

# QUANTIFICATION DES RUISELLEMENTS SUR LES PETITS BASSINS VERSANTS LIMONEUX ET KARSTIQUES DE NORMANDIE

**RICHET Jean-Baptiste<sup>1</sup>, OUVRY Jean-François<sup>1</sup> & PAK Lai Ting<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> AREAS - 2 avenue Foch F-76460 Saint-Valery-en-Caux- jb.richet@areas.asso.fr

<sup>2</sup> CIRAD - Quartier Petit Morne - BP 214 - 97285 Le Lamentin Cedex 2 - lai-ting.pak@cirad.fr

*Les plateaux limoneux de Normandie, cultivés en grandes cultures, sont très sensibles à la battance et aux coulées d'eaux boueuses. La vulnérabilité de ces territoires au risque ruissellement-érosion est élevée et diffuse. Les pertes liées au karst sur le chemin de l'eau rendent les références hydrologiques nationales mal adaptées pour répondre aux besoins de dimensionnement des ouvrages de protections nécessaires en têtes de bassins versants. Le suivi hydrométrique de Bourville (BRVL, 10,45 km<sup>2</sup> sans écoulement permanent, suivi depuis 1995, représentatif du pays de Caux) contribue à combler ce manque. FDTL est un bassin versant de 1,45 km<sup>2</sup> inclus dans BRVL instrumenté entre 2011 et 2019. BRVL (resp. FDTL) présente un ruissellement annuel moyen de 10,8 mm (resp. 37,9 mm) dont 7,4 mm en hiver (resp. 26,4 mm) et jusqu'à 4 ruissellements de plus de 3 mm par campagne (resp. 7). Le débit instantané décennal est estimé à 5,9 m<sup>3</sup>/s (resp. 1,2 m<sup>3</sup>/s), et la lame ruisselée décennale de 24 h à 7,9 mm (resp. 13,9 mm). Le curve number moyen des plus grosses crues hivernales est de 83,2 (resp. 87,9). L'écart entre les valeurs des deux sites met en évidence les pertes par infiltration ou engouffrement le long des talwegs. L'intensité moyenne des pluies génératrices des crues les plus rares est inférieure à 2 mm/h : une augmentation des capacités d'infiltration des parcelles en hiver réduirait sensiblement les volumes ruisselés.*

*Mots-clefs : ruissellement, petit bassin versant, battance, karst, hydrologie.*

## *Surface runoff quantification on small loamy and karstic catchments of Normandy*

*The deep loamy soils of the open-field intensive arable crop-farming area known as the Pays de Caux in north-west France are subject to quick sealing, so surface runoff and erosion occur every year. The vulnerability of these territories to surface runoff and erosion damages is high and widespread. National hydrological references are not accurate, as part of the surface runoff is lost along waterways into karst holes. Yet, the need for dimensioning protecting infrastructures for catchments of a few km<sup>2</sup> is frequent. Data from the measuring site of Bourville (BRVL, 10.45 km<sup>2</sup>, monitored since 1995, representative for pays de Caux) contribute to fill this need. FDTL is part of BRVL, 1.45 km<sup>2</sup> wide, monitored since 2011. BRVL (resp. FDTL) has an average surface runoff of 10.8 mm (resp. 37.9 mm), of which 7.4 mm occurs in winter (resp. 26.4 mm), and up to 4 runoff events over 3 mm per year (resp. 7). The 10-year return period flow rate is estimated at 5.9 m<sup>3</sup>/s (resp. 1.2 m<sup>3</sup>/s), and the 10-year return period depth of surface runoff in 24 h at 7.9 mm (resp. 13.9 mm). The average curve number of biggest winter floods is 83.2 (resp. 87.9). The gap between the values of the two catchments highlights the surface runoff lost along the waterway by infiltration or into sinkholes. The average intensity of rainfalls generating the biggest floods is lower than 2 mm/h: rising up field infiltration capabilities in winter would significantly lower runoff volumes.*

*Key words: surface runoff, small catchment, sealing, karst, hydrology.*

## INTRODUCTION

Sur les plateaux de l'est de la Normandie, la couverture limoneuse des sols, jointe à leur occupation en grandes cultures, rend ces territoires particulièrement sensibles à la battance. En hiver, les croûtes de battances sont généralisées sur les terres labourées, montrant des capacités d'infiltration entre 2 et 10 mm/h ([Le Bissonnais et al. 2005], [Cerdan et al. 2002], [Boiffin et al. 1988]), propices au ruissellement hortonien. Sur ces territoires présentant un réseau hydrographique peu dense, l'aléa ruissellement y est donc à la fois élevé et diffus. Il se traduit par des crues rapides récurrentes sur des bassins versants (BV) de 10 à 100 km<sup>2</sup>. Or, dans ces secteurs d'habitat dispersé, les enjeux sont nombreux et disséminés en fond de vallées sèches. La vulnérabilité au risque ruissellement-érosion y est donc élevée et diffuse. Par exemple, le territoire du *SAGE des six vallées*, d'une surface de 398 km<sup>2</sup> à l'ouest de Rouen, a recensé 18958 enjeux vulnérables à l'aléa érosion, dont 425 présentent une vulnérabilité très élevée.

Paradoxalement, à plus petite échelle, une forte proportion des écoulements n'atteint pas le réseau hydrographique peu dense : les points d'engouffrements liés au karst (localement appelés *bétoires*) sont nombreux (environ 1,4 par km<sup>2</sup>) et actifs en fonds de vallons [David 2009]. Toutefois, l'importance des pertes karstiques est très variable d'un secteur à l'autre, et variable dans le temps.

Les besoins de protection des enjeux sont donc fréquents, avec des surfaces amont ne faisant parfois que quelques dizaines d'hectares. Ainsi, en Seine-Maritime, 1391 ouvrages hydrauliques ont été construits pour laminar ces ruissellements, dont seulement un quart font plus de 5000 m<sup>3</sup> [AREAS 2020], témoignant de la taille réduite du bassin versant des 3/4 de ces ouvrages.

Du fait de toutes ces particularités, il a été constaté, à l'occasion de plusieurs études locales, que les références hydrologiques nationales sont mal adaptées pour dimensionner les ouvrages de protection de ces territoires. Aubert et co-auteurs le confirment pour la méthode SHYREG, mettant en garde quant à son usage en milieu karstique [Aubert et al., 2014].

Les données hydrométriques du BV de Bourville contribuent à combler ce manque. Suivi depuis 1995, ce territoire d'environ 10 km<sup>2</sup> a permis de quantifier les ruissellements hortonien à l'échelle d'un petit bassin versant. Ce site est représentatif des BV érosifs du pays de Caux et des régions limoneuses en grandes cultures. Ses données ont largement été utilisées pour dimensionner les ouvrages de laminage de crues de la région. Son sous-bassin versant FDTL de 145 ha a également été instrumenté en 2011 et apporte des données complémentaires utiles au changement d'échelle. Les connaissances hydrologiques issues de ce site sont présentées ici.

## LE BASSIN VERSANT DE BOURVILLE

Le bassin versant de Bourville (BRVL) couvre 10,45 km<sup>2</sup> à l'amont du bassin versant du Dun, petit fleuve côtier du pays de Caux, en Normandie. C'est un plateau calcaire tendre karstifié recouvert de limons éoliens. Le relief y est ondulé, avec des pentes omniprésentes de 2 à 5 % en zone labourée, et des pentes plus fortes lorsque les vallées sèches incisent le plateau. Ce bassin versant présente une forte proportion (88 %) de surface agricole utile (SAU) (Figure 1). Il ne présente aucun écoulement alimenté par une nappe, même intermittente. Plusieurs points d'engouffrement karstiques sont présents, notamment sur le dernier kilomètre du talweg est, et sur la moitié amont du talweg ouest.

Le sol dominant est le néoluvisol, comme le montre la Figure 2. Cette carte est construite à dire d'expert, sur la base de la carte des sols de Haute-Normandie [CEN Normandie Seine 2018], de la carte géologique du BRGM et du levé topographique LiDaR. Néoluvisol et brunisol eutrique à colluvisol sont les sols les plus sensibles à la battance et à l'érosion hydrique (indice 5/5 pour chacun de ces paramètres dans la méthode MESALES [le Bissonnais et al., 1998]). Aucune hydromorphie n'est à signaler.

Le bassin versant a une vocation agricole marquée, avec une orientation polyculture et secondairement polyculture-élevage. Le Tableau 1 donne l'occupation du sol des BV par grandes masses, et la Figure 1 donne leur répartition géographique. Le Tableau 2 donne les proportions des principales cultures au sein des terres labourées (TL).

L'hydrométrie y est suivie depuis 1995. Le suivi a été renforcé en 2007 pour la qualité des eaux, et une station hydrométrique a été construite sur un sous-bassin versant appelée FDTL en 2011. Tous les écoulements mesurés sont dus au ruissellement *stricto sensu*, aucune résurgence n'a jamais été observée. Ce bassin versant peut être qualifié de « pire cas réaliste » vis-à-vis des ruissellements et de l'érosion pour le nord-ouest de la France. Ses données sont disponibles auprès de l'AREAS sur simple demande.

## HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT

### *Deux stations hydro-météorologiques complètes*

Le site de BRVL est équipé d'un déversoir à seuil court de forme triangulaire. Les mesures de hauteur d'eau se font à l'aide d'un piézomètre dans un puits de tranquillisation. La courbe de tarage est issue d'un ensemble de jaugeages au vélocimètre, visibles sur la Figure 3. Le site FDTL est équipé d'un canal trapézoïdal supercritique [Kilpatrick & Schneider 1983]. La mesure de la hauteur d'eau se fait dans un puits de tranquillisation par un piézomètre. Sa courbe de tarage et les jaugeages sur lesquelles elle s'appuie sont sur la Figure 4. Chacun des deux sites est équipé d'un pluviomètre à auget basculeur.

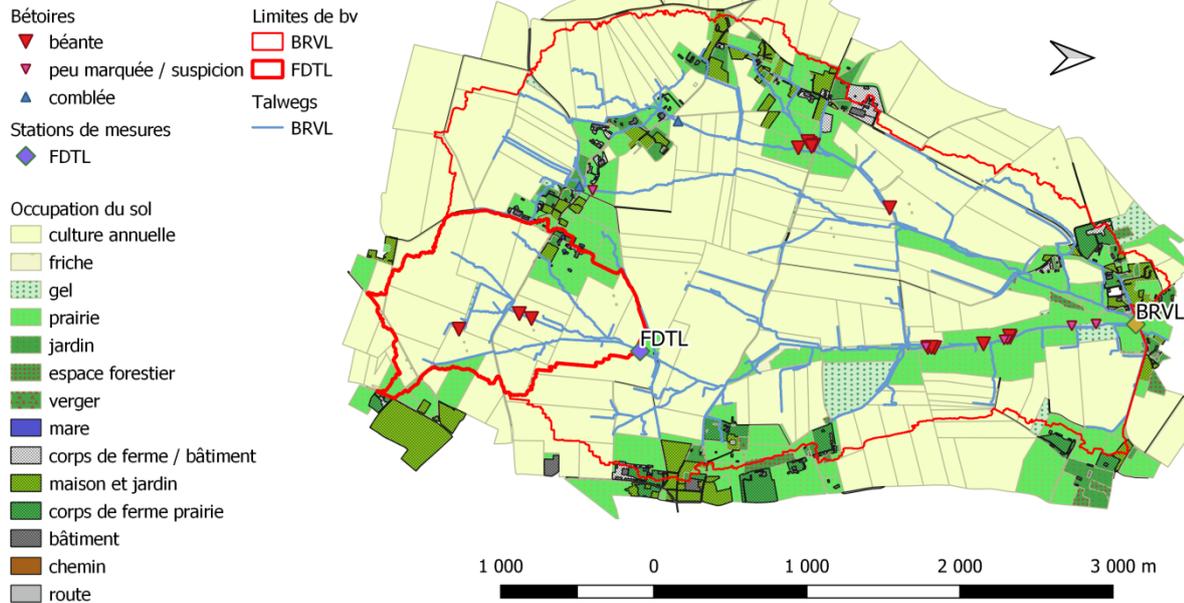


Figure 1 : occupation du sol du bassin versant de Bourville

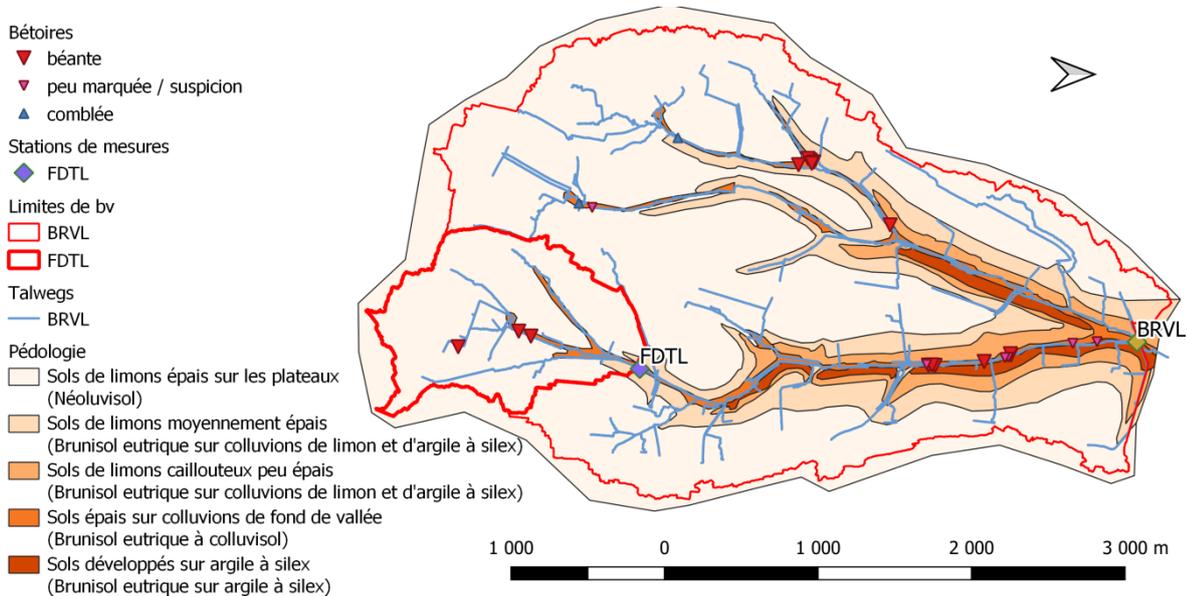


Figure 2 : carte des sols du bassin versant de Bourville et de ses points d'engouffrement karstiques (bétoires)

Tableau 1 : répartition moyenne de l'occupation du sol par BV

(moyenne en ha)	BRVL	FDTL
Surface totale	1045	145
Surfaces boisées	37	2
S non agricoles (villages, voiries)	59	4
Surfaces en herbe	186	14
Surfaces cultivées en labour	763	125

Tableau 2 : proportion moyenne des principales cultures par rapport aux surfaces labourées à BRVL

Culture	% des TL
Blé d'hiver	40,3
Colza	12,9
Escourgeon	7,0
Lin	15,5
Betteraves sucrière	7,4
Maïs ensilage	6,3
Pommes de terre	6,5

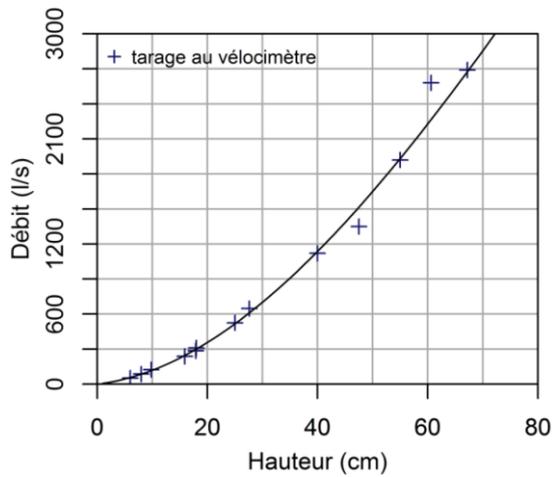


Figure 3 : courbe de tarage de BRVL

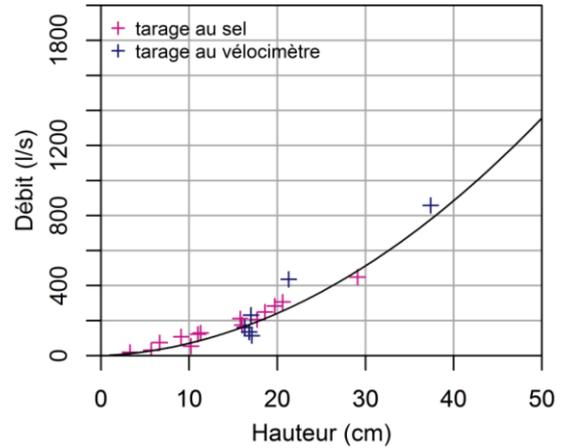


Figure 4 : courbe de tarage de FDTL

### Variabilités annuelle et saisonnière de la pluie

La pluie moyenne sur une campagne mesurée à l'exutoire de BRVL est de 765 mm (calcul 2008-2018 sans les campagnes de 2014 et 2015). Cette valeur varie entre 561 mm (campagne incomplète de 2017) et 940 mm (campagne incomplète de 2018) (Figure 5). En moyenne sur une campagne, 122 averses sont identifiées (au moins 3 h séparent deux événements consécutifs et cumul de pluie strictement supérieur à 1 mm). Ces averses peuvent être classées selon quatre catégories :

- $1 < \text{lame} \leq 5 \text{ mm}$  : celles-ci représentent en moyenne 65 % des averses de la campagne et 27 % de la pluie annuelle ;
- $5 < \text{lame} \leq 15 \text{ mm}$  : en moyenne 28 % des événements de l'année et 37 % de la pluie annuelle ;
- $15 < \text{lame} \leq 30 \text{ mm}$  : en moyenne 5 % des événements de l'année et 17 % de la pluie annuelle ;
- $30 \text{ mm} < \text{lame}$  : jusqu'à 4 averses par campagne et en moyenne 11 % de la pluie annuelle.

Les pluies ne sont pas uniformément réparties tout au long de la campagne. À BRVL, les pluies moyennes durant l'automne, l'hiver, le printemps et l'été sont de 253 mm, 235 mm, 134 mm et 142 mm, respectivement.

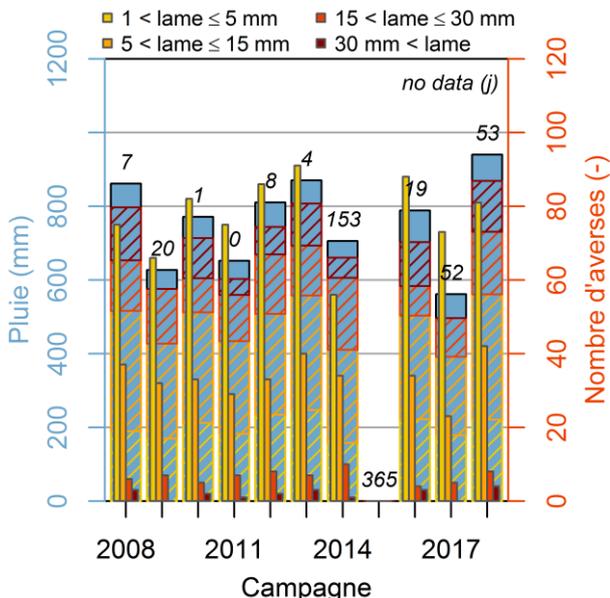


Figure 5. lame de pluie (histogramme unique) et nombre d'événements (histogrammes groupés) par campagne selon quatre catégories d'averses à BRVL

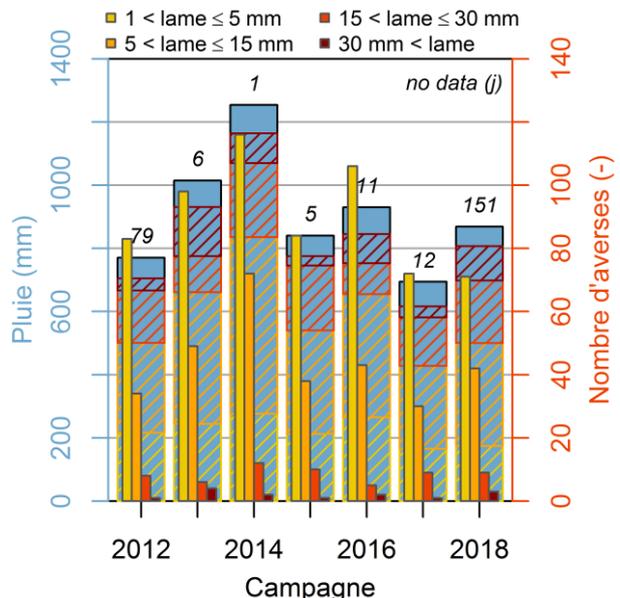


Figure 6. lame de pluie (histogramme unique) et nombre d'événements (histogrammes groupés) par campagne selon quatre catégories d'averses à FDTL

À l'exutoire de FDTL (Figure 6), la pluie moyenne sur une campagne y est de 917 mm (calcul ne comprenant pas la campagne de 2018). Cette valeur varie entre 694 mm (campagne 2017) et 1254 mm (campagne 2014). Il existe donc un gradient de précipitation décroissant d'amont en aval.

Variabilités annuelle et saisonnière du ruissellement à BRVL

Cette analyse a été réalisée sur les campagnes de 2008 à 2018.

En moyenne sur une campagne, le ruissellement est de 112600 m<sup>3</sup>, équivalent à 10,8 mm ramené à la surface totale du BV (Figure 7), réparti entre 26 crues (une crue est définie par un volume supérieur à 200 m<sup>3</sup> et un débit de pointe supérieur à 30 l/s). Ces crues peuvent être classées selon trois catégories :

- 0,02 < lame ≤ 1 mm : celles-ci représentent en moyenne 92 % des crues de la campagne et 25 % du ruissellement annuel ;
- 1 < lame ≤ 3 mm : jusqu'à 4 crues par campagne et en moyenne 17 % du ruissellement annuel ;
- 3 mm < lame : jusqu'à 4 crues par campagne et en moyenne 51 % du ruissellement annuel.

La lame de 3 mm est le seuil d'un événement majeur générateur de désordres hydrologiques sur un BV [Richet & Helloco, 2009].

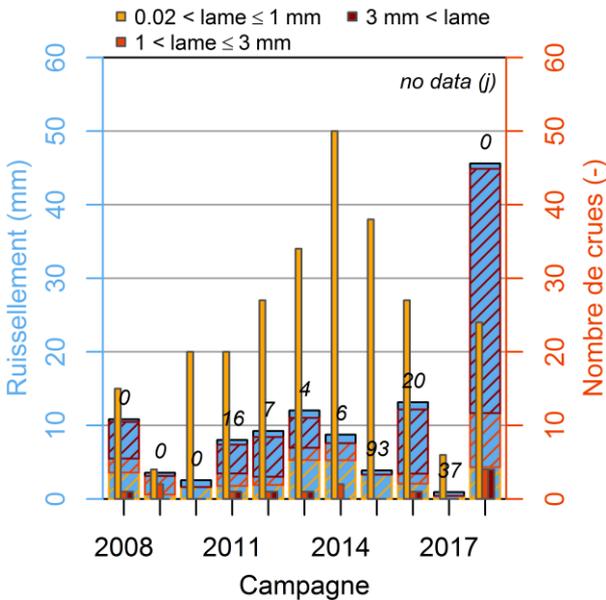


Figure 7. Lame de ruissellement (histogramme unique) et nombre d'événements (histogrammes groupés) par campagne selon quatre catégories de crues à BRVL

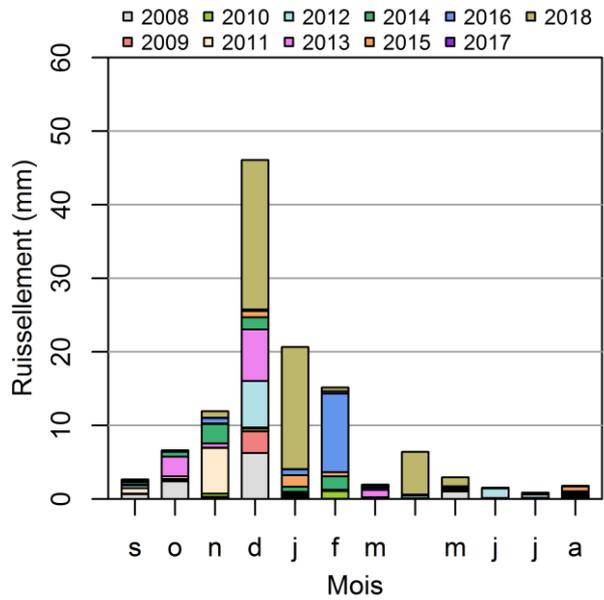


Figure 8. Lame de ruissellement par mois cumulé sur onze campagnes selon la campagne à BRVL

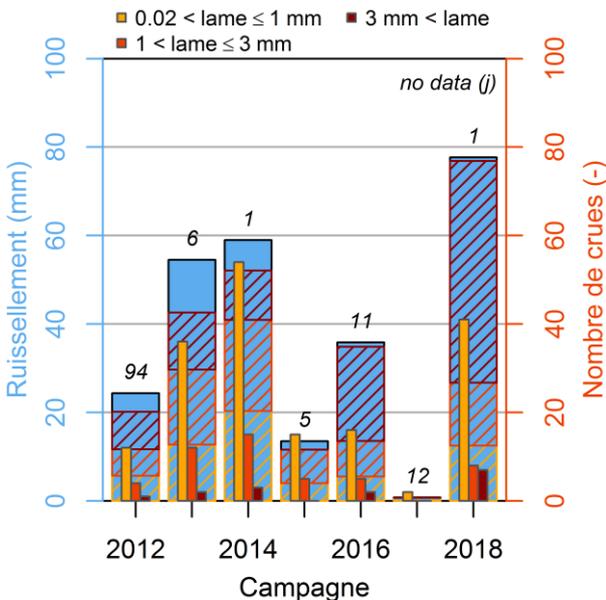


Figure 9. Lame de ruissellement (histogramme unique) et nombre d'événements (histogrammes groupés) par campagne selon quatre catégories de crues à FDTL

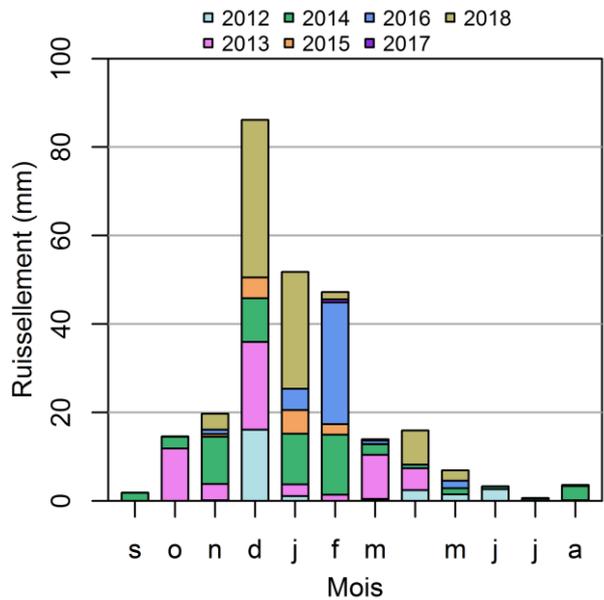


Figure 10. Lame de ruissellement par mois cumulé sur sept campagnes selon la campagne à FDTL

En accord avec les mesures de pluie, les mois d'automne-hiver présentent des lames plus élevées que le reste de la campagne et représentent en moyenne 87 % des ruissellements totaux (Figure 8). Les ruissellements moyens durant l'automne, l'hiver, le printemps et l'été sont de 1,9 mm, 7,4 mm, 1,0 mm et 0,4 mm, respectivement.

#### *Variabilités annuelle et saisonnière du ruissellement à FDTL*

Cette analyse a été réalisée sur les campagnes de 2012 à 2018.

En moyenne sur une campagne, le ruissellement est de 55000 m<sup>3</sup>, équivalant à 37,9 mm ramené à la surface totale du SBV (Figure 9), réparti entre 34 crues (une crue est définie par un volume supérieur à 100 m<sup>3</sup> et un débit de pointe supérieur à 8 l/s). Ces crues peuvent être classées selon trois catégories :

- 0,07 < lame ≤ 1 mm : celles-ci représentent en moyenne 73 % des crues de la campagne et 23 % du ruissellement annuel ;
- 1 < lame ≤ 3 mm : en moyenne 20 % des crues de la campagne et 28 % du ruissellement annuel ;
- 3 mm < lame : jusqu'à 7 crues par campagne et en moyenne 39 % du ruissellement annuel.

En accord avec les mesures de pluie, les mois d'automne-hiver présentent des ruissellements plus importants que le reste de la campagne et représentent 83 % des ruissellements totaux (Figure 10). Les ruissellements moyens durant l'automne, l'hiver, le printemps et l'été sont de 5,2 mm, 26,4 mm, 5,2 mm et 1,1 mm, respectivement.

Ces valeurs de lames ruisselées moyennes (10,8 mm et 37,9 mm à BRVL et FDTL, respectivement) sont à rapprocher des précipitations moyennes d'une part (765 mm et 917 mm respectivement), et de la recharge annuelle moyenne de la nappe, d'autre part, qui a été estimée par le BRGM à 205 mm pour ce secteur sur la période 2004-2013 [BRGM, 2015].

## **PÉRIODES DE RETOUR DES DÉBITS ET DES LAMES RUISSELÉES**

Les mesures accumulées depuis 1995 à BRVL et depuis 2011 à FDTL ont permis une description statistique des débits instantanés et des lames ruisselées.

#### *Périodes de retour des débits instantanés*

Pour pouvoir établir des statistiques sur les débits instantanés de BRVL, deux types de corrections ont dû être apportés. Jusqu'en 2014, le passage sous voirie servant d'exutoire à BRVL avait un débit limité, et de l'eau s'accumulait en amont de la route départementale dès que le débit dépassait 3 m<sup>3</sup>/s. Une correction manuelle à volume constant a été pratiquée. Cette correction a été appliquée à toutes les crues concernées, parmi lesquelles celles retenues pour les campagnes 2000 et 2001. Par ailleurs, en 2011, une digue a été construite sur le talweg ouest, avec une capacité d'environ 18 000 m<sup>3</sup>, et un débit de fuite de l'ordre de 0,4 m<sup>3</sup>/s. L'enregistrement du remplissage de cette retenue et la mesure des débits à l'amont de la zone inondable ont permis de reconstituer ce qu'aurait été la crue à BRVL en l'absence de la digue. L'influence de cette digue est sensible sur les maximales annuelles de 2012, 2013, 2016 et 2018. Seul l'événement maximal de 2012 (QIX = 1,91 m<sup>3</sup>/s) n'a pu être corrigé, faute d'enregistrement. En disqualifiant la campagne 2012, l'effectif est de 23 débits maxima annuels pour cet ajustement. À FDTL, il est de 8. Le résultat des ajustements est donné sur la Figure 11.

Pour comparer les valeurs des deux bassins versants, les débits ont été divisés par la surface de leur bassin versant portée à la puissance 0,8 [Laborde 2009, page 138] (Figure 12).

#### *Périodes de retour des lames ruisselées*

La sélection des lames ruisselées maximales annuelles a été ajustée selon la loi de Gumbel pour différents pas de temps, de 12 h à 48 h (Figure 13). À BRVL, toutes les campagnes ont été prises en compte depuis 1995-1996 jusqu'à 2018-2019, soit 24 valeurs, car les quelques périodes sans données ne comportaient pas de ruissellements majeurs. À FDTL, toutes les campagnes de 2012 à 2019 sont utilisables. Devant la petite taille de cet échantillon (8 valeurs), l'ajustement n'a pas été représenté au-delà de la période 30 ans.

Les événements sélectionnés sont majoritairement en automne-hiver (83 % à BRVL et 100 % à FDTL pour la LR de 24h par exemple).

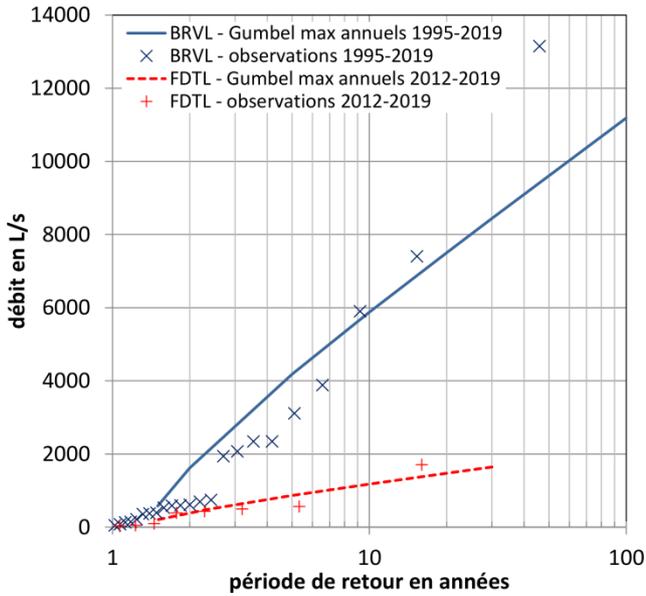


Figure 11 : périodes de retour des débits instantanés à BRVL et FDTL, observations et ajustement à la loi de Gumbel

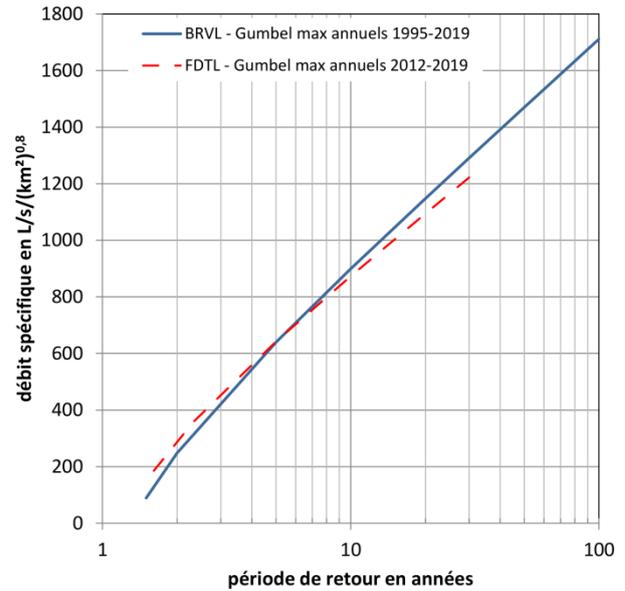


Figure 12 : périodes de retour des débits spécifiques instantanés à BRVL et FDTL (surface à la puissance 0,8)

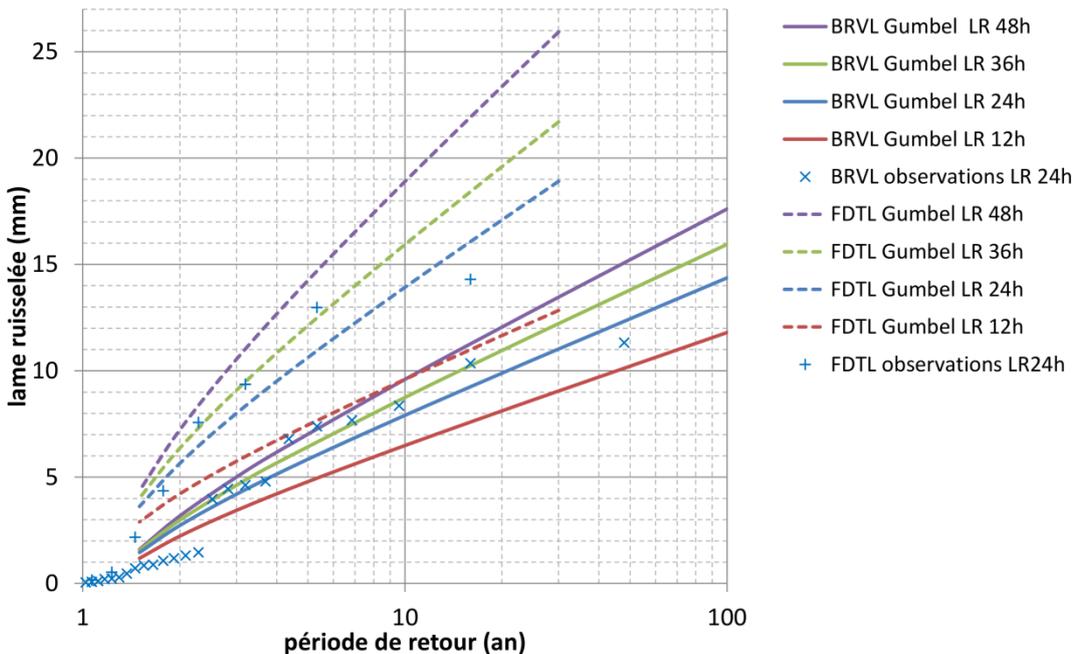


Figure 13 : périodes de retour des lames ruisselées à BRVL et FDTL pour des pas de temps de 12 à 48h (max annuels 1996-2019 à BRVL, 2012-2019 à FDTL, loi Gumbel)

## LIEN ENTRE PLUIE ET RUISSELLEMENT

Pluies et ruissellements ont été finement associés à BRVL et FDTL : les ruissellements ont été découpés en crues hydrologiquement indépendantes, puis les pluies qui les ont générées ont été identifiées. L'ensemble d'une pluie ruisselante et d'une crue indépendante est appelé un *événement pluie-débit*, et noté EPQ. Ces associations ont été effectuées sur les campagnes de 2008 à 2018 à BRVL, et sur les campagnes 2012 à 2018 à FDTL. Les EPQ représentent 84 % (resp. 86 %) des ruissellements écoulés à BRVL (resp. FDTL), le reste des ruissellements ne dispose pas de chronique de pluie ou présentent un volume trop faible pour constituer des « crues ».

### Caractéristiques des événements les plus rares

Pour regrouper les EPQ en classes homogènes, une classification ascendante hiérarchique a été effectuée selon la méthode de Ward, répartissant les EPQ en six classes pour chaque site. L'une de ces classes regroupe les événements les plus rares. Leurs caractéristiques moyennes sont données dans le Tableau 3. Ils se sont tous produits entre novembre et février.

**Tableau 3 : variables utilisées dans la CAH et valeurs moyennes pour les classes d'EPQ les plus rares de BRVL et FDTL**

	BRVL	FDTL
Nombre d'EPQ dans la classe	9	5
Durée de la pluie (h)	28,5	22,8
Lame de pluie (mm)	32,0	32,2
Intensité de pluie moyenne (mm/h)	1,6	1,8
Intensité de pluie maximale à 6 min (mm/h)	14,0	14,4
Lame de pluie antérieure sur 24 h (mm)	17,4	17,4
Lame de pluie antérieure sur 240 h (mm)	63,0	--
Durée de ruissellement (h)	41,7	25,7
Lame de ruissellement (mm)	6,28	11,25
Débit moyen de ruissellement (l/s)	479,6	191,2
Débit maximal de ruissellement (l/s)	2947,7‡	866,3

‡ dans cette analyse, les débits réellement enregistrés ont été retenus, pas les débits reconstitués

À FDTL, les 11,25 mm en 25,7 h sont compris entre la lame ruisselée quinquennale de 24 h (10,6 mm) et celle de période de retour 6 ans (11,5 mm). À BRVL, les 6,3 mm en 42 h sont proches de la lame ruisselée quadriennale de 36 h (5,7 mm). Leurs pluies génératrices peuvent être comparées à une pluie journalière de 32 mm : les statistiques pluviométriques établies à BRVL donnent une période de retour de 1,67 ans. La période de retour de ces crues les plus rares est donc deux à trois fois plus élevée que celles de leurs pluies génératrices.

### Valeurs de curve number

Les valeurs de *curve number* (CN) ont été calculées pour tous les EPQ conformément à la note TR-55 de l'USDA [Cronshey et al., 1986], selon laquelle  $Q = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S}$ , où  $S = \frac{1000}{CN} - 10$ , avec Q la lame ruisselée (pouces), P la pluie (pouces), et S le potentiel de rétention maximal en cours de ruissellement (pouces).

Les figures suivantes montrent l'évolution de ces CN de septembre à août. Les EPQ dont la LR est supérieure à la LR biennale de 24 h ont été identifiées sur ces graphiques. Elle est de 2,7 mm à BRVL, et 5,6 mm à FDTL.

À BRVL comme à FDTL, les EPQ présentant les plus fortes lames ruisselées sont survenus en hiver, à l'exception d'un événement à BRVL survenu en novembre. À FDTL, leurs CN sont compris entre 84,6 et 92,7, avec une moyenne de 87,9. À BRVL, le CN des EPQ hivernaux est compris entre 75,1 et 95,4, pour une moyenne de 83,2.

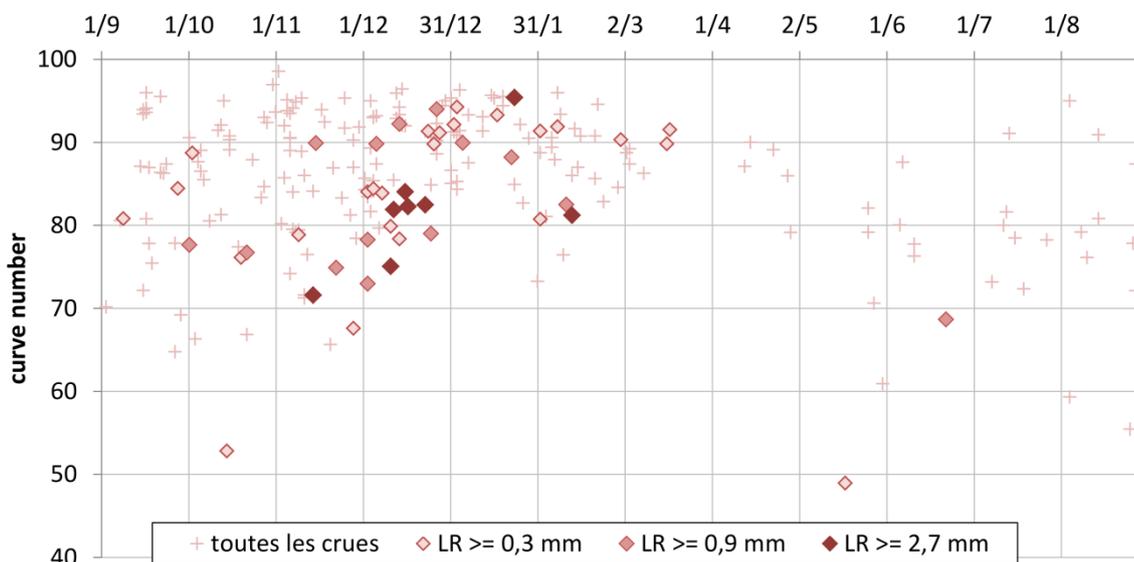


Figure 14 : CN à BRVL, campagnes 2008 à 2018

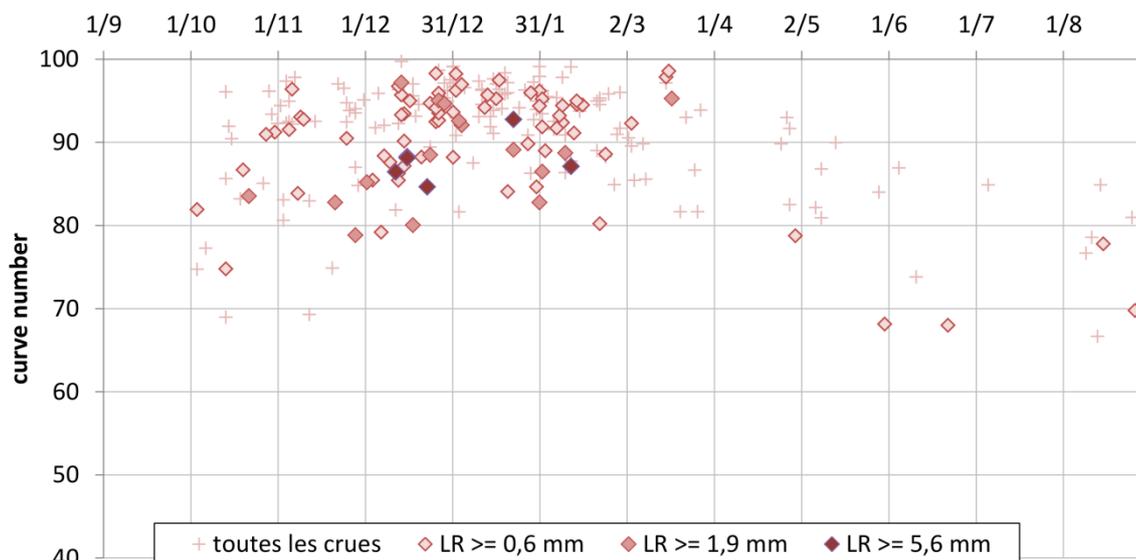


Figure 15 : CN à FDTL, campagnes 2012 à 2018

## ANALYSE ET COMMENTAIRE

Comme le montrent les chiffres de la section *hydrologie du bassin versant*, le secteur d'étude est très ruisselant, avec des ruissellements tous les ans, la saison la plus ruisselante étant l'hiver.

Sur la Figure 12, les périodes de retour des débits spécifiques de FDTL et BRVL sont très proches. Le facteur classique de changement d'échelle constitué par le rapport des surfaces à la puissance 0,8 est vérifié pour ce bassin versant. D'ailleurs, pour la période de mesures communes, les événements sélectionnés comme maxima annuels sont les mêmes à FDTL et BRVL, hormis pour les années sèches que sont 2015, 2017 et 2019.

Cependant, lorsque l'on considère les périodes de retour des lames ruisselées, le comportement des deux bassins versants emboîtés montre une nette différence : une unité de surface « produit » davantage de ruissellement à FDTL qu'à BRVL. Au cours d'une décennale de 24 h, par exemple, un mètre carré de FDTL transmet 13,9 l de ruissellement à l'exutoire, tandis qu'un mètre carré de BRVL n'en transmet que 7,9. La différence observée sur les CN moyen des événements majeurs entre les deux bassins versants va dans le même sens. Pourtant FDTL est inclus dans BRVL, et est représentatif de toutes les zones amont du bassin versant. La différence de proportion des surfaces potentiellement ruisselantes (terres labourées et surfaces imperméables), ne suffit pas à expliquer cette différence : 73 % à BRVL et 86 % à FDTL.

Les pertes le long du chemin de l'eau expliquent cette différence. Comme visible sur la Figure 1, les deux talwegs principaux sont enherbés sur plusieurs kilomètres avant d'atteindre l'exutoire de BRVL. Leur forme est très évasée, du fait de l'accumulation des sédiments depuis des siècles, ce qui permet une grande surface de contact entre le ruissellement et la prairie. Sa capacité d'infiltration à saturation est comprise entre 20 mm/h et 150 mm/h selon son tassement [Ouvry et al. 2010] [Ouvry 2018]. De plus, de nombreuses pertes karstiques (bétoires) sont présentes sur ces talwegs, notamment sur celui qui relie FDTL à BRVL (Figure 1).

Ces résultats illustrent le potentiel de l'aménagement du territoire à l'aide de zones tampons dans la mitigation de l'aléa ruissellement [Catalogne & Le Hénaff 2016], notamment en utilisant les bandes enherbées de fond de vallons : ces zones tampons offrent les plus grandes capacités d'infiltration (en moyenne supérieure à 50 mm/h [Ouvry et al. 2010]).

La comparaison des périodes de retour des événements ruisselants les plus rares (période de retour de 4 à 6 ans) et de leurs pluies montre que ces premiers sont générés par des pluies « banales » (période de retour 1,67 ans).

Les caractéristiques moyennes des événements les plus rares (Tableau 3) montrent des intensités de pluies moyennes inférieures à 2 mm/h. Cette valeur est à rapprocher de la capacité d'infiltration à saturation d'une céréale d'hiver en hiver, sur laquelle la croûte de battance sédimentaire est généralisée. Selon [Le Bissonnais et al. 2005], elle est de 2 mm/h. À BRVL, cela concerne environ la moitié des terres labourées (Tableau 2). L'occupation du sol du BV, ainsi que les pratiques culturales de ses parcelles, sont donc des paramètres essentiels de la production du ruissellement, même pour des événements rares. Si la capacité d'infiltration à

saturation de ces parcelles est augmentée pendant la période hivernale de quelques mm/h (par les pratiques culturales [Ouvry et al. 2012] ou par l'assolement), alors le volume ruisselé s'en trouvera significativement réduit.

## CONCLUSION

L'hydrologie des petits bassins versants du pays de Caux et des plateaux limoneux et karstiques de Normandie montre des singularités fortes : des ruissellements nombreux, principalement en hiver, avec des pertes importantes le long des talwegs enherbés ou présentant des points d'engouffrement. Les mesures réalisées par l'AREAS sur le bassin versant de Bourville permettent de le quantifier.

BRVL (resp. FDTL) présente un ruissellement annuel moyen de 10,8 mm (resp. 37,9 mm) dont 7,4 mm en hiver (resp. 26,4 mm) et jusqu'à 4 ruissellements de plus de 3 mm par campagne (resp. 7). Le débit instantané décennal est estimé à 5,9 m<sup>3</sup>/s (resp. 1,2 m<sup>3</sup>/s), et la lame ruisselée décennale de 24 h à 7,9 mm (resp. 13,9 mm). Le *curve number* moyen des plus grosses crues hivernales est de 83,2 (resp. 87,9). L'écart entre les valeurs des deux sites met en évidence les pertes par infiltration ou engouffrement le long des talwegs. L'intensité moyenne des pluies génératrices des plus grosses crues est inférieure à 2 mm/h : une augmentation des capacités d'infiltration des parcelles en hiver réduirait sensiblement les volumes ruisselés.

Ces valeurs permettent de répondre aux besoins de dimensionnement des ouvrages de protection contre les ruissellements, qui sont nombreux en tête de bassins versants. Elles permettent aussi d'illustrer le potentiel de mitigation de l'aléa ruissellement, d'une part en réduisant les volumes ruisselés par chaque parcelle grâce aux pratiques culturales moins ruisselantes ou à l'assolement, d'autre part en infiltrant le ruissellement le long de son chemin par les zones tampons.

## REMERCIEMENTS

L'AREAS remercie de leur soutien ses partenaires financiers, sans qui ce suivi hydrométrique n'aurait pas été possible tout au long de ces années, au premier rang desquels se placent l'Agence de l'eau Seine-Normandie, le Département de Seine-Maritime, le Département de l'Eure.

## RÉFÉRENCES

- AREAS (2020) — *Base de données BD CASTOR* [en ligne]. Disponible à l'adresse <http://www.bdcastor.fr/>, consultée le 13/06/2020
- Aubert Yoann, Arnaud Patrick, Ribstein Pierre et Fine Jean-Alain (2014) — La méthode SHYREG débit— application sur 1605 bassins versants en France métropolitaine. In : *Hydrological Sciences Journal*. 4 mai 2014. Vol. 59, n° 5, p. 993-1005. DOI 10.1080/02626667.2014.902061.
- Boiffin Jean, Papy François et Eimberck Micheline (1988) — Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. I. — Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion. In : *Agronomie*. Vol. 8, n° 8, p. 663-673. DOI 10.1051/agro:19880801.
- BRGM (2015) — *Fiche de caractérisation de la ME HG203* [en ligne]. Fiche de caractérisation de masse d'eau souterraine. S.l. BRGM. [Consulté le 25 août 2020]. Cycle DCE 2016-2021. Disponible à l'adresse : [http://sigessn.brgm.fr/files/FichesMESO/Fiches\\_completes/Fiche\\_MESO\\_FRHG203\\_Seine-Normandie.pdf](http://sigessn.brgm.fr/files/FichesMESO/Fiches_completes/Fiche_MESO_FRHG203_Seine-Normandie.pdf).
- Catalogne C., Le Hénaff G. (2016). — *Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole*. Rapport Irstea-ONEMA élaboré dans le cadre du Groupe Technique Zones Tampons.
- Cerdan O., Souchère V., Lecomte V., Couturier A. et Le Bissonnais Y. (2002) — *Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff model: Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management*. In : CATENA. janvier 2002. Vol. 46, n° 2-3, p. 189-205. DOI 10.1016/S0341-8162(01)00166-7.

- Conservatoire d'espaces naturels Normandie Seine (2018). — *Référentiel régional pédologique Haute-Normandie, carte des sols au 1/250000* [en ligne]. [carte]. Disponible à l'adresse : [https://www.geonormandie.fr/geonetwork/srv/api/records/d703f56f-44ff-4e9e-b346-edd62e0a418b/attachments/A0\\_RRP\\_2018.pdf](https://www.geonormandie.fr/geonetwork/srv/api/records/d703f56f-44ff-4e9e-b346-edd62e0a418b/attachments/A0_RRP_2018.pdf).
- Cronchey R., MacCuen R. H., Miller N., Rawl W., Robbins S., Woodward D. (1986). — Urban Hydrology for small Watersheds, TR-55, 164 p.
- David P-Y. (2009) — Inventaire régional Haute-Normandie des bétouilles, trajets souterrains des eaux (traçages) et des exutoires - Rapport final d'année 4 et synthèse des 4 années. Rap. BRGM/RP-61691-FR, 128 p.
- Kilpatrick, F.A., Schneider, V.R. (1983). — *Use of flumes in measuring discharge: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations*, book 3, chap. A14, 46 p.
- Laborde J.-P. (2009). — *Éléments d'hydrologie de surface, édition 2009*. Université polytechnique Sofia Antipolis, 192 p.
- Le Bissonnais Y., Cerdan O., Lecomte V., Benkhadra H., Souchère V., Martin P. (2005). — Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion, *CATENA*, **62 (2-3)**, 111-124
- Le Bissonnais Y., Montier C., Daroussin J., King D., Thorette J., Deblonde J-P, (1998). — Cartographie de l'aléa « Érosion des sols » en France. *Études et travaux*, **18**. ISBN 978-2-911089-17-6.
- Ouvry JF (2018) — Innobioma, efficacité des bandes ligno-cellulosiques, érosion et qualité de l'eau, 2 p. Disponible à l'adresse : [https://normandie.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Normandie/506\\_Fichiers-communs/PDF/ENERGIES/innobioma-f3-efficacite-erosion\\_web.pdf](https://normandie.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Normandie/506_Fichiers-communs/PDF/ENERGIES/innobioma-f3-efficacite-erosion_web.pdf)
- Ouvry J.-F., Coufourier N., Richet J.-B., Lhériveau M., Pivain Y., Martin P., Lecomte V., Barrier C., Witkowski D., Saint-Omer L., Corruble C., Luce M. (2012). — *Maîtrise du ruissellement et de l'érosion des sols en Haute-Normandie. Expérimentations sur les pratiques culturales 2001-2010. Synthèse des résultats de ruissellement et d'érosion. Groupe Maîtrise du ruissellement par les pratiques culturales*. 36 p. Disponible à l'adresse : [http://www.areas-asso.fr/wp-content/uploads/2020/06/brochure\\_10ans\\_essais\\_pc\\_ruissellement.pdf](http://www.areas-asso.fr/wp-content/uploads/2020/06/brochure_10ans_essais_pc_ruissellement.pdf)
- Ouvry JF., Le Bissonnais Y., Martin P., Bricard O., Souchère V. (2010). — Les couverts herbacés comme outils de réduction des pertes en terre par érosion hydrique : Synthèse des connaissances et expérience de la Haute-Normandie. *Fourrages* **202 (202)**, pp.103-110.
- Richet J-B, Helloco F. (2009). — Anticipation des désordres hydrologiques majeurs en hiver sous pluie peu intense en Seine-Maritime, *la Houille Blanche*, **6**, 52-55