanents ou temporaires. Dans les canaux, elles sont presentes a la fois en suspension dans la colonne d'eau (algues en derive) et fixees sur le substrat, au sein d'un biofilm (algues periphytiques).

Le developpement du compartiment algal dans les canaux de transport d'eau brute peut avoir des consequences aussi bien physiques que biologiques, voire sanitaires selon les usages de l'eau. Dans le cadre de ce programme ANR Algequeau, il s'agit de proposer, dans ces canaux, des strategies de regulation efficace pour limiter les developpements algaux. Afin d'evaluer l'efficacite d'une strategie de gestion hydraulique, il est necessaire d'acquiesir au préalable des connaissances precises sur la reponse des communautes algales aux conditions environnementales. L'ecologie des communautes algales est abordee a la fois grace a un suivi saisonnier dans les canaux et par une approche experimentale, en dispositif experimental et in situ.

Ses differentes approches impliquent la mise en place de systemes de suivi du developpement algal et de qualite d'eau. Le suivi qualite d'eau s'appuie a la fois sur les enregistrements des capteurs qualite en place sur les canaux (debit, turbidite), et sur des mesures effectuees, lors de campagnes de prelevement, in situ (Oxygene, temperature, Conductivite, pH) et en laboratoire (nutriments : azote, phosphore, silice). Le suivi du developpement algal est base sur des descripteurs globaux (biomasses, phycoyanine), ainsi que sur approche taxonomique du peuplement algal (densite, composition, type fonctionnel).

Ces systemes de suivi indiquent une bonne qualite de l'eau dans ces deux canaux tout au long du cycle annuel. Le developpement algal est globalement faible dans la colonne d'eau de ces deux canaux, ce qui confirme le diagnostic de bonne qualite d'eau mais ce qui rend aussi plus difficile un suivi in situ precis de ce developpement par des methodes globales.

De plus, le suivi saisonnier realise dans le Canal de Provence et le Canal de Gignac a permis de montrer les particularites chimiques, hydrauliques et biologiques de chaque milieu. Chaque canal favorise des associations d'algues caracteristiques de ces variabilites abiotiques. Les heterogenites spatiale et temporelle du compartiment algal, ainsi les potentialites adaptatives des communautes algales aux conditions hydrodynamiques, sont a integrer dans la mise en place de la strategie de gestion de ce compartiment.

Effets de la régulation hydraulique sur les communautés algales en mésocosme

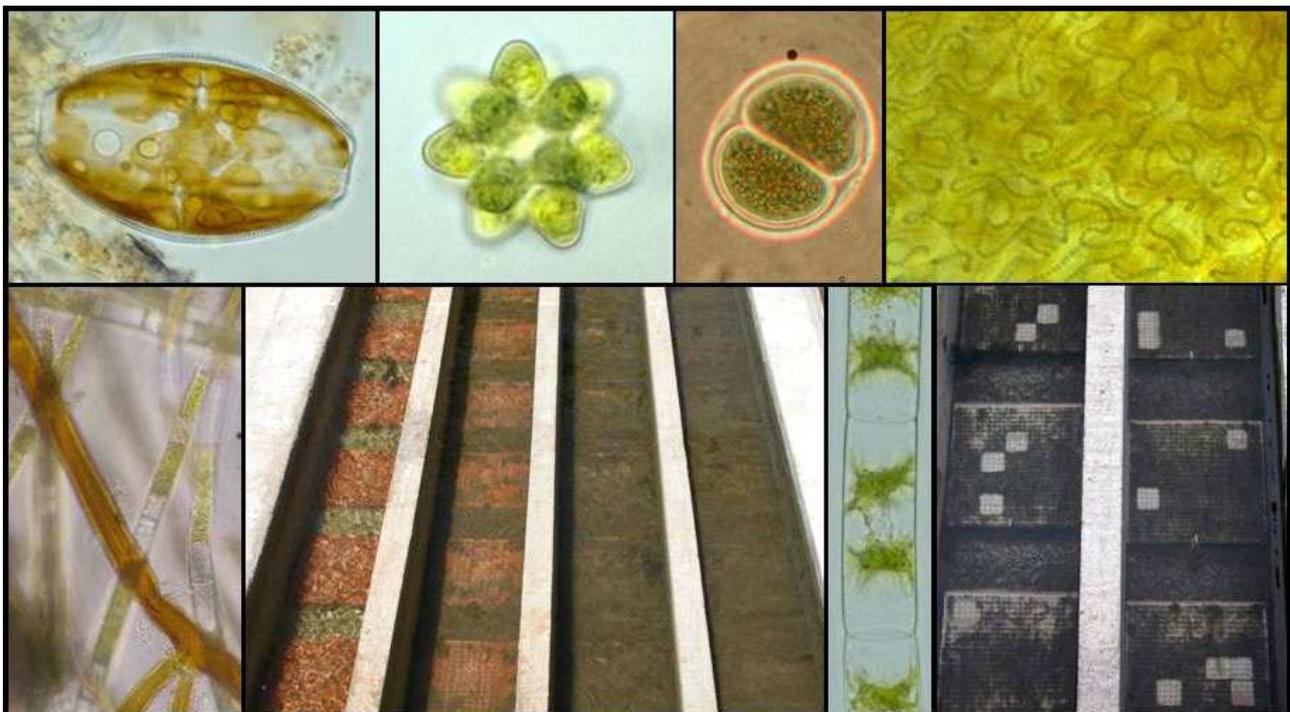
S. Charpentier (SCP/IMEP)

Les réseaux méditerranéens de transport d'eau brute sont confrontés à des nuisances physiques et chimiques engendrées notamment par les producteurs primaires. En rivières, les communautés d'algues et de cyanobactéries épilithiques sont fortement influencées par les conditions hydrodynamiques comme par exemple en période d'étiage et de crues.

Afin de valider et de préciser l'impact de l'hydrodynamisme dans les canaux (vitesse, intensité, fréquence) sur ces communautés épilithiques, la dynamique de colonisation de l'épilithon (algues fixées au substrat) est suivie pendant un mois sous différentes conditions de vitesse de courant en mésocosme (dispositif expérimental *in situ*).

L'effet d'une augmentation rapide et ponctuelle de la vitesse du courant (« chasse hydraulique ») est analysé afin de déterminer l'efficacité de la gestion hydraulique sur le développement des communautés épilithiques. Les résultats montrent que (i) la vitesse du courant influence de manière significative les paramètres quantitatifs et qualitatifs (biomasse, densité cellulaire, types fonctionnels) de l'épilithon, et (ii) l'effet d'une chasse hydraulique entraîne une réduction de la densité cellulaire épilithique quelles que soient les conditions de vitesses initiales.

Ces résultats viennent alimenter la construction d'un modèle de croissance et de détachement de l'épilithon dans les canaux afin d'élaborer des stratégies de gestion hydraulique automatisées. La méthode des chasses hydrauliques est appliquée dans les canaux réels, où une stratégie de gestion hydraulique pourrait donc être proposée pour limiter le développement de l'épilithon et par conséquent les nuisances occasionnées, ce qui est effectué à l'échelle des réseaux canalisés de transport d'eau brute du Canal de Provence et du Canal de Gignac.



Algues et Cyanobactéries épilithiques colonisant le dispositif expérimental de Gignac en juillet 2008.

Les systèmes de régulation de la SCP et l'apport de l'outil SIC et de ses évolutions

O. Genthon (SCP)

Cette présentation s'intéresse à l'introduction dans un logiciel de régulation hydraulique de modules de gestion des phénomènes algaux. Le projet vise à la création d'un outil opérationnel. Il s'appuie sur l'expérience de la SCP dans le domaine de la régulation hydraulique des canaux qui associe l'utilisation, au stade des études, de modèles mathématiques précis et de modèles simplifiés associés à des modules s'appuyant sur l'automatique numérique lors de la phase opérationnelle. La méthodologie proposée pour la gestion des phénomènes algaux est similaire.

Comme la gestion des phénomènes algaux, la régulation d'un canal à surface libre se heurte à des difficultés majeures : des lois physiques qui n'ont pas de solution analytiques et un système dont les temps de réponse sont importants. La SCP utilise dans ses projets de régulation hydraulique le logiciel de calcul hydraulique SIC (« Simulation des Canaux d'irrigation ») développé et maintenu par le Cemagref depuis plus de 20 ans :

- le module de calcul en régime permanent est utilisé d'une part pour définir les stratégies de régulation et dimensionner les ouvrages et d'autre part pour créer les modèles opérationnels simplifiés.
- le modèle numérique transitoire de SIC, qui s'organise autour de la résolution complète des équations de Saint-Venant, la résolution de lois d'ouvrages et des méthodes de régulation, est utilisé pour tester et valider la régulation.

Cette approche a été utilisée sur le Canal de Provence ce qui permet de répondre à la demande des usagers sans rejet d'eau au milieu naturel et d'avoir des rendements de transport-distribution supérieurs à 85 %.

De même, les développements réalisés sous SIC sur la simulation des paramètres de qualité de l'eau dans le cadre d'Algeqeau devraient permettre d'effectuer à l'amont la modélisation d'un phénomène algal afin d'en comprendre les impacts et de proposer une stratégie de gestion à l'exploitant.

Les équations simplifiées proposées en complément, présentées dans le dernier exposé, peuvent être intégrées dans des outils opérationnels :

- des outils de diagnostic exploitables plus rapidement que la simulation pour dimensionner par exemple des programmes de chasses hydrauliques pour la gestion des algues. Leurs paramètres peuvent être recalés en fonction des résultats recueillis au cours des chasses précédentes.
- des correcteurs afin de commander le canal non plus sur des problématiques hydrauliques mais sur des problématiques de qualité biologiques des eaux afin de maintenir plus finement la qualité d'eau pendant les périodes de chasses.

Les outils développés lors des travaux d'Algeqeau sont donc tout à fait adaptés à une utilisation opérationnelle et devraient permettre un bon transfert de la théorie vers la pratique.

Table ronde : Retour d'expériences des gestionnaires sur la gestion de la végétation

C. Hugodot (ASA Gignac), P. Dollet (SCP), O. Genthon (SCP), X. Litrico (G-eau)

L'expérience du Canal de Gignac

Le Canal de Gignac, transporte l'eau brute sur une cinquantaine de km dans un canal gravitaire aérien avant de distribuer cette eau sur les parcelles du périmètre, au moyen d'un réseau de distribution d'environ 200 km, tantôt aérien (« canalette » ou « rigoles »), tantôt souterrain (conduites basse pression ou pression).

Le développement algal se manifeste tout au long du réseau et conduit à d'importantes contraintes de gestion : les filaments d'algues, s'ils ne sont pas maîtrisés, peuvent atteindre des longueurs de près de 2m, qui diminuent la section utile des canaux, font embâcle au cheminement de l'eau et aux éventuels éléments en dérive, pouvant engendrer des risques de débordement. Par ailleurs, ces filaments, lorsqu'ils se décrochent, constituent autant de « bouchons potentiels » pour les ouvrages névralgiques du canal : buses enterrées, siphons, prises d'eau, ...

La problématique des algues concerne essentiellement les réseaux aériens, bénéficiant de conditions d'ensoleillement favorables, mais leur pouvoir de nuisance est également très fort sur les réseaux souterrains, dont l'alimentation est assurée par le canal de transport, aérien. Sur les réseaux enterrés, les algues conduisent à un colmatage très rapide de filtres et/ou systèmes d'irrigation goutte-à-goutte, donc des perturbations de services pour les adhérents qui se manifestent par des besoins d'interventions nombreux pour le personnel technique de l'ASA.

Organisation des chasses sur le canal de Gignac

Le programme Algequeau a permis de mettre en place un protocole pour la gestion des algues, appliqué aux problématiques propres à l'ASA du Canal de Gignac. La mise en place du protocole a intégré différents niveaux de réflexion, d'acceptation:

- niveau « sociologique » : appropriation du programme expérimental par le personnel de terrain. Plusieurs échanges ont eu lieu avec les agents de terrain pour les mobiliser sur la mise en œuvre de chasses hydrauliques et écouter leurs attentes ou leurs observations dans le cadre des chasses expérimentales. C'est ainsi que différents scénarii ont été testés pour tenter différentes approches de gestion : chasse canal vide, chasse à eau totalement perdue... Ces exemples en grandeur nature ont permis de démontrer l'efficacité de telle ou telle méthode, afin de retenir ou au contraire rejeter des scénarii. Cela a été un facteur clé de la réussite et de l'appropriation du projet par les gardes, véritables agents de terrain, subissant en direct la contrainte de la gestion algale.

Cet aspect a également été traité au niveau des usagers, en communiquant sur les expérimentations en cours et sur les effets attendus. Cette communication descendante a eu pour effet d'impliquer un certain nombre d'usagers et de collectivités, cette démarche s'intégrant par ailleurs dans la mise en œuvre d'un Contrat de Canal.

- Niveau « technique ». Les chasses ont été mises en œuvre en fonction des contraintes d'exploitation du Canal de Gignac : utilisation des stations de terrain, dont les modes de communication peuvent être contraignants (radio, RTC), soumises à l'aléa panne, vandalisme... Une série de capteurs a été mise en place pour suivre le déroulé des chasses. Nous avons eu quelques difficultés dans le choix des capteurs et de leur mode de fonctionnement, ainsi que pour obtenir l'intégration de cette thématique, assez peu courante pour un gestionnaire de réseau d'eau brute, dans les outils de supervision et de gestion de la distribution. Un module de régulation dynamique (SCP) a par ailleurs permis de faciliter le paramétrage des chasses pour dimensionner les augmentations de débits nécessaires aux

différents points du réseau (intégration des vitesses de propagation, des obstacles à la chasse, des pertes liées aux consommations du périmètre,...).

Les chasses hydrauliques, nouveau mode de gestion des algues

A l'issue du projet, la méthode des chasses hydrauliques est devenue une méthode réflexe, de la part des agents de terrains et de la part des responsables techniques du Canal.

En cas de présence d'algues, jugée critique, une procédure de paramétrage de chasse est systématiquement mise en œuvre. Les équipements de métrologie installés dans le cadre du programme, permettent de suivre l'efficacité des chasses, en lien avec les observations de terrain des gardes.

Certaines contraintes, propres au fonctionnement du Canal de Gignac demeurent cependant :

- d'une part, les chasses ne sont pas réalisables sur l'ensemble du périmètre. En effet, la section du canal de transport ainsi que l'absence de régulateurs motorisés sur certains tronçons (majorité de la rive gauche) empêchent l'exécution ou la propagation des chasses sur l'ensemble du linéaire de transport. Le réseau de distribution, quant à lui, est quasi intouchable par les chasses hydrauliques. Les interventions des gardes sont cependant plus aisées sur le réseau secondaire que sur le réseau de transport et ne nécessitent pas la mise en œuvre de moyens démesurés (intervention manuelle). Par ailleurs, la problématique propre au réseau de distribution sera bientôt levée, puisque les réseaux aériens ont vocation à tous être remplacés par des réseaux en charge.
- D'autre part, les chasses hydrauliques engendrent la mobilisation d'un volume d'eau important pendant une durée d'environ 6-8 h, ce qui peut être difficile à autoriser en période d'étiage, lorsque les contraintes d'approvisionnement en eau du canal sont maximales (contrainte du débit réservé, relatif à l'autorisation de prélèvement sur une ressource non sécurisée). Le Canal de Gignac ne disposant pas de possibilités de stockage, cette « surconsommation » d'eau est totalement perdue pour les usagers.
- Enfin, reste la problématique des macrophytes, sur lesquels les chasses n'ont pratiquement aucun effet (si ce n'est participer à l'évacuation d'une partie des sédiments, favorables à leur enracinement et la multiplication de leurs rhizomes).

L'expérience du Canal de Provence

La mise en application du principe des chasses hydrauliques en vue de maîtriser le développement des algues dans les canaux date de quelques années sur la branche Marseille Nord du Canal de Provence (BMN).

Les observations effectuées sur cette adduction tendent à montrer que les bénéfices attendus se concrétisent par la limitation des développements végétaux à des formes éparées et réduites. Les formes de développements significatives sont d'ailleurs caractéristiques car elles consistent principalement à des massifs compacts de bryophytes et d'algues générant des concrétions calcaires, formes de développements biologiques plus résistantes aux effets de cisaillement engendrés par les variations de débits.

Le déploiement de cette stratégie d'entretien des canaux n'a pour autant pas été généralisé car il demande une configuration des ouvrages qui se prête à certaines contraintes d'exploitation. Il faut en premier lieu que l'adduction puisse en un endroit stocker l'excès de débit provoqué par la chasse hydraulique, faute de demande de débit en aval. Le canal maître et les branches du Var sont caractérisés par des courants plus faibles que sur la BMN car les fluctuations de demandes de débits étant moins importantes et la capacité de réserve des canaux étant plus grande, le débit de régulation est davantage lissé. Il faut donc envisager des bassins de volume conséquent pour absorber d'éventuels à-coups de

débits. Il faut ensuite que les variations hydrauliques ne soient pas de nature à fragiliser le fonctionnement des équipements en aval. En revanche, les canaux sont équipés par endroits de fentes aspiratrices qui permettraient de gérer plus facilement les vagues de turbidité. La mise en place d'une stratégie de chasses hydrauliques nécessite donc une réflexion mûre car susceptible de nécessiter des investissements importants sur des ouvrages tampons.

Pour apprécier le bénéfice attendu de l'entretien des canaux par les chasses hydrauliques, il s'avère également important de disposer de données de maintenance en rapport avec les nuisances provoquées par les algues. C'est une contrainte forte pour les opérateurs car elle nécessite de leur part une certaine compétence pour apprécier qu'une nuisance est imputable à l'accumulation d'algues (colmatage de filtres, de compteurs, de goutte à goutte, etc) et d'autre part, une rigueur dans la rédaction des rapports d'intervention. Actuellement, les techniciens sont davantage tentés de faire apparaître les conséquences de ces nuisances plutôt que leur origine : turbidité de l'eau, chute de pression, etc.

Or, la gestion d'une base de données plus précise sur la nature des interventions constitue l'outil fondamental permettant d'apprécier le bénéfice de la mise en place de chasses hydrauliques par rapport à une situation antérieure, et le cas échéant d'optimiser celles-ci.

Chasses hydrauliques en canaux de distribution : outil de gestion pour contrôler le développement algal ?

S. Charpentier (IMEP-SCP)

Après avoir expérimenté la dynamique de colonisation et l'effet d'une chasse en mésocosme sur les communautés épilithiques algales et cyanobactériennes du dispositif du Canal de Gignac, nous nous proposons de tester ces stratégies de « chasses hydrauliques » en canaux régulés de distribution d'eau brute sur deux sites : le Canal de Provence et le Canal de Gignac, à différentes saisons et selon différents modes de gestion.

Ces chasses hydrauliques sont effectuées sur le Canal de Provence et suivies au niveau d'une station de référence située à mi-parcours de la branche Marseille Nord (BMN), en hiver, lors d'une remise en eau après mise en chômage du canal, puis en période estivale au moment où la demande en eau est maximale et la gestion hydraulique est la plus sensible. Sur le canal de Gignac les chasses sont suivies au niveau de la station Avencq et effectuées au printemps et à l'automne, périodes critiques du développement des algues épilithiques (notamment des Diatomées) et des nuisances induites.

Les résultats montrent une diminution de la biomasse algale épilithique quels que soient les sites ou les saisons, cependant cet effet est contrasté en fonction de l'intensité et la durée de la chasse hydraulique mais aussi en fonction de différences des peuplements algaux présents selon les sites et les saisons, en termes quantitatifs et qualitatifs. En outre il apparait clairement le besoin de prendre en compte le type de gestion hydraulique opérationnel des canaux au moment de la mise en place de ces chasses afin qu'elles soient plus efficaces.

Ces résultats permettent d'affiner la stratégie de dimensionnement des chasses afin d'éviter un surplus d'utilisation de l'eau notamment pour les canaux ne possédant pas de milieu récepteur (gestion quantitative) et d'autre part d'éviter une trop grande remise en eau des algues (gestion qualitative), occasionnant les nuisances auxquels nous souhaitons nous affranchir (turbidité, MES, densité cellulaire, Cyanobactéries). Les résultats nous mènent à une réflexion sur l'utilisation d'indicateurs de gestion hydraulique sur le développement algal. Outre l'indicateur débit, la vitesse du courant et la force de cisaillement à la paroi apparaissent nécessaires à l'interprétation des résultats. L'élaboration d'indices hydrauliques plus perfectibles semble être prometteuse pour caractériser la perturbation hydraulique optimale nécessaire à la situation rencontrée (biomasse initiale).

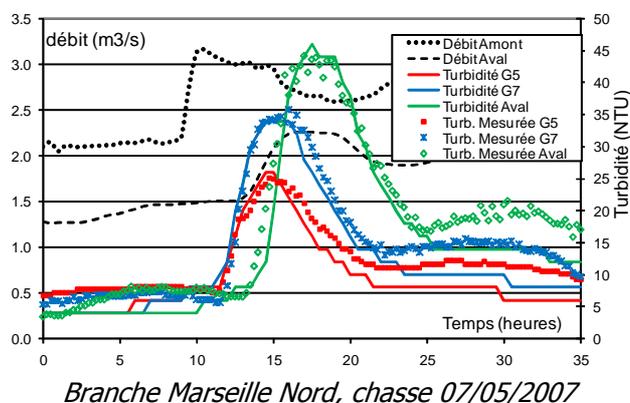
Les résultats ont permis de valider l'utilisation de capteurs de turbidité au moment des chasses comme témoin de l'efficacité des stratégies hydrauliques visant à diminuer la biomasse du compartiment épilithique tout en évitant un trop fort détachement. Des capteurs de chlorophylle sensibles seraient un atout pour identifier l'état initial des peuplements d'algues avant la mise en place des stratégies de chasses. A l'heure actuelle, ces capteurs apparaissent trop faiblement sensibles pour des milieux oligotrophes tels ceux rencontrés dans cette étude car ils ne permettent pas d'identifier les périodes à risques mais seulement les périodes de crise.

L'intégration de ces résultats dans le modèle mathématique de développement, détachement et transport lors de chasses hydrauliques (voir présentation suivante) et l'intégration de ce modèle dans la régulation hydraulique, devrait permettre d'atteindre des stratégies hydrauliques assurant un meilleur compromis entre la diminution de la biomasse algale et la maîtrise de la qualité d'eau du fait des brusques augmentations de turbidité.

Modèle de développement, détachement et transport pour la simulation de la qualité de l'eau lors de chasses hydrauliques

O. Fovet (UMR G-eau, Cemagref)

L'hydrodynamique est identifiée comme un des principaux facteurs structurant le développement algal benthique. Les chasses hydrauliques sont utilisées dans les réseaux d'assainissement pour remettre en suspension des dépôts solides. Leur application se développe en cours d'eau naturels pour la restauration écologique, là où la dynamique naturelle a été fortement perturbée par des ouvrages de type barrages. Le même type d'utilisation des chasses est également étudié pour l'arrachement de végétaux macrophytiques. On se propose ici d'étudier



l'utilisation de chasses hydrauliques pour la gestion des algues benthiques dans les canaux de transport d'eau. L'enjeu est alors de déterminer les opérations hydrauliques à effectuer en respectant des contraintes opérationnelles sur les niveaux d'eau et débits distribués, ainsi que sur la qualité de l'eau distribuée, et ceci en minimisant les volumes d'eau utilisés si ceux-ci ne sont pas stockés. On comprend alors la nécessité de s'appuyer sur des modèles de simulation.

Les effets de l'hydrodynamique sur les peuplements benthiques ont été principalement étudiés en rivière naturelle et en laboratoire. Le cas particulier des canaux artificiels nous a amené à développer des travaux spécifiques en conditions semi-contrôlées (laboratoire de terrain) où sont identifiées des dynamiques différentes pour le détachement algal continu et le détachement accidentel lors de chasses, générant des augmentations de turbidité.

Des chasses sont ensuite expérimentées sur les sites réels. La méthodologie consiste à augmenter le débit en tête du canal pendant quelques heures afin d'induire une augmentation des conditions de cisaillement et ainsi le détachement de biomasse. L'incrément de débit est réalisé soit sur l'ensemble du canal soit bief par bief, en utilisant les vannes de régulation et de décharge intermédiaires pour éviter la colonisation des zones aval par les algues détachées et remise en suspension. L'effet des chasses a été suivi grâce à des mesures de turbidité dont on a montré la corrélation avec les concentrations d'algues en dérive.

Ces résultats expérimentaux permettent de calibrer une relation entre la contrainte de cisaillement, variable hydraulique caractérisant l'effort exercé par l'écoulement sur le substrat, et le taux de détachement. Cette relation a donné lieu à un modèle générique de détachement algal, inspiré de modèles existants d'érosion de matériaux cohésifs et d'arrachement algal en rivière. D'autre part, l'accumulation de biomasse détachée dans la colonne d'eau et le transport des algues en dérive sont simulés par une équation d'advection-dispersion. Ce modèle, maintenant intégré dans le logiciel de simulation SIC, a été calibré de manière très satisfaisante sur plusieurs chasses effectuées dans la branche de Marseille Nord et dans une des deux branches du Canal de Gignac. Il permet alors de bien anticiper les perturbations de service (variations des niveaux d'eau, arrivée des pics de turbidité) afin d'adapter la gestion en conséquence. Il simule également la diminution de la biomasse fixée sur les parois des canaux. La dynamique de recolonisation est également simulée avec un modèle de croissance de la biomasse algale basé sur la disponibilité en nutriments, le rayonnement reçu et la dynamique de la température dans la colonne d'eau.

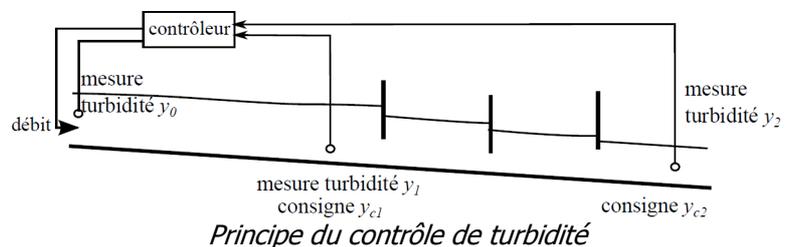
Ces travaux montrent aussi les apports potentiels de la régulation hydraulique pour la gestion de la qualité de l'eau, notamment pour le contrôle des développements algaux dans les canaux.

Vers la prise en compte de paramètres de qualité dans la gestion hydraulique en temps réel

X. Litrico (UMR G-eau, Cemagref)

La régulation hydraulique des canaux a connu de gros progrès au cours des deux dernières décennies grâce aux apports de l'automatique et au développement des moyens de calcul informatique, tant d'un point de vue théorique que d'un point de vue opérationnel. Les critères de performance sont essentiellement des critères hydrauliques (efficacité, robustesse, stabilité...).

La prise en compte de critères de qualité de l'eau dans le contrôle des canaux est très récente et a essentiellement concerné des problèmes de salinité en canaux de drainage. On montre ici une application originale du contrôle automatique à la maîtrise de la turbidité générée par le détachement algal lors de chasses hydrauliques.



Principe du contrôle de turbidité

On distingue d'abord un problème dit de « boucle ouverte » qui consiste à dimensionner une chasse (définir un débit et une durée) pour viser un objectif de turbidité, suffisamment élevé pour qu'il y ait un réel effet de chasse, mais pas trop pour ne pas altérer la qualité de l'eau distribuée ni colmater les organes de distribution. Il s'agit donc d'inverser un modèle qui prédit une turbidité en fonction d'une chronique de manœuvres donnée. Ce premier type de problème conduit à développer des approches plus simples que le modèle couplé hydraulique-détachement-transport, par exemples des approches par les fonctions de transfert entrée-sortie généralement utilisées en contrôle automatique. De telles approches, où l'entrée est un débit et la sortie une turbidité ont été testées avec succès dans le cadre du projet sur la branche de Marseille Nord équipée de turbidimètres en continu.

Compte tenu des écarts inévitables entre les prédictions et ce qui est effectivement obtenu, il est nécessaire de prévoir d'ajuster la commande en fonction des écarts entre mesures et consigne. On a donc une stratégie de contrôle dite de « boucle fermée », où on corrige la commande (débit de chasse, à l'amont) en fonction des écarts mesurés. Le contrôle de la turbidité pose, plus encore que pour l'hydraulique, le problème des temps de retard, ceux-ci étant liés au transfert de matière et non au retard des ondes hydrauliques. Une stratégie de contrôle doit ainsi s'appuyer sur un système de capteurs positionnés de telle sorte que la correction sur la commande puisse avoir un effet sur le nuage de turbidité (cf figure, station 1). Les consignes aux points distants (cf figure, station 2) peuvent être prises en compte à condition de disposer d'un modèle d'évolution de la turbidité sur tout le canal, recalé en temps réel à partir des mesures au point 1.

Une difficulté particulière pour le détachement algal est la dépendance de la réponse à la biomasse initiale, difficile à évaluer en contexte opérationnel. La méthode développée consiste à ajuster les paramètres du modèle en temps réel, grâce aux mesures télétransmises, et à ajuster la réponse du contrôleur automatique avec une stratégie dite de commande adaptative. L'implémentation opérationnelle de telles stratégies est en cours d'étude sur le canal de Provence.

Avec les développements technologiques, on dispose aujourd'hui de plus en plus de moyens de suivi de la qualité de l'eau en temps réel. Le cas de la turbidité montre qu'on pourra exploiter de telles mesures dans des stratégies de contrôle en temps réel.

Les Partenaires

L'Unité Mixte de Recherche **G-eau** (Gestion de l'eau, acteurs et usages) rassemble des équipes de recherche du Cemagref, de l'Institut de Recherche pour le Développement, du Cirad, d'AgroParisTech, de Montpellier SupAgro et de l'IAMM. L'équipe « Régulation des transferts d'eau » développe des recherches et des outils sur la modélisation et la régulation des transferts en canaux et rivières aménagées.

La **Société du Canal de Provence** est une société d'aménagement régional, gestionnaire du Canal de Provence et société d'ingénierie intervenant en France et à l'international en aménagement et gestion des ressources en eau.

L'Unité Mixte de Recherche **IMEP** (Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie) rassemble des équipes de recherche du CNRS, de l'Université de Marseille et de l'Institut de Recherche pour le Développement. L'équipe impliquée est spécialisée en écologie des eaux continentales.

L'Association Syndicale Autorisée du **Canal de Gignac** gère un périmètre irrigué de 3000 hectares dans la moyenne vallée de l'Hérault. Son réseau de 50 km de canal principal est aussi comme plateforme expérimentale sur la régulation des canaux.



Avec le soutien financier de l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du programme «Ecotechnologies et développement durable » et l'appui de l'Agence pour l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie (ADEME)



Co-financement des partenaires :

