

Le rôle des réseaux de drainage agricole dans le ralentissement dynamique des crues : interprétation des données de l'observatoire « Orgeval »

Le drainage agricole peut générer des impacts importants sur le cycle de l'eau, sur l'écologie du paysage et sur les cours d'eau. Sur le bassin versant expérimental de l'Orgeval, les équipes scientifiques d'Irstea étudient les processus de transfert des écoulements aux différentes échelles afin de comprendre le comportement des réseaux de drainage et le rôle qu'ils peuvent jouer, notamment en période de crues.

A

u-delà de son intérêt agronomique, le drainage agricole souterrain influence sensiblement la réponse hydrologique des bassins versants concernés. L'étude de son impact en aval, notamment sur les inondations, implique l'examen de

plusieurs processus de transfert aux différentes échelles (Robinson et Rycroft, 1999). À l'échelle de la parcelle, le drainage agricole a pour effet de réduire la contrainte agronomique liée à la présence dans les parcelles cultivées d'un excès d'eau hivernal temporaire. Cela engendre une augmentation de la capacité de stockage d'eau dans le compartiment sol en restaurant la capacité d'infiltration et, en conséquence, une diminution du ruissellement de surface. À l'échelle du bassin versant, le transfert d'eau de la parcelle à l'exutoire est soumis à une résistance hydraulique à l'écoulement qui peut survenir :

- dans le sol, particulièrement au voisinage du drain,
- dans les réseaux de drains et de collecteurs enterrés ou dans les fossés (Henine *et al.*, 2010 ; Nédélec, 2005).

Le fonctionnement hydrologique d'un sol drainé est ainsi fortement influencé par la présence des drains enterrés. Les écoulements issus du drainage sont transférés par les réseaux de collecteurs enterrés dans les fossés d'assainissement agricole et les cours d'eau. En période de crues, le rejet des écoulements en provenance de parcelles agricoles drainées est souvent perçu comme une cause possible d'inondations, court-circuitant des zones tampons dans lesquelles les eaux auraient pu circuler de manière plus diffuse en son absence, par infiltration ou ruissellement. En outre, les parcelles drainées couvrent

parfois des superficies importantes au sein du bassin versant. Les points de rejets des collecteurs et la morphologie souvent rectiligne des fossés contribuent à la perception négative du drainage agricole.

En réalité, la connaissance des modifications hydrologiques réellement induites est difficile compte tenu de la diversité des cheminements de l'eau et de la complexité des phénomènes en jeu. Aussi, le drainage peut être dommageable, par augmentation des pics de débit, comme il peut être bénéfique, par atténuation de ces pics (Robinson et Rycroft, 1999). Cette complexité dépend directement de la nature de l'événement de pluie et des caractéristiques du sol.

Dans cet article, on cherche donc à comprendre le comportement des réseaux de drainage de la parcelle au versant afin de clarifier le rôle qu'ils peuvent jouer en période de crues en utilisant deux approches :

- étude détaillée du comportement pendant un événement de pluie, pour lesquels les processus et leurs interactions mis en jeux seront présentés ;
- étude hydrologique fréquentielle des débits de pointe, à partir de données issues d'un observatoire expérimental de l'Orgeval (Seine et Marne) sur vingt ans.

Méthode suivie dans cette étude et outils utilisés

Une étude de l'impact du drainage agricole sur les crues doit considérer l'ensemble des facteurs spatio-temporels pouvant influencer le régime hydrologique à l'exutoire du bassin versant.

En termes d'échelle spatiale (figure 1), on distingue :

- l'échelle de la parcelle regroupant les panneaux de drains et le collecteur latéral ;
- le réseau de drainage complet qui comprend l'ensemble des parcelles drainées et le réseau de collecteurs enterrés (primaire et secondaire) qui se rejettent en un seul point dans le fossé à ciel ouvert ;
- le petit bassin versant qui associe les réseaux de drainage enterrés au réseau de fossés puis au réseau hydrographique préexistant.

Cette étude va donc s'intéresser aux processus de transfert (hydraulique et hydrologique) à ces différentes échelles ainsi qu'à leurs interactions impactant directement le débit à l'exutoire du bassin versant.

En termes d'échelle temporelle, on distingue :

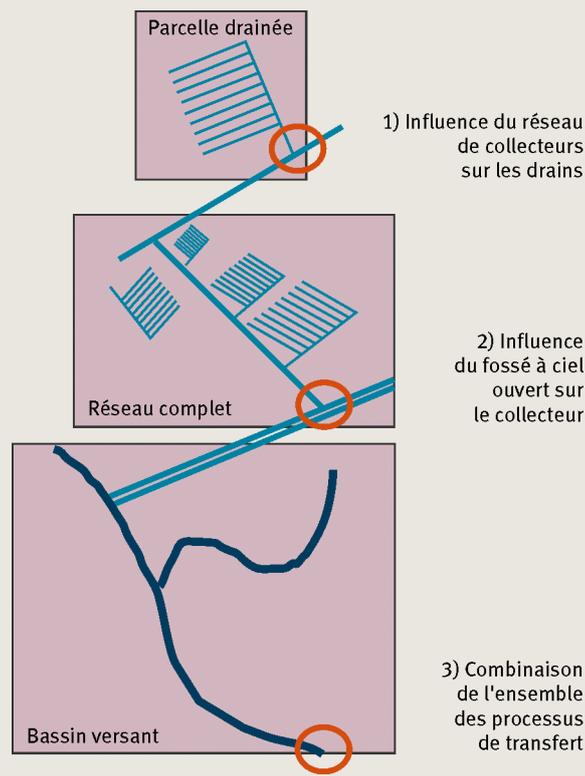
- l'échelle d'un événement où les processus de transfert de la parcelle à l'exutoire du bassin versant sont étudiés en détails, avec une mise en évidence des interactions possibles entre ces différents processus qui modifient le comportement global du bassin versant ;
- l'échelle d'une chronique hydrologique de longue durée pour laquelle une sélection des débits de pointe a été opérée.

Observatoire expérimental de l'Orgeval

Le bassin versant de recherche et d'expérimentation (BVRE) de l'Orgeval est situé en Brie, à proximité de la ville de Coulommiers (Seine et Marne), à soixante-dix kilomètres de Paris. Il s'étend sur 104 km². Son sous-sol est de type sédimentaire daté du tertiaire (oligocène et éocène). Les formations supérieures (formation de Brie et les sables de Fontainebleau) ainsi que la présence de niveaux plus imperméables en dessous (les argiles vertes) entraînent la formation de nappes superficielles. Le sol est de type brun lessivé à texture limono-argileuse (Luvisol) et présente des caractéristiques d'hydromorphie temporaire car il est soumis à des nappes perchées superficielles. Dans la région de grande culture de la Brie, le recours au drainage agricole pour désengorger les parcelles et aux travaux d'assainissement a augmenté la capacité de transfert du réseau hydrographique et a entraîné une modification du rapport entre l'infiltration et le ruissellement. On distingue des transferts d'eau rapides (horizontaux) impliquant le drainage artificiel très largement implanté (80 % de la surface agricole utile) et des transferts d'eau plus lents correspondant à une infiltration profonde (transferts verticaux), qui alimentent deux principales nappes (nappes de Brie et de Champigny). À mesure que les cours d'eau incisent les plateaux sédimentaires, ces nappes contribuent au débit de surface.

L'occupation des sols se répartit entre agriculture intensive (80 %), forêt (12 %) et urbain (8 %). Bassin suivi depuis 1962, l'Orgeval est le plus ancien BVRE français encore en opération. Il dispose d'un important fond d'études et de données : un environnement très bien caractérisé, des séries chronologiques anciennes (essentiel en hydrologie). Le bassin versant de recherche de l'Orgeval est représentatif des bassins ruraux ayant subi

❶ Schéma de principe d'un système drainant et processus hydrauliques et hydrologiques associés.



de très profondes modifications liées à l'activité agricole. Ce bassin hydromorphe et densément aménagé a aussi l'avantage d'être suivi en continu depuis plus de quarante ans.

Pour cette étude, les expérimentations sur le terrain menées par le passé sur deux bassins versants (figure ❷) ont été exploitées. Sur un même site, le dispositif expérimental ne permet pas de suivre le débit aux différents points du réseau, comme présenté sur la figure ❶. Toutefois, l'ensemble du suivi expérimental sur deux sites en tête de bassin versant nous le permet (figure ❸).

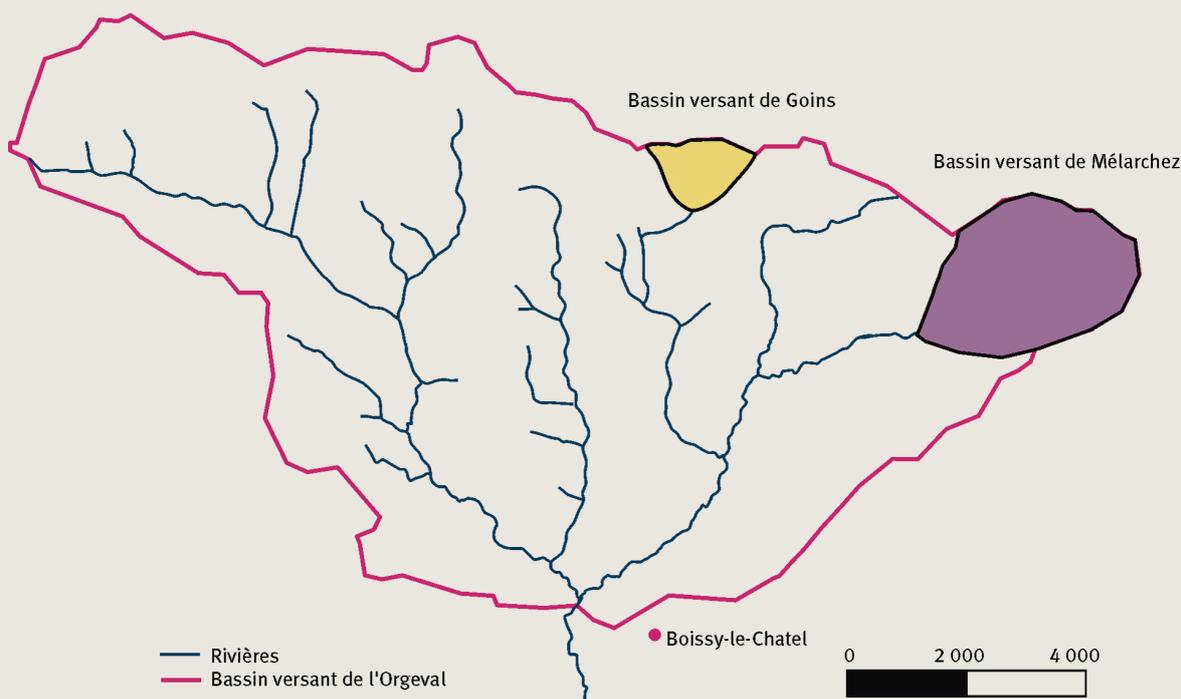
❶ RAPPEL SUR LE DIMENSIONNEMENT DU DRAINAGE AGRICOLE

À l'échelle de la parcelle, la profondeur et l'écartement des drains sont dimensionnés pour permettre un tarissement de la nappe superficielle en un temps et à une profondeur par rapport à la surface du sol compatibles avec les pratiques agricoles caractéristiques des cultures envisagées sur la parcelle, pour une pluie de projet (P) courante, d'une durée de trois jours et d'une période de retour de un à deux ans. À cette échelle, la capacité de transfert du drainage est limitée par ce critère de dimensionnement. La capacité maximale interceptée par les drains est atteinte lors de la saturation complète du sol au dessus des drains, au moment de l'affleurement de la nappe superficielle en surface.

Chaque collecteur du réseau de drainage est dimensionné pour évacuer le débit de projet intercepté par le réseau de drainage amont (qu'on appellera débit de collecte) en condition d'écoulement à surface libre. Lorsque le débit de collecte est supérieur au débit seuil du collecteur (débit à pleine section), l'écoulement se fait alors sous pression (qu'on appellera écoulement en charge).

Le fossé d'assainissement agricole à surface libre est recalibré de façon à ce que la sortie du collecteur soit à une cote au moins égale au niveau d'eau issu d'une crue de période de retour annuelle.

2 Schéma du bassin versant de l'Orgeval ; présentation des deux sites d'étude (Goins et Mélarchez).



► Les données acquises sont disponibles :

- à la sortie d'une parcelle drainée du bassin versant de Goins (1,7 ha),
- à la sortie d'un réseau complet en tête du bassin versant de Mélarchez (80 ha),
- à l'exutoire des bassins versants de Goins (130 ha) et de Mélarchez (710 ha).

À la parcelle de Goins, le suivi expérimental est réalisé dans une fosse, qui a été creusée pour atteindre le collecteur de la parcelle (figure 2a). Le dispositif expérimental comprend un débitmètre électromagnétique au travers du collecteur pour la mesure du débit et une sonde de pression pour la mesure des variations du niveau d'eau dans la fosse. À cause de la connexion hydraulique existante entre la fosse et le collecteur perforé, la hauteur d'eau dans la fosse par rapport au niveau du collecteur

est considérée égale à la pression dans ce dernier. À la sortie d'un réseau de drainage complet à Mélarchez (figure 2b), les vitesses moyennes par un capteur ultrasons à effet Doppler et la pression avec une sonde de pression sont mesurées. La combinaison de ces deux mesures permet de déduire le débit. Simultanément, la hauteur d'eau dans le fossé, au point de rejet du collecteur, est mesurée avec une autre sonde de pression.

L'ensemble des données exploitées dans cette étude, leur période de disponibilité et le pas de temps d'observation sont donnés dans le tableau 1.

Résultats

Les résultats de l'étude sont basés sur la comparaison entre le comportement du débit spécifique en un point du réseau de drainage (en sortie de la parcelle à Goins ou du réseau

3 Les différents points de mesure de débit : (a) débit à la sortie de la parcelle de Goins ; (b) débit à la sortie d'un réseau de drainage complet à Mélarchez ; (c) débit à l'exutoire du bassin versant de Goins (le même dispositif qu'à Mélarchez).



(a)



(b)



(c)

❶ Résumé des points des grandeurs observées, période et pas de temps d'observation.

Localisation	Échelle	Type de données	Période	Temps
Boissy-le-Châtel	3	Précipitations	1962-2012	Horaire
Mélarchez	3	Débit à l'exutoire	1962-2012	Horaire
	2	Débit du réseau complet	Hivers (sept. à mai) de 1999 à 2003	Horaire
	2	Hauteur d'eau dans le fossé à ciel ouvert au point de rejet	Hivers (sept. à mai) de 1999 à 2004	Horaire
Goins	3	Débit à l'exutoire	1989-2012	Horaire
	1	Débit d'une parcelle drainée	Hivers (sept. à mai) de 2006 à 2008	Horaire
	1	Pression à la jonction parcelle réseau de collecteur	Hivers (sept. à mai) de 2006 à 2009	Horaire

complet à Mélarchez) avec le débit spécifique à l'exutoire du bassin versant. Cette comparaison nous permet ainsi de déduire, par la différence de comportement, les processus dominants à chaque échelle et la contribution du drainage dans l'atténuation du débit à l'exutoire, pendant les périodes de mise en charge du réseau de drainage.

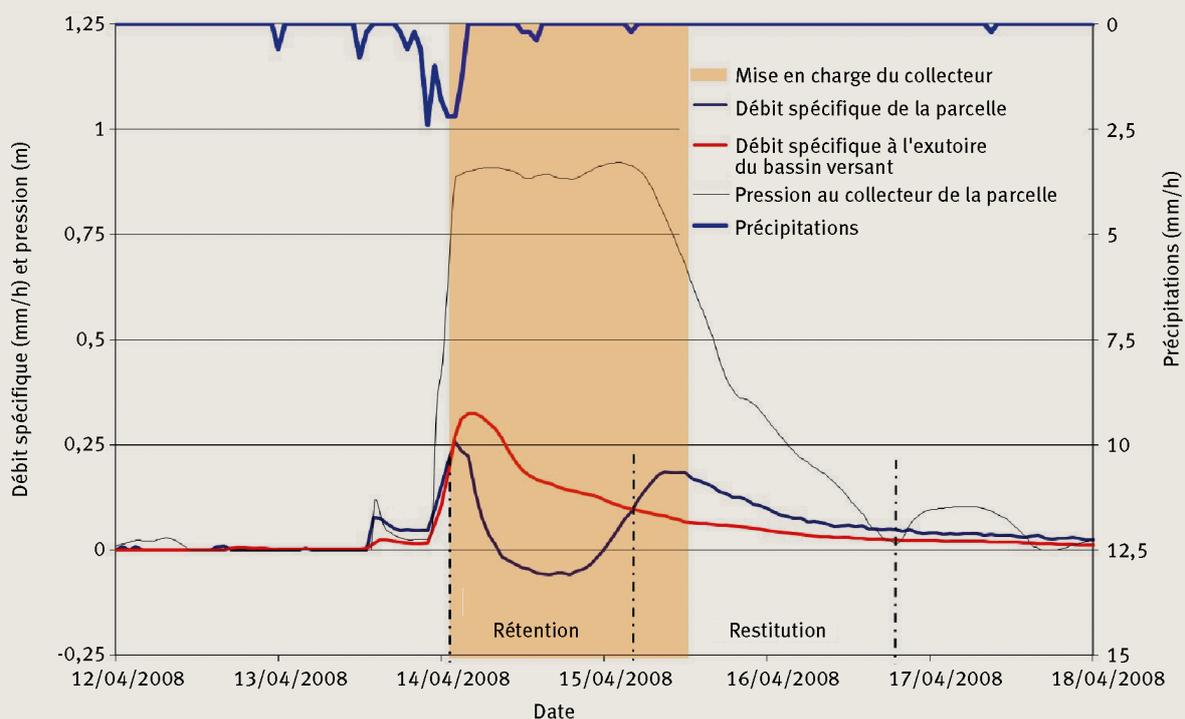
Ensuite, une analyse fréquentielle sur les pluies horaires a permis de tracer la courbe de l'intensité de pluie en fonction de la période de retour, définie comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition, sur un graphique semi-logarithmique. Simultanément, une analyse fréquentielle de débits de pointe horaires, basée sur l'approche débit

seuil, qui consiste à retenir tous les débits de pointe supérieurs à un seuil de troncature de l'ordre de 250 L/s. La comparaison entre les deux courbes nous renseigne sur la réponse du bassin versant aux différents événements, de différentes périodes de retour. Cette étude nous permet également de déduire jusqu'à quelle fréquence de débit de pointe l'atténuation du débit à l'exutoire par le réseau de drainage est efficace.

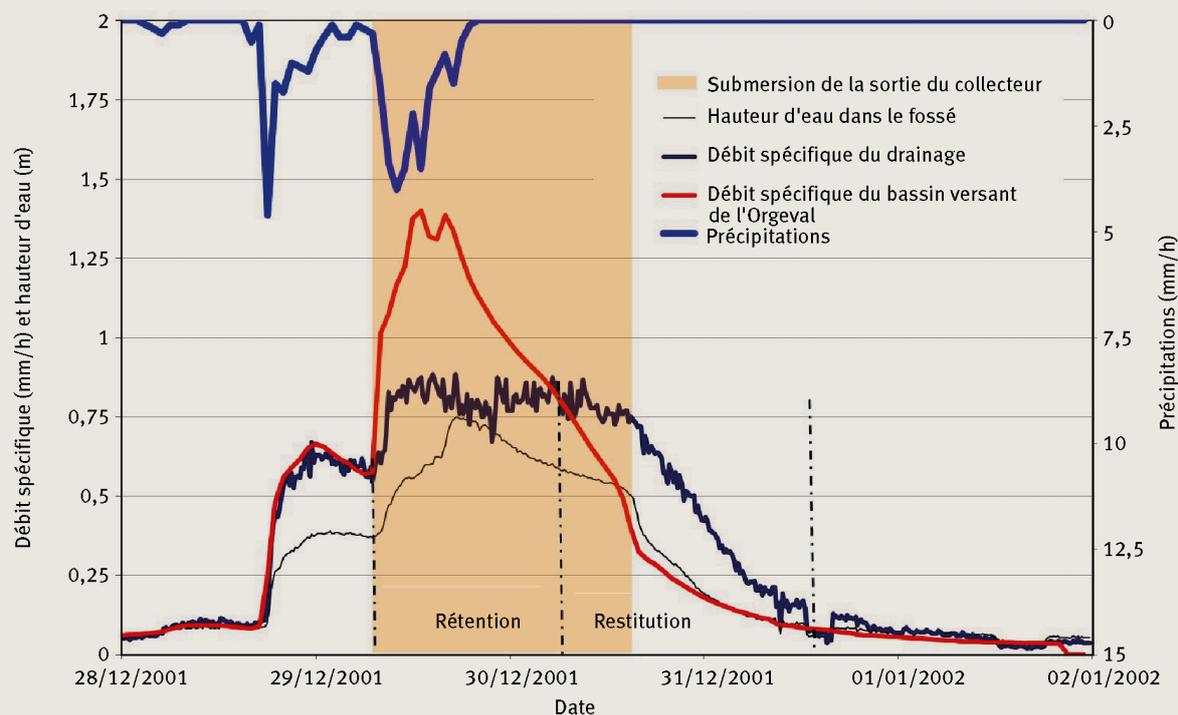
Limitation de transfert des réseaux de drainage

Pour étudier cette limitation, on s'intéresse au comportement hydraulique du réseau de drainage à l'échelle d'un événement, où les processus de transfert sont étudiés en détail.

❷ Comparaison entre le débit à l'exutoire et le débit à la sortie d'un collecteur d'une parcelle drainée pour un épisode de surcharge du réseau (Henine *et al.*, 2010).



5 Comparaison entre le débit à l'exutoire et le débit à la sortie du réseau de collecteur de Mélarchez (710 ha) pour un épisode de surcharge du réseau (Nédélec, 2005).



Il s'agit de faire ici une étude du fonctionnement du réseau de drainage et de son rôle dans la rétention des crues : un domaine jusqu'ici pauvre en références expérimentales. En se basant sur les données du bassin versant de l'Orgeval (tableau 1), nous allons analyser l'impact de la limitation de transfert du réseau de drainage sur le débit de collecte par les drains (à l'échelle de la parcelle) et sur le débit au point de rejet (à l'échelle d'un réseau de drainage complet).

Influence aval sur le débit de collecte

Pour étudier l'influence du réseau de collecteur sur le débit de collecte, nous avons exploité les données du site de Goins (tableau 1). Les observations ont montré que le débit en sortie d'une parcelle drainée, lors des événements de pluies intenses, reste limité à cause de la mise en charge du collecteur de parcelle (Henine *et al.*, 2010). Un exemple de l'événement de mise en charge du réseau observé du 14 au 18 avril 2008 est montré sur la figure 4. L'hydrogramme de crue à la sortie du collecteur de la parcelle ressemble alors à celui d'un drainage contrôlé par l'aval (comme l'indique la pression dans le collecteur) pour lequel l'eau est retenue temporairement dans la parcelle pendant cette période de mise en charge et restituée ensuite. Ce comportement à la sortie de la parcelle est confirmé par les observations des variations du niveau de la nappe, observés dans des piézomètres de surface (1 m de profondeur) installés sur la même parcelle, qui montrent l'effet d'une rétention d'eau par gonflement de la nappe pendant la période de mise en charge des drains et un tarissement après cette période (Henine *et al.*, 2010). Si la pression à l'aval d'un collecteur d'une parcelle est importante, on observe des débits négatifs témoins de l'alimentation de la nappe par le réseau de

drains (figure 4). Cet impact peut être substantiel dans les cas où la mise en charge est présente sur une grande partie du réseau.

Une modélisation de l'impact du réseau de drainage, lors des crues les plus extrêmes, prenant en compte les différents comportements observés lors de cette expérimentation a été réalisée, et montre des résultats qui vont dans le sens du phénomène observé sur le terrain.

Influence du fossé à ciel ouvert sur le débit de rejet

La capacité maximale d'évacuation d'un réseau de drainage est atteinte pendant la mise en charge des collecteurs. Cette mise en charge est provoquée quand le débit de collecte dépasse le débit seuil : on parle de la mise en charge par l'amont, ou par la submersion du point de rejet du réseau dans le fossé à ciel ouvert, on parle alors de la mise en charge par l'aval (Nédélec, 2005).

Dans le cas de la submersion du point de rejet, l'expérimentation réalisée sur le site de Mélarchez a permis d'expliquer l'influence de la mise en charge du réseau sur les débits de pointe (Nédélec, 2005). Cette étude est basée sur la comparaison entre le débit en sortie d'un réseau de drainage (drainant une surface de 80 ha) et celui à l'exutoire du bassin versant (surface totale de 710 ha). La figure 5 montre les observations pour un épisode de pluie du 30 décembre 2001 (Nédélec, 2005).

Sur la figure 5, on remarque une nette discordance entre le débit spécifique (débit par unité de surface) mesuré à l'exutoire du bassin versant et celui mesuré à la sortie du collecteur. Ce dernier présente une limitation du débit à 0,75 mm/h environ, tandis que le débit à l'exutoire du bassin versant est variable et forme un débit de pointe spécifique supérieur à celui du collecteur.

Ce comportement qui semble particulier a en fait une explication hydraulique. La submersion du point de rejet du collecteur provoque une limitation de sa capacité d'évacuation, par contrôle hydraulique aval. En effet, comme le montre la figure 5, cette limitation coïncide avec la submersion complète du collecteur (la remontée de l'eau dans le fossé au-dessus du collecteur à 0,5 m, figure 6).

Dans tous les cas, la mise en charge du réseau de drainage influence directement le débit de sortie. Les observations de terrain montrent le rôle particulier joué par le fossé à surface libre en mettant, par rétroaction, le collecteur en charge, avec une limitation du débit de rejet. Il est ainsi mis en évidence un rôle d'autolimitation du réseau de drainage par l'aval sur le débit de collecte à l'amont. Des études réalisées sur un modèle physique de laboratoire et par simulations numériques ont confirmé ensuite certains aspects du phénomène observé sur le terrain (Nédélec, 2005).

Conclusion sur la limitation du réseau de drainage

Les études réalisées sur le comportement des réseaux de drainage à l'échelle d'un événement ont permis de mettre en évidence leur capacité à limiter les débits de rejet et leur rôle dans la rétention temporaire de l'eau dans le système drainant (nappe et tuyaux). Sur les figures 4 et 5 on distingue deux phases essentielles :

- la phase de stockage de l'eau infiltrée dans le sol sous l'effet de la pression dans les drains ;
- la phase de restitution de l'eau stockée lors du passage des tuyaux d'un écoulement en charge à un écoulement à surface libre.

Ce fonctionnement favorise ainsi le ralentissement dynamique des crues, tout en assurant la continuité des écoulements dans le réseau hydrographique.

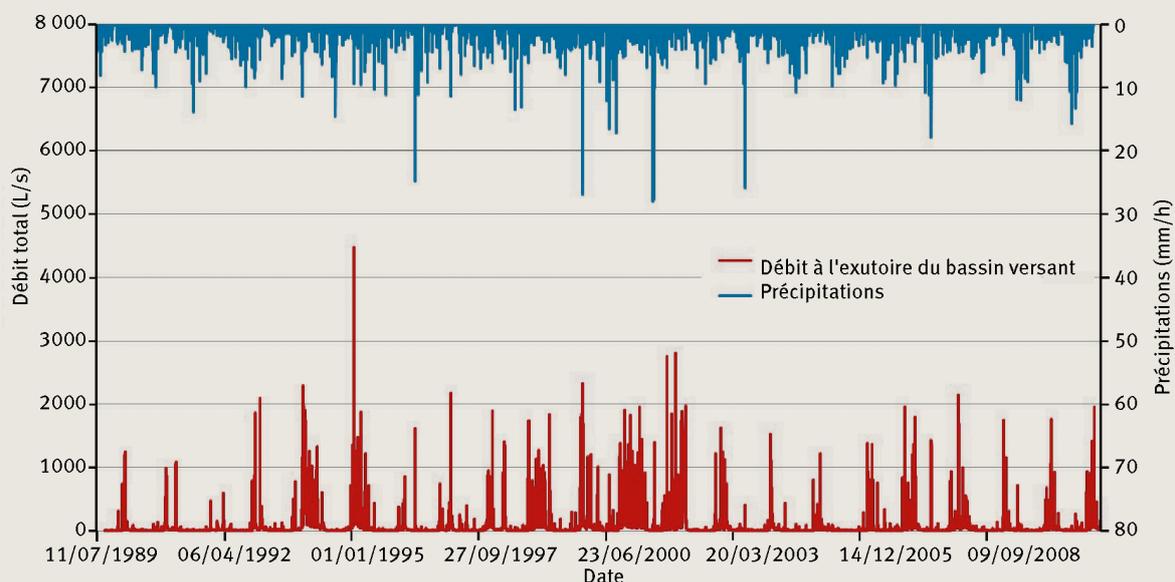
Ce comportement est d'autant plus important qu'une proportion importante du bassin versant est drainée. Cette limitation du débit de rejet reste toutefois limitée. La saturation complète du système drainé (tuyaux et nappe) conduit à l'occurrence du ruissellement de surface qui participe au débit à l'exutoire (Augeard *et al.*, 2008).

Les événements de mise en charge des réseaux, observés ou non lors d'expérimentations, constituent une information importante qu'il faudrait replacer dans un contexte global. En effet, à cause de la complexité des interactions entre les différents processus de transfert de la parcelle (drainée ou non drainée) à l'exutoire du bassin versant, et de multiples configurations topographiques de terrain qui influencent directement ces processus de mise en charge, la réponse du système sera différente. Dans l'objectif d'une approche plus globale, la suite de cet article consiste à utiliser une approche statistique pour mieux comprendre la réaction du réseau de drainage aux différents événements de pluie.

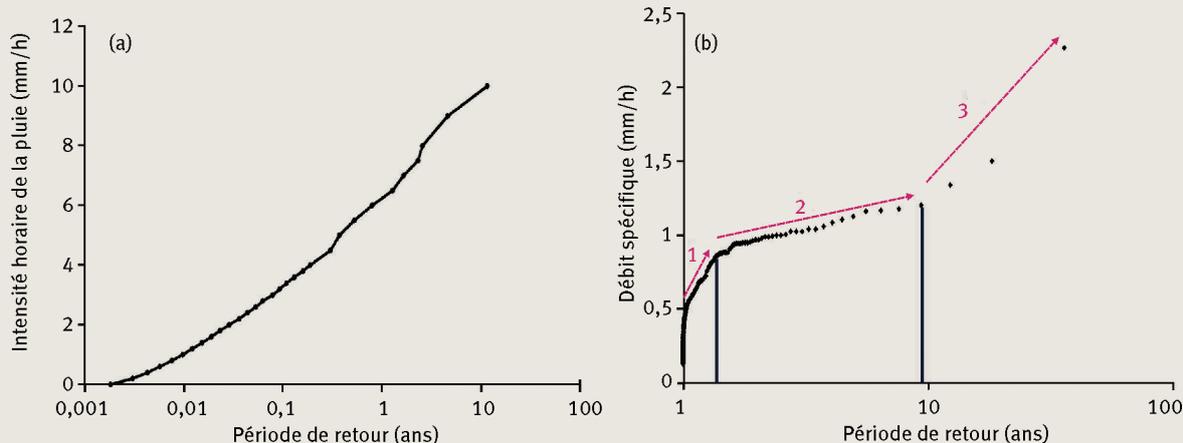
Étude de la limitation sur une longue série

Par le passé, des observations de débit menées à l'échelle de la parcelle sur le site de la Jaillièrre (Maine et Loire) ont montré que les débits de pointes (ruissellement + drainage) en sortie de la parcelle drainée sont limités au-delà d'une certaine période de retour (Lesaffre, 1988). Cette limitation est directement liée à la mise en charge des drains (encadré 1). Ces mêmes observations montrent également qu'il existe un débit de pointe frontière à partir duquel les rejets d'une parcelle drainée en présence d'excès d'eau temporaire présentent des hydrogrammes (drainage + ruissellement) aux pointes moins intenses et moins volumineuses que le seul ruissellement d'une parcelle non drainée (Lesaffre, 1988).

6 Série de pluie et de débit horaires sur le bassin versant de Mélarchez (vingt ans de données).



7 Distribution de la pluie (a) et du débit de pointe (b) mesurés durant vingt années à l'exutoire du bassin versant de Mélarchez (Augeard *et al.*, 2008).



► À l'échelle du réseau de drainage complet, il existe des données acquises pendant un nombre d'années important sur le bassin versant de l'Orgeval, dans certains points du bassin depuis 1962, au pas de temps horaire et journalier.

L'analyse des pluies et des débits à l'exutoire du bassin versant de Mélarchez (710 ha) sur vingt ans (figure 6) a permis de réaliser les courbes fréquentielles des pluies mises en parallèle avec celles des débits de pointe (figure 7). De par leur construction, la courbe des pluies concerne toutes les valeurs mesurées et celle des débits ne concerne que les débits de pointe, les deux courbes ne pouvant être représentées sur un même graphique. En effet, une pluie d'une fréquence d'apparition donnée peut générer un débit de pointe de fréquence d'apparition différente (supérieure ou inférieure). D'autre part, la réponse du système drainant pour chaque pluie, de période de retour donnée, dépend fortement de l'état de saturation initial du sol. Pour cela, la comparaison se limitera aux variations de la forme globale des deux courbes. Ainsi, la figure 7 montre trois phases distinctes :

- une phase d'accélération du transfert d'eau par le réseau de drainage pour la période de retour inférieure à deux ans (figure 7b). La courbe des débits de pointe pour des valeurs inférieures à 0,8 mm/h montre une pente supérieure à celle des pluies (figure 7a). Le drainage, pendant cette phase, accentue les crues ;
- une phase d'autolimitation du réseau de drainage pendant la période de retour entre deux et dix ans (figure 7b). Pendant cette phase, on observe une première diminution de la pente de la courbe des débits de pointe (début de la deuxième flèche, figure 7b) indiquant que les débits de pointe augmentent très faiblement avec l'augmentation de la période de retour, alors que la courbe correspondante pour la pluie continue d'afficher un accroissement linéaire (figure 7a). Dans le bassin de Mélarchez, le rejet du drainage agricole constitue la majeure partie du débit à l'exutoire : la limitation du débit d'évacuation par la mise en charge du réseau de drainage explique cette diminution de la pente de la courbe des débits de pointe. Durant cette

phase, une part de la pluie infiltrée est retenue dans le système de drainage, sans qu'elle ne participe au débit de pointe, limité par le dimensionnement généralement calculé à 0,6 mm/h pour la zone géographique d'étude ;

- une phase de forte augmentation de la pente de la courbe des débits de pointe (début de la troisième flèche) pour des événements de période de retour supérieure à dix ans. Ceci s'explique par le dépassement de la capacité maximale de stockage du système drainant pour les événements très intenses qui provoquent une plus forte contribution du ruissellement de surface dans le débit de l'exutoire.

Conclusion

Nous avons présenté ici différentes approches permettant de comprendre le comportement des réseaux de drainage pendant les crues et de répondre à la question de l'impact hydrologique du drainage :

- phase 1 : accentuation des crues pour les périodes de retour compatible avec le dimensionnement du réseau de drainage (un à deux ans). Le drainage a un impact négatif en accélérant la propagation de la crue ;
- phase 2 : autolimitation et stockage dans le réseau ou les parcelles, pour les crues de période de retour entre cinq et dix ans, le drainage a un impact positif en atténuant la propagation de la crue ;
- phase 3 : au-delà de dix ans, l'hydro-système étant saturé, le drainage ne montre plus d'impact.

Généralement, la phase 2 est souvent occultée dans les études, mais bien réelle, puisque mesurée à partir d'observations sur un bassin versant réel. À partir d'une certaine valeur de débit spécifique, avoisinant la capacité maximale d'évacuation du réseau, l'hydrogramme de crue à l'exutoire est sensiblement atténué. Cet écrêtage est dû à la limitation de transfert dans le réseau de drainage, provoquant ainsi une rétention temporaire d'une partie de la pluie nette dans le système drainant (nappe et réseau de tuyaux).

La limitation de transfert dans le réseau de drainage est directement liée à la mise en charge des drains et des collecteurs. En pratique, cette mise en charge peut être

contrôlée soit par les critères de dimensionnement de chaque collecteur du réseau (rapport entre débit de collecte maximal et débit d'évacuation maximal), soit provoquée par un contrôle aval au contact du réseau avec le fossé à ciel ouvert. Dans l'optique de valoriser ces résultats pour mieux contrôler l'atténuation des crues, des aménagements d'ouvrages dans le linéaire du fossé peuvent être préconisés de telle sorte que les sorties des collecteurs (photo 1) soient submergées par le niveau d'eau pour des crues de période de retour supérieure à l'annuelle, et ainsi permettre un ralentissement dynamique (Nédélec, 2005). ■



1 Sortie d'un collecteur enterré à Mélarchez.

Les auteurs

Hocine HÉNINE, Cédric CHAUMONT et Julien TOURNEBIZE

Irstea, centre d'Antony, UR HBAN, Hydrosystèmes et bioprocédés,
1 rue Pierre-Gilles de Gennes, CS 10030, 92761 Antony Cedex

✉ hocine.henine@irstea.fr

✉ cedric.chaumont@irstea.fr

✉ julien.tournebize@irstea.fr

Bénédicte AUGÉARD

5-7 square Félix-Nadar, 94300 Vincennes

✉ benedicte.augeard@onema.fr

Cyril KAO

AgroParisTech, Centre de Paris,

19 avenue du Maine, 75732 Paris Cedex 15

✉ cyril.kao@agroparistech.fr

Yves NÉDÉLEC

CETE Sud-Ouest, Laboratoire de Bordeaux,

Rue Pierre Ramond, CS 60013, 33166 Saint-Médard-en-Jalles Cedex

✉ yves.nedelec@developpement-durable.gouv.fr

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- ✉ **AUGÉARD, B., NÉDÉLEC, Y., BIRGAND, F., CHAUMONT, C., ANSART, P., KAO, C., 2008,** Effect of a non linear runoff response on the flood statistical properties. The case of a tile drained watershed, in : *Surface Water–Groundwater Interactions : Process Understanding, Conceptualization and Modelling. Proceedings of Symposium HS1002 at IUGG2007*, 12 Perugia, Italy.
- ✉ **HENINE, H., NÉDÉLEC, Y., AUGÉARD, B., BIRGAND, F., CHAUMONT, C., RIBSTEIN, P., KAO, C., 2010,** Effect of Pipe Pressurization on the Discharge of a Tile Drainage System, *Vadose Zone Journal*, 9(1), p. 36-42.
- ✉ **NÉDÉLEC, Y., 2005,** Interactions en crue entre drainage souterrain et assainissement agricole, in : *Géoscience et Ressources Naturelles (GRN)*, Thèse de Doctorat, ENGREF Paris, Cemagref, 445 p.
- ✉ **ROBINSON, M., RYCROFT, D.W., 1999,** The impact of drainage on streamflow, in : *Agricultural Drainage*, vol. 1, (Eds R.W. Skaggs et J.V. Schilfgaarde), Madison, Wisconsin, USA : American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, p. 767-800.
- ✉ **ZIMMER, D., 1988,** *Transfert hydrique en sols drainés par tuyaux enterrés. Compréhension des débits de pointes et essai de typologie des schémas d'écoulement*, Thèse de Doctorat, Université Paris VI, 327 p.

► Consulter l'ensemble des références
sur le site de la revue www.set-revue.fr