

Réduction des transferts de crues dans les bassins versants agricoles fortement drainés : état des connaissances et des recherches

Yves Nédélec, Cyril Kao et Cédric Chaumont

En vue de réduire l'influence des réseaux de drainage et d'assainissement agricoles sur l'apparition et le transfert des crues, cet article explique comment il est possible d'utiliser des méthodes de ralentissement. À partir des relevés et de la modélisation du transfert de crues d'un petit bassin versant, l'étude d'un scénario d'aménagement à l'échelle du fossé à ciel ouvert est présentée. Enfin, pour mieux comprendre les interactions entre le fossé et les collecteurs qui s'y déversent, les auteurs nous montrent comment il ont été amenés à réaliser une expérimentation hydraulique sur modèle réduit.

Le drainage des terres cultivées est une technique ancienne qui s'est largement répandue en France et dans le monde suite à la modernisation de l'agriculture. La plupart des terres agricoles les plus productives du monde sont des terres drainées artificiellement (Skaggs *et al.*, 1994).

En France, il est d'usage de distinguer le drainage agricole de l'assainissement agricole (*Glossaire de l'hydraulique agricole*, Cemagref, 1993). Le drainage agricole regroupe l'ensemble des travaux d'aménagement hydro-agricole effectués à l'échelle de la parcelle, dans le but de supprimer les excès d'eau. L'assainissement agricole rassemble, à l'échelle du bassin versant, l'ensemble des ouvrages de transfert de l'eau, de l'exutoire des parcelles aux émissaires naturels.

Les superficies drainées en France par tuyaux enterrés sont passées de l'ordre de 300 000 ha à plus de 2 300 000 ha entre 1970 et 1993, pour atteindre près de 3 millions d'hectares aujourd'hui. Le drainage concerne essentiellement la moitié nord de la France et le sud-ouest. Pour un taux moyen de drainage de 7 à 10 % de la surface agricole utile, le taux local de drainage peut atteindre, selon les régions, 80 % à 90 % des terres agricoles des bassins versants amont (Pays de Loire, Bretagne, Est du Bassin Parisien...).

Après un rappel des notions de dimensionnement d'un réseau et des aspects très importants

d'échelle, nous aborderons dans cet article les influences du drainage et de l'assainissement agricole sur l'apparition et le transfert des crues, à travers les observations faites en sortie de parcelle ou de bassin versant drainé par tuyaux enterrés, puis nous ferons une synthèse des effets de ce drainage sur les pics de crue. Nous présenterons ensuite une étude de scénarios d'aménagement à l'échelle du fossé à ciel ouvert pour ralentir les crues, puis nous aborderons des perspectives d'études plus poussées sur le rôle de la jonction collecteur enterré-fossé à ciel ouvert, pour aller plus loin dans la connaissance des actions possibles et de leurs conséquences réelles.

De l'échelle de la parcelle à celle du petit bassin versant

Dans le contexte pédo-climatique du Nord et de l'Ouest de la France, les pratiques de drainage agricole se sont essentiellement développées dans le but de réduire la contrainte agronomique liée à l'excès d'eau temporaire dans les parcelles cultivées. Les critères actuels de dimensionnement visent les deux objectifs suivants :

– en matière d'écartement et de profondeur des drains, garantir un temps et une profondeur de rabattement de la nappe perchée compatibles avec les pratiques agricoles caractéristiques des cultures envisagées sur la parcelle ;

Les contacts

Cemagref,
unité de recherche
Ouvrages pour
le drainage et
l'étanchéité,
Parc de Tourvoie,
BP 44,
92163 Antony Cedex

– en matière de débit de projet, assurer l'évacuation à surface libre par le réseau enterré d'une gamme d'événements pluviométriques de période de retour courante (annuelle).

En terme d'échelle, il convient donc de bien distinguer les trois échelles suivantes :

– l'échelle parcellaire à laquelle seront raisonnés les panneaux de drains et le réseau primaire de collecteurs ;

– le groupe de parcelles (drainées et non-drainées) autour duquel s'organisent le réseau de collecteurs enterrés secondaires et le réseau primaire de fossés à ciel ouvert dans lesquels vont déboucher les collecteurs ;

– et enfin, le petit bassin versant qui associe le réseau de fossés au système hydrographique préexistant.

Il est ainsi important de rappeler que le fonctionnement du réseau de drainage à l'échelle parcellaire – et donc ses performances et ses impacts – dépend des conditions de fonctionnement hydraulique et hydrologique à ces différentes échelles ; le niveau d'eau libre dans le réseau de surface pouvant rétroagir sur la fonction de collecte des drains dans le sol et donc sur la dynamique du bilan hydrique parcellaire. À ceci s'ajoute l'interaction potentielle du réseau de drains, de collecteurs et de fossés avec le fonctionnement hydrogéologique plus régional du bassin versant.

En période de crue, le rejet des écoulements en provenance de parcelles agricoles drainées par tuyaux enterrés peut être perçu comme une cause possible d'inondations. En effet, le drainage introduit dans les fossés et les rivières des eaux qui 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.

En réalité, la connaissance des modifications hydrologiques réellement induites est difficile, compte tenu de la diversité des cheminements de l'eau, même à l'échelle de la parcelle, et de la complexité de la répartition spatiale des phénomènes en jeu.

En revanche, le rôle du réseau d'émissaires peut être mieux évalué et maîtrisé, dans la mesure où les écoulements empruntent des cheminements connus et sont directement observables sans installations très complexes.

Les contraintes techniques de profondeur de pose des collecteurs enterrés deviennent un facteur aggravant pour la formation de certaines fortes crues, car si les fossés sont agrandis pour recevoir ces collecteurs, la capacité de transfert de ces crues est augmentée.

Depuis les années 1980, les concepteurs de réseaux de fossés ou les aménageurs de cours d'eau ont de plus en plus pris conscience de la nécessité de ne plus systématiser la chenalisation et de revenir à des modes d'évacuation moins anthropisés. Pour contrer les effets de cette chenalisation, on dispose parmi les actions possibles, du ralentissement des écoulements ou de la diversification des vitesses de transfert à chaque étape du cheminement de l'eau. Ces deux actions peuvent être obtenues par le maintien ou la restauration de certaines fonctions naturelles des réseaux hydrographiques (zones humides jouant un rôle de champ d'expansion des crues, réseaux sinueux ou de section réduite, végétation riche et fournie...), ou obtenues artificiellement (petits ouvrages de laminage, de stockage temporaire). En effet, les zones humides de fond de vallées sont par nature situées en aval des versants (dans les bassins d'ordre 1 à 3¹⁾), souvent à la confluence de différents émissaires et encadrant le réseau hydrographique : de par cette position, elles constituent ainsi naturellement une zone potentielle de stockage des eaux de débordement lors des crues (Kao, 2002). On peut donc imaginer utiliser ces infrastructures naturelles, au prix d'aménagements légers, comme éléments régulateurs du fonctionnement hydrologique du bassin versant.

Un lieu possible d'intervention est ainsi le réseau d'assainissement lui-même. Il s'agit ici de faire un point sur ce qui peut être envisagé pour mener ce type d'action, dans un domaine qui reste encore pauvre en références expérimentales.

Il faut avoir à l'esprit qu'une conséquence importante de ce type d'action est le double rôle joué alors par le débouché des collecteurs de drainage : il apporte par le rejet des eaux collectées une contribution aux crues, mais peut dans le même temps être le point où le drainage perd de son efficacité si l'on intervient pour ralentir les écoulements dans le fossé.

Des travaux en cours, menés au Cemagref par l'unité Ouvrages pour le drainage et l'étanchéité, visent à préciser ce double rôle dans le fonctionnement d'ensemble des petits bassins versants

1. L'ordre de Strahler des bassins versants est défini à partir du nombre de confluent pouvant se succéder depuis l'amont vers l'aval du réseau hydrographique. Un confluent réunissant deux bassins de même ordre augmente d'une unité l'ordre global. Ainsi, un bassin d'ordre 1 comprend un unique ruisseau ou fossé depuis sa source, sans ramification. Un bassin d'ordre 2 comporte un bras rejoint par un ou plusieurs affluents d'ordre 1. À partir de l'ordre 3, les réseaux présentent une certaine complexité puisque deux bras d'ordre 2, donc eux-mêmes ramifiés, doivent s'y rejoindre.

agricoles où le drainage tient une place importante. Ces travaux sont en partie financés par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales et par le ministère chargé de la recherche.

Les influences du drainage et de l'assainissement agricole sur l'apparition et le transfert des crues

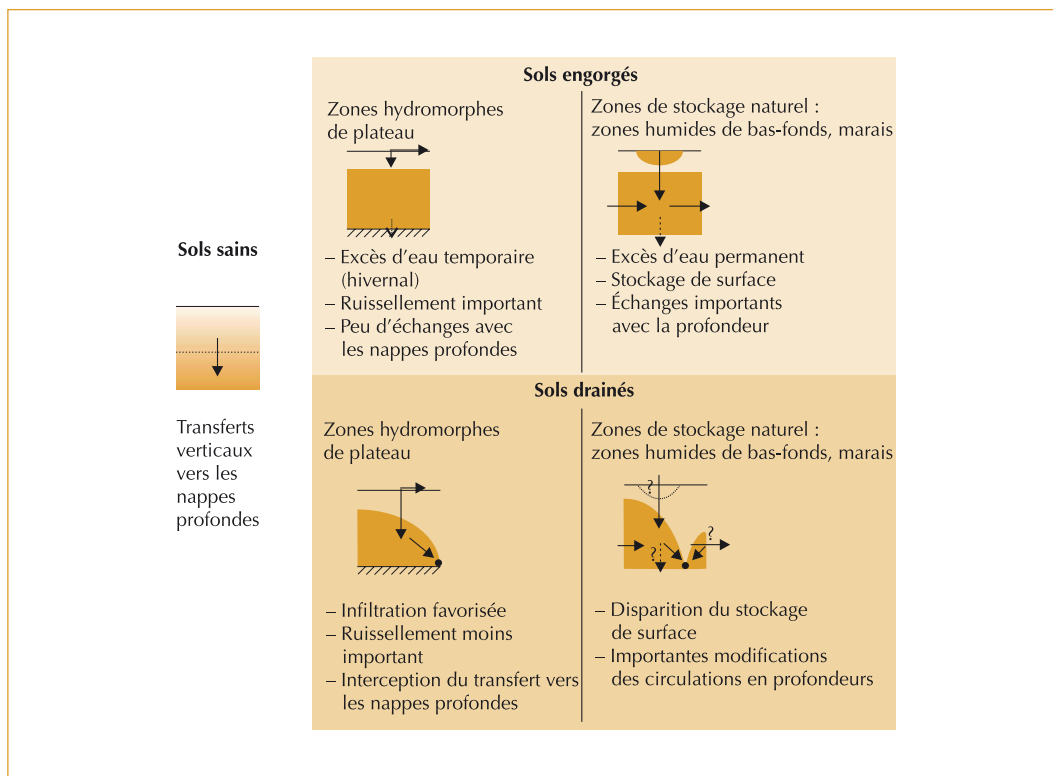
Les influences du drainage par tuyaux enterrés et de l'assainissement agricole sur l'apparition et le transfert des crues sont difficiles à caractériser pour au moins quatre raisons :

- ces opérations hydro-agricoles sont souvent accompagnées d'intensification des cultures et de changements radicaux de pratiques. Les modifications du régime des eaux peuvent alors être occasionnées par des facteurs multiples ;
- il faut tenir compte du fonctionnement saisonnier du drainage agricole. Quasiment inopérant en été, ce dernier modifie peu le ruissellement formé lors des épisodes orageux intenses et parfois dévastateurs de cette saison. En revanche, très actif pendant la « saison de drainage intense », qui s'étend généralement de décembre à mars,

il modifie radicalement la répartition entre l'infiltration dans le sol, le ruissellement, et le transfert vers le réseau hydrographique superficiel ;

- cette modification dépend de deux facteurs importants : la nature de l'excès d'eau dans le sol (figure 1), et l'intensité de la pluie. Il n'existe donc pas de vérité générale sur les influences qui nous intéressent, et il est nécessaire d'examiner chaque situation dans le détail : est-on en présence d'un excès d'eau temporaire ? Ne s'agit-il pas d'une zone humide, qui demanderait des précautions particulières ? Les sols présentent-ils une tendance naturelle au ruissellement ?...
- enfin, les travaux de drainage et d'assainissement agricoles créent une voie de transit artificielle entre les précipitations à leur impact sur le sol, qui concernent une certaine étendue du territoire, et un point précis à l'aval d'un réseau de fossés. Or ce transit conduit, par un effet d'échelle et de concentration, comme pour les bassins versants naturels, à une atténuation des débits spécifiques pour une période de retour donnée². L'influence des ouvrages doit donc être relativisée par rapport à cet effet d'échelle non négligeable, mais lui-même délicat à évaluer (Beven, 1991).

2. Cette atténuation se traduit par exemple par la puissance 0,8 de la superficie du bassin versant dans l'expression du débit maximal interannuel décennal donné par la méthode CRUPEDIX (ministère de l'Agriculture, 1980). Le débit spécifique est alors proportionnel à une puissance négative (-0,2) de la superficie du bassin versant.



◀ Figure 1 – Sol sain et sols engorgés. Les différents types d'excès d'eau et leurs caractéristiques principales.

Les observations réalisées sur le terrain

LES OBSERVATIONS À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE

Les observations sur le terrain ont été menées par le passé en assez grand nombre à l'échelle de la parcelle. L'objectif était alors de connaître le fonctionnement du drainage et de quantifier dans un premier temps les débits introduits dans le réseau de collecte (Lesaffre, 1988 ; Zimmer, 1988), puis plus récemment, de déterminer la qualité des eaux recueillies (Arlot, 1999). Les dispositifs expérimentaux donnant accès aux débits de ruissellement en bordure de parcelle permettent également de préciser comment s'effectue le partage entre infiltration, drainage et ruissellement (Kao *et al.*, 1998 ; Lorre *et al.*, 1994).

Ces expérimentations ont notamment permis de mettre en évidence, dans le cas d'excès d'eau temporaires, deux éléments qui seront utiles pour une approche plus globale du comportement des bassins versants drainés.

1 – Les débits de pointe (figure 2) de drainage en sortie de parcelle drainée sont limités en intensité au-delà d'une certaine période de retour (par mise en charge du réseau de drains puis de la nappe au dessus de celui-ci, puis enfin par ruissellement généralisé). Le graphe de Gumbel présenté, utilisé classiquement en hydrologie, montre un bon ajustement à cette loi, des débits maximaux annuels (retenus au nombre de deux par an pour cet exemple). Toutefois au-delà d'un débit limite, la valeur n'est que faiblement dépassée par les pics plus rares (durée de retour supérieure à 3-5 ans).

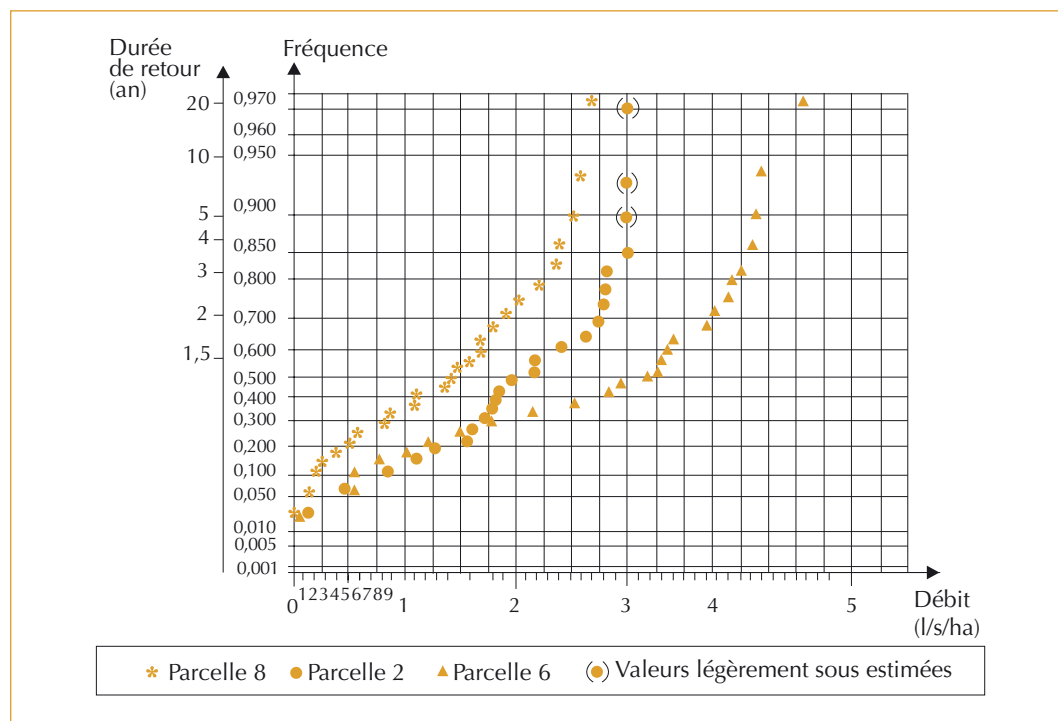
2 – On peut observer un débit de pointe frontière, à partir duquel les rejets d'une parcelle drainée en présence d'excès d'eau temporaire présente des hydrogrammes (drainage + ruissellement) aux pointes moins intenses et moins volumineuses par rapport au seul ruissellement d'une parcelle non drainée. La tendance est inversée en deçà de ce débit frontière.

La figure 3 illustre ce partage des comportements. Elle a été obtenue à partir de plusieurs années de suivi du drainage et du ruissellement de parcelles expérimentales du site de la Jaillière, en Maine-et-Loire, géré par Arvalis, l'Institut du végétal.

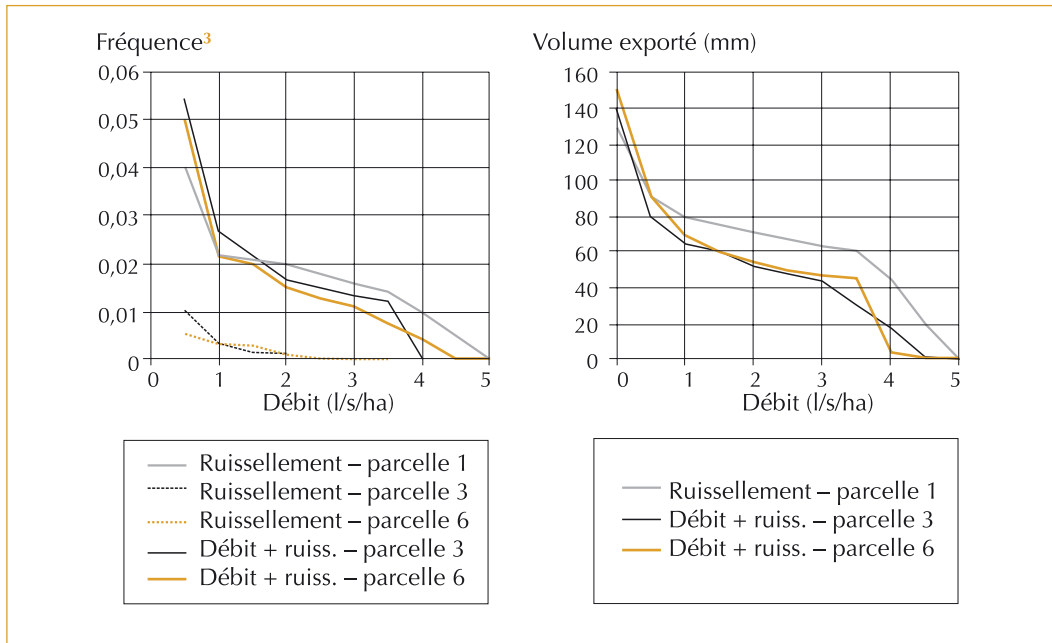
Le débit porté en abscisse est un seuil au-delà duquel on compare les durées de dépassement ou les volumes exportés, selon que la parcelle est drainée (parcelles 3 et 6) ou n'est pas drainée (parcelle 1). Le premier graphe rapporte la durée de dépassement globale à la durée totale des saisons de drainage étudiées. Ce rapport est ici dénommé fréquence³, dans le sens où plus ce rapport est élevé, plus le dépassement est perçu

3. Cette notion est différente de celle de fréquence utilisée couramment en hydrologie, notamment telle que mentionnée dans la figure 2.

1 – Les débits de pointe (figure 2) de drainage en sortie de parcelle drainée sont limités en intensité au-delà d'une certaine période de retour (par mise en charge du réseau de drains puis de la nappe au dessus de celui-ci, puis enfin par ruissellement généralisé). Le graphe de Gumbel présenté, utilisé classiquement en hydrologie, montre un bon ajustement à cette loi, des débits maximaux annuels (retenus au nombre de deux par an pour cet exemple). Toutefois au-delà d'un débit limite, la valeur n'est que faiblement dépassée par les pics plus rares (durée de retour supérieure à 3-5 ans).



► Figure 2 – Fonction de répartition expérimentale des débits instantanés maximaux (graphiques de Gumbel, deux débits maximaux annuels) – Lesaffre, 1988.



◀ Figure 3 – Modifications induites par le drainage par tuyaux enterrés sur les débits issus de la parcelle (drainage et ruissellement superficiel) – Lorre et al., 1994.

comme intervenant souvent. Ainsi, au-delà du débit seuil de 1 l/s/ha environ, les pics de drainage apparaissent dépasser moins souvent un seuil donné que le ruissellement de la parcelle non drainée. Le second graphe permet d'effectuer une analyse similaire sur les volumes exportés pendant le dépassement.

Ces éléments se retrouveront dans la caractérisation schématique des modifications induites sur les pics de crue par le drainage, à l'échelle de la parcelle (figure 4, p. 8).

Observations à l'aval de petits bassins versants

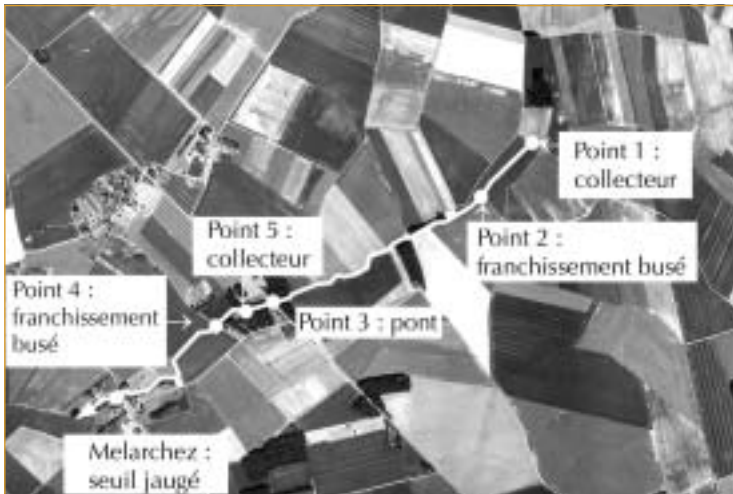
À l'aval de réseaux de fossés d'assainissement agricoles, les références expérimentales se font plus rares. On peut relever l'existence de données acquises pendant un nombre d'années important sur le BVRE de l'Orgeval (encadré 1), ou encore à Grandchain (Eure) à l'aval d'un réseau de fossés construit avant la mise en place progressive du drainage des parcelles. Si dans ce dernier cas, les observations permettent de couvrir l'évolution du taux de drainage du bassin versant, la géologie karstique de ce bassin en fait un exemple très particulier difficilement transposable.

À la sortie des périmètres drainés, au point de rejet du collecteur vers le fossé d'assainissement, les contraintes expérimentales ont rendu l'observation quasiment inexistante.

À des fins d'observation simultanée du rejet de collecteurs de drainage et du comportement d'obstacles à l'écoulement, un fossé affluent de l'Orgeval a été équipé pour la mesure de débits et de hauteurs d'eau. La partie étudiée s'étend sur environ 2 300 m, sans ramification, pour une superficie de bassin versant de 700 ha approximativement. La carte 1 (p. 8) présente l'ensemble du dispositif expérimental.

Encadré 1

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 70 km de Paris. Il s'étend sur 104 km². Son occupation des sols se répartit entre l'agriculture intensive (80 %) et la forêt (20 %). Bassin suivi depuis 1962, l'Orgeval est le plus ancien BVRE français encore en opération. Il dispose d'un important fonds 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 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 40 ans.

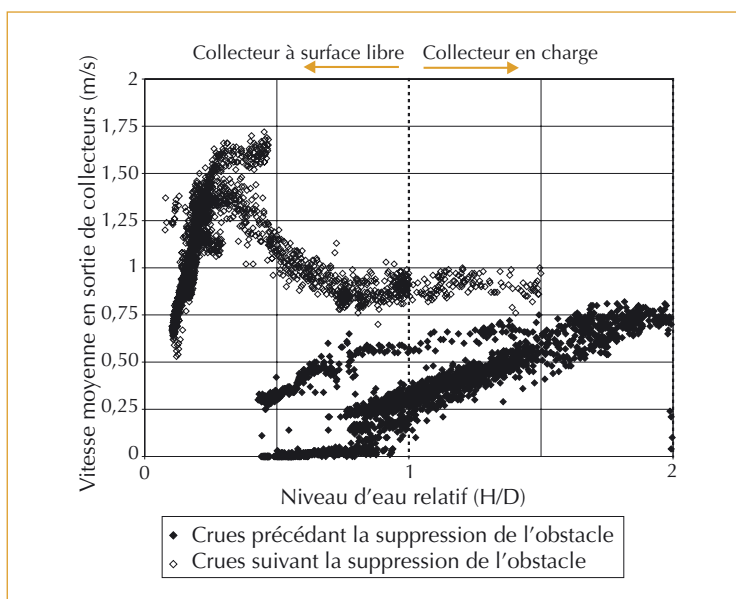


▲ Carte 1 – Localisation des éléments du dispositif expérimental mis en place sur un fossé affluent de l'Orgeval.

▼ Figure 4 – Influence du niveau du fossé sur la vitesse en sortie de collecteur enterré.

L'amont du fossé est alimenté par deux collecteurs de grand diamètre (50 et 60 cm), qui desservent des périmètres importants (80 et 160 ha environ, respectivement). Un de ces collecteurs (carte 1, point 1) est instrumenté pour une mesure en continu de la vitesse moyenne de l'écoulement (sonde ultra-sons à effet doppler), et de la pression de l'eau (bulle à bulle) depuis 1999.

Une centaine de mètres à l'aval de cette tête de réseau, une buse permettant le franchissement du fossé était présente jusqu'en 1999. À partir de l'année 2000, le fossé a été recréusé, et la buse supprimée. Les mesures de tirant d'eau (point 2) ont été menées avant et après la suppression de la buse.



Plus vers l'aval, de nombreux autres réseaux de drains enterrés viennent se déverser dans le fossé. Un deuxième collecteur de grand diamètre (40 cm), débouchant latéralement dans le fossé, et desservant environ 75 ha, a été instrumenté à partir de 2000 (point 5).

Deux autres obstacles à l'écoulement traversent le fossé : un pont ancien comportant trois arches rectangulaires (point 3), permet le franchissement par une route départementale, et une buse circulaire (point 4), permet le franchissement par un chemin d'exploitation. Le débit du fossé est suivi en continu au niveau de cette buse, avec les niveaux d'eau amont et aval, puis au niveau d'une station hydrométrique permanente (Mélarchez), 400 m à l'aval environ.

La suppression de la buse de franchissement en amont du fossé, a permis de comparer deux situations, obstrué dans un premier temps, puis dégagé et approfondi.

Les effets de ce dégagement du fossé sur les caractéristiques hydrauliques du rejet sont flagrants à l'échelle locale, en particulier les vitesses d'écoulement en sortie de collecteur, comme le montre la figure 4. Les conséquences sur le risque d'érosion du lit du fossé doivent dans ce cas précis être examinées de près.

L'exemple donné ici est l'observation d'une conséquence locale du dimensionnement du fossé, qui n'a qu'une portée limitée sur son cours.

On est en revanche bien plus pauvre en connaissances si l'on souhaite quantifier, à l'aval du bassin versant, les modifications induites par le drainage et l'assainissement agricoles, pour corriger les nuisances éventuelles en découlant. C'est dans ce but qu'ont été développés progressivement des modèles permettant de reconstituer au mieux l'assemblage de ces divers processus, et d'étudier dans ce contexte des aménagements fictifs de limitation des crues.

Synthèse des effets sur les pics de crue

LES EFFETS À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE

D'une manière générale, on peut considérer à partir des observations, notamment celles citées plus haut en exemple, que les conséquences possibles du drainage par tuyaux enterrés, à l'échelle de la parcelle (drainage + ruissellement) touchent le volume rejeté, le délai de réponse à la pluie, et l'intensité du pic de débit.

On peut s'attendre à une légère augmentation du volume évacué en surface par réduction des infiltrations profondes sous la nappe perchée, en cas d'excès d'eau temporaire. Cette augmentation est sensible pour les pluies de faible intensité (figure 5a).

Une telle augmentation peut aussi être occasionnée, voire dans une plus grande mesure, par une modification de la circulation et du niveau de la nappe lorsqu'elle est permanente (figure 1, p. 5). Cet effet est ici potentiellement majeur lorsque le caractère humide de la zone drainée est menacé.

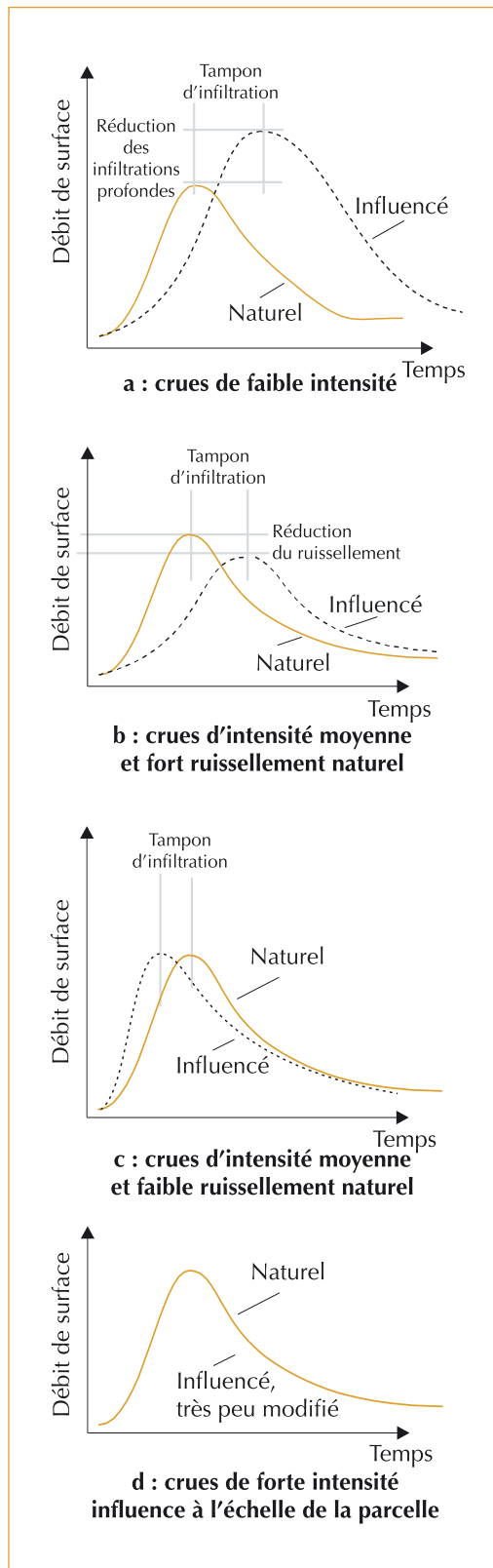
La présence d'une partie du sol non saturée au-dessus des drains permet en outre l'établissement d'un effet tampon qui modifie le délai de réponse à la pluie (noté « tampon d'infiltration » sur les figures 5a, 5b et 5c) : l'eau s'infiltré dans cette zone non saturée et permet l'élévation progressive de la nappe. Cet effet remplace la circulation superficielle des eaux sous forme de ruissellement, en l'absence de drainage.

Ainsi, un fort ruissellement naturel, peu ralenti par le relief de la parcelle ou des éléments linéaires en bord de parcelle (talus, haie), formera un pic plus rapidement qu'en sortie de parcelle drainée (figure 5b). Si le ruissellement naturel est faible ou ralenti sur la parcelle, le débit de drainage pourra former un pic de débit plus rapidement (figure 5c).

Ces effets en volume et en rapidité se traduisent également en débit au drain. La conséquence en est pour les excès d'eau temporaires, une augmentation de l'intensité des pics de crues faibles pour lesquelles le sol non drainé n'était pas engorgé (figure 5a).

À l'inverse, on peut s'attendre à une réduction de leur intensité au-delà d'une certaine période de retour et en présence de fort ruissellement, tant que cette fraction de sol non saturée peut jouer son rôle de stockage temporaire (figure 5b).

Pour les crues de forte intensité, notamment les épisodes extrêmes, le ruissellement devient le mode d'écoulement de l'eau prédominant, et les très faibles incidences du drainage ne peuvent plus réellement être discernées (figure 5d).



◀ Figures 5a, b, c, d – Influences du drainage à l'échelle de la parcelle en fonction de l'intensité des crues.

LES EFFETS DES RÉSEAUX ENTERRÉS ET À CIEL OUVERT

C'est le réseau de collecteurs enterrés puis celui d'émissaires à ciel ouvert qui vont conditionner ensuite le transfert de ces rejets parcellaires.

Les réseaux enterrés ont une capacité limitée tant au niveau de la parcelle (*cf.* paragraphes précédents) qu'au niveau des collecteurs (*cf.* ci après) qui desservent toutes ces parcelles. Ils stockeront donc en amont les crues les plus fortes, tant que le ruissellement ne prend pas le dessus.

Le dimensionnement des fossés à ciel ouvert et des franchissements qui s'y trouvent (buses, dalots, ponceaux) a pour objectif, dans la pratique habituelle de l'ingénieur, de permettre l'écoulement sans contrainte, sur la base de calculs effectués en régime permanent, d'un débit de pointe qui ne met en défaut ni le collecteur de drainage, ni l'obstacle lui-même, pour une période de retour donnée.

Dans le cas du dimensionnement des fossés, la période de retour choisie est de un ou deux ans, pour un débit moyen journalier. Le plus souvent, les buses ou ponts permettant le franchissement du fossé par un chemin ou une route, sont dimensionnés sur la base d'un débit de pointe décennal.

Si les émissaires à ciel ouvert sont dimensionnés pour recevoir les eaux des collecteurs enterrés, ils reçoivent aussi des eaux en provenance de parcelles non drainées, notamment des eaux de ruissellement. Ils ont dans une bonne partie des cas, contrairement aux drains et collecteurs enterrés, une capacité trop forte pour les crues intenses. Ces crues auraient occasionné un débordement ou une interaction avec la végétation des berges si la profondeur du fossé avait été moindre, voire avec la végétation du talweg dans le cas d'un fossé nouvellement créé.

Pour ces crues intenses, le dimensionnement des fossés peut donc masquer, voire réduire, l'effet d'atténuation des pointes créé par le ressuyage du sol des parcelles drainées.

Cette « sur-capacité » d'évacuation est cependant modifiée en présence d'obstacles à l'écoulement (ponts, buses), ou en cas de défaut d'entretien.

Notre objectif est de montrer comment se traduit cette modification dans le cas d'un bassin versant drainé de manière intensive, et comment elle peut être utilisée pour limiter le transfert des crues vers l'aval.

Scénario d'aménagement pour atténuer les pointes de crues

Trois approches successives de modélisation d'un fossé d'assainissement agricole à partir des observations de terrain ont permis d'affiner un scénario d'aménagement pour une atténuation des pointes de crues.

Au démarrage des travaux (1995), l'idée directrice était de répartir le stockage des eaux de crues d'une manière aussi diffuse que possible dans le réseau à ciel ouvert, sans altérer sa continuité hydraulique.

On se rapprochait ainsi du concept de « ralentissement dynamique », développé par ailleurs pour gérer les crues des rivières (Oberlin, 1997). Ce sont les progrès dans les méthodes de modélisation qui ont permis d'affiner le scénario, en s'adaptant à l'avancement des outils et des connaissances. Nous pouvons résumer ces approches en nous appuyant sur trois figures 6a, 6b et 6c (*p.* 13).

Dans tous les cas, le fait que l'eau provienne quasiment exclusivement de parcelles drainées est une hypothèse fondamentale. La difficulté réside en effet dans l'estimation du débit des rejets des périmètres drainés, qui constitue la donnée d'entrée pour chaque modélisation du fossé aménagé. Ces rejets sont à chaque fois introduits aux emplacements réels des collecteurs le long du cours du fossé.

Le modèle du fossé aménagé est un modèle classique d'hydraulique des cours d'eau, s'appuyant sur la résolution des équations de Saint-Venant mono-dimensionnelles (Cunge *et al.*, 1980). Les trois approches ont porté sur la définition des apports au fossé et le rôle des caractéristiques ainsi que de la répartition des obstacles placés dans son lit (représentant par exemple des buses de franchissement, la fonction essentielle restant hydraulique).

Approche A (figure 6a) : modélisation simplifiant très largement la représentation du comportement hydraulique des rejets et des obstacles, étude de la répartition de ces derniers

L'ensemble du bassin est réduit au réseau superficiel, dans lequel sont injectés des hydrogrammes caractéristiques de périmètres drainés, issus de mesures en sortie de parcelle expérimentale. Pour tenir compte de la taille des périmètres drainés très étendus, une fonction de transfert simple est ajoutée sous la forme d'une onde cinématique (Porcheron, 1996).

Les obstacles fonctionnent comme des retenues, réparties le long du fossé, et qui comportent un seul organe de vidange sous la forme d'un orifice (rectangulaire ou circulaire). La géométrie des retenues s'appuie sur les caractéristiques topographiques du lit majeur en amont, dans lequel s'effectue le stockage par débordement.

Cette approche ne permet pas de réaliser une simulation extrêmement réaliste du comportement du réseau superficiel au passage de crues, mais permet une première évaluation de la répartition possible et de l'intérêt de sites de rétention multiples et de dimensions modestes.

Taux d'atténuation du débit spécifique de pointe, entre les apports de parcelle drainée, et l'aval du bassin (%)⁴

Épisode	3 ouvrages	7 ouvrages	Bassin unique à l'aval
15 au 20 octobre 1981	48	52	52
15 au 29 décembre 1981	11	17	17
15 au 23 décembre 1982	28	34	34
4 au 20 avril 1984	16	24	24

4. Ce taux d'atténuation compare le débit maximal lors de la crue, entre une situation sans ouvrage, et une situation avec plusieurs ouvrages. L'expression en est $\frac{100 \cdot (Q_{so} - Q_{ao})}{Q_{so}}$

Q : débit de pointe ;
so : sans ouvrage ;
ao : avec ouvrages.

Superficie totale inondée (ha)

Épisode	3 ouvrages	7 ouvrages	Bassin unique à l'aval
15 au 20 octobre 1981	4,6	6,8	2,0
15 au 29 décembre 1981	0,5	0,7	2,0
15 au 23 décembre 1982	2,8	4,0	2,0
4 au 20 avril 1984	1,2	1,7	2,0

Volume total stocké (m³)

Épisode	3 ouvrages	7 ouvrages	Bassin unique à l'aval
15 au 20 octobre 1981	31 040	32 200	45 000
15 au 29 décembre 1981	1 310	1 250	5 200
15 au 23 décembre 1982	13 530	13 990	23 500
4 au 20 avril 1984	3 775	3 730	9 500

▲ Tableau 1 – Résultats de l'observation de 4 crues pour 3 choix d'aménagement du stockage dans le réseau (Porcheron, 1996).

Pour effectuer cette évaluation, on applique une règle uniforme de dimensionnement des obstacles. Cette règle, dans notre cas, a été d'imposer aux orifices de passer en charge à partir du débit de dimensionnement des fossés, soit le débit moyen journalier de période de retour 2 ans. Sur cette base, la répartition est effectuée en recherchant une amélioration de l'atténuation du débit spécifique de pointe (à volume globalement stocké sensiblement constant).

Les tableaux page précédente montrent l'exemple de quatre crues observées, pour trois choix d'aménagement du stockage dans le réseau : le maintien des franchissements existants, mais redimensionnés suivant la règle ci-dessus, l'implantation de 4 ouvrages supplémentaires, dimensionnés également suivant la même règle, et une retenue unique en dérivation, sur une emprise arbitraire de 2 ha, et dont le débit de fuite est ajusté pour reproduire le taux d'atténuation des 7 ouvrages précédents.

Ces tableaux montrent des différences entre les trois choix : d'un côté, la répartition sur 7 ouvrages au lieu de 3 permet d'augmenter le taux d'atténuation des crues sans nécessiter de volume de stockage supplémentaire. D'un autre côté, une retenue unique nécessite un volume plus important pour obtenir ces meilleurs taux d'atténuation. Ce besoin accru s'explique par le caractère dynamique du stockage par des ouvrages répartis en « cascade », ceux situés vers l'aval du dispositif reçoivent progressivement des eaux qui ont déjà été stockées plus à l'amont.

La contrepartie se situe en termes d'emprise : les 7 ouvrages mobilisent globalement plus d'espace que les 3 ouvrages d'origine, et la durée plus faible de cette mobilisation ne compense pas vraiment la contrainte foncière. La retenue unique mobilise une emprise fixe, mais qui peut difficilement être affectée à une utilisation agricole en dehors des périodes de crue, contrairement au lit majeur du fossé.

À l'appui de notre scénario d'aménagement, nous avons pu déduire de cette approche l'intérêt d'ouvrages multiples dans le cas étudié, en termes de volume de stockage, par rapport à une retenue unique en aval du bassin. La contrepartie est une

contrainte foncière plus forte, qui peut se révéler pénalisante si les conditions de submersion sont trop mauvaises (durée, hauteur, vitesse).

On notera également, toujours dans ce cas précis, que des tentatives d'implantations d'ouvrages supplémentaires ont abouti à un nombre d'ouvrages au-delà duquel le gain ne paraissait plus justifier la recherche de nouvelles emprises.

Approche B (figure 6b) : modélisation intégrant des simulations plus réalistes du comportement hydraulique des obstacles dans le réseau superficiel et de son alimentation

Il est apparu souhaitable de disposer de simulations plus réalistes du comportement hydraulique du réseau superficiel et de son alimentation. Ce deuxième type de modélisation tient compte de deux phénomènes hydrauliques supplémentaires : la possibilité de surverse par-dessus les ouvrages de ralentissement, et l'influence possible du niveau de la ligne d'eau aval du fossé sur le rejet des collecteurs (Helmer, 2001).

La figure 7 (p. 14) illustre les conséquences que peut avoir sur le débit d'un collecteur enterré, un niveau d'eau de l'émissaire occasionnant sa mise en charge.

Les débits représentés en fonction du temps caractérisent trois échelles du cheminement de l'eau ramenées à une même superficie, celle du périmètre drainé (débit de rejet représenté par la courbe en trait noir fin). La période pendant laquelle le collecteur est en charge est matérialisée par la zone « p », elle correspond également à un deuxième pic de l'épisode pluvieux (courbe en trait marron clair).

On peut observer que le débit du collecteur est plafonné pendant cette période, tandis que le niveau de l'eau dans le fossé (courbe en trait fin gris), alimenté en même temps par un deuxième collecteur de plus grand diamètre, donc encore à surface libre, continue de croître. Le débit à l'aval du bassin versant (courbe en trait noir gras) n'est pas non plus limité pendant cette période, et présente un pic similaire à celui de la chronique de pluie.

Une partie du stockage temporaire des eaux pluviales est donc effectuée à l'intérieur de certains réseaux de collecteurs enterrés, atténuant ainsi l'intensité globale du pic de débit à l'aval.

La méthode de modélisation a donc consisté à tenir compte de cette rétention dans certains collecteurs, en différenciant les hydrogrammes introduits dans le fossé, selon l'état du collecteur : à surface libre (auquel cas l'hydrogramme introduit est représentatif d'une parcelle drainée) ou « influencé » (auquel cas l'hydrogramme introduit est constitué à partir des observations au collecteur amont influencé par un obstacle à l'aval – point 1).

Pour simplifier, nous avons limité le critère d'influence au seul fait d'avoir le fil inférieur du collecteur en contact avec l'eau du fossé pendant la crue. C'est pour utiliser ce critère avec une meilleure pertinence que la prise en compte de la possibilité de surverse par-dessus les obstacles a été introduite, ce qui affine la reproduction des tirants d'eau et débits.

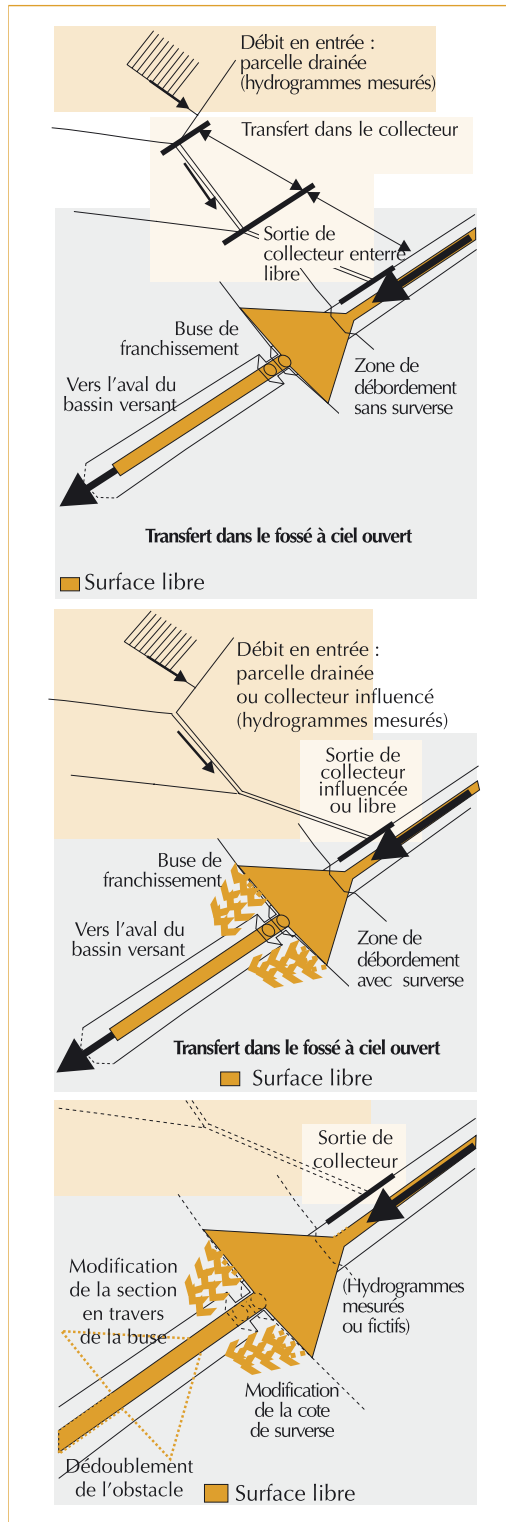
Le niveau de l'eau dans le fossé dépendant de son alimentation, des itérations ont été nécessaires pour déterminer un ensemble invariant de collecteurs « influencés ».

La figure 8 (p. 15) montre, avec l'exemple d'une crue relativement fréquente ($T < 2$ ans), comment la prise en compte, même sommaire, de cette influence, permet d'aboutir à une atténuation du pic de crue à l'échelle du bassin versant, en correspondance avec les observations à l'aval.

La conclusion de cette deuxième approche est que la prise en compte, même sommaire, des influences du fossé sur le collecteur pendant les fortes crues, permet d'affiner la modélisation des crues, en ajustant sensiblement à la baisse les débits de pointe à l'aval du bassin versant.

Approche C (figure 6c) : étude du rôle de différentes caractéristiques des obstacles à l'écoulement dans le fossé

Ce troisième type de modélisation s'est donné pour objectif de simuler différentes caractéristiques des obstacles à l'écoulement dans le fossé :



◀ Figure 6a – Action sur le comportement hydraulique des rejets et des obstacles.

◀ Figure 6b – Action sur le comportement hydraulique du réseau superficiel et son alimentation.

◀ Figure 6c – Action sur les caractéristiques des obstacles à l'écoulement dans le fossé.

▲ Figures 6a, 6b et 6c – Trois scénarios d'aménagement pour atténuer les pointes de crues.

diamètre de la, ou des buses, diguette perpendiculaire au fossé pour rehausser la cote de surverse, rugosité du fossé, largeur du fossé en amont de l'ouvrage, dédoublement de l'obstacle (Enet, 2002).

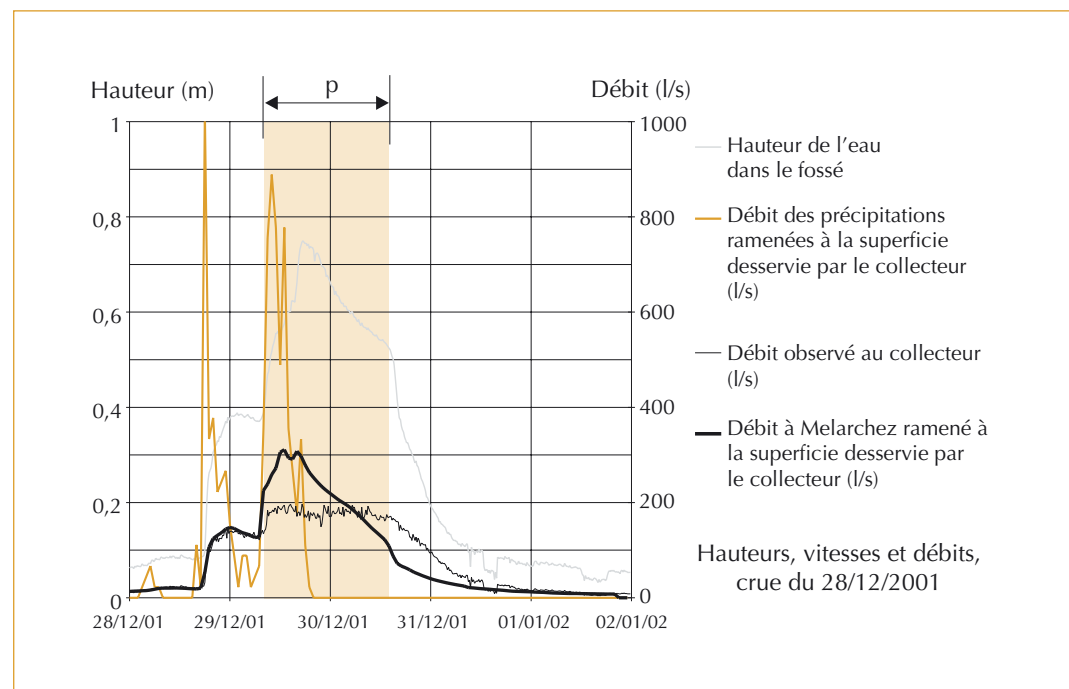
Pour différentes valeurs des paramètres, l'effet sur des crues isolées, construites suivant différentes périodes de retour, a été calculé. Cet effet s'exprime en termes de variation du débit de pointe due à l'implantation de l'ouvrage, rapportée au débit de pointe sans obstacle. Le tableau 2 donne des valeurs de pourcentage de laminage (dernière ligne) calculées pour deux crues tests, avec différentes combinaisons de paramètres : diamètre de la buse, existence ou non d'une diguette en travers rehaussant la surverse, rugosité du fossé...

La profondeur du fossé est ici de 1 m environ, pour une largeur de 1 m également, il s'agit typiquement d'une partie très amont du réseau d'assainissement, où les débits et les ouvrages restent de dimensions très modestes.

Dans cet exemple, les valeurs positives traduisent une amélioration par réduction du débit maximal, les valeurs négatives traduisent une aggravation. On constate ainsi que le coefficient de Manning-Strickler du fossé apparaît comme un facteur déterminant, car il caractérise la capacité naturelle de rétention du fossé non aménagé (notamment par débordement), et conditionne une fois l'aménagement en place, la facilité avec laquelle l'aval de l'obstacle peut évacuer la pointe de crue.

En particulier, aménager un obstacle dans un fossé de bonne capacité naturelle d'évacuation (K plus élevé) peut se révéler nuisible lors d'une surverse. La parade est alors la rehausse de la diguette, ce qui repousse le problème à des crues plus rares.

Pour contrer ce risque inhérent au dimensionnement de l'ouvrage, nous avons effectué des comparaisons avec un ouvrage double (deux buses, séparées par un fossé élargi), nécessitant donc plus d'espace, mais contrôlant mieux les effets.



▲ Figure 7 – Exemple de conséquences du niveau d'eau dans un émissaire sur le débit d'un collecteur enterré, lors de sa mise en charge (hauteur supérieure à 0,5 m).

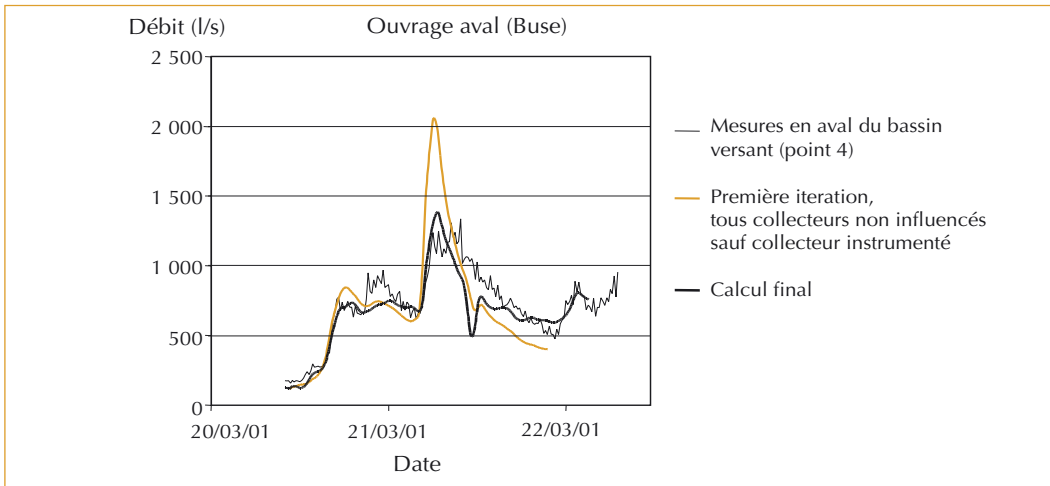


Figure 8 – Exemple de modélisation d'un pic de crue d'un bassin versant prenant en compte les influences d'un fossé sur un collecteur (Helmer, 2001).

Le tableau 3 (p. 16) montre un exemple de résultat sur quatre crues tests, en choisissant les paramètres (paramètres du tableau 2 ainsi qu'une plus grande largeur de fossé localement), de sorte que l'effet soit maximal pour l'ouvrage simple.

Ces valeurs montrent la plus grande plage de débits pouvant être atténués par l'obstacle. Le premier obstacle à l'amont doit pour cela être d'une ouverture supérieure à celle de l'obstacle implanté à l'aval.

La conclusion de cette troisième approche est que de petits obstacles avec possibilité de stockage en amont dans le lit majeur peuvent atténuer sensiblement certaines crues, mais en aggraver d'autres. C'est le cas pour les crues plus intenses, ou si le fossé permettait un écoulement très facile avant l'implantation d'un ouvrage trop petit.

L'aggravation se manifeste d'autant plus que le niveau d'obstruction et le risque de surverse sont simultanément élevés.

D = 300 mm								D = 630 mm							
Pas de diguette				Diguette de 30 cm				Pas de diguette				Diguette de 30 cm			
K = 10 USI		K = 20 USI		K = 10 USI		K = 20 USI		K = 10 USI		K = 20 USI		K = 10 USI		K = 20 USI	
Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2
4 %	2 %	-1 %	-3 %	3 %	0 %	1 %	-3 %	4 %	2 %	0 %	-2 %	7 %	2 %	11 %	2 %

Q1 : débit de pointe de 620 l/s (T de l'ordre de 2 ans).

Q2 : débit de pointe de 1000 l/s (T compris entre 5 et 10 ans)

Tableau 2 – Valeur calculée du taux d'atténuation du débit de pointe (en %)⁵ pour deux crues tests, selon différentes configurations du fossé et de l'ouvrage (Enet, 2002).

5. Ce taux d'atténuation compare le débit maximal lors de la crue, entre une situation sans ouvrage, et une situation avec l'ouvrage.

L'expression en est $100 \cdot \frac{(Q_{so} - Q_{ao})}{Q_{so}}$

Q : débit de pointe ;
so : sans ouvrage ;
ao : avec ouvrages.

Ce type d'ouvrage présente donc un intérêt, mais doit rester d'effet limité.

En revanche, des simulations sur des ouvrages dédoublés ont montré l'intérêt de l'opération pour couvrir une meilleure plage de période de retour. Seules des simulations sur chaque cas particulier permettront de trouver le compromis entre une large plage d'efficacité de l'ouvrage (apportée par un obstacle amont plus ouvert), et son efficacité moyenne, pénalisée par cette ouverture augmentée.

Une quatrième approche s'est imposée : l'amélioration des connaissances par l'expérimentation sur modèle réduit

Une meilleure connaissance des interactions entre le fossé et les collecteurs qui s'y déversent, est indispensable. Le rôle du moment précis de la mise en charge est apparu suffisamment important lors de la 2^e approche (figure 7, p. 14 et figure 8, p. 15) pour que le processus soit connu avec exactitude.

Cette connaissance est aussi indispensable en raison de la multiplicité des effets indésirables possibles. En dimensionnant un ouvrage en s'appuyant sur les résultats de la troisième approche,

un émissaire trop creusé impliquerait un risque d'érosion, mais à l'inverse un émissaire obstrué de manière inconsidérée pourrait se colmater, et gêner trop fortement le fonctionnement du drainage.

Chercher une amélioration des connaissances à partir des observations de terrain, nécessairement lacunaires (collecteurs enterrés invisibles en crue, nécessité de nombreux points de mesure de vitesses), est difficile, sauf en mobilisant des moyens très importants. La modélisation numérique, quant à elle, n'est pas suffisamment robuste pour s'appliquer à un système hydraulique d'une telle complexité.

C'est donc le recours à une expérimentation hydraulique sur modèle réduit (photo 1) qui permet d'examiner en détail les multiples configurations possibles pour la conjonction des débits du fossé et du collecteur enterré.

Cette expérimentation innovante, fonctionnant au Cemagref depuis l'été 2003, dans les laboratoires de l'unité Ouvrages pour le drainage et l'étanchéité, permet l'étude de la jonction perpendiculaire entre une conduite circulaire et un canal rectangulaire. Le diamètre de la conduite est de 8 cm, la largeur du canal est de 30 cm. Le fil inférieur de la conduite se termine à la même cote que le fond du canal en vis-à-vis.

Crue	Débit de pointe (l/s)	Ouvrage simple		Ouvrage double	
		Taux d'atténuation (%)	Superficie inondée (m ²)	Taux d'atténuation (%)	Superficie totale inondée (m ²)
1	620	12,18	1 800	8,7	1 200
2	750	9,4	2 900	14,9	2 650
3	850	7,0	3 400	18,9	3 850
4	1 000	3,2	3 700	16,1	5 550

6. Ce taux d'atténuation compare le débit maximal lors de la crue, entre une situation sans ouvrage, et une situation avec l'ouvrage. L'expression en est $100 \cdot \frac{(Q_{so} - Q_{ao})}{Q_{so}}$

Q : débit de pointe ;
so : sans ouvrage ;
ao : avec ouvrages.

▲ Tableau 3 – Valeur calculée du taux d'atténuation du débit de pointe (en %) et superficie totale inondée pour quatre crues tests, en comparant un ouvrage simple à un ouvrage dédoublé (Enet, 2002).

▼ Photo 1 – Modèle réduit expérimental pour l'étude en laboratoire d'une jonction perpendiculaire entre un conduit circulaire et un canal rectangulaire.



Ces dimensions correspondent à la réduction à l'échelle 1/5^e du site suivi sur le ru de Melarchez.

La conduite et le canal sont alimentés indépendamment, à partir d'une réserve à charge constante. La pente du canal et celle de la conduite sont ajustables, indépendamment l'une de l'autre.

L'objectif de cette expérimentation est de caractériser l'incidence de cette jonction sur les niveaux de l'eau en remontant vers l'amont, dans le canal et dans la conduite. Cette incidence est particulièrement importante au moment de la mise en charge de la conduite, celle-ci pouvant induire des limitations de la capacité de rejet du réseau enterré.

Les toutes premières observations sont très récentes, et ne pourront dès à présent permettre de répondre aux attentes des ingénieurs. Toutefois, elles sont encourageantes, et permettent de définir des modes d'écoulement diversifiés.

Les plus faibles débits du canal, relativement à celui de la conduite, peuvent occasionner l'existence d'une section critique au niveau de la jonction, ce qui fait du point de rejet une section de contrôle pour le réseau à surface libre (photo 2 : H_v désigne la pelle du déversoir en aval de la jonction, Q le débit du canal, q le débit de la conduite).

Pour des débits plus élevés dans le canal, ou une influence aval par un seuil en travers par exemple (cas de l'exemple montré), le fonctionnement tend vers un comportement de type déversoir, les eaux

du canal finissant par passer par-dessus celles de la conduite.

Cette situation différencie nettement ce type de jonction de deux canaux à surface libre, ou de deux conduites en charge, des cas bien mieux décrits dans la littérature scientifique (Biron *et al.*, 1996 ; Hsu *et al.*, 1998 ; Ramamurthy et Zhu, 1997) .

Pour illustrer cette interaction variable en fonction des modes d'écoulement, la figure 9 (p. 18) montre la relation entre les tirants d'eau amont et aval par rapport à la jonction, lorsqu'un déversoir influence le cours aval du canal.

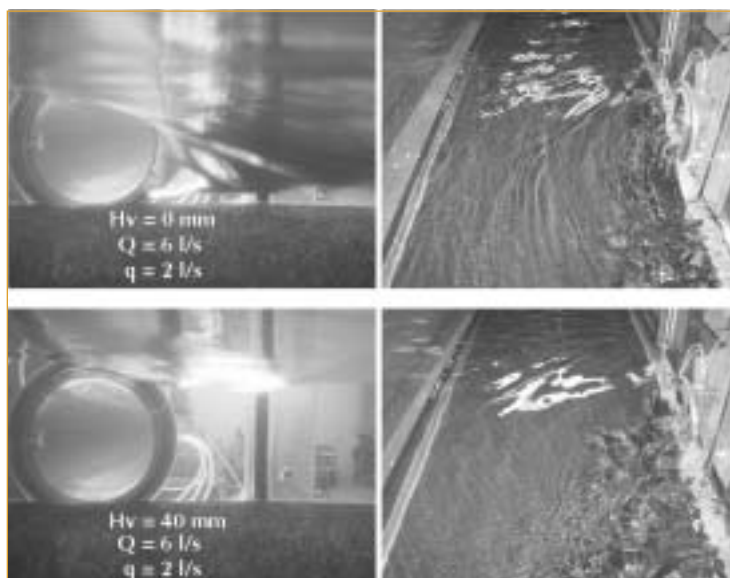
Deux séries de points permettent de comparer l'écoulement dans le canal avec et sans rejet, pour un même débit total au dessus du déversoir aval (8 l/s dans le cas présenté sur les photos 2 et 3).

Sur la figure 9, la série de points marron clair montre les tirants d'eau en l'absence de rejet. Le déversoir aval étant proche de la jonction, ils s'alignent sur une courbe correspondant à une surface de l'eau horizontale (courbe pointillée noire).

La série de points noirs (observés en octobre) et gris (observés en décembre) montre les tirants d'eau avec un rejet de 2 l/s pour un débit du canal de 6 l/s. On peut observer la rehausse de ligne d'eau vers l'amont occasionnée par le rejet.

Pour les plus faibles tirants d'eau, le niveau amont se maintient à une valeur supérieure au tirant d'eau normal, caractéristique des derniers points marrons, quasiment confondus.

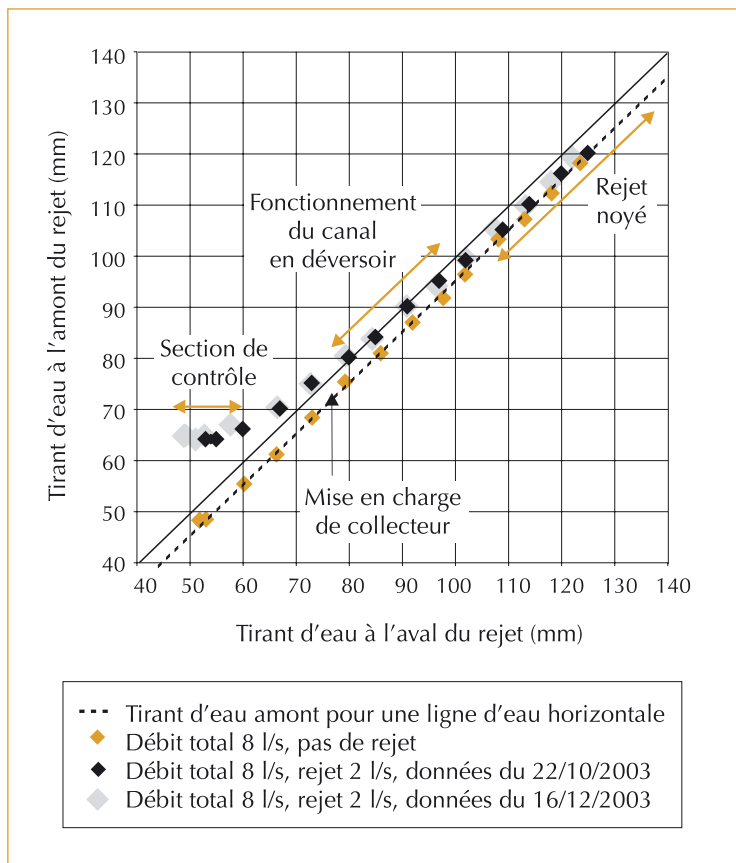
▼ Photos 2 et 3 – Visualisation de deux types d'écoulement dans le canal au point de rejet. En haut, $H_v = 0$ mm, et en bas, $H_v = 40$ mm, où H_v est la hauteur du déversoir à l'aval du canal expérimental.



Dans cet exemple, la différence de hauteur et de 15 mm, ce qui correspond, pour l'échelle réelle à une rehausse de 7,5 cm, pour un tirant d'eau total qui serait de 22,5 cm. Sur un fossé de cette dimension, et dans le cas où d'autres collecteurs déboucheraient à l'amont de la jonction, l'effet peut être sensible en mettant ceux-ci en charge.

Difficiles à obtenir sur le terrain (eaux chargées en matières en suspension, conditions météorologiques difficiles, collecteur noyé), les informations sur le comportement du débouché du collecteur font que cette expérimentation sera un outil important d'étude de ces rejets, tant dans le domaine du drainage agricole, que dans celui de l'assainissement urbain. Elle permettra en outre de tester des dispositifs pilotes pour améliorer les conditions de ralentissement des crues, sans mettre en place prématurément sur les terrains des aménagements coûteux et au comportement mal maîtrisé, ou insuffisamment étudié si des outils numériques ont été utilisés en simplifiant excessivement ce système.

▼ Figure 9 – Relation entre les tirants d'eau amont et aval par rapport à la jonction, lorsqu'un déversoir influence le cours aval du canal.



Conclusion

Nous avons présenté ici différentes approches hydrauliques d'un scénario d'aménagement visant le ralentissement des crues sur un ensemble de points répartis le long du fossé d'assainissement agricole : des buses surmontées d'une diguette de faible hauteur permettent une rehausse temporaire de la ligne d'eau en amont, donnant au lit majeur du fossé une fonction de stockage temporaire, sans réduire à l'excès la continuité du lit mineur.

Ces approches ont permis de réfléchir au nombre et à la répartition des ouvrages, ainsi qu'à leur dimensionnement.

À partir de modèles numériques combinant le fossé, les rejets de drainage qu'il reçoit, et les ouvrages disposés le long du fossé, quelques principes de dimensionnement (diamètre des buses, hauteur d'une diguette perpendiculaire au fossé) ont pu être avancés. Il faut toutefois garder à l'esprit que le comportement hydraulique de l'ensemble reste complexe, et qu'une prise en compte insuffisante de cette complexité dans la transposition à un nouveau projet, ou l'oubli de certaines gammes de crues, peut avoir des conséquences graves.

En particulier, l'interaction entre le fossé et les collecteurs qui s'y déversent reste un sujet d'étude encore peu abordé, et une étude fine du comportement de ces ouvrages est essentielle : sur le plan individuel comme sur le plan collectif, et tant pour des crues fréquentes que pour des crues rares.

Une étude d'ouvrages doubles montre en effet que ceux-ci jouent un rôle mieux réparti sur un ensemble de périodes de retour, là où des ouvrages simples mal dimensionnés peuvent se révéler aggravants lors du passage de certaines crues.

Pour pallier les insuffisances de la modélisation numérique, la modélisation physique sur modèle réduit hydraulique se révèle un bon outil pour étudier les effets induits par la jonction entre collecteurs enterrés et fossé à ciel ouvert. Elle permettra en outre d'expérimenter des dispositifs techniques innovants sans avoir à réaliser sur le terrain des tentatives hasardeuses.

Enfin, ces aménagements présentent nécessairement une contrepartie sous la forme d'une contrainte foncière qui n'a pas été abordée dans ce travail, et qui devra bien évidemment être étudiée en parallèle dans tout projet réel de cette nature. □

Résumé

Les effets du drainage par tuyaux enterrés à l'échelle de la parcelle, peuvent pour des crues assez fréquentes (d'une période de retour de 1 à 5 ans), combiner une infiltration dans le sol renforcée et une réduction du ruissellement, si celui-ci était intense avant la mise en place du drainage. Ceci tend à réduire l'intensité des débits issus de la parcelle. Toutefois, le réseau d'émissaires est susceptible, par ses dimensions augmentées pour recevoir les eaux des collecteurs enterrés, d'accentuer le transfert de la crue vers l'aval. Ce transfert peut être ralenti en favorisant le débordement dans des zones peu vulnérables, aménagées avec des sections en travers réduites, sous un pont par exemple. Cet article présente les conséquences de l'application à l'assainissement agricole, de ce principe notamment développé pour les rivières sous l'appellation de ralentissement dynamique.

Le transfert des crues sur un petit bassin versant agricole de quelques kilomètres carrés a été modélisé à partir des résultats expérimentaux sur le bassin de l'Orgeval (Seine-et-Marne). À partir d'un modèle hydraulique reposant sur les équations de Saint-Venant, des zones supplémentaires de stockage temporaire ont été simulées et testées pour différentes crues. La multiplication des ouvrages apporte une amélioration dans la rétention des crues, jusqu'à une certaine limite. La répartition du stockage permet une meilleure efficacité du volume retenu, par rapport à un réservoir unique. En outre, des ouvrages doubles associant des buses de diamètres différents permettent de contrôler une plus grande gamme de périodes de retour.

Ces mesures ont une conséquence qui peut se révéler tant bénéfique que négative au niveau des rejets de drainage : on peut observer une limitation des débits de pointe dans les réseaux enterrés, mais les performances du drainage peuvent s'en trouver diminuées. L'article se termine sur la présentation d'un modèle physique construit récemment, qui commence à apporter des informations précieuses pour l'explication des phénomènes d'interaction entre le fossé et le rejet de drainage et pour le dimensionnement correct des ouvrages de ralentissement des crues.

Abstract

During most common rainfall events (one to five years return period), subsurface drainage increases the soil infiltration capacity. Consequently field-scale peakflow rates are generally lower than were surface runoff peakflow rates before drainage construction. However flood routing may be enhanced by arterial drainage ditches, often over-sized due to collector drain depths. This enhancement could be mitigated by letting the network overflow in its less critical zones, which could be achieved through reduced cross sections such as road crossovers. This solution applied to rivers is referred to as dynamic flood control. This paper presents some consequences of this principle applied to an arterial drainage network and brings design hints.

In order to describe flow transfer through a small agricultural catchment (a few sq. km), a hydraulic model based on Saint-Venant equations was applied to an experimental catchment (Orgeval experimental catchment, Seine-et-Marne). The model was used to test additional storage places with a same mitigation objective. Adding reduced cross sections brought a gain in flood storage capacity until an upper number. Dispatched storage places appeared also more efficient than a single reservoir located downstream. Associated culverts, with two different diameters, also appear to control a larger range of events than a single reduced cross section.

As a counterpart to these flood control measures, a complex modification is induced at subsurface drainage outlets. An additional peakflow rate mitigation within collector drains networks can be observed, but it means a reduced efficiency for field subsurface drainage. This paper presents a recently built physical model which begins to give results, and will help to explain this interaction, and to design flood mitigation measures with a better adequacy.

Bibliographie

- ARLOT, M.P., 1999, *Nitrates dans les eaux. Drainage acteur, drainage témoin ? Les enseignements d'une approche hydrologique et hydraulique : – sur l'influence du drainage agricole sur la contamination diffuse par les nitrates ; – sur les possibilités d'utiliser les parcelles drainées pour l'analyse de la dite contamination*, thèse de doctorat de l'université Paris VI, spécialité hydrologie, hydrogéologie géostatistiques et géochimie des eaux, 374 p.
- BEVEN, K., 1991, Scale Considerations, in D.S. Bowles and P.-E. O'Connell (ed.), *Recent advances in the Modeling of Hydrologic Systems*, Kluwer Academic Publishers, p. 357-371.
- BIRON, P. ; BEST, J.-L. ; ROY, A.-G., 1996, Effects of bed discordance on flow dynamics at open channel confluences. *Journal of Hydraulic Engineering-Asce*, 122(12), p. 676-682.
- BREIL, P. ; LANDROT, P., 2002, *Guide méthodologique pour l'estimation et la limitation des effets des ouvrages hydro-agricoles sur la quantité et la qualité des eaux de surface*, Cemagref Éditions.
- Cemagref, Division Drainage, 1993, *Glossaire des termes officiels de l'hydraulique du drainage agricole*, 2^e édition, Cemagref Éditions.
- CUNGE, J.-A. ; HOLLEY, F.-M. ; VERWEY, A., 1980, *Practical Aspects of Computational River Hydraulics*, Pitman, 420 p.
- ENET, Y., 2002, *Impact d'un ouvrage de franchissement sur le comportement hydraulique d'un fosse d'assainissement agricole*, EGID-Bordeaux III, Cemagref, unité Ouvrages pour le drainage et l'étanchéité, 72 p.
- HAGER, W.-H., 1999, *Wastewater Hydraulics*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- HELMER, J.-M., 2001, *Analyse expérimentale et simulateur du concept de ralentissement dynamique à l'échelle d'un bassin versant drainé*, ENGEES, Cemagref, unité Ouvrages pour le drainage et l'étanchéité, 60 p.
- HSU, C.-C. ; WU, F.-S. ; LEE, D.-W.-J., 1998, Flow at 90 degrees equal-width open-channel junction, *Journal of Hydraulic Engineering-Asce*, 124(2), p. 186-191.
- KAO, C. ; NÉDÉLEC, Y. ; ZIMMER, D., 1998, Mécanismes de genèse et modélisation du ruissellement à l'échelle de la parcelle agricole drainée, *Bulletin du GFHN*, n° 42, p. 84-88.
- KAO, C., 2002, *Fonctionnement hydraulique des nappes superficielles de fonds de vallées en interaction avec le réseau hydrographique*, Cemagref, thèse de doctorat en Sciences de l'eau, ENGREF Paris, 218 p. + annexes.
- LESAFFRE, B., 1988, *Fonctionnement hydrologique et hydraulique du drainage souterrain des sols temporairement engorgés*, thèse de doctorat, université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 324 p.
- LORRE, E. ; ARLOT, M.-P. ; DUTERTRE, A. ; GÉRARD, J.-P. ; ZIMMER, D., 1994, Influence du drainage sur le ruissellement hivernal à l'échelle de la parcelle, in *23^{es} journées de l'Hydraulique – « Crues et Inondations », Nimes 14-15-16 septembre 1994*, p. 87-93.
- Ministère de l'Agriculture, 1980, *Synthèse nationale sur les crues de petits bassins versants*.
- NÉDÉLEC, Y., 1999, *Activités rurales et inondations – Connaissances et bonnes pratiques*, Cemagref Éditions.

OBERLIN, G., 1981, Influence du drainage et de l'assainissement rural sur l'hydrologie, *Informations techniques*, Cemagref, n° 285, p. 45-55.

OBERLIN, G. ; GILARD, O. *et al.*, 1997, The concept of dynamic slowing down, in *Water integrated management*, UNESCO-FRIEND: Flow regimes from international experimental and network data, p. 373-380.

PORCHERON, M.-D., 1996, *Laminage de crues par ralentissement dynamique sur un petit bassin versant drainé*, ENGEEES, Cemagref, unité Ouvrages pour le drainage et l'étanchéité, 91 p.

RAMAMURTHY, A.-S. ; ZHU, W.-M., 1997, Combining flows in 90 degrees junctions of rectangular closed conduits, *Journal of Hydraulic Engineering-Asce.*, 123(11), p. 1012-1019.

SKAGGS, R.-W. ; BREVE, M.-A. ; GILLIAM, J.-W., 1994, *Hydrologic and water quality impacts of agricultural drainage*.

ZIMMER, D., 1988, *Transferts hydriques en sols drainés par tuyaux enterrés*, thèse de doctorat, université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 326 p.