

Focus

Des chasses hydrauliques pour la gestion de populations algales en canaux

Les développements d'algues filamenteuses dans les canaux de transport d'eau provoquent des nuisances physiques et chimiques qui induisent d'importantes contraintes pour la gestion des canaux de distribution d'eau. Des stratégies de gestion originales sont présentées ici à travers l'exemple de la gestion d'algues filamenteuses sur deux canaux du Sud de la France.

B

on nombre de canaux de transport d'eau brute sont concernés par le développement de végétation, et notamment d'algues. Celles-ci affectent la gestion des réseaux de canaux en s'accumulant dans les ouvrages de distribution et de régulation, dégradant la mesure des débits, voire la qualité de l'eau. Ce sujet est particulièrement sensible pour les eaux destinées à la potabilisation ou à la distribution d'eau brute aux particuliers. La prise en compte de la qualité de l'eau est un nouvel enjeu pour la régulation hydraulique : quel effet, sur le long terme, cette régulation a-t-elle sur la qualité de l'eau ? Comment l'utiliser pour maîtriser cette qualité ? Comment optimiser la gestion d'événements ponctuels prévus (chasses hydrauliques) ou imprévus (pollutions accidentelles) ? Des éléments de réponse sont apportés à travers l'exemple de la gestion d'algues filamenteuses sur deux canaux du Sud de la France : un canal récent à haute technicité et fort enjeu sur la qualité de l'eau, le canal de Provence, et un canal traditionnel en pleine phase de modernisation, le canal de Gignac.

Des chasses hydrauliques pour gérer des populations algales

Nuisances occasionnées par les algues

Le développement des végétaux et des algues dans les canaux à ciel ouvert est un phénomène naturel. Le régime hydraulique, les conditions ambiantes (température, ensoleillement, etc.) et, bien sûr, la qualité de l'eau sont autant de facteurs qui déterminent l'importance et la rapidité de ce développement. Pourtant, de très faibles concentrations en nitrates et phosphates suffisent à permettre la croissance des végétaux aquatiques. Ainsi, la présence d'algues et macrophytes n'est pas nécessairement liée à une pollution des eaux, comme en témoignent les deux sites d'étude où les eaux, provenant du Verdon et de l'Hérault, sont reconnues d'excellente qualité physico-chimique.

Les plantes aquatiques, enracinées dans un substrat pouvant être limité à une fine épaisseur de dépôts, posent essentiellement des problèmes de résistance à l'écou-

ment et de colmatage d'ouvrages en cas d'arrachement. Les algues n'ont quant à elles pas de système racinaire et se développent plus facilement sur les berges même bétonnées. Leur croissance peut être très rapide, mais elles sont aussi plus sensibles aux variations de courant qui peuvent provoquer alors leur détachement partiel. Des fragments d'algues sont arrachés des parois, puis se retrouvent en suspension sous forme de filaments de plusieurs millimètres à plusieurs centimètres de long. Les nuisances se font rapidement sentir pour l'exploitant : colmatage des systèmes de filtration, consommation de chlore par la matière organique, etc. Le colmatage peut entraîner des difficultés de régulation du débit, un manque d'eau en aval, des chutes de pression, des erreurs de comptage des débits, et, dans les cas extrêmes, le dénoyage de galeries. Dans un contexte d'usage « eau potable » ou d'application industrielle particulière, les algues peuvent dégrader la qualité organoleptique, accroître les besoins de traitement et de veille sanitaire vis-à-vis des cyanobactéries.

Des opérations de maintenance régulières sont nécessaires pour résoudre les problèmes à mesure qu'ils apparaissent. In fine, des opérations curatives lourdes, comme le curage mécanique ou manuel nécessitant la fermeture des canaux, peuvent s'avérer inévitables. Pour autant, ces dernières n'empêchent pas la recolonisation rapide des algues et de nouvelles nuisances dans un délai relativement court.

Des approches complémentaires mobilisées au service de la gestion

Les capacités de régulation avancées du canal de Provence ont permis de tester des stratégies de chasse hydraulique utilisées parfois en rivière pour l'entraînement de sédiments (Kondolf et Wilcock, 1996). L'application à la gestion de populations algales est plus originale, mais les canaux peuvent aussi être beaucoup plus facilement régulés que les rivières. Partant d'une approche empirique, le projet de recherche « Algequeue » (soutenu par l'Agence nationale pour la recherche, programme « Écotecnologies et développement durable » 2007-2011) a associé gestionnaires et équipes de recherche en régulation hydraulique et en hydrobiologie pour mieux

comprendre les interactions entre l'écoulement et les communautés algales, puis concevoir des modèles de simulation et des stratégies de régulation adaptées.

Une stratégie de gestion originale

Le découpage des filaments algaux peut être obtenu de deux façons :

- par l'augmentation de débit. On a alors une chasse hydraulique propagée depuis l'amont ;
- par la baisse de niveau aval. Dans ce cas, la chasse est provoquée depuis l'aval.

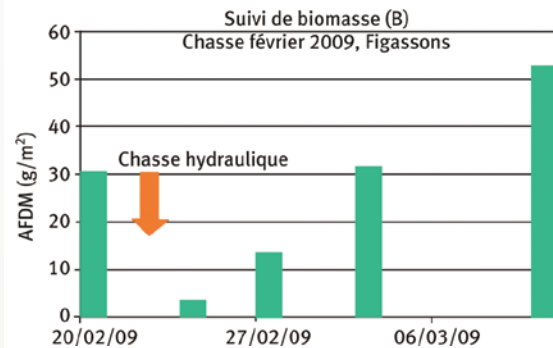
Une régulation hydraulique avancée permet de combiner les deux types de chasses.

Ces effets ont été quantifiés en conditions contrôlées, sur quatre petits canaux constituant des laboratoires de terrain, et sur site réel. La figure ❶ illustre l'effet d'une chasse sur le périphyton : un doublement du débit amont pendant six heures a permis le détachement de presque 90% de la biomasse fixée. La recolonisation algale au niveau « avant chasse » est néanmoins atteinte en deux à trois semaines. Ces observations permettent alors de quantifier la durée entre deux chasses successives assurant un niveau de biomasse constant, estimé comme non nuisible pour les gestionnaires.

Contraintes de gestion pour la mise en œuvre de chasses

Les chasses doivent intégrer les contraintes d'exploitation des canaux et minimiser la perturbation de service. Ces perturbations tiennent aux variations hydrauliques induites, mais aussi à l'augmentation de turbidité causée par le transport des matériaux décrochés. La figure ❷ illustre la réponse en turbidité à une augmentation de débit à l'amont : d'amont en aval, le pic de turbidité est décalé du fait de la dynamique de transport, et accentué à mesure que le détachement enrichit la phase transpor-

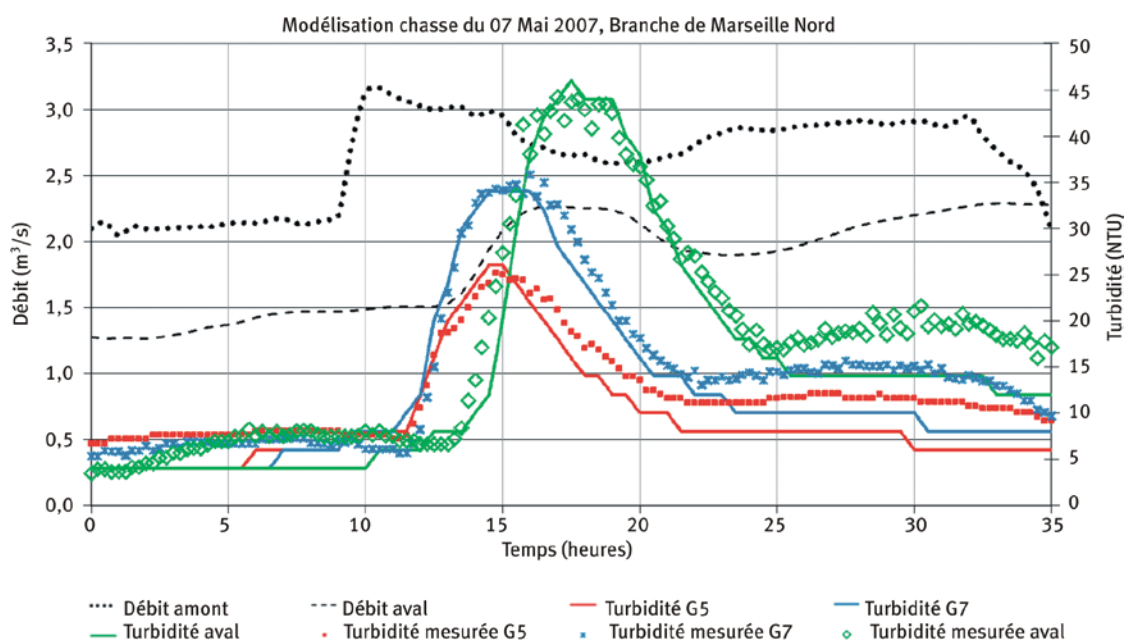
❶ Évolution du périphyton suite à une chasse hydraulique (branche de Marseille Nord).



tée. Cette augmentation peut être anticipée grâce aux modèles développés (Fovet *et al.*, 2012a) intégrés dans le logiciel SIC² (cf. article de Dorchies *et al.*, page 48 de ce même numéro), qui permet de prévoir l'arrivée des perturbations hydrauliques, leur intensité (variations de hauteur d'eau), le délai de retour à la normale, mais aussi l'arrivée des nuages de turbidité. Le gestionnaire peut alors être amené à évacuer les eaux trop chargées, après s'être assuré que les niveaux de rejets restent acceptables pour les milieux récepteurs.

Les opérations réalisées sur les deux canaux sont largement facilitées par leur système de télégestion. Des modules spécifiques aux chasses ont été développés pour intégrer de nouveaux indicateurs, comme les seuils d'alerte sur la turbidité mesurée en temps réel, les volumes d'eau dédiés aux chasses ou les volumes de biomasse évacués, estimés à partir de la turbidité.

❷ Réponse en turbidité aux stations aval de la branche de Marseille Nord, pour une chasse hydraulique.



► Sur le plan économique, il est encore difficile de quantifier précisément l'intérêt des chasses. Pour pouvoir le faire et ajuster au mieux leurs actions, les gestionnaires ont fait évoluer leur système de suivi des dysfonctionnements en enrichissant le contenu du registre des interventions de techniciens et des plaintes des usagers. Le coût marginal d'une chasse est en revanche connu : il se limite à la consommation du volume d'eau utilisé lors de la chasse. Ce volume peut être nul si l'eau utilisée est stockée dans une réserve à l'aval (cas de la branche de Marseille Nord du canal de Provence). En cas d'absence de réutilisation des volumes de chasse, ceux-ci seront limités grâce à l'action sur les niveaux aval (cas du canal de Gignac). Les contraintes environnementales peuvent même empêcher l'utilisation de tout volume supplémentaire.

Sur le plan social, les stratégies mises en place ont dû surmonter des problèmes d'acceptabilité, notamment par le personnel technique dont les pratiques habituelles étaient remises en cause. Sur le canal de Gignac, plusieurs échanges ont eu lieu avec les agents de terrain pour les sensibiliser à 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 principes de chasses ont été conçus avec les agents de terrain. Leur mise en application a démontré l'efficacité de telle ou telle stratégie, montrant par exemple qu'il n'est pas nécessaire de vider le canal avant la réalisation des chasses. 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.

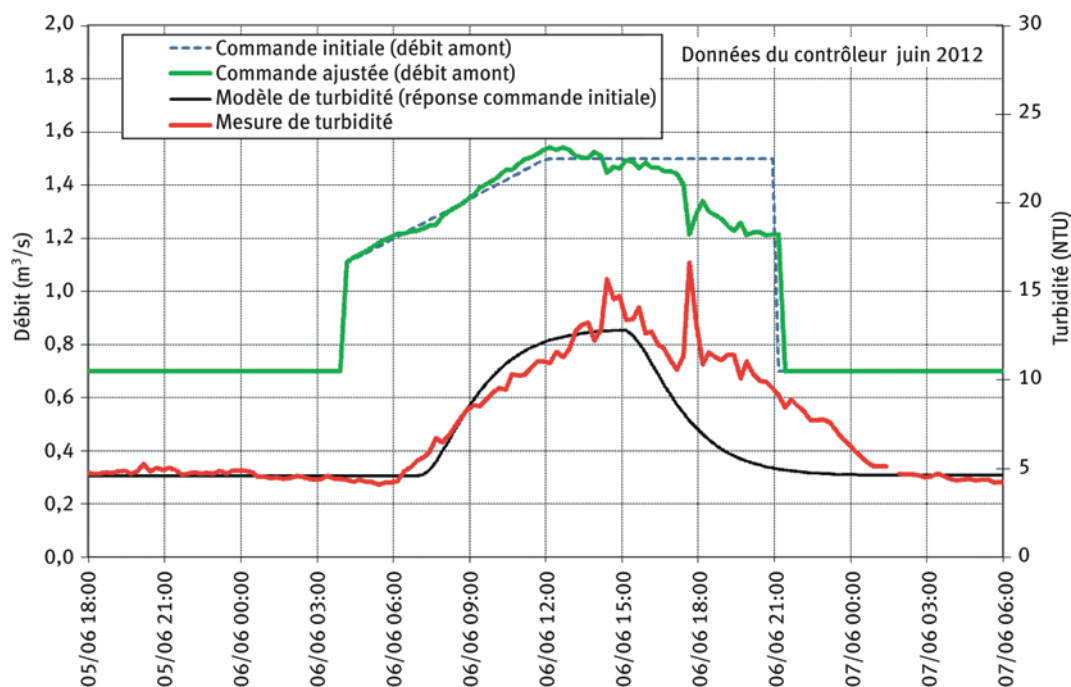
Procédures de gestion en temps réel de la qualité de l'eau

La régulation hydraulique des canaux a connu de gros progrès au cours des deux dernières décennies, tant d'un point de vue théorique qu'opérationnel, grâce aux apports de l'automatique et au développement des moyens de calcul informatique. Jusqu'à présent, les critères de performance étaient essentiellement des critères hydrauliques. Grâce au projet Algequeau, on est à présent en mesure de considérer également des critères de qualité.

En effet, la turbidité générée lors des chasses peut être mesurée *via* des capteurs intégrés au système de supervision, mais surtout maîtrisée grâce à la conception de contrôleurs régissant les manœuvres hydrauliques à appliquer. On conçoit donc, dans un premier temps, un contrôleur en « boucle ouverte » qui consiste à dimensionner une chasse (par exemple, l'augmentation de débit et la 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 (Fovet *et al.*, 2012b).

L'enjeu est également de déclencher les chasses à un moment où elles minimiseront les perturbations sur la gestion du système et les usagers finaux. Cette conception s'appuie sur des fonctions de transfert simples entre manœuvres hydrauliques et réponse en turbidité (figure 3), intégrées au superviseur.

3 Chasse hydraulique, Branche de Marseille Nord, juin 2012.



La courbe en pointillés est la commande initiale (débit amont), celle en noir étant sa réponse en turbidité supposée calculée avec la fonction de transfert débit-turbidité. La courbe en rouge représente la réponse mesurée. La courbe en vert est la commande réelle appliquée, tenant compte de la correction calculée à partir de l'erreur entre la turbidité prévue et la turbidité mesurée.

Compte tenu des écarts inévitables entre les prédictions et ce qui est effectivement obtenu, il est nécessaire d'ajuster la commande en fonction de ces écarts. On a donc également une régulation dite en « boucle fermée », où on corrige la commande (comme le débit de chasse, à l'amont) en temps réel (Fovet *et al.*, 2013). 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 avant la fin de la chasse. Une difficulté particulière est de quantifier a priori la réponse en turbidité à une augmentation de débit. La réalisation de chasses successives sur la branche de Marseille Nord du canal de Provence a permis d'affiner cette quantification. La figure ❸ montre, par exemple, pour une chasse réalisée en juin 2012, que la réponse prédite a priori par la fonction de transfert était proche de la réponse effectivement mesurée. Dans ce cas, l'ajustement de la commande en temps réel est minime. Cette situation est particulièrement favorable pour la gestion puisque les impacts de la chasse peuvent être bien anticipés et maîtrisés.

Conclusion

La gestion de la qualité de l'eau dans les canaux régulés prend une importance croissante du fait d'une plus grande exigence de la société vis-à-vis de ces systèmes, avec par exemple, le développement de la multifonctionnalité des réseaux. La gestion du développement d'algues filamenteuses sur les parois des canaux en donne un premier aperçu, et ouvre des perspectives nouvelles quant à la régulation hydraulique. On aborde là des questions complexes, aux interfaces de champs disciplinaires très distincts. 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, tant dans le cas de manœuvres volontaires que dans le cas de pollutions accidentelles. ■

Les auteurs

Gilles BELAUD

Montpellier Supagro, UMR G-EAU
Gestion de l'eau, acteurs et usages
BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5
✉ belaud@supagro.inra.fr

David DORCHIES, Jean-Pierre BAUME et Pierre-Olivier MALATERRE

Irstea, centre de Montpellier, UMR G-EAU
Gestion de l'eau, acteurs et usages
361 rue J.F. Breton, BP 5095
34196 Montpellier Cedex 5
✉ david.dorchies@irstea.fr
✉ jean-pierre.baume@irstea.fr
✉ pierre-olivier.malaterre@irstea.fr

Céline HUGODOT

ASA Canal de Gignac
1 parc de Camalcé, 34150 Gignac
✉ asagignac@wanadoo.fr

Pascal DOLLET et Olivier GENTHON

Société du Canal de Provence
Le Tholonet, CS 70064
13182 Aix-en-Provence Cedex 05
✉ pascal.dollet@canal-de-provence.com
✉ yan.viala@canal-de-provence.com

EN SAVOIR PLUS...

- ❶ **KONDOLF, G.M., WILCOCK, P.R.**, 1996, The flushing flow problem: defining and evaluating objectives, *Water Resources Research*, 32(8), p. 2589-2599.
- ❷ **FOVET, O., BELAUD, G., LITRICO, X., CHARPENTIER, S., BERTRAND, C., DOLLET, P., HUGODOT, C.**, 2012a, A model for fixed algae management in open-channels using flushing flows, *River Research and Applications*, n° 28, p. 960-972.
- ❸ **FOVET, O., LITRICO, X., BELAUD, G.**, 2012b, Turbidity management during flushing-flows: a model for open-loop control, *Advances in Water Resources*, n° 35, p. 7-17.
- ❹ **FOVET, O., LITRICO, X., BELAUD, G., GENTHON, O.**, 2013, Adaptive control of algae detachment in regulated canal networks, *Journal of Hydroinformatics*, vol. 15, n° 2, p. 321-334.