



Gembloux Agro-Bio Tech
Université de Liège

GISER

Le bassin versant pilote

L'estimation quantitative des pertes en sols en Wallonie est de première utilité dans le cadre de la gestion de l'érosion et du ruissellement. Il apparaît toutefois nécessaire de l'affiner par des données de validation. Or les données de terrain restent très lacunaires, d'autant plus à l'échelle du bassin versant. Cette échelle permet pourtant la connectivité entre les différents paramètres interagissant dans cette problématique. La mise en place du monitoring intensif d'un bassin versant pilote expérimental s'est donc imposée dans la convention cadre Giser.

Convention GISER, UCL-ELIe et ULg-GxABT, financée par le SWP-DGO3-DDR.

Rapport « stand alone » mars 2015.

Résumé non technique disponible sur www.giser.be.

Le choix du bassin versant pilote

1. La sélection

Les critères de sélection des bassins versants ont été les suivants. Le bassin versant expérimental doit :

1. être situé entre Gembloux et Louvain-la-Neuve (dans un rayon de 20 km)
2. être situé en zone agricole (90% au moins)
3. pouvoir être parcouru raisonnablement en une journée (100-250 ha)
4. être représentatif de la région en termes de sol donc à sols limoneux
5. comprendre le moins possible de forêts
6. comprendre le moins possible de territoires artificialisés
7. présenter la plus forte pente possible (percentile 75).

Ces critères ont été appliqués à la carte des micro-bassins versants réalisée dans le WP2 ULg-GxABT du précédent projet GISER.

Treize bassins versants correspondant aux critères ont ainsi été identifiés (Figure 1).

Des visites de terrain ont été réalisées sur les 13 bassins versants afin d'observer certains points, notamment la facilité d'accès, la fréquentation et les possibilités de cacher les appareils de mesure (afin de se prémunir d'un éventuel vandalisme), les possibles reprises de ruissellement par la route (qui obligeraient à redessiner le bassin et les axes de ruissellement) et leur comportement suite aux fortes pluies du 28 juin 2011.

Sur base de cette prospection et des critères cartographiques, 3 bassins ont été visités par l'équipe et un choix a finalement été opéré.

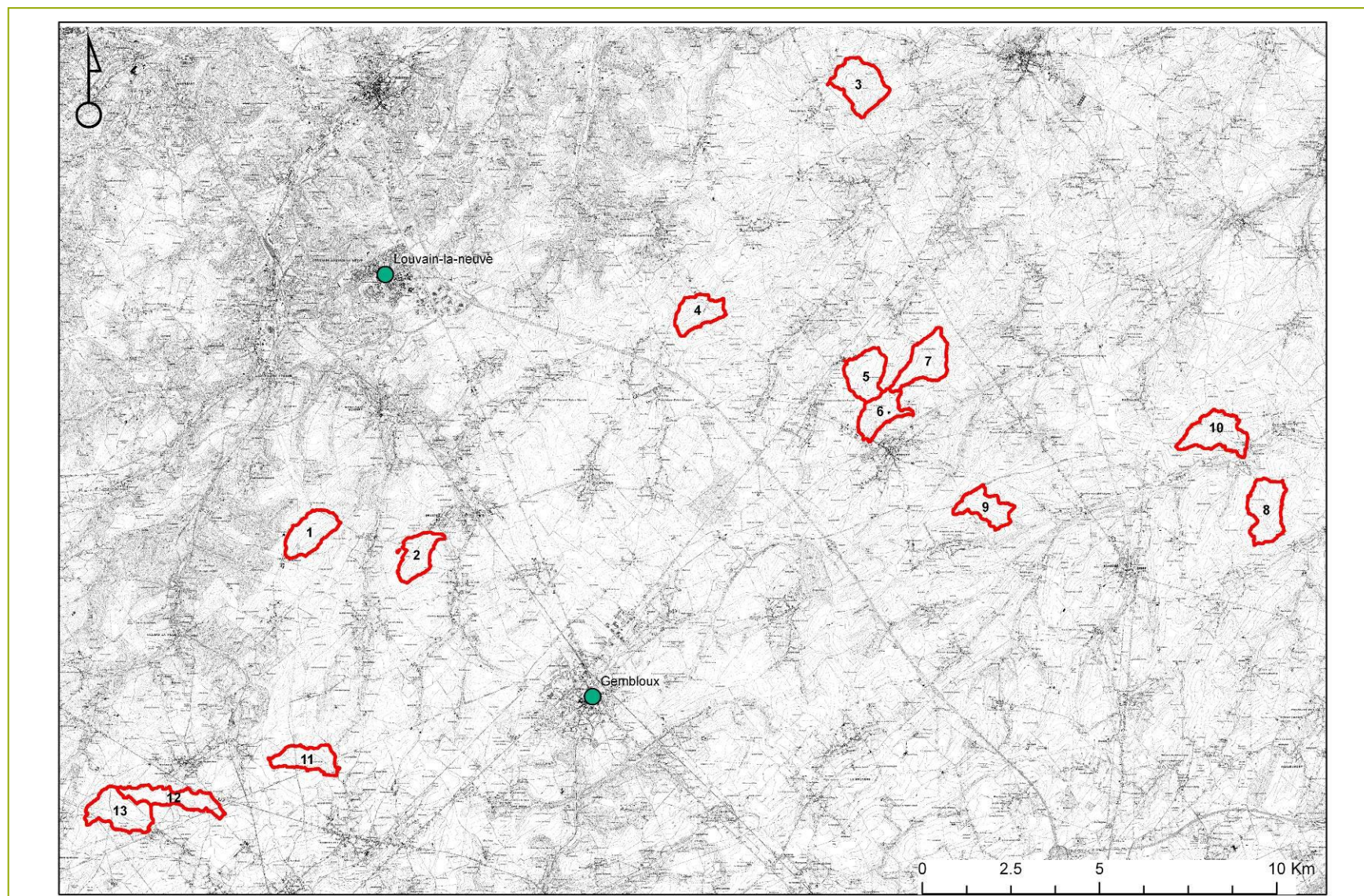


Figure 1. Les 13 bassins versants sélectionnés

2. Présentation du bassin expérimental

Le bassin versant d'Héviliers (Chastre) a finalement été choisi comme bassin pilote pour différents aspects :

- zone calme, possibilité de cacher le matériel
- facilité d'accès à l'exutoire pour la pose des appareils et la prise des mesures
- pas de reprise de ruissellement par la route
- le bassin versant qui le jouxte pourra servir de référence au moment où les aménagements antiérosifs seront apposés dans le bassin pilote (Figure 2)
- son faible nombre de propriétaires qui s'avère être un groupement (domaine du Chenois)
- sa proportion élevée de terres arables et de sols limoneux
- sa faible proportion de territoires artificialisés et de forêts.

Les caractéristiques chiffrées de ce bassin versant sont présentées au Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques du bassin versant pilote

sols limoneux (%)	98
forêts et milieux semi-naturels (%)	0.11
territoires artificialisés (%)	0.25
pente (P75) (%)	4.15
terres arables (%)	98
superficie du micro-BV (en ha)	124
nombre de propriétaires	6
K (en kg.h/MJ.mm)	50.96
temps de route de GxABT (min)	15
temps de route de l'UCL (min)	15



Figure 2. Bassin versant pilote et son voisin

Le relief du bassin versant n'est pas très marqué. L'altitude va de 128 à 161 m. Il s'agit en fait d'un plateau entaillé par des dépressions creusées par l'eau de ruissellement. Au niveau des pentes, celles-ci sont majoritairement faibles sauf au niveau des versants des dépressions où elles deviennent moyennes à fortes avec des valeurs atteignant 10%.

Les sols du bassin versant de Héவில்ers sont des limons, très présents dans la ceinture loessique belge, principalement des Aba¹ ou Abp²(Figure 3). Ces sols ont donc de très bonnes propriétés agronomiques mais font aussi partie des plus sensibles au phénomène érosif. Il existe des variantes de ces sols, principalement liées à l'écoulement d'eau de ruissellement : zones à drainage modéré dans les axes concentrés d'écoulement, colluvions dans les dépressions. Certaines autres textures sont présentes avec notamment des limons sableux ou même des sables limoneux. Ceux-ci se retrouvent dans les pentes les

¹ Sol limoneux à drainage favorable et présence d'un B textural (légende de la carte numérique des sols de Wallonie).

² Sol limoneux à drainage favorable et absence de développement de profil.

plus encaissées au niveau des zones les plus érodées. Ces sols dont les caractéristiques indiquent la présence de dépressions, se trouvent au droit des chemins d'écoulement préférentiel qui se marquent sur le bassin (Figure 2).

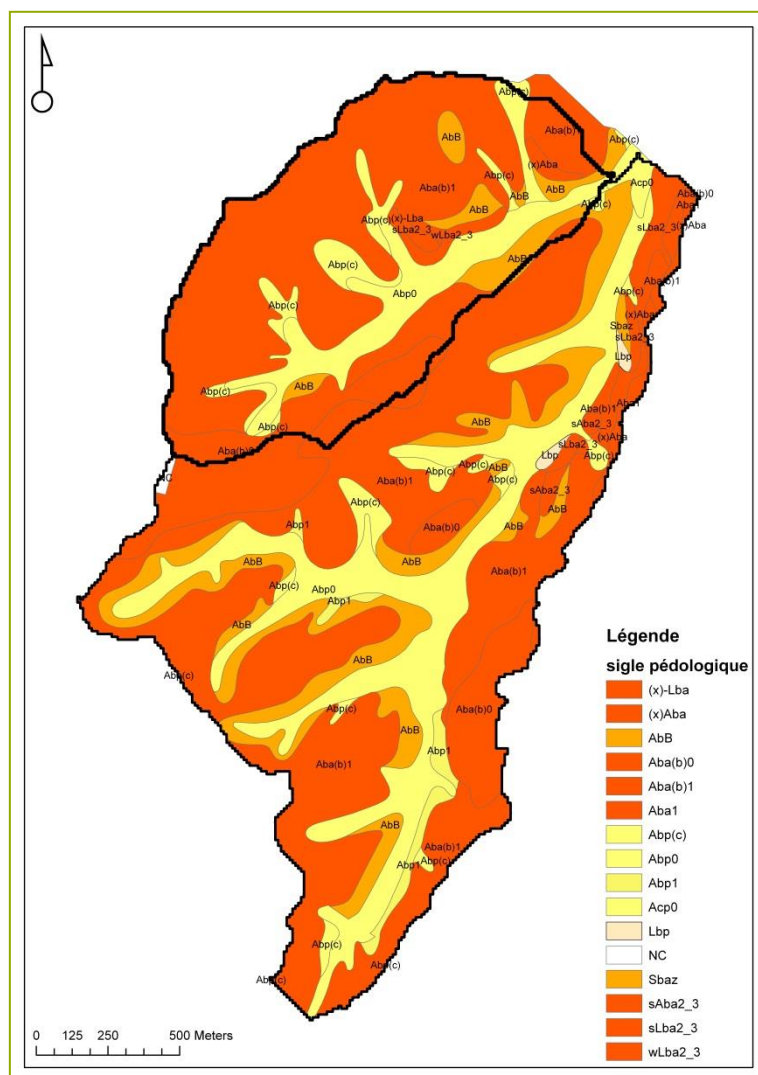


Figure 3. Carte des sols du bassin versant pilote (1956)

En effet en ce qui concerne l'occupation du sol, la présence majoritaire sur ce bassin de terres arables n'est pas neuve : il est cultivé depuis le 14^e siècle.

La comparaison des 3 années de types de culture (Figure 4) montre que l'année 2012 a été la plus sensible à l'érosion avec un pourcentage de cultures sarclées élevé atteignant quasiment les 60%. La différence entre les différentes années s'explique principalement par les superficies de cultures sarclées et non sarclées, les surfaces enherbées étant restreintes à moins de 5% pour les trois années.

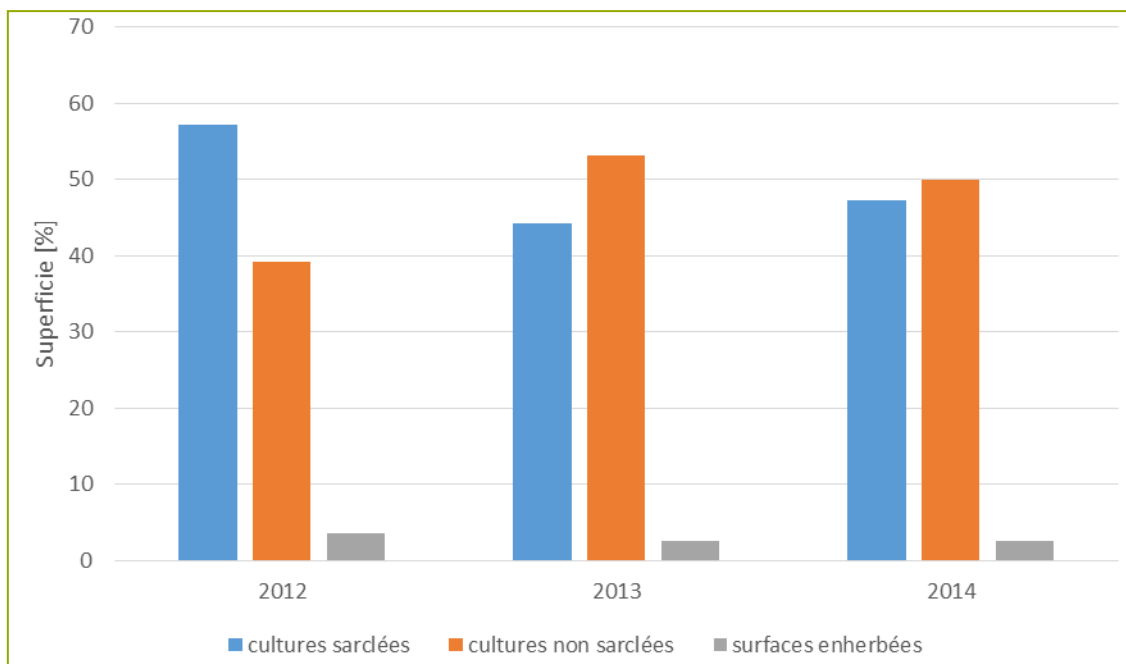


Figure 4. Graphique des proportions de cultures sarclées, non sarclées et surfaces enherbées du bassin versant pilote pour les années 2012, 2013 et 2014

Instrumentation du bassin versant pilote

Le bassin versant pilote de GISER a ensuite fait l'objet d'une instrumentation importante (timing à la Figure 5).

Les données obtenues automatiquement sont de 3 types :

- des données météorologiques,
- des données de débit liquide et
- des données de concentration en sédiments.

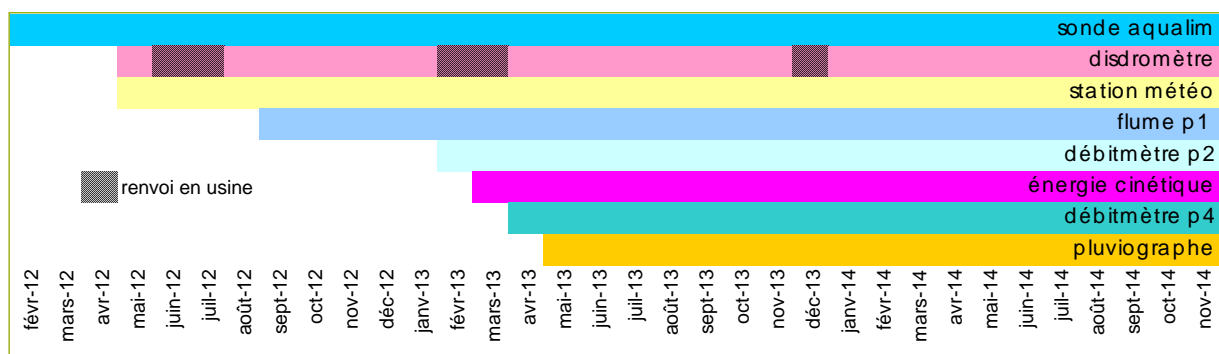


Figure 5. Timing du placement des appareils sur le bassin pilote

Il faut rappeler que la mise en place d'instrumentation automatique ne dispense pas d'un suivi quotidien des instruments, indispensable pour pallier tout problème technique, de connexion ou de dégradation.

Deux tâches sont réalisées en continu :

- a) vérification : données manquantes (y a-t-il une donnée à chaque pas de temps ?) ou données incorrectes (test de vraisemblance) par des vérifications graphiques ;
- b) correction, complétude : données à interpoler.

Les données récoltées par les différents appareils présents sur le site sont analysées et validées plusieurs fois par an par l'ingénieur en charge du suivi dans l'équipe GISER.

1. Données météorologiques

Une station météorologique Campbell® et un disdromètre OTT® ont été installés au centre du bassin versant. La station météo enregistre les données de température, d'humidité relative, de radiation solaire, de vitesse du vent et de hauteur de précipitation via un pluviographe à augets basculeurs. Le disdromètre permet également de mesurer les précipitations et d'autres paramètres tels que la taille des gouttes de pluie, leur vitesse de chute et en déduit ainsi l'énergie cinétique de l'événement pluvieux.

Le Tableau 3.1 résume les données météorologiques enregistrées à la station et leurs caractéristiques.

Tableau 3.1. Paramètres météorologiques mesurés sur le bassin versant expérimental

	<u>Unités du paramètre</u>	<u>Date de début d'enregistrement</u>	<u>Pas de temps</u>	<u>% de NoData</u>
Température	°C	09/05/2012	Mesure toutes les 5 minutes et envoi d'une moyenne toutes les 15 minutes	0.13%
Humidité relative	%	09/05/2012		0.02%
Radiation solaire moyenne	W/m2	09/05/2012		0.03%
Radiation solaire totale	kJ/m2	09/05/2012	Mesure toutes les minutes et envoi d'une moyenne toutes les 15 minutes	0.02%
Vitesse du vent	m/s	09/05/2012	Toutes les minutes	0.24%
Précipitation (disdromètre)	mm	09/05/2012		13.24% ³
Précipitation (pluviographe)	mm	06/05/2013		0%
Energie cinétique de la pluie	kJ	26/03/2013		2.47%

Le disdromètre⁴ a du faire l'objet de quelques renvois au fournisseur mais à ce jour, il est à nouveau fonctionnel.

La Figure 6 illustre les appareils de mesure météorologique présents sur le site et la Figure 7, les différentes données récoltées excepté la pluie, qui sera discutée au point 1.1.

³ Plus les 3 renvois à l'usine pour réparation de plus d'un mois chacun.

⁴ Disdromètre : instrument visant à mesurer la taille des gouttes et leur vitesse de chute via l'atténuation d'un signal laser. Ces paramètres permettent de calculer l'énergie cinétique de la pluie (qui conditionne sa force érosive). Le disdromètre permet également en théorie de quantifier les précipitations.

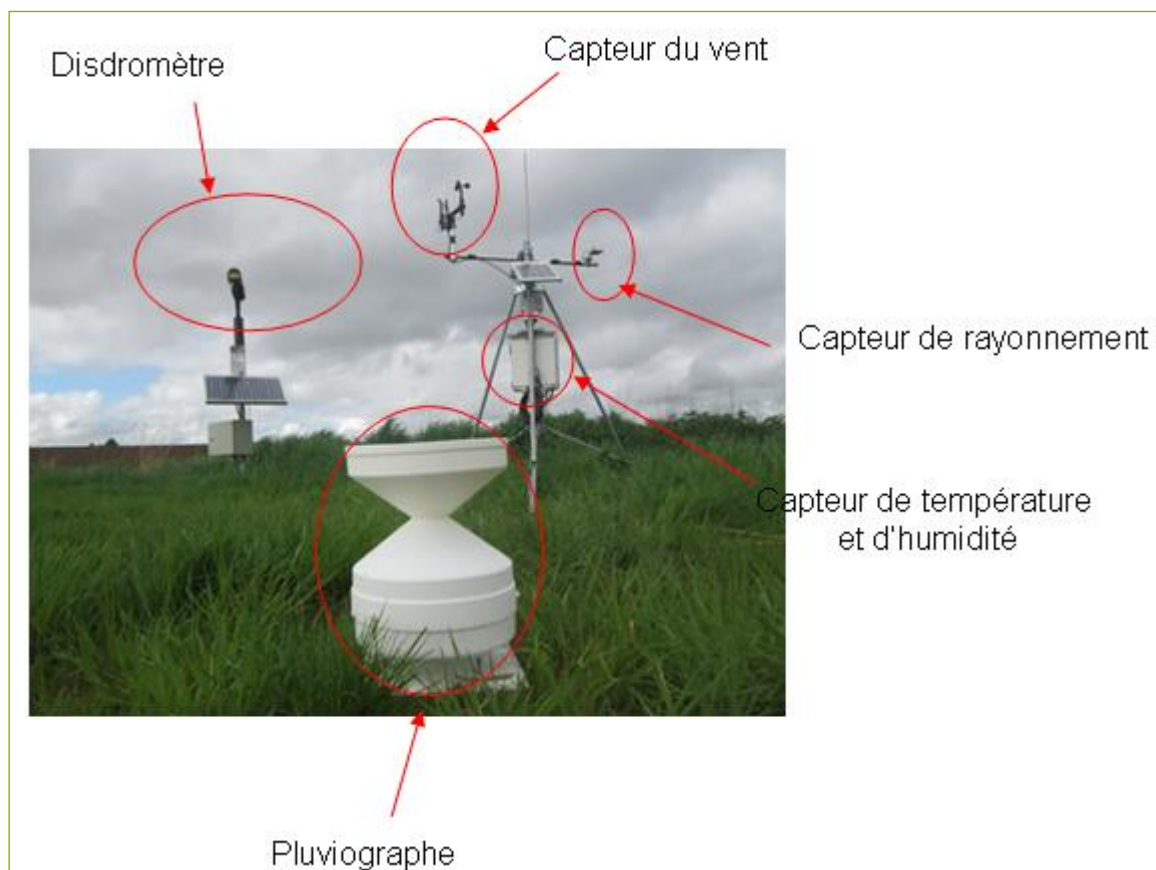


Figure 6. Installations météo sur le bassin pilote

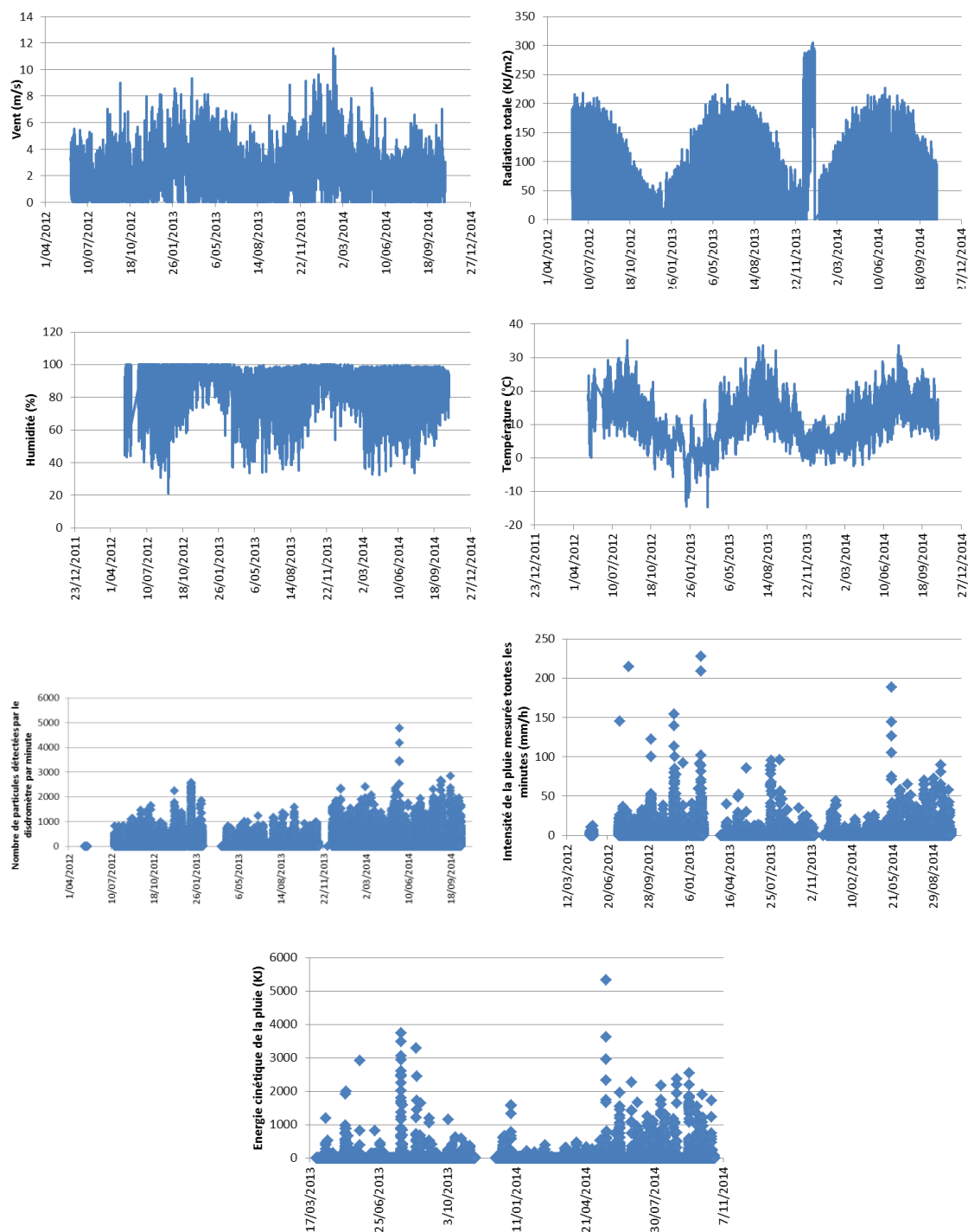


Figure 7. Exemple de données récoltées à la station météo

1.1. Analyse des données de pluie

Deux mesures simultanées des précipitations sont donc réalisées sur le bassin versant, d'une part au moyen du disdromètre et d'autre part, au moyen d'un pluviographe classique.

L'apport du disdromètre est indéniable en ce qui concerne :

- la discrétisation très fine dans le temps de la donnée de précipitation (toutes les minutes alors qu'il faut attendre le remplissage de l'auget de 0.2mm dans le cas du pluviographe),

- la mesure de la taille des gouttelettes de pluie, de leur vitesse de chute et la possibilité d'en déduire l'énergie cinétique et le type de précipitation (via le calcul de la densité des hydrométéores).

Cependant, dans un souci de continuité de l'enregistrement et de validation des données de cumul de pluie, un pluviographe a été installé sur le bassin (6 mai 2013) en complément à la station météo déjà fonctionnelle.

Les fournisseurs et la littérature renseignent les marges d'erreur suivantes pour les deux appareils. Concernant le pluviographe à augets, l'erreur est estimée à 4% pour les taux pluviométriques de 25mm/h, et à 8% pour les taux de 133mm/h.

Quant au disdromètre, l'incertitude est estimée à $\pm 5\%$. Notons toutefois que dans une étude ayant duré 15 mois, Jaffrain (2010) parle plutôt d'une incertitude sur l'intensité de 7 à 25%. Les différentes explications avancées sont les suivantes :

- le vent et la turbulence engendrée (très sensible pour les gouttes de petites tailles) (Löffler, 2000). Cette erreur dans les intensités peut aller jusqu'à 30% pour les plus faibles pluies (la turbulence sur les gouttes de petites tailles engendre plus d'effets sur la trajectoire du fait de leur faible masse) ;
- le disdromètre ne mesure qu'un spectre liquide de 0.2 à 5 mm, il est donc moins précis pour de petits diamètres de gouttes (Löffler 2000) ;
- le passage simultané de plusieurs gouttes à travers le laser peut aussi entraîner une sous-estimation importante des plus petits diamètres (D.Hauser, 1984), et ce d'autant plus que l'intensité est supérieure à 100mm/h (Illingworth, 1987) ;
- une certaine sensibilité à la partie infra-rouge du rayonnement solaire (sous-estimation le jour) (Salles, 1998) ;
- le lieu d'interception du faisceau laser par l'hydrométéore ferait varier la précision de la mesure (Mang, 2000) ;
- enfin, l'interférence liée à des insectes ou des araignées peut dans certains cas affecter les mesures du disdromètre (Jaffrain, 2010).

En synthèse, notre intérêt dans le présent projet étant de quantifier l'érosivité des pluies significatives, générant effectivement du ruissellement et de l'érosion, est relativement peu affecté par les erreurs de mesure des toutes petites gouttes. Il justifie néanmoins le couplage effectué avec un pluviographe, qui devra être notre référence en termes de quantités totales précipitées.

1.1.1. Vérification des données du pluviographe avec celle de la station IRM d'Ernage

Les données enregistrées à la station météorologique de l'IRM située à Ernage (Gembloux) sont utilisées dans ce projet comme base de comparaison avec nos données enregistrées sur le bassin versant de Chastre. Bien entendu, la comparaison des précipitations n'est pas en parfaite concordance vu la distance qui sépare les deux stations. Mais elle permet néanmoins de disposer déjà d'un ordre de grandeur pour comparer nos mesures à une station proche (distance à vol d'oiseau : 20 km).

Le pluviographe est un appareil dont le comportement a déjà été amplement étudié. Une bonne correspondance existe entre les mesures de la station d'Ernage et celles du pluviographe GISER (Figure 8).

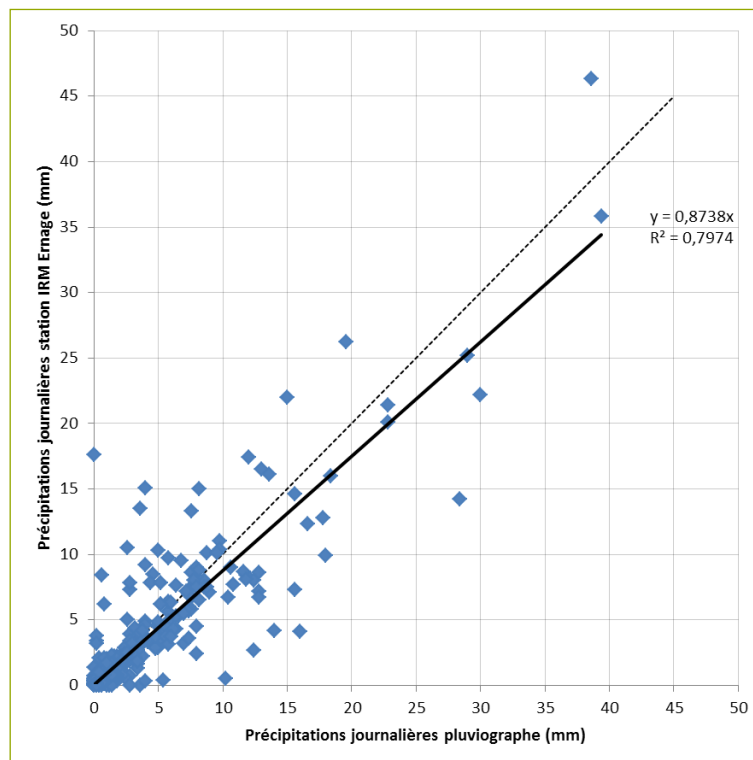


Figure 8. Comparaison des précipitations journalières entre la station d'Ernage et le pluviographe Giser

1.1.2. Vérification des données du disdromètre

Les données du disdromètre peuvent être confrontées à celles du pluviographe et à celles de la station d'Ernage.

Comparaison avec la station d'Ernage

La Figure 9 présente la chronologie des enregistrements pour la station d'Ernage, le pluviographe et le disdromètre. On constate globalement que le disdromètre a tendance à sous-estimer légèrement les précipitations du pluviographe et de la station d'Ernage, ce qui est conforme à la littérature.

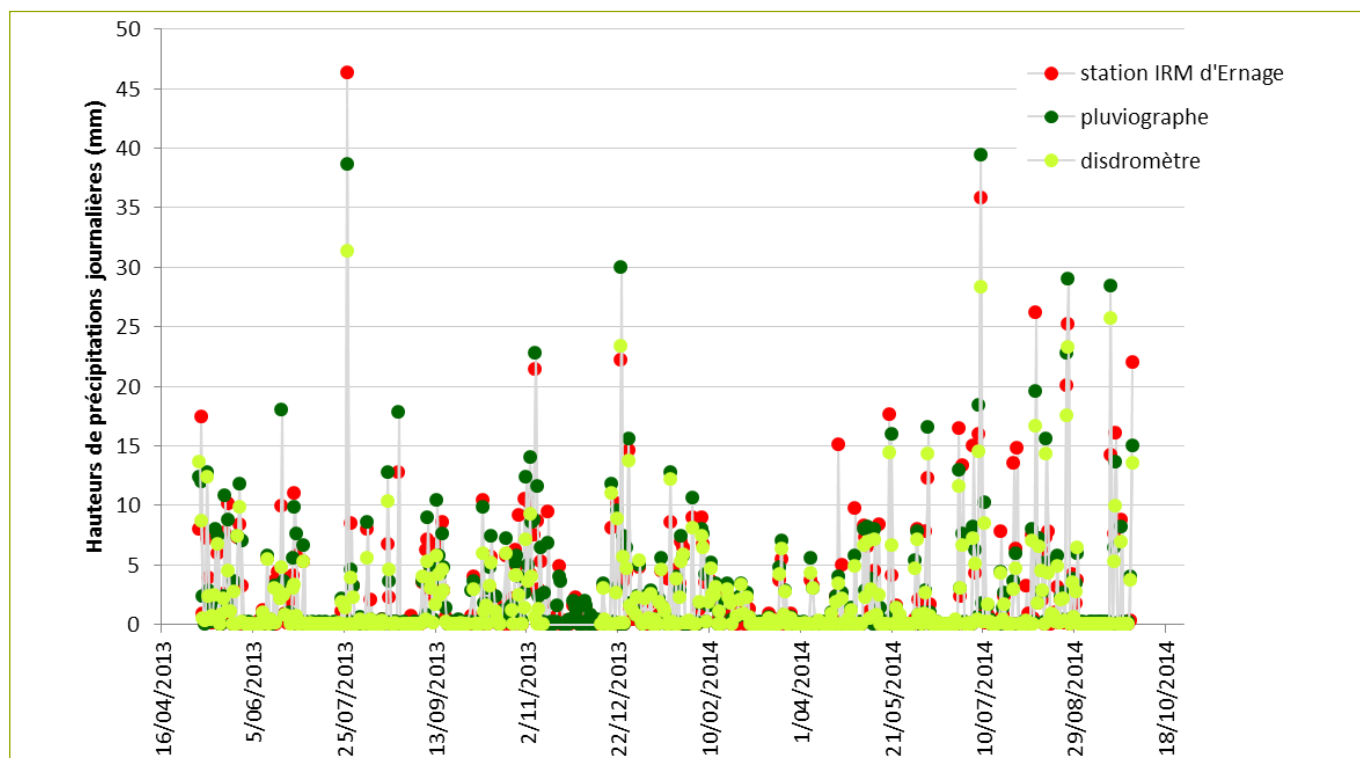


Figure 9. Comparaison des précipitations journalières du disdromètre, du pluviographe et de la station d'Ernage

La Figure 10 présente les précipitations mesurées au disdromètre, en comparaison avec la station d'Ernage et illustre à nouveau la légère sous-estimation du disdromètre. Un point, spécifiquement, tire la courbe vers le haut. Il s'agit d'un évènement particulièrement intense du 27 juillet 2013 qui a pu présenter une forte variabilité spatiale.

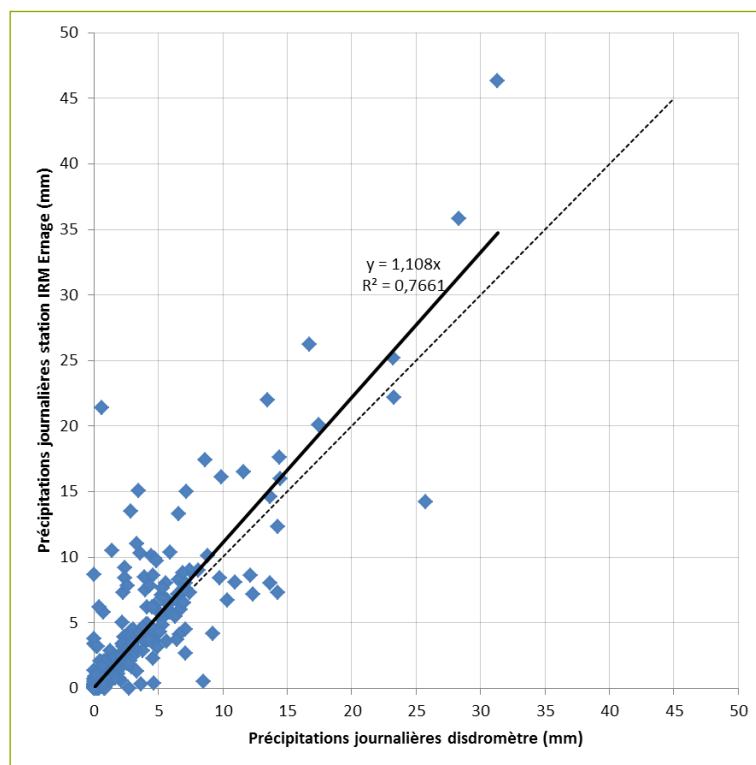


Figure 10. Comparaison des précipitations journalières entre la station d'Ernage et le disdromètre Giser

Comparaison entre le disdromètre et le pluviographe

Rappelons que les mesures brutes issues des deux appareils sont différentes : chaque précipitation mesurée au pluviographe sera un multiple de 0.2 (volume d'un auget) alors que la mesure du disdromètre est fonction de la quantité de précipitation passant à travers le laser.

C'est pourquoi nous agrégeons les observations à leur pas de temps initial de 1 minute en données horaires. La comparaison des évènements pluvieux au pas de temps horaire entre les données du disdromètre et du pluviographe est présentée à la Figure 11.

Une bonne correspondance entre appareils est observée avec à nouveau des valeurs globalement inférieures mesurées au disdromètre. L'analyse des points du graphique qui ne sont pas mesurés au pluviographe alors qu'une valeur a été détectée au disdromètre montre qu'il s'agit des évènements particulièrement intenses du 20 mai 2014 qui ont provoqué un dysfonctionnement des augets. Les points qui tirent à l'inverse la courbe vers le haut sont aussi dus à un évènement particulièrement intense, celui du 27 juillet 2013. Les évènements les plus intenses sont ceux pour lesquels il convient d'être le plus vigilant.

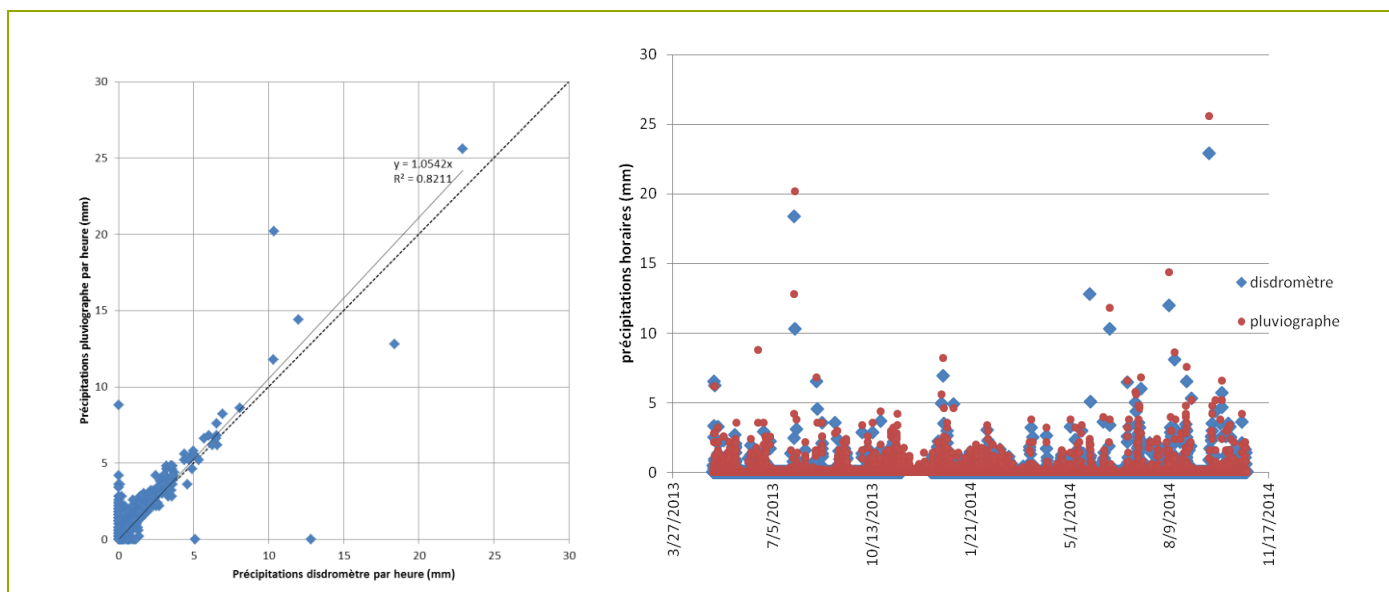


Figure 11. Comparaison des précipitations horaires entre le disdromètre et le pluviographe Giser

Analyse du lien entre les précipitations et leur intensité

Certaines études rapportent que le disdromètre Parsivel reporte un nombre supérieur de petites gouttes pour les plus grandes intensités de pluie (Krajewski, 2006).

Pour vérifier cela dans notre cas, nous soustrayons la valeur mesurée par le disdromètre à celle mesurée par le pluviographe (Figure 12). Les points pour lesquels le disdromètre mesure de plus grandes valeurs que le pluviographe (négatifs en y) sont effectivement ceux des événements particulièrement intenses du 20 mai 2014. Pour les plus grandes intensités, les valeurs en y sont effectivement toujours négatives.

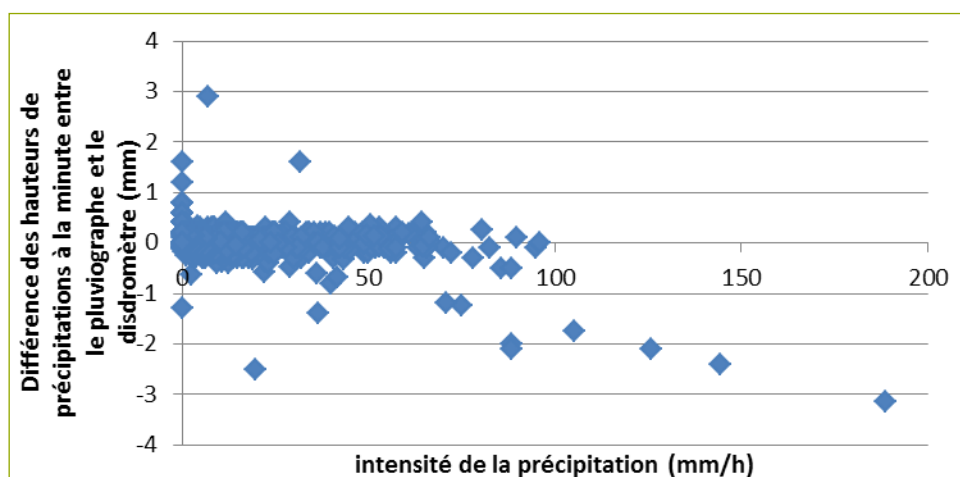


Figure 12. Différences pluviographe-disdromètre en fonction de l'intensité de l'évènement

1.1.3. Conclusions

En conclusion, nous pouvons dire que nous avons des données météorologiques complètes. En termes de mesure de la pluie, le disdromètre reste un instrument récent faisant l'objet de questions pratiques mais permet de calculer l'érosivité de la pluie. Il doit cependant être complété par un pluviomètre ou un pluviographe, ce qui est le cas dans notre BV expérimental.

2. Données de débit liquide

Des mesures de débit sont actuellement effectuées en continu par différentes techniques en 3 points du bassin versant situés sur le chemin des axes concentrés d'écoulement (Figure 13).



Figure 13. Mesures de débit localisées sur le bassin versant

Pour le choix des appareils, l'estimation des débits a été réalisée à l'aide de modèle de calcul tel que le module SCS-Giser (projet Giser 2009-2011) sur base d'une pluie de 24h, avec période de retour de 100 ans, et des conditions antérieures d'humidité moyenne. Le Tableau 2 reprend les caractéristiques des points de mesure instrumentés.

Tableau 2. Points de mesure du débit

<u>Dénomination du point de mesure</u>	<u>Matériel</u>	<u>Seuils de validité des sondes de hauteur</u>	<u>Date de mise en place</u>	<u>Fréquence de mesure (min)</u>	<u>Superficie</u>
Point 1	Canal jaugeur Flume	>2.5cm	10/09/2012	5	2 parcelles 3,94 ha
Point 2	Débitmètre doppler	>5cm	01/02/2013		11 parcelles 84,72 ha
Point 4	Débitmètre doppler	>5cm	25/04/2013		87 parcelles 383,74 ha
	Sonde de pression reliée au réseau Aqualim	>33cm	25/01/2012	60	

Le point 1 est équipé d'un canal jaugeur (flume) permettant de mesurer le débit d'écoulement. A l'intérieur du canal, une sonde de pression permet de déterminer la hauteur d'eau et de la transformer en débit grâce à une calibration préalablement réalisée du canal. La gamme de validité de l'appareil se situe entre 2 et 145 L.s⁻¹. Les données sont collectées et enregistrées à l'aide d'une centrale de mesure et de contrôle CR1000 et envoyée par réseau GPRS deux fois par jour.

Le point 2 est, quant à lui, susceptible de générer des débits supérieurs à 145 L.s⁻¹. Afin de ne pas passer à côté des événements particulièrement intenses qui nous intéressent plus spécifiquement dans le cadre de cette étude, le canal précédent n'a pas été utilisé. C'est ainsi que ce point est équipé d'un débitmètre à effet Doppler qui est un appareil assez récent. Il est installé dans un canal long de 3 m. Le débitmètre envoie des ultrasons dans l'eau de ruissellement qui sont réfléchis par les particules en suspension ou les bulles d'air et lui reviennent. Les ultrasons revenant ont subi un glissement de fréquence par rapport à l'onde incidente qui est fonction de la vitesse de la particule ou de la bulle. En connaissant la section mouillée de l'écoulement, le débit peut être déduit. Le fonctionnement par effet Doppler nécessite l'hypothèse que la vitesse des particules en suspension et des bulles d'air est la même que la vitesse de l'écoulement (Birgand *et al.*, 2005). La gamme de vitesse de l'appareil se situe entre -1,52 et 6,1 m/s. Comme le point 1, le point 2 comporte une centrale de mesure CR1000.

Le point de mesure 4 reprend les eaux de ruissellement des 2 bassins voisins. Il est équipé de la même instrumentation que le point 2 à laquelle a été ajoutée une sonde de niveau d'eau reliée au système Aqualim (installée par l'intermédiaire de la Direction des Cours d'Eau Non Navigables). La sonde et le débitmètre sont installés dans le fossé reprenant les eaux des deux bassins versants. La section du fossé a

été déterminée au mois de février en l'absence de végétation. La sonde de pression reliée au système Aqualim avertit en temps réel par SMS les membres de l'équipe GISER en cas de crues afin qu'ils puissent se rendre sur le bassin versant dans les meilleurs délais pour réaliser des mesures au courantomètre. En effet, le bassin a un temps de réaction très rapide. Ces mesures nous permettent de construire progressivement une courbe de tarage.

Pour tous ces points, les données enregistrées qui seraient sous le seuil de validité du concepteur sont bien entendu exclues de l'analyse des mesures de débit (Tableau 2).

Quant à l'incertitude, le fabricant des dispositifs de Doppler Hach annonce l'incertitude des vitesses à 2% de la valeur mesurée et une incertitude de profondeur de 0.003m.

McCarthy (2008) valide cette gamme d'incertitude au niveau de la profondeur mais souligne que l'incertitude pour la vitesse semble être sous-estimée par le fabricant (particulièrement à de basses vitesses). Huang (2009), trouve, quant à lui, une incertitude relative entre la méthode volumétrique manuelle et le débitmètre Hach Sigma 950 allant de 5.38% à 29.80%, la moyenne étant de 12.82%.

2.1. Analyse des séries chronologiques

L'analyse des séries chronologiques permet de mettre en évidence les événements à caractère exceptionnel et qui se démarqueront peut-être dans leur comportement par rapport aux autres à l'échelle d'une longue série d'observation.

Au point 1, point amont, drainant une parcelle de 4 ha, les caractéristiques de sol et d'occupation du sol sont assez homogènes ce qui permet une interprétation plus aisée des résultats. On constate que les événements pour lesquels des débits de ruissellement sont mesurés ont eu lieu lors des occupations du sol plus vulnérables (cultures sarclées (betterave) et au début de la croissance d'un froment d'hiver (Figure 14)).

Au point 2 (Figure 15) et au point 4 (Figure 16), on constate majoritairement que les événements du 27/07/13, 20/05/14, 10/06/14 et 18/09/14 se démarquent. L'événement hivernal du 25 décembre 2013 de plus de 30 heures se distingue également puisqu'il intervient à une période de l'année où les sols sont plus sensibles au ruissellement.

Au point 4, la série chronologique est composée de points issus des jaugeages ponctuels et des données issues du débitmètre. Ce bassin, d'environ 400 hectares, réagit davantage que les deux autres bassins qu'il inclut.

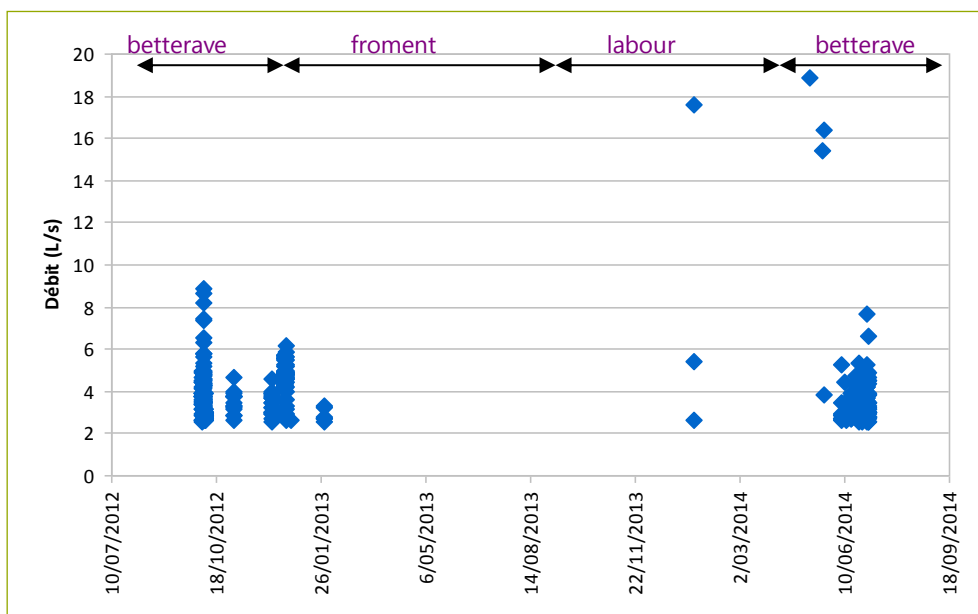


Figure 14. Série temporelle des événements au point1

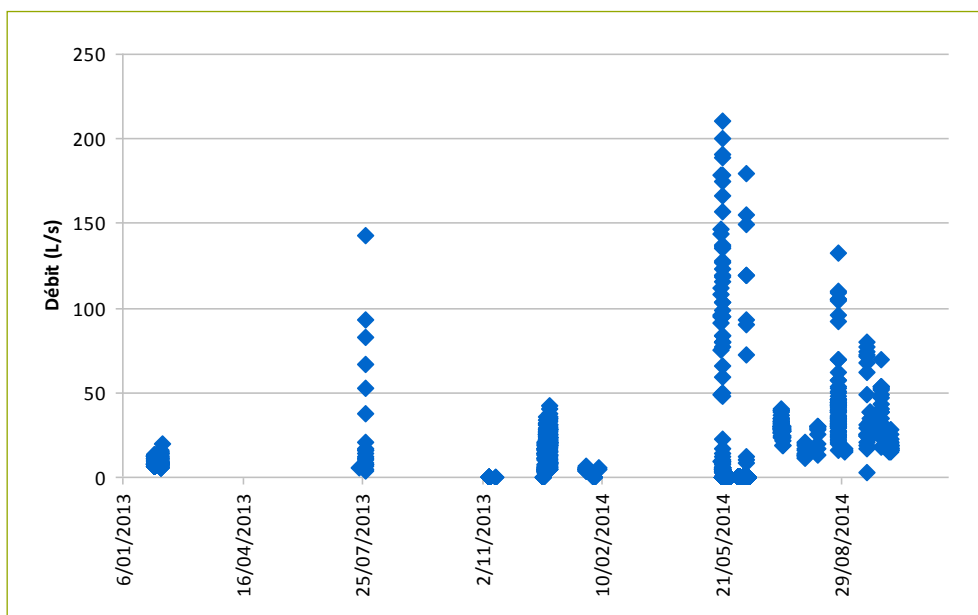


Figure 15. Série temporelle des événements au point2

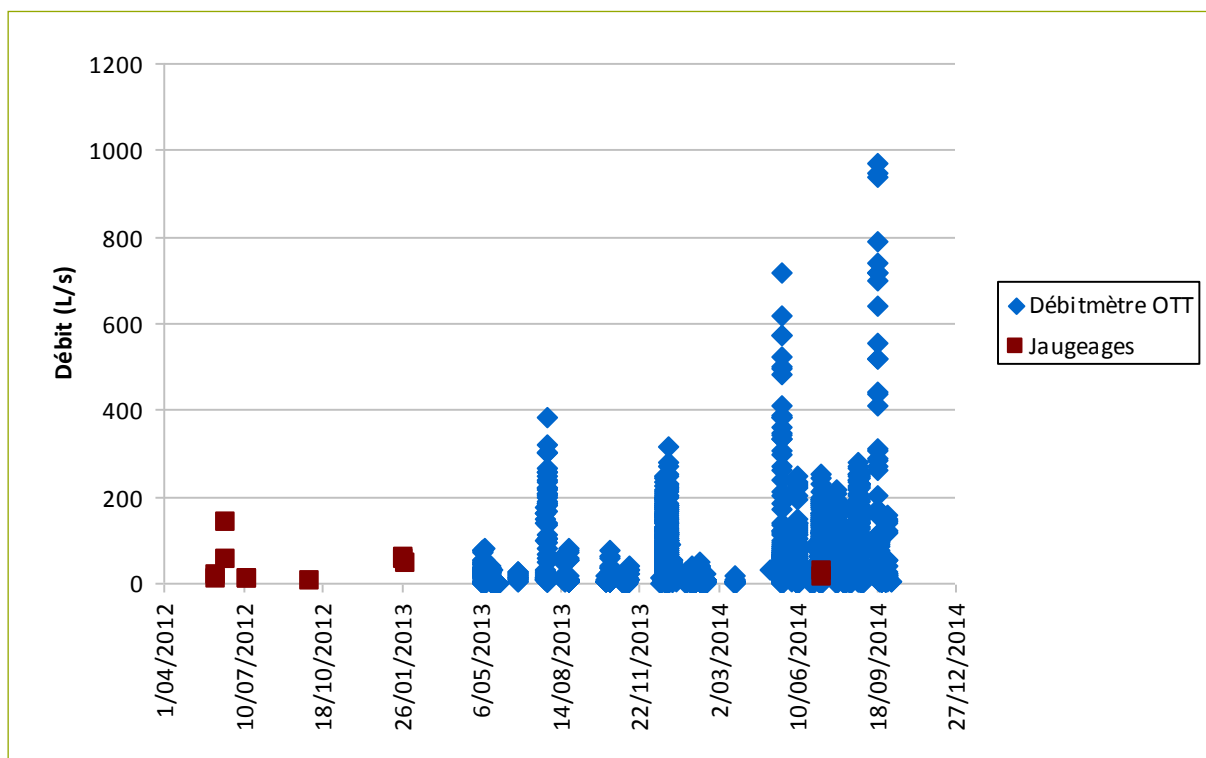


Figure 16. Série temporelle des événements au point 4 avec les points de jaugeage

2.2. Analyses des relations hauteur – débit en lien avec les profils de section

La relation hauteur-débit est analysée pour les points 2 et 4. En effet, au point 1, le flume est un canal de mesure pour lequel une relation univoque existe entre la hauteur d'eau mesurée et le débit.

Au point 2 et au point 4, deux des données fournies par le débitmètre (la hauteur d'eau et le débit) ont été mises en relation (Figure 17). Un canal en bois marin est disposé dans la section au point 2 (Figure 18), tandis que la section au point 4 a été laissée naturelle.

On remarque des points pour lesquels une hauteur était mesurée mais de faible débit enregistré. Il s'agit de l'évènement de 20/05/2014, particulièrement intense et qui a provoqué un amassement de terre dans le canal et en aval de celui-ci juste après cette pluie. L'aval du canal a vu son altitude surélevée par la sonde située dans le canal rendant l'eau bloquée dans le canal à cause de l'amasement de terre.

On constate, pour le point 4, une rupture dans la relation après 40cm, qui est la hauteur à partir de laquelle la section s'évase (Figure 19).

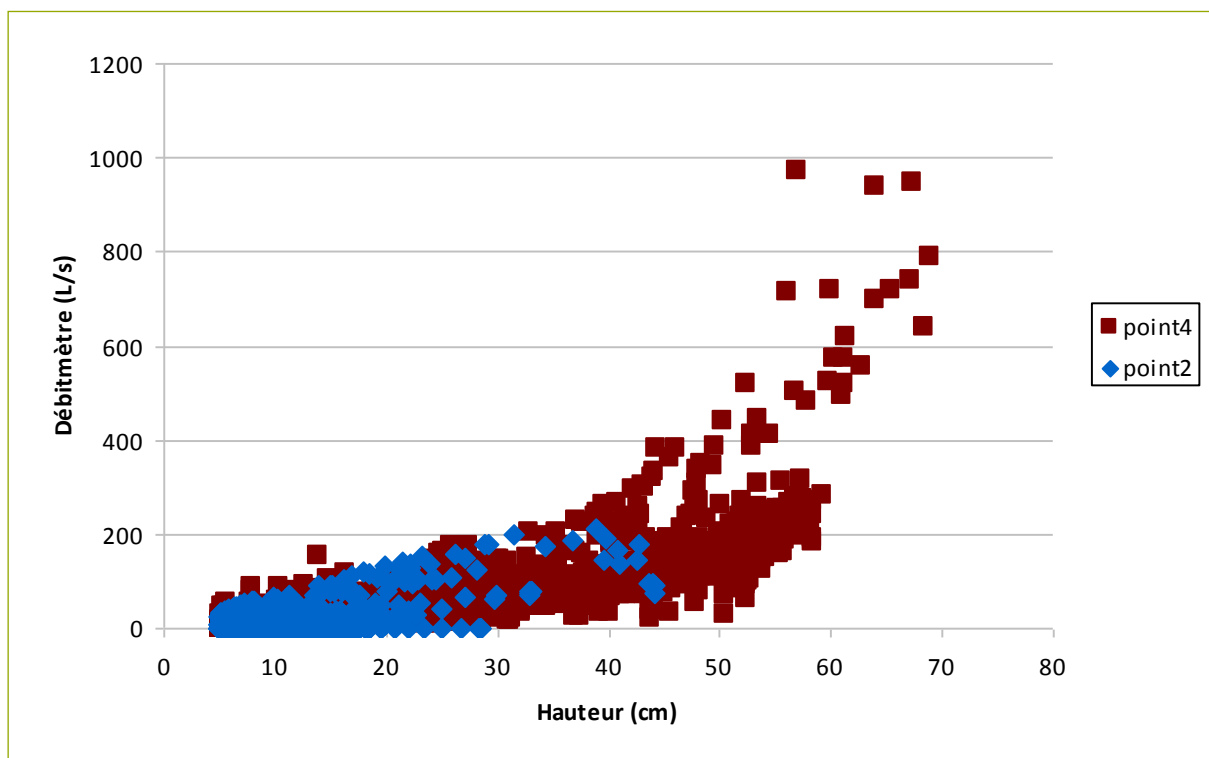


Figure 17. Relation hauteur-débit au point 2 et point 4

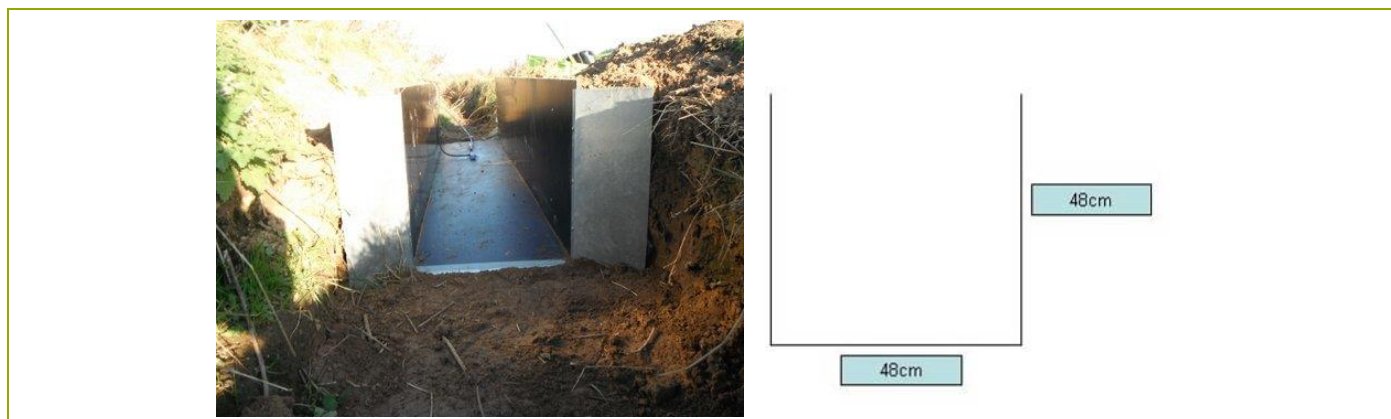


Figure 18. Schéma de la section au point 2



Figure 19. Schéma de la section au point 4

2.2.1. Cas particulier du point 4

Comparaisons des hauteurs : l'influence de la section

La sonde aqualim destinée à avertir en cas de crue peut servir de première validation des ordres de grandeur des hauteurs mesurées par le débitmètre OTT (Figure 20).

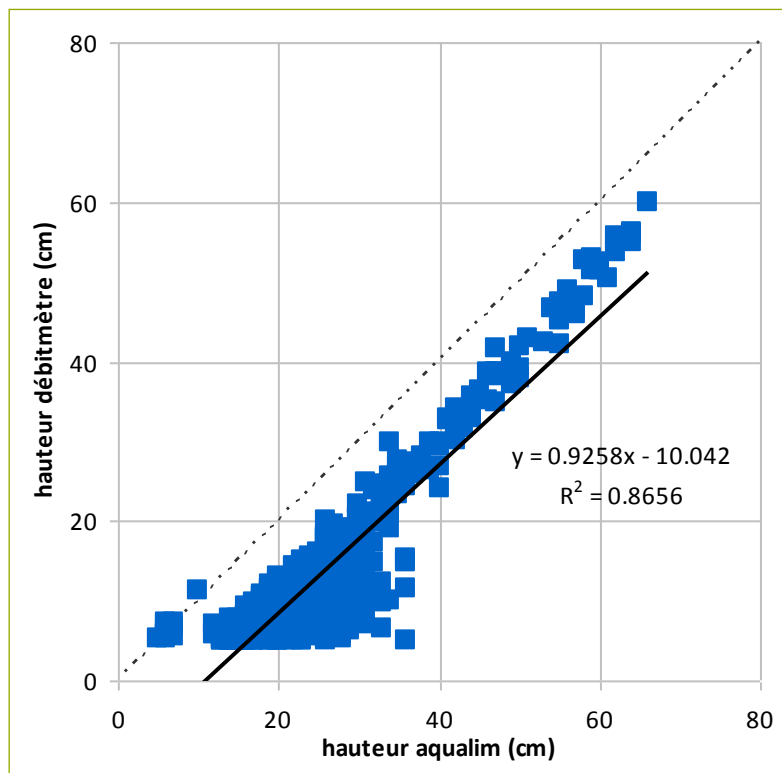


Figure 20. Comparaison des hauteurs au point4

Les mesures des deux sondes suivent la même tendance avec un coefficient de régression non significativement différent de 1 ($p > 0.05$ Minitab 17). On constate toutefois une différence d'ordonnée à l'origine de la droite de régression. Cette différence semble être en relation avec la différence d'altitude entre les deux sondes qui est de 12cm. Mais elle peut être imputée à d'autres causes comme la pente légèrement concave à cet endroit du cours d'eau, une section qui se rétrécit légèrement par la suite, la position de la sonde aqualim davantage en proie à l'envasement, le remaniement fréquent du profil par le passage de vaches, et enfin un relèvement de l'axe hydraulique causé par une contrepente dans la section aval.

Suite à cette constatation, des travaux ont été projetés pour encore mieux protéger l'accès des lieux et pour pouvoir lever cet obstacle en aval du cours d'eau afin de permettre à l'eau de s'écouler sans perturbation.

La courbe de tarage actuellement disponible est présentée à la Figure 21. La relation ne peut être utilisée que dans sa gamme de validité à savoir entre 25cm et 60cm de hauteur d'eau.

On constate clairement dans cette courbe de tarage que deux tendances se dégagent avant et après l'évasement de la section à 40cm (2.2).

On peut voir que le bassin versant réagit très vite. Réaliser un jaugeage est difficile car il devrait être réalisé dans un temps suffisamment court pour avoir une hauteur constante. Les données de débit au cours de la mesure peuvent donc aussi avoir une grande variabilité autour des valeurs de débit estimées par jaugeage classique et démontrent l'intérêt de la technique doppler pour les points amont qui drainent des bassins plus petits encore.

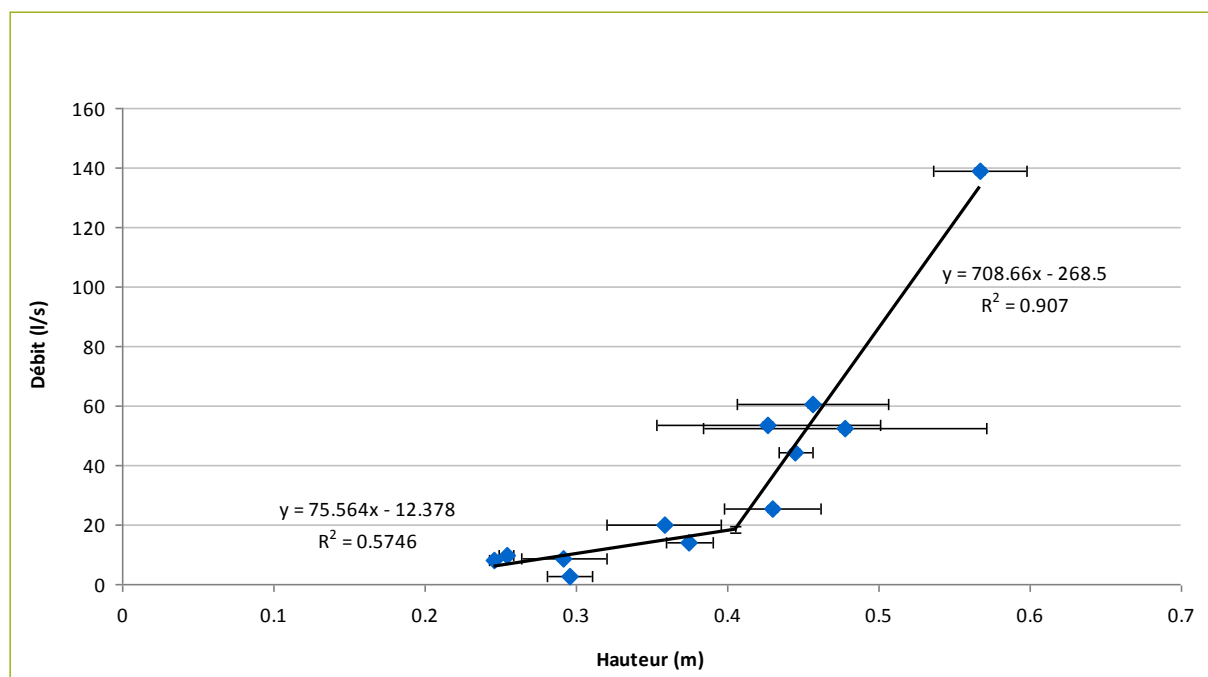


Figure 21. Courbe de tarage établie par jaugeage – point 4

Il apparait clairement qu'une variabilité plus importante est observée au point 4. Nous avons isolé des événements afin d'essayer de relier les différentes relations observées à un éventuel effet de la végétation.

Vérification de la relation de Manning

La validation des données de débit peut également se réaliser à l'aide de la relation de Manning suivante (Chow *et al.*, 1988) :

$$Q = \frac{k}{n} * S * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}}$$
Équation 1

Où :

- Q = débit calculé [l.s^{-1}]
- k = coefficient de conversion [$\text{m}^{1/3}.\text{s}^{-1}$]
- n = coefficient de rugosité [-]
- S = section mouillée [m^2]
- R = rayon hydraulique [m] = P/S avec P = périmètre mouillé [m]
- i = pente du tronçon du cours d'eau [m.m^{-1}]

Pour calculer le coefficient de rugosité, l'Equation 2 est utilisée (Arcement et Schneider, 1989) :

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$
Équation 2

Où :

- n_b = valeur de base de n pour un canal droit, uniforme et lisse en matériau naturel [-]
- n_1 = correction du fait des irrégularités de surfaces [-]
- n_2 = correction du fait des variations de forme et de taille de la section du canal [-]
- n_3 = correction du fait des obstructions du canal [-]
- n_4 = correction du fait de la végétation et des conditions d'écoulement [-]
- m = correction du fait de la sinuosité du canal [-]

Pour le point 4, la valeur du coefficient de Manning est calculée de deux manières différentes selon la période de l'année. Du 1^{er} avril au 31 octobre, la valeur de ce coefficient est :

$$n = (0.02 + 0.008 + 0 + 0.015 + 0.0375) * 1 = 0.0805$$
Équation 3

Où :

- $n_b = 0,02$ (canal lisse formé de sol ferme)
- $n_1 = 0,008$ (degré d'irrégularité moyenne : canal avec une rugosité assez importante et des pentes de berges moyennement érodées)
- $n_2 = 0$ (variation de la section du canal graduelle)

- $n_3 = 0,015$ (obstruction du canal mineure représentant moins de 15% de la section pendant les forts événements pluvieux. La sphère d'influence d'une obstruction n'influençant pas la sphère d'influence d'une autre obstruction. L'obstruction est observée au niveau du puits juste avant le canal pendant les forts événements pluvieux)
- $n_4 = 0,0375$ (effet de la végétation forte : croissance de la végétation là où la hauteur du flux est égale à la hauteur de la végétation, herbes et végétation sur les pentes, peu ou pas de végétation sur le fond du canal)
- $m = 1$ (pas de correction due à la sinuosité du canal)

Du 1^{er} novembre au 31 mars, n vaut :

$$n = (0.02 + 0.008 + 0 + 0.015 + 0.01) * 1 = 0.053$$

Équation 4

Où :

- $n_4 = 0,01$ (effet de la végétation faible à moyenne : herbes en croissance moyennement denses avec éventuellement de jeunes arbres et peu de végétation sur le fond du canal)

La distinction de deux périodes de l'année permet de tenir compte de la variabilité de la végétation au cours de l'année. La relation est linéaire avec une valeur de coefficient de détermination de la régression de 0,8 (Figure 22). La pente de la droite suggère une légère sous-estimation des débits de Manning avec une valeur de 0.9. De plus, l'ordonnée à l'origine de l'ajustement est assez proche de zéro ce qui indique une bonne correspondance pour les débits très faibles ainsi qu'une absence de décalage entre les séries, ce qui est le but premier de cette analyse. L'ajustement est nettement moins bon pour certains points spécifiques qui font tous partie des événements pluvieux intenses déjà largement cités de par leur comportement différent. Il y a pour ces points, non pris en compte dans la droite de régression, une sous-estimation nette des débits calculés selon la relation de Manning.

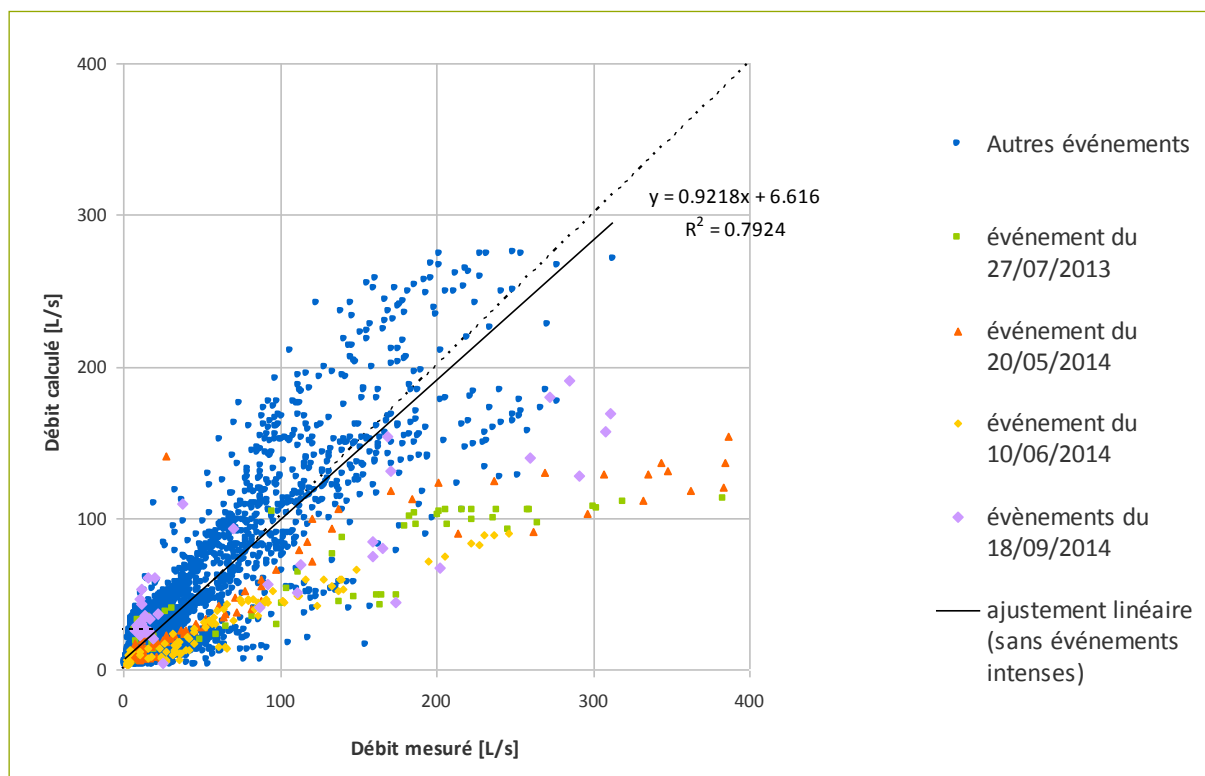


Figure 22. Comparaison des débits calculés selon la relation de Manning ave les débits mesurés au point 4

Confrontation des hauteurs et des débits

La relation hauteur-débit mesurés au point 4 est reprise à la Figure 23.

La régression polynomiale a une valeur de coefficient de détermination de 0,8. Il est de nouveau observable des points dont le comportement discorde par rapport aux autres. Ces points correspondent de nouveau aux pluies intenses du 27/07/2013, du 20/05/2014, du 10/06/2014 et que 18/09/2014 qui ne sont une nouvelle fois pas prises en compte dans la régression présentée.

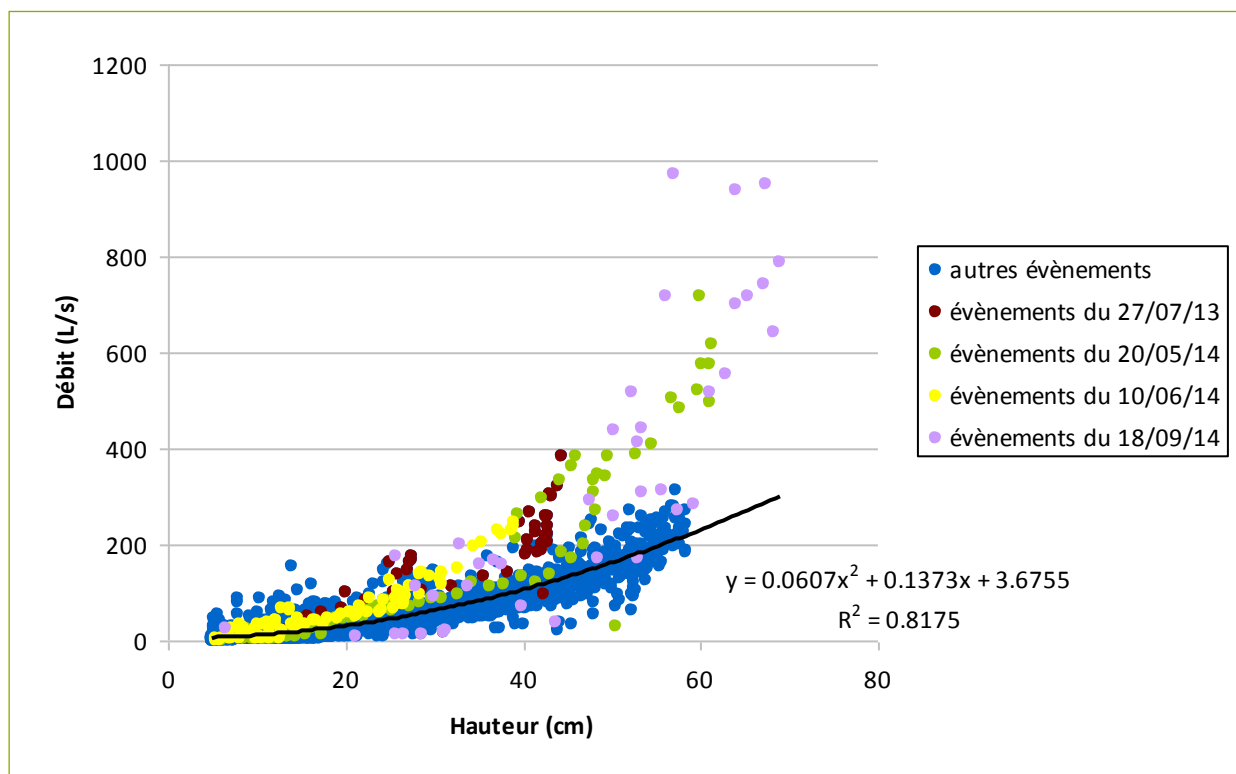


Figure 23. Relation hauteur-débit point4, explication par évènement

2.3. Analyse pluie-débit

Dans ce paragraphe, nous présentons une analyse préliminaire des relations entre pluie et débit aux différents exutoires instrumentés (Figure 24). La comparaison est réalisée à partir de la date à laquelle tous les appareils de mesure de débit ont été présents sur le site (25/05/2013). Les données de précipitation sont issues du disdromètre⁵.

Notons qu'entre novembre et décembre 2013, le disdromètre a été envoyé en maintenance.

⁵ Le pluviographe n'ayant été installé que le 06/05/13, les données issues du disdromètre sont utilisées pour cette analyse.

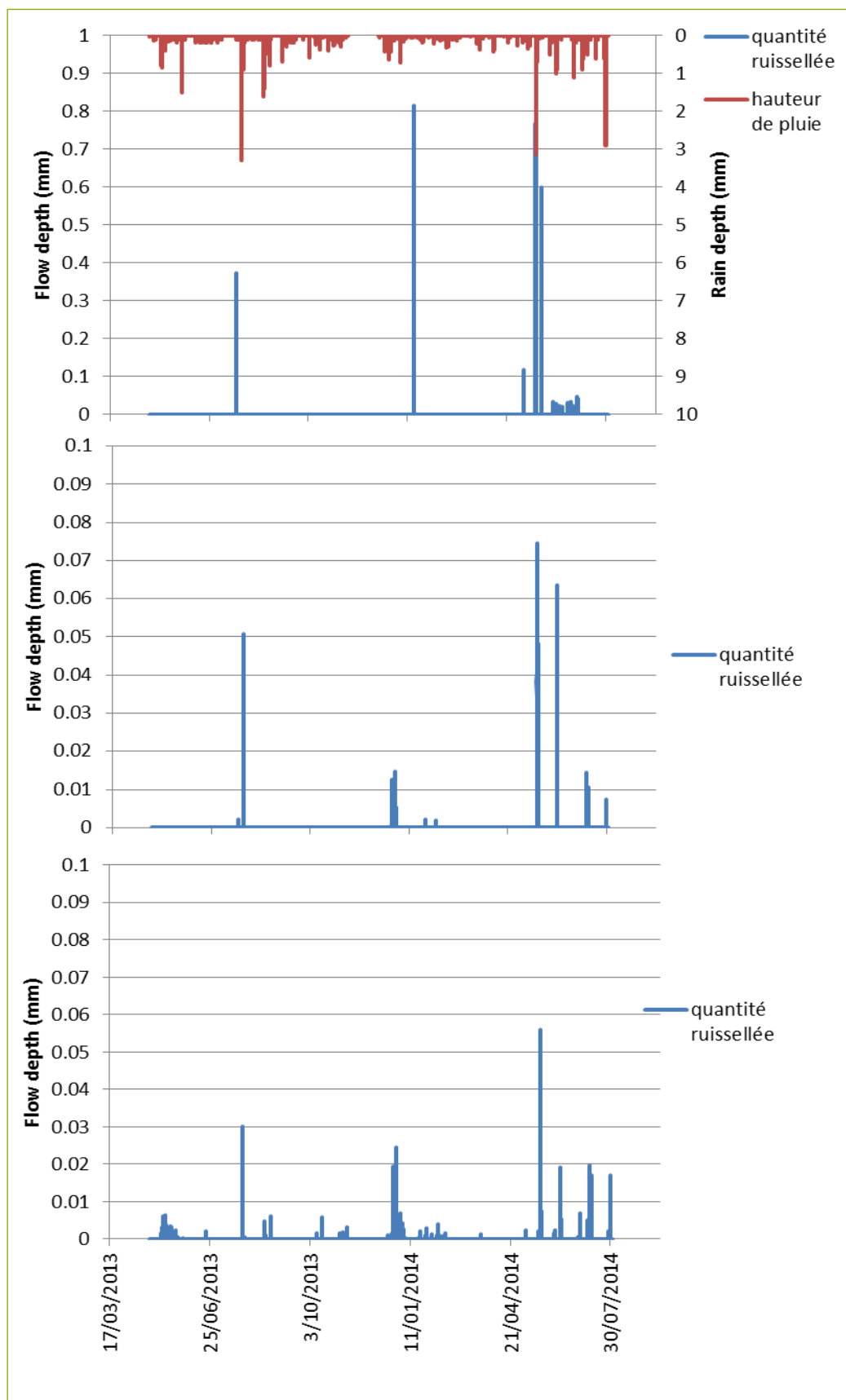


Figure 24. Hydrogramme au point 1 (haut), point 2 (milieu) et au point4 (bas)

2.3.1. Coefficient d'écoulement

Les coefficients d'écoulement (rapport du volume ruisselé sur le volume précipité) sont calculés avec des évènements suffisamment intenses pour pouvoir être isolés afin de relier la précipitation au débit de manière univoque. Le Tableau 3 présente la moyenne des valeurs obtenues pour différents évènements et le coefficient maximum rencontré à ce jour et la date de l'évènement s'y rapportant.

Tableau 3. Coefficient d'écoulement par évènement et par point de mesure

	coefficient d'écoulement moyen	coefficient d'écoulement maximum
Point 1	7.85%	14.85% (20/05/14)
Point 2	2.97%	9.24% (20/05/14)
Point 4	1.94%	6.79% (20/05/14)

On constate ce coefficient diminue à mesure qu'on descend vers l'aval et que le maximum relevé pour les 3 points est lors de l'évènement majeur du 20/05/2014.

2.3.2. Modélisation inversée en vue de déterminer les CN

Connaissant les précipitations et la part de ruissellement (débit ramené à sa surface contributive), on peut aussi en extraire le Curve Number (CN), qui exprime la réponse du bassin versant à la pluie.

Grâce à la fonction de production SCS de rétention-infiltration, on a, lors d'une averse donnée :

$$R = \frac{(P_L - I_a)^2}{(P_L - I_a + s)} \quad \text{Équation 5}$$

Avec,

R=la hauteur de ruissellement [mm] soit la pluie nette ;

PL= la hauteur de précipitation [mm] soit la pluie brute ;

Ia= la perte initiale, qui est la part de l'averse qui s'infiltre en totalité avant le début de la montée de la crue ;

s=un paramètre de rétention [mm] où $s = \left(\frac{1000}{CN} - 10\right) * 25.4$

Possédant les données de ruissellement et de précipitation, les CN de différents évènements suffisamment intenses pour pouvoir être isolés et ayant provoqués du ruissellement peuvent être calculés.

❖ Ainsi, pour le point 1, on estime en première approche des CN allant de 58 à 67 pour les évènements d'octobre et de décembre 2012, et de 90 pour l'évènement du 20 mai 2014.

❖ Pour le point 2, les valeurs sont comprises entre 57 et 88 en février, juillet et décembre 2013, de 88 pour l'évènement du 20 mai 2014 et de 71 pour l'évènement du 18 septembre 2014.

❖ Pour le point 4, les CN obtenus pour les différents événements varient entre 76 et 93, avec une valeur de 87 pour l'évènement du 20 mai 2014 et de 76 pour l'évènement du 18 septembre 2014.

Ces estimations préliminaires représentent des CN au moment de la pluie (l'état initial d'humidité du sol devant être pris en compte) et pour la pente du bassin versant (les tables de CN étant relatives à un CN 2 – conditions antérieures moyennes – pente de 5%).

Il faut toutefois noter que, dans la pratique on utilise $I_a=0.2*s$. Or plusieurs auteurs s'entendent à dire que cette hypothèse récurrente nécessite une recalibration car ils obtiennent des valeurs inférieures. De plus, la valeur de CN fournie par les tables est fixe et ne varie pas en fonction du stade de développement des cultures et de l'état de surface du sol. La valeur de 0.2 a été recalibrée en un λ avec les données du bassin et de celui d'Huldenberg pour des événements pluvieux d'au moins 10 mm dans le cadre de l'étude du ravinement temporaire (Voir le stand alone Giser « Mise au point d'un modèle de ravinement temporaire ». La valeur optimale est déterminée en fonction de la valeur de la pluie, du volume total d'eau de ruissellement mesuré à l'exutoire et des caractéristiques du bassin versant (CN moyen pondéré (CN_p) selon Van Oost, 2003). Les valeurs ont été comprises entre 0.05 et 0.25 et l'Equation 6 a été avancée :

$$\lambda = 0.7242 - 0.0830 * P_L - 0.0103 * CN_p + 0.0013 * P_L * CN_p \quad \text{Équation 6}$$

Disposant des données nécessaires avec les données acquises sur le bassin, c'est dans ce cadre que nous nous proposons de fournir une meilleure calibration à ce paramètre.

Pour cela, les données du bassin versant ont été utilisées dans l'équation développée. A ce stade, l'analyse des résultats montre qu'il serait bon de considérer des événements pluvieux plus larges qu'actuellement.

De plus, une analyse des pluies maximum qui ne génèrent pas de débit sera réalisée pour voir s'il est possible d'établir une routine d'extraction de ces événements de manière univoque. Une étude préliminaire a montré que le pas de temps auquel sont agrégées les mesures est un paramètre très sensible faisant varier la durée efficace (durée pendant laquelle un événement a atteint une certaine intensité). Celle-ci influence très rapidement les volumes ruisselés et ce pour de petites variations. Le pas de temps ayant montré les meilleurs résultats se situait encore 6 et 30 minutes.

En outre, la prise en compte de l'humidité initiale du sol est un facteur majeur dans ce calcul. Certaines pratiques consistent à le prendre en compte par un paramètre d'humidité du sol (Swat, 2009) mais qui restent plus difficile à quantifier ou par le cumul des pluies antécédentes, en général sur 5 jours (Suresh Babu and Mishra 2012, Gao 2012). Une étude bibliographique est en cours dans le but d'intégrer ce paramètre dans le modèle de calibration.

2.4. Conclusions

Les paragraphes qui précèdent illustrent les prémisses de vérification et de pistes que nous allons utiliser à l'avenir dans l'analyse continue de la qualité des données acquises sur le bassin versant. Il faut noter que l'instrumentation mise en place sur le bassin versant expérimental fournit toutes les données

nécessaires pour cela. Toutefois, la durée des enregistrements reste encore relativement courte et l'effort de monitoring doit être maintenu pour permettre d'atteindre cet objectif.

A ce stade et vu l'incertitude de la courbe de tarage, les données acquises par les débitmètres doppler peuvent être considérées comme satisfaisantes.

3. Données de débit solide

A chaque point de mesure de débit, un échantillonneur automatique est installé, contenant 24 flacons de 500 ml et effectuant un prélèvement toutes les 5 minutes lors d'un événement pluvieux ruisselant dont la hauteur d'eau est supérieure au seuil défini pour l'échantillonnage. Ces seuils sont respectivement de 2.5cm, 5cm et 20cm pour les points 1, 2 et 4.

Les concentrations en g/L actuellement mesurée par point de mesure sont représentées à la Figure 25. D'autres événements ont été échantillonnés mais n'ont pas encore été analysés.

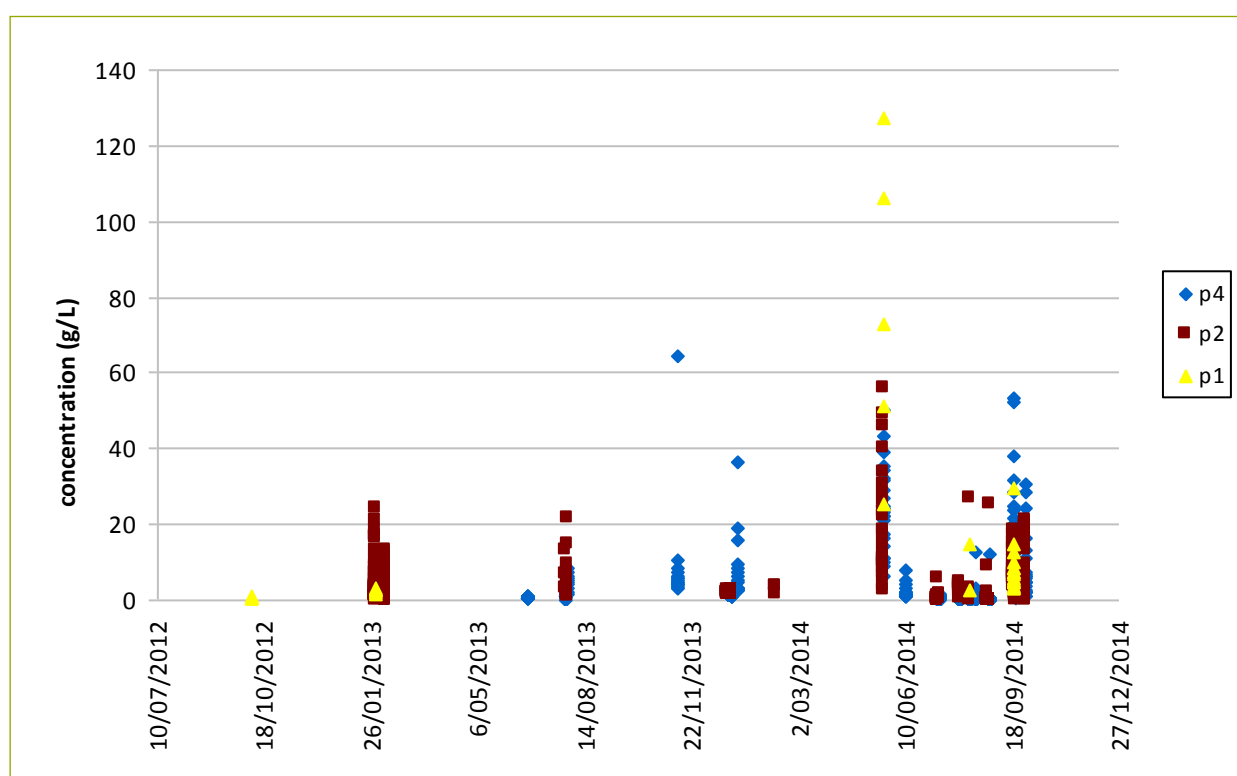


Figure 25. Concentrations des prélèvements en g/L

Les échantillons, une fois séchés et pesés, sont conservés pour d'éventuelles analyses ultérieures telles que des analyses granulométriques pour étudier l'influence du type de sol sur le ruissellement. Des analyses du phosphore dissout dans l'eau de ruissellement et du phosphore total dans les sédiments seront réalisées prochainement en collaboration avec GxABT.

4. Bibliographie

McCarthy D.T. et al., 2008. Uncertainties in stormwater E. coli levels, *Water Research*, 42 : 1812-1824.

Spencer K.L. et al., 2011. A novel tracer technique for the assessment of fine sediment dynamics in urban water management systems, *Water Research*, 45: 2595-2606.

Huang J. et al., 2010. Uncertainties in stormwater runoff data collection from a small urban catchment, Southeast China, *Journal of Environmental Sciences*, 22: 1703–1709.

Boudevillain B., 2006. *Etude comparée de la mesure granulométrique et volumétrique des précipitations*. Rapport de synthèse programme de recherche Pôle Grenoblois d'Etudes et de Recherche pour la Prévention des Risques Naturels.

Jaffrain J., Berne A., 2011. Experimental Quantification of the Sampling Uncertainty Associated with Measurements from PARSIVEL Disdrometers, *Journal of hydrometeorology*, 12.

Löffler-Mang M., 2000. An Optical Disdrometer for Measuring Size and Velocity of Hydrometeors, *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 17.

Birgand, F., Benoist, J.C., Novince, E., Gilliet, N., Saint-Cast, P., Le Saos, E., 2005. Mesure des débits à l'aide de débitmètres ultrasoniques Doppler: cas des petits cours d'eau ruraux. *Ingénieries*. 41 : 23–38.

Arcement, G.J., Schneider, V.R., 1989. Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and floodplains. *United States Geological Survey Water-Supply Paper*, 2339: 1-67.

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. *Applied hydrology*. McGraw-Hill International Editions.

Neitsch S.L. & al., 2011. *SWAT Theoretical documentation*. Technical Report No. 406, Texas Water Resources Institute, USA.

Suresh Babu P. and Mishra S. K., 2012. Improved SCS-CN-Inspired Model. *Journal of Hydrologic Engineering*. 17, 1164-1172.

Gao G.Y. & al, 2012. *Coupling the modified SCS-CN and RUSLE models to simulate hydrological effects of restoring vegetation in the Loess Plateau of China*. *Hydrology and Earth System Sciences*. 16, 2347–2364.

Van Oost K., 2003. *Spatially distributed modelling of surface runoff*. Thèse de doctorat, K.U. Leuven.

Contact :

Cellule GISER
c/o SPW-DGO3-DDR
Av. Prince de Liège 7
5100 Jambes
081 336 471
aurore.degare@ulg.ac.be