

Industrial Fellowship FLASHFLOOD (01.12.2018 – 30.11.2020)

Autorenschaft: mehrere

Nachdem Luxemburg in den letzten Jahren wiederholt von heftigen Starkregenereignissen getroffen worden ist (22/07/2016 in Christnach: 20.3 mm/10min, 53.1mm/1h, 70.1mm/6h; 01/06/2018 in Waldbillig: 15.5mm/10min, 72.6mm/1h, 100.6mm/6h), wurden verschiedene Strategien entwickelt, um die potentiellen Schäden dieses hydrometeorologischen Gefährdungsrisikos zu reduzieren. Die internationalen Klimamodelle prognostizieren eine Zunahme meteorologischer Extremereignisse in Häufigkeit und Intensität durch den klimatischen Wandel (Fischer et al. 2014, 8558). Nichtsdestotrotz sind die derzeit zur Verfügung stehenden Werkzeuge zur Minimierung von Hochwasserrisiko, wie zum Beispiel das Monitoring und die Vorhersage von Hochwasserereignissen, nicht so einfach auf Starkregenereignisse übertragbar (Bronstert et al. 2017, 160). Konventionelles Hochwassermonitoring und dessen Vorhersagemodelle sind in erster Linie entwickelt worden, um großflächige (Winter-)Hochwasser nach langanhaltendem Regen vorherzusagen. Die operationelle Vorhersage von Starkregenereignissen stellt heutzutage eine noch größere Herausforderung dar.

Drei große Unsicherheitsfaktoren prägen den derzeitigen Wissenstand um die Starkregenvorhersage und das Monitoring von Sturzfluten. Zum einen sind eine präzise räumliche Vorhersage von Starkregen sowie die Vorhersage der Intensität der meisten konvektiven Ereignisse derzeit nur mit sehr kurzer Vorwarnzeit möglich (Bronstert et al. 2017, 151; Reich et al. 2018, 21). Zum anderen ist die Dichte von konventionellen Monitoringnetzen oft zu grob, um die sehr kleinräumigen Wolkenbrüche zu erfassen und zu messen (Abbildung 1). Letztendlich eignen sich die meisten Hochwasservorhersagemodelle nur begrenzt für die sehr spezifische räumliche und zeitliche Skala, auf der sich ein Starkregenereignis abspielt.

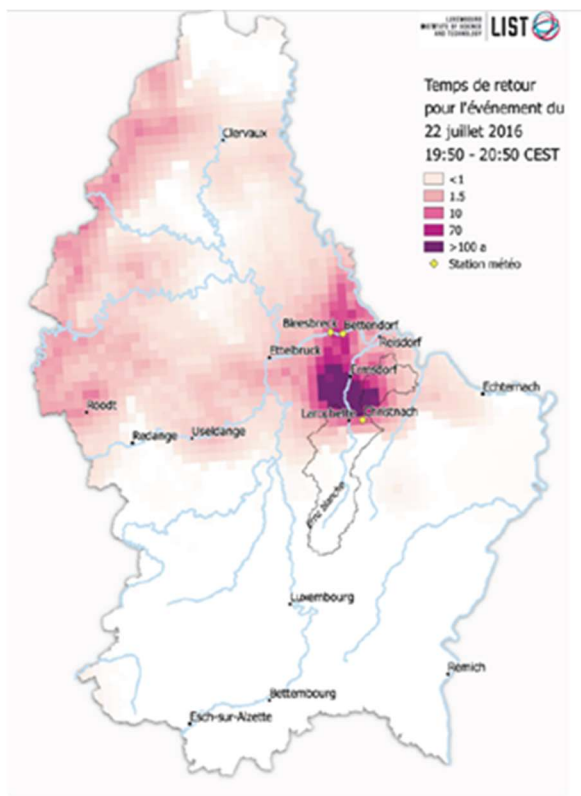


Abbildung 1: Jährlichkeiten für das Starkregenereignis des 22 Juli 2016 (LIST, 2018)

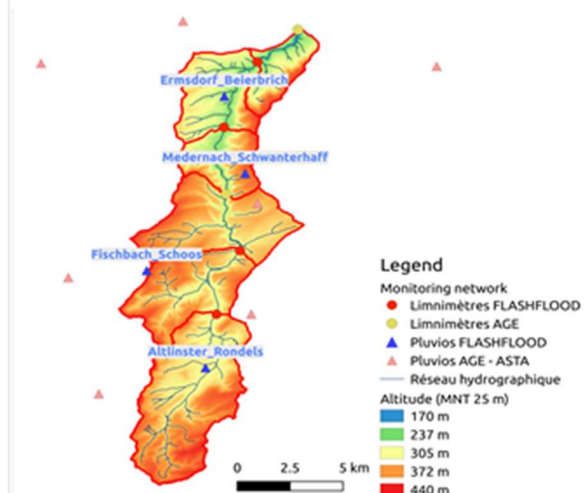


Abbildung 2: Einzugsgebiet Weiße Ernz und Monitoringnetz (Douinot A. et al., 2019)

Demzufolge werden neue Methoden zum besseren Monitoring der hydrologischen Prozesse während des Starkregenereignisses dringend benötigt. Die luxemburgische Wasserwirtschaftsverwaltung (AGE), zuständig für Hochwasservorhersage und -monitoring, hat daher in Zusammenarbeit mit der POST Telecom Luxemburg und dem Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST) ein Forschungsprojekt zur Entwicklung neuer Monitoringmöglichkeiten und zur Verbesserung der Vorhersage von Sturzfluten gestartet. Im zweijährigen, vom Fonds National de la Recherche finanziell unterstützten Public-Private-Partnership (PPP) Projekt „Flash Flood“ forscht man daher seit Beginn 2019 am Monitoring des Phänomens Starkregen.

Als Testgebiet dient das Einzugsgebiet der weißen Ernz. Als Nebengewässer der Sauer entwässert die weiße Ernz auf einer 27.5 km langen Gewässerstrecke ein 101 km² großes Gebiet. Das Einzugsgebiet der weißen Ernz zeigt eine wechselhafte Topographie. Die Höhe im Quellgebiet liegt bei 421 m und im Mündungsbereich in Reisdorf bei 177 m (Abbildung 2). Das mittlere Gefälle liegt bei 0.9 %. Hier fielen am Abend des 22. Juli 2016 extreme Niederschläge. Das Starkregenereignis wird auf mehrere konvektive Zellen zurückgeführt. Während sich eine gegen 19:30 Uhr in der Nähe von Longsdorf bildete,

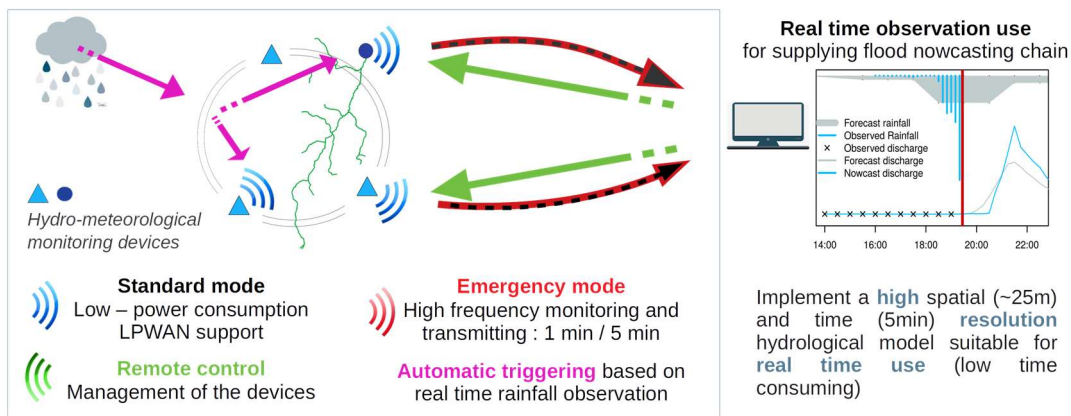
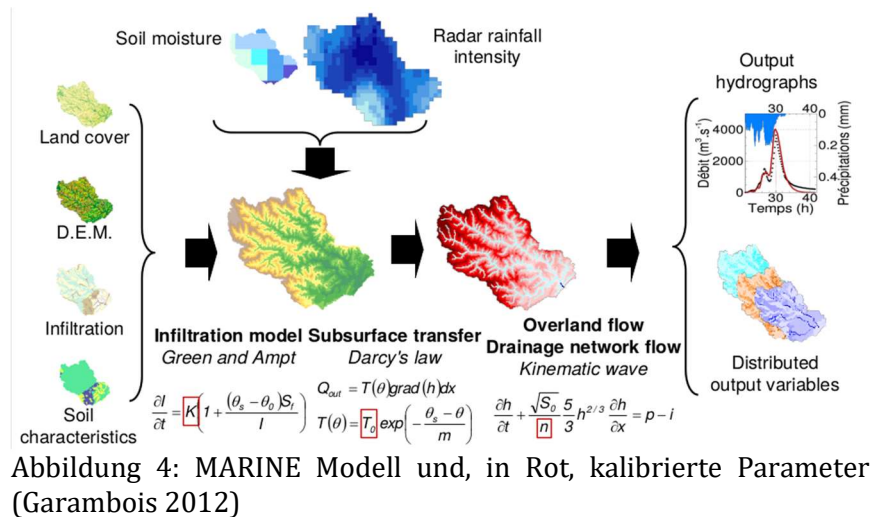


Abbildung 3: Schema des LPWAN-Starkregenmonitoring Setups (Douinot et al., 2019). Die Netzwerkverbindungen laufen über LPWAN im Standard Modus und schalten ins Mobilfunknetz, wenn der Notbetrieb ausgelöst wird. Die Daten können dann in Echtzeit verwendet werden, um ein hydrologisches Modell anzutreiben.

befand sich eine zweite zur selben Zeit über Larochette. Diese quasi-stationäre Gewitterwolke wurde immer größer und stärker bevor sie gegen 20:00 Uhr mit der Gewitterwolke über Longsdorf zusammenstieß. Eine dritte Gewitterzelle bildete sich später im Süden Echternachs, wanderte westwärts und verstärkte das Ereignis weiter. Obwohl in der näheren Umgebung des Ereignisses 6 Pluviometer standen und in Christnach ein Regenmesser im Einzugsgebiet steht, wurde das Ereignis nur teilweise erfasst (Abbildung 1).

Im Testgebiet der weißen Ernz wird daher nun ein sehr dichtes Messnetz, bestehend aus 4 Limnigraphen, 4 Niederschlagsmessern und Bodenfeuchtemessern aufgebaut (siehe rote Kreise und blaue Dreiecke in Abbildung 2). Hier soll die Hypothese getestet werden, dass die Unsicherheit in Verbindung mit dem Monitoring von extremen Regenereignissen durch die Erhöhung der Messdichte signifikant reduziert werden kann. Zudem sollen diese verbesserten und dichteren Messungen eines Regenereignisses die Entwicklung von Vorhersagemodelle von Starkregenereignissen vorantreiben.



Durch die Einbindung neuer Verbindungstechnologien im Bereich von IoT-, 5G- und LPWAN-Konnektivität werden alle Geräte im Test-Einzugsgebiet über ein Cloud-System miteinander verbunden (Abbildung 3). Durch dieses „Smart Monitoring“ können die Messintervalle jederzeit angepasst werden. Es wird zum Beispiel der Nutzen eines „Emergency Mode“ getestet, so dass die Messgeräte ihre Aufzeichnungen, bei Registrierung eines intensiven Regens in den Niederschlagsmessern, in allen Geräten in einen höher getakteten Modus umschalten. Zudem erlaubt diese Art der Verbindung eine ständige Überwachung des Monitoringnetzes, das Einstellen verschiedener Alarmstufen sowie ein Gerätemanagement und Fernwartung.

Schlussendlich sollen die in Echtzeit gewonnenen Daten über das Modell MARINE (Abbildung 4) das Starkregenereignis simulieren. Das Modell MARINE wurde speziell für extreme Regenereignisse entwickelt und integriert die hydrologischen Prozesse über hochaufgelöste (~25m), räumlich-differenzierte physikalische Gegebenheiten des Einzugsgebiets (Topographie, Boden, Geologie usw.) sowie hoch aufgelöste Regenverteilungen. Die zeitliche Auflösung des Modells liegt bei 5 Minutenschritten.

Das Modell ist Teil der PLATHYNES-Plattform und wurde als Kompromiss aus der Modellierung der hydrologischen Prozesse, der maximalen Integration der hydrodynamischen Prozesse und einer möglichst geringen Rechenzeit programmiert.

Für jede Rasterzelle im Einzugsgebiet werden 3 Prozesse modelliert:

- Infiltration über Green & Ampt;
- Subsurface Flow über eine generalisierte Darcy-Gleichung: In vereinfachter Form hängt die Strömungsgeschwindigkeit vom Sättigungsgrad im Boden und der Topographie ab;
- die Oberflächenströmung erfolgt über die Saint-Venant-Gleichung mit kinematischer Wellenannäherung (Steigung und Rauheit sind die einzigen Treiber).

In allen Fällen werden Evapotranspirations- und Interzeptionsprozesse, nach dem Prinzip, nur das zu modellieren, was einen wesentlichen Einfluss auf das Ereignis hat, vernachlässigt.

Schlussfolgernd erwarten sich die Projektpartner, dass das Projekt FLASHFLOOD – sowohl kurz- als auch langfristig – zwei Arten von Ergebnissen liefert: ein sturzflut-spezifischer Überwachungs- und Prognoseprototyp sowie die wissenschaftliche Erkenntnis über die grundlegenden hydrologischen Prozesse, die zu Sturzfluten als Reaktion auf Starkregen führen.

Die *Administration de la gestion de l'eau* unterstützt das geplante FLASHFLOOD-Projekt durch die Finanzierung der Entwicklung von LPWAN-fähigen hydrometeorologischen Sensoren durch POST Telecom. Im Rahmen des Projekts wird die AGE die Möglichkeit haben, das Potenzial für innovative Mess- und Modellierungstechniken zu bewerten, um die Unsicherheiten zu verringern, die mit Sturzflutprognosen verbunden sind, inklusive Hardwaretests vor Ort, Integration von Hardwarekonnektivität und Sturzflutvorhersagemodell.

Literatur

- BRONSTERT, A., AGARWAL, A., BOESSENKOOL, B., FISCHER, M., HEISTERMANN, M., KÖHN-REICH, L., MORAN, T. & WENDI, D. (2017): Die Sturzflut von Braunsbach am 29. Mai 2016 - Entstehung, Ablauf und Schäden eines „Jahrhundertereignisses“. Teil 1: Meteorologische und hydrologische Analyse. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 61, 3, S. 150-162.
- BUND-LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (2018): LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement. Erfurt: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 86 S.
- DOUINOT A. ET AL. (2019): Prototype of a LPWA Network for Real-Time Hydro-Meteorological Monitoring and Flood Nowcasting. In: Palattella M., Scanzio S., Coleri Ergen S. (eds) Ad-Hoc, Mobile, and Wireless Networks. ADHOC-NOW 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11803. Springer, Cham.
- FISCHER, E. M., SEDLÁČEK, J., HAWKINS, E. & KNUTTI, R. (2014): Models agree on forced response pattern of precipitation and temperature extremes. In: Geophysical Research Letters, 41 (23), S. 8554-8562.
- GARAMBOIS, P.A. (2012): Étude régionale des crues éclair de l'arc méditerranéen français; élaboration de méthodologies de transfert à des bassins versants non jaugés, Ph.D., Université de Toulouse, Toulouse, France, figure 57, 451 pp.,
- LIST (2018): Crue éclair du 22 juillet 2016 dans la region de Larochette, étude mécanistique et fréquentielle réalisée en 2018 pour le compte de l'Administration de la gestion de l'eau
- NISSEN, K. M., & ULBRICH, U. (2017): Increasing frequencies and changing characteristics of heavy precipitation events threatening infrastructure in Europe under climate change. In: Natural Hazards and Earth System Science, 17 (7), S. 1177-1190.

- REICH, J., SAILER, B., PENNEKAMP, S. & WEINER, S. (2018): Die LAWA-Strategie zum Umgang mit Starkregenrisiken. In: Wasserwirtschaft, 11 (108), S. 20- 25.
- V. ESTUPINA-BORRELL, D. DARTUS, R. ABABOU. (2016): Flash flood modelling with the MARINE hydrological distributed model. In: Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union, 3 (6), S. 3397-3438.

Industrial Fellowship FLASHFLOOD (01.12.2018 – 30.11.2020)

Auteur: mehrere

Après que le Luxembourg avait été touché par plusieurs épisodes de pluie intense au cours des dernières années (le 22/07/2016 à Christnach : 20.3 mm/10min, 53.1 mm/1h, 70.1 mm/6h ; le 01/06/2018 à Waldbillig : 15.5 mm/10min, 72.6 mm/1h, 100.6 mm/6h), différentes stratégies ont été développées pour réduire les dommages potentiels induits par ce risque hydrométéorologique. Les modèles climatiques internationaux prévoient une hausse, provoquée par le changement climatique, en termes de fréquence et d'intensité d'événements météorologiques extrêmes (Fischer et al. 2014, 8558). Néanmoins, les outils actuellement disponibles pour minimiser le risque d'inondation, tels que le suivi et la prévision des événements de crue, ne sont pas facilement transposables aux épisodes de pluie intense (Bronstert et al. 2017, 160). La surveillance conventionnelle des crues et les modèles de prévision ont en premier lieu été développés pour pouvoir prévoir les crues (d'hiver) sur une grande échelle suite aux précipitations prolongées. La prévision opérationnelle des épisodes de pluie intense constitue aujourd'hui un défi encore plus important.

Trois facteurs majeurs d'incertitude caractérisent l'état actuel des connaissances en matière de prévision des pluies intenses et de surveillance des crues subites. D'une part, une prévision spatiale précise des pluies intenses ainsi qu'une prévision de l'intensité de la plupart des événements convectifs n'est actuellement possible qu'avec un délai de préalerte très court (Bronstert et al. 2017, 151 ; Reich et al. 2018, 21). D'autre part, la densité des réseaux conventionnels de surveillance est souvent insuffisante pour pouvoir identifier et mesurer les pluies torrentielles très locales (figure 1). En fin de compte, la plupart des modèles de prévision des crues ne sont que partiellement appropriés à l'échelle spatiale et temporelle très spécifique sur laquelle l'événement de pluie intense se produit.

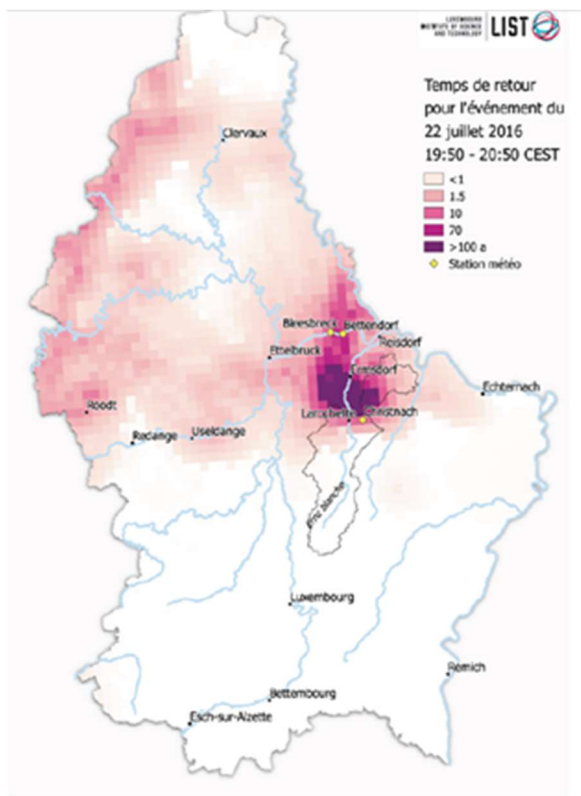


Abbildung 1: Jährlichkeiten für das Starkregenereignis des 22 Juli 2016 (LIST, 2018)

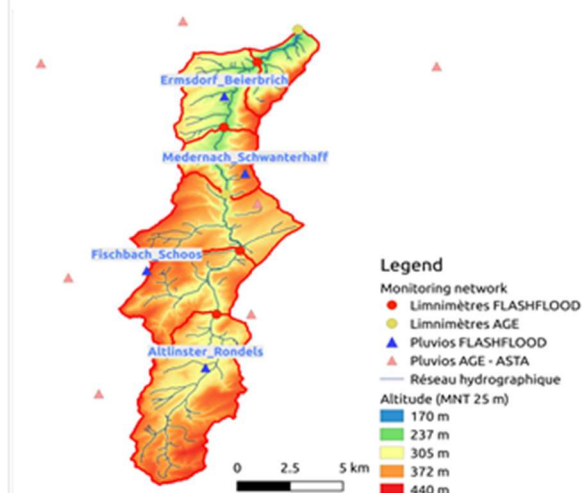


Abbildung 2: Einzugsgebiet Weiße Ernz und Monitoringnetz (Douinot A. et al., 2019)

Par conséquent, de nouvelles méthodes pour une meilleure surveillance des processus hydrologiques durant les événements de pluie intense sont urgemment nécessaires. L'administration luxembourgeoise de la gestion de l'eau (AGE), responsable de la prévision et de la surveillance des crues, a initié un projet de recherche en coopération avec la POST Telecom Luxembourg et le Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), avec l'objectif de développer de nouveaux outils de surveillance et d'améliorer les prévisions de crues subites. Le projet « Flash Flood » Public-Private-Partnership (PPP) subventionné par le Fonds National de la Recherche est donc consacré à la recherche sur la surveillance des phénomènes de pluies intenses depuis le début de l'année 2019.

Le bassin versant de l'Ernz Blanche sert de zone pilote. L'Ernz Blanche est un affluent de la Sûre et draine un bassin de 101 km² sur un tronçon fluvial de 27.5 km. Le bassin versant de l'Ernz Blanche présente une topographie variée. L'altitude du secteur de la source est de 421 m et celle de l'embouchure à Reisdorf est de 177 m (figure 2). La pente moyenne est de 0.9 %. Des précipitations extrêmes sont tombées dans ce bassin le soir du 22 juillet 2016. L'événement de pluie intense est attribué à plusieurs cellules convectives. Une

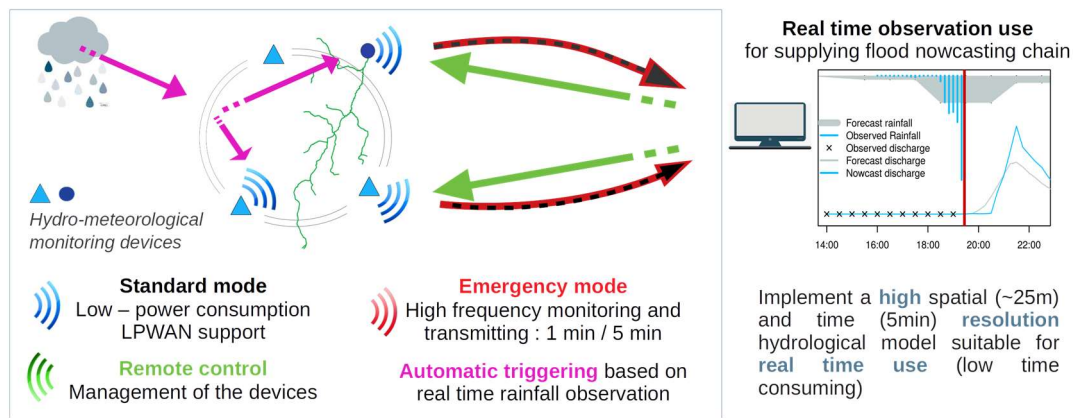


Figure 3 : Schéma du setup LPWAN de surveillance des pluies intenses (Douinot et al., 2019). Les connexions au réseau sont assurées via un LPWAN en mode standard et passent au réseau mobile dès que le mode de secours est déclenché. Les données peuvent alors être utilisées en temps réel pour forcer un modèle hydrologique.

cellule s'est formée vers 19h30 près de Longsdorf, alors qu'une deuxième s'est développée simultanément au-dessus de Larochette. Ce cumulonimbus quasi stationnaire n'a cessé de s'épaissir avant d'entrer en collision avec le nuage d'orage au-dessus de Longsdorf vers 20h00. Une troisième cellule orageuse s'est formée plus tard au sud d'Echternach, s'est déplacée vers l'ouest et a ainsi encore aggravé l'événement. Bien qu'il existe 6 pluviomètres dans l'environnement direct de l'événement et qu'un capteur de pluie se trouve à Christnach dans le bassin versant, l'événement n'a été documenté que partiellement (figure 1).

Par conséquent, un réseau de mesure très dense comprenant 4 limnigraphes, 4 pluviomètres et capteurs d'humidité du sol sera établi dans la zone pilote de l'Ernz Blanche (voir cercles rouges et triangles bleus dans la figure 2), le but étant de tester l'hypothèse que l'incertitude liée à la surveillance des événements extrêmes de pluie intense peut être réduite de manière significative en densifiant les mesures. L'amélioration et la densification de ces mesures d'épisode pluvieux serviront en outre au développement de modèles de prévision des événements de pluie intense.

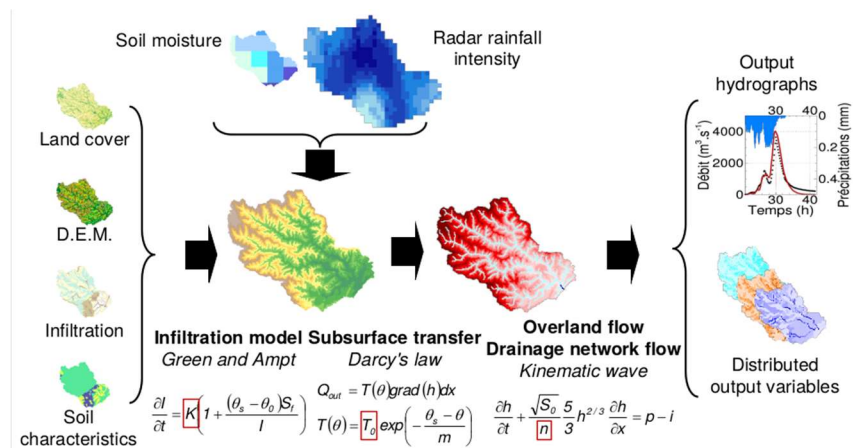


Figure 4 : Modèle MARINE et, en rouge, paramètres calés (Garambois 2012)

L'intégration de nouvelles technologies de connexion dans le domaine de la connectivité IdO, 5G et LPWAN permettra d'interconnecter, via un système basé sur le cloud, tous les appareils utilisés au sein du bassin versant pilote (figure 3). Ce « Smart Monitoring » permettra d'ajuster les intervalles de mesure à tout moment. Par exemple, l'utilité d'un « Emergency Mode » est actuellement en cours de test : ce mode signifie qu'en cas d'enregistrement d'une pluie intense, tous les appareils de mesure augmenteront la fréquence de mesure. Ce type de connexion permet par ailleurs un contrôle permanent du réseau de surveillance, la mise en place de différents niveaux d'alerte ainsi qu'une gestion des appareils et leur maintenance à distance.

Finalement, les données obtenues en temps réel simuleront l'événement de pluie intense via le modèle MARINE (figure 4). Le modèle MARINE a été développé spécifiquement pour les épisodes pluvieux extrêmes et intègre les processus hydrologiques via les conditions physiques du bassin versant, disponibles à haute résolution (~25m) et différenciées dans l'espace (topographie, sol, géologie etc.) ainsi que via les distributions de pluie à haute résolution. La résolution temporelle du modèle est de 5 minutes.

Le modèle fait partie de la plateforme PLATHYNES et a été programmé en guise de compromis entre la modélisation des processus hydrologiques, l'intégration maximale des processus hydrodynamiques et le temps de calcul le plus court possible.

Trois processus sont modélisés pour chaque cellule raster du bassin versant :

- l'infiltration via Green & Ampt ;
- l'écoulement de subsurface via une équation de Darcy généralisée : de manière simplifiée, la vitesse d'écoulement dépend du taux de saturation du sol ainsi que de la topographie ;
- l'écoulement de surface est modélisé à travers l'équation de Saint-Venant avec approximation cinématique de l'onde (la pente et la rugosité étant les seuls facteurs de forçage).

Dans tous les cas, les processus d'évapotranspiration et d'interception sont négligés selon le principe qui consiste à ne modéliser que les aspects qui ont une influence significative sur l'événement.

En résumé, les partenaires du projet attendent deux types de résultats du projet FLASHFLOOD - à court terme comme à long terme : un prototype de surveillance et de prévision spécifique aux crues subites ainsi que des connaissances scientifiques des processus hydrologiques de base qui provoquent des crues subites suite aux pluies intenses.

L'administration de la gestion de l'eau soutient le projet FLASHFLOOD en finançant le développement, par POST Telecom, de capteurs hydrométéorologiques compatibles avec LPWAN. Dans le cadre de ce projet, l'AGE aura la possibilité d'évaluer le potentiel des techniques de mesure et de modélisation afin de réduire les incertitudes liées aux prévisions de crues subites, en incluant des tests de matériel informatique sur place, l'intégration de la connectivité du matériel et le modèle de prévision des crues subites.

Littérature

- BRONSTERT, A., AGARWAL, A., BOESSENKOOL, B., FISCHER, M., HEISTERMANN, M., KÖHN-REICH, L., MORAN, T. & WENDI, D. (2017): Die Sturzflut von Braunsbach am 29. Mai 2016 - Entstehung, Ablauf und Schäden eines „Jahrhundertereignisses“. Teil 1: Meteorologische und hydrologische Analyse. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 61, 3, S. 150-162.
- BUND-LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (2018): LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement. Erfurt: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 86 S.
- DOUINOT A. ET AL. (2019): Prototype of a LPWA Network for Real-Time Hydro-Meteorological Monitoring and Flood Nowcasting. In: Palattella M., Scanzio S., Coleri Ergen S. (eds) Ad-Hoc, Mobile, and Wireless Networks. ADHOC-NOW 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11803. Springer, Cham.
- FISCHER, E. M., SEDLÁČEK, J., HAWKINS, E. & KNUTTI, R. (2014): Models agree on forced response pattern of precipitation and temperature extremes. In: Geophysical Research Letters, 41 (23), S. 8554-8562.
- GARAMBOIS, P.A. (2012): Étude régionale des crues éclair de l'arc méditerranéen français; élaboration de méthodologies de transfert à des bassins versants non jaugés, Ph.D., Université de Toulouse, Toulouse, France, figure 57, 451 pp.,
- LIST (2018): Crue éclair du 22 Juillet 2016 dans la région de Larochette, étude mécanistique et fréquentielle réalisée en 2018 pour le compte de l'Administration de la gestion de l'eau
- NISSEN, K. M., & ULBRICH, U. (2017): Increasing frequencies and changing characteristics of heavy precipitation events threatening infrastructure in Europe under climate change. In: Natural Hazards and Earth System Science, 17 (7), S. 1177-1190.
- REICH, J., SAILER, B., PENNEKAMP, S. & WEINER, S. (2018): Die LAWA-Strategie zum Umgang mit Starkregenrisiken. In: Wasserwirtschaft, 11 (108), S. 20- 25.

- V. ESTUPINA-BORRELL, D. DARTUS, R. ABABOU. (2016): Flash flood modelling with the MARINE hydrological distributed model. In: Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union, 3 (6), S. 3397-3438.