



**HAL**  
open science

## **CARTO ALEA (Zones inondables) 4.1.4: Améliorations de la méthode IRIP au niveau national**

Pascal Breil, Christine Poulard, Étienne Leblois, Axelle Favro, Vincent Bouthière, Maxime Trevisiani

► **To cite this version:**

Pascal Breil, Christine Poulard, Étienne Leblois, Axelle Favro, Vincent Bouthière, et al.. CARTO ALEA (Zones inondables) 4.1.4: Améliorations de la méthode IRIP au niveau national. [Rapport de recherche] INRAE UR-RiverLy. 2019. hal-03787460

**HAL Id: hal-03787460**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03787460>**

Submitted on 25 Sep 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

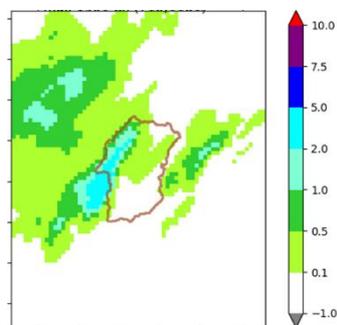
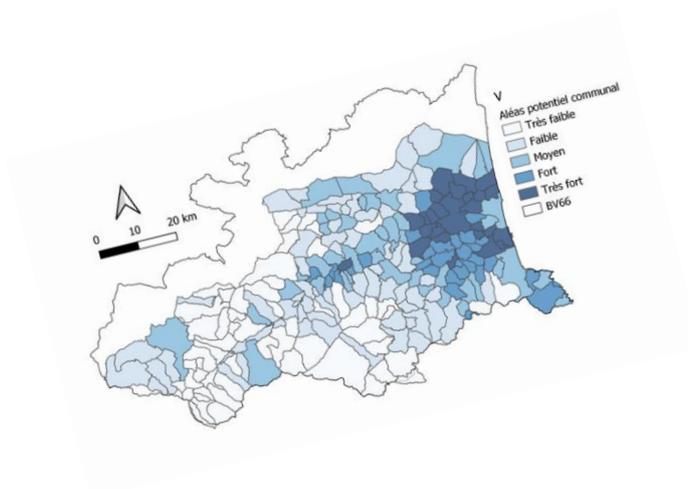
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**PROGRAMME MTES (DGPR / SRNH) - IRSTEA 2019**  
**Connaissance et prévention des risques naturels et hydrauliques**

*Ces travaux bénéficient du soutien du Ministère chargé de l'environnement, de l'énergie et de la mer  
par décision de subvention n°21367400*

## **4.1 : CARTO ALEA (Zones inondables)**

### **4.1.4 : Améliorations de la méthode IRIP au niveau national**



DECEMBRE 2019

**Breil Pascal**  
**Bouthière Vincent**  
**Favro Axelle**

**Poulard Christine**  
**Leblois Etienne**  
**Trevisiani MAXIME**

INRAE, Unité de recherche RIVERLY  
5, rue de la Doua  
CS 20244,  
69625 Villeurbanne cedex

[www.inrae.fr](http://www.inrae.fr)



## Rappel de la fiche action

Convention SRNH – Irstea 2019	
Titre complet de l'action ou s/ action (acronyme éventuel)	<b>Les pluies fortes et la méthode IRIP</b>
Action n°	<b>4.1.4</b>
Responsable Irstea (Unité)	P. Breil (RIVERLY)
Responsable SRNH (Bureau)	JP. Pene
Contexte et enjeux	Les désordres divers (coulées de boue, emportement et encombrement des réseaux de transport) attribuables à des épisodes de ruissellement intense suggère que celui-ci est une source d'aléa à mieux connaître, compte-tenu de coûts induits comparables à ceux des inondations par débordement sur la base des indemnisations des zones déclarées en catastrophe naturelle (source : Caisse Centrale de Re-assurance).
Objectifs du projet	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rapprocher les cartes de production IRIP et des événements survenus au cours d'une période de référence, de façon à préciser le rapport entre la susceptibilité IRIP (zones fragiles à priori), les événements dommageables survenus, et les pluies déclenchantes, exprimées tant en absolu sur le support spatial et la durée pertinente (mm x surface x durée) qu'en période de retour.</li> <li>2. Examiner si les niveaux de susceptibilité IRIP à même d'expliquer les incidents constatés peuvent être considérés comme stables au sein et entre les grandes régions naturelles (HydroEcoRégions).</li> </ol>
Travaux déjà réalisés et travaux prévus	<p><b>Rappel des acquis si caractère pluriannuel de l'action :</b></p> <p>L'action 4.1.4 – 2018 « <i>Améliorations de la méthode IRIP au niveau national</i> » a fourni une méthode d'évaluation des quantités de pluie qui ont a priori déclenché les incidents constatés au sol. Ces quantités ont été estimées pour des événements datés à partir des données pluie radar de Météo-France en calculant les cumuls de pluie sur des durées de 15, 30 et 60 minutes. Ces valeurs identifiées, une première estimation des périodes de retour associées a été réalisée sur la base des résultats de l'action 4.1.4 – 2017 : « <i>Cartographies des risques liés aux inondations par Ruissellement Intense Pluvial IRIP</i> ». La méthode a été appliquée dans deux hydroécorégions (HER) différentes (Wasson, 2014). L'intérêt des HER comme base de régionalisation des niveaux de susceptibilité IRIP, est de synthétiser diverses caractéristiques topographiques, climatiques et géologiques en 22 zones aussi homogènes que possible partitionnant le territoire Français.</p> <p><b>Travaux prévus :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- Mettre à jour la couverture radar exploitée, au moins pour la période récente 07/2016-12/2018. Il ne s'agit là que d'un travail technique, mais assez long.</li> <li>2- Etudier tant du point de vue des pluies génératrices que des conséquences au sol plusieurs événements classés en catastrophe naturelle « ruissellement » dans des HER différentes de celles déjà étudiées; il sera en particulier étudié les événements 2018 en France métropolitaine (Var, Aude), pour lesquelles cette évaluation aura une valeur en soi.</li> <li>3- Améliorer l'étalonnage en périodes de retour des lames d'eau radar (spatialisées, ce qui est un avantage s'agissant d'événement intéressant des zones de collecte) en les rapprochant et recalant sur les quantiles de pluies Shyreg (ponctuelles, mais qui disposent d'une meilleure stabilité statistique due à la profondeur historique des observations utilisées). Les savoir-faire à mobiliser sont listés en bibliographie.</li> <li>4- Dérouler la méthodologie présentée dans l'action 4.1.4 2018 pour évaluer dans chaque hydro-écorégion le lien entre les événements générateurs de désordre, en absolu et en période de retour, et les niveaux de susceptibilité IRIP concernés.</li> </ol>

## Table des matières

<b>Rappel de la fiche action</b> .....	<b>3</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>7</b>
Notion d'aléas potentiel communal.....	8
Données de calamités agricoles .....	9
Test de la distribution spatiale des aléas forts.....	11
Utilisation des données de lame d'eau radar.....	12
Annexe Technique - Interface d'interrogation de fichiers « lames d'eau radar » Panthère, 2019 .....	13
Etude des pluies spatialisées de la base PANTHERE 2006-2016 et application à l'interprétation d'incidents liés au ruissellements à Chalon sur Saône .....	13
1. Matériel et méthodes .....	14
<b>1.1. Contexte</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2. Nature et structure des données</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2. Représentations des données et analyses spatiales</b> .....	<b>16</b>
1.2.1 Visualisation des données : cartes de cumuls à pas de temps fixe.....	16
1.2.2. Analyse des cumuls maximums, sur pas de temps glissant .....	18
<b>1.3. Traitements de chroniques sur une cellule ou moyennées spatialement</b> .....	<b>22</b>
1.3.1. Chronique d'une cellule et IdF d'une cellule .....	22
1.3.2. Chronique de bloc et IdF de bloc.....	23
1.3.3. Intérêt et limites du développement d'une étude de chronique de bassin et d'un IdF de bassin .....	24
1.3.4. Construction de chroniques agrégées à des pas de temps plus longs.....	26
<b>Cumul mensuels</b> .....	<b>26</b>
<b>1.3.5. Analyses statistiques multidurées de chroniques</b> .....	<b>27</b>
2. Résultats des analyses statistiques des chroniques .....	28
<b>2.1. Visualisation simple de chroniques</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.2. Echantillonnage des maxima et ajustement de lois statistiques</b> .....	<b>29</b>
<b>Analyse des lames d'eau à 5 minutes</b> .....	<b>29</b>
3. Description des événements en fréquence et interprétation .....	31
<b>3.1. Modalités de définition d'un événement</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2. Événement de novembre 2014</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.1. Protocole de calcul de la « trace multidurées » de l'événement</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3. Événements de mai et juin 2016</b> .....	<b>37</b>
4. Remarques sur le calcul de « pluies de projet » pour l'article soumis à TSM .....	38
<b>Calcul d'une « forme moyenne d'événement » :</b> .....	<b>39</b>

5. Discussion : interprétation des résultats pour comprendre la genèse du ruissellement et identifier des indicateurs pertinents.....	40
Références : .....	40
Listes des figures et des tableaux: .....	41
Annexe 1. Sélection de cartes de l'événement de Novembre 2014 ayant généré des incidents liés au ruissellement.....	43
<b>A1.1. Chronique de l'événement de Novembre 2014</b> .....	<b>43</b>
<b>A1.2. Cumuls au pas de temps journaliers</b> .....	<b>44</b>
<b>A1.3. Cumuls horaires</b> .....	<b>45</b>
<b>A1.4. Cumuls à 5 minutes</b> .....	<b>56</b>
Annexe 2. Liste des fichiers de l'étude .....	61
<b>A2.1. [FichiersGeoreferences]</b> .....	<b>61</b>
<b>A2.2. [Champs_2014]</b> .....	<b>61</b>
A2.2.1. [CartesA5min_AAAMMJJ] .....	62
A2.2.2. [2014_11_J].....	63
A2.2.3. [201411_h_BVzoom1] et [201411_h_BVzoom1] .....	64
<b>A2.3. [Champs_2016/Champs_2016_05]</b> .....	<b>64</b>
<b>A2.4. [Champs_2016/Champs_2016_06]</b> .....	<b>65</b>



## Introduction

- Ce travail constitue une partie des tests menées dans le cadre de l'évaluation de la méthode IRIP au niveau national.
- Deux départements ont fait l'objet d'investigations, les Pyrénées Orientales et l'Aude, réparties respectivement sur 4 HydroEcorégions (HER), Méditerranéen et Pyrénées pour les PO (66), Massif Central Sud et Coteaux Aquitains pour l'Aude (11).
- Pour les Pyrénées Orientales, nous avons travaillé sur l'événement du 28 au 30 novembre 2014 qui a généré des pluies intenses ayant occasionné de nombreux désordres par inondations mais aussi ruissellement intense, accompagné de coulées boueuses, ravinements, déchaussements d'ouvrages, comblements et de dépôts en masse. Plusieurs réunions ont eu lieu à la DDTM66 pour évoquer les données d'intérêts à même de permettre une évaluation des cartographies proposées par la méthode IRIP. Elles se présente sous la forme de données de coupures de route et déclarations individuelles de calamités agricoles.

Les données de coupures de routes nous ont été fournies directement sous la forme de fichiers tableurs.

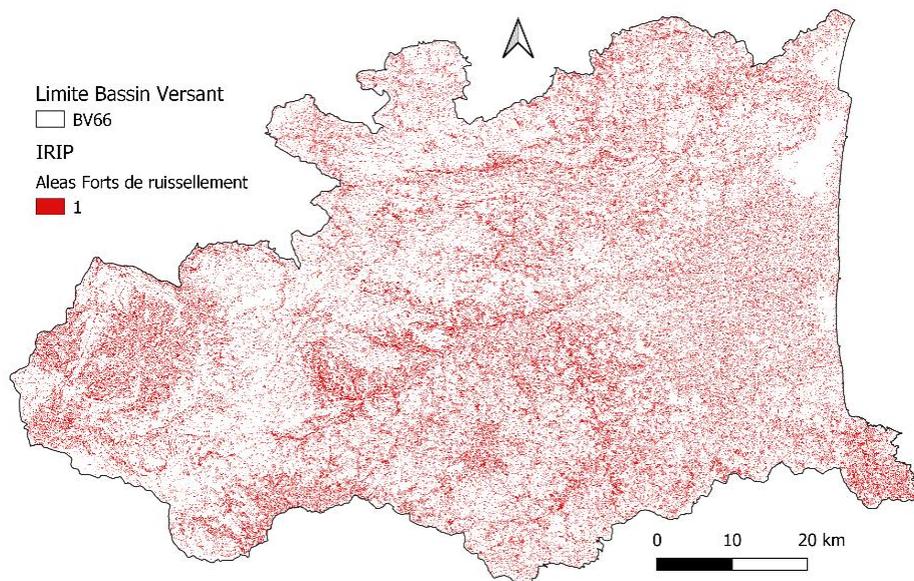
Les données de calamités agricoles ont donné lieu à une saisie manuelle à partir des déclarations papiers. Plusieurs centaines de déclarations ont ainsi été analysées pour ensuite marquer les parcelles agricoles endommagées dans le fichier du parcellaire de l'IGN pour le département 66. Ce travail a nécessité 3 séjours et a mobilisé 3 personnes. Au final 3829 parcelles ayant fait l'objet de déclaration en calamités agricoles ont été identifiées.

Les données de catastrophe naturelle n'ont pu être récupérées auprès de la Préfecture qui nous a confirmé au cours d'un rendez-vous qu'elle ne disposait que des synthèses remontées depuis l'échelle communales, sous la forme de nombre de bâtiments impactés avec leurs degrés de dégradation. Ces données non géolocalisées sont de peu d'intérêt pour évaluer la méthode IRIP .

## Cartographies IRIP

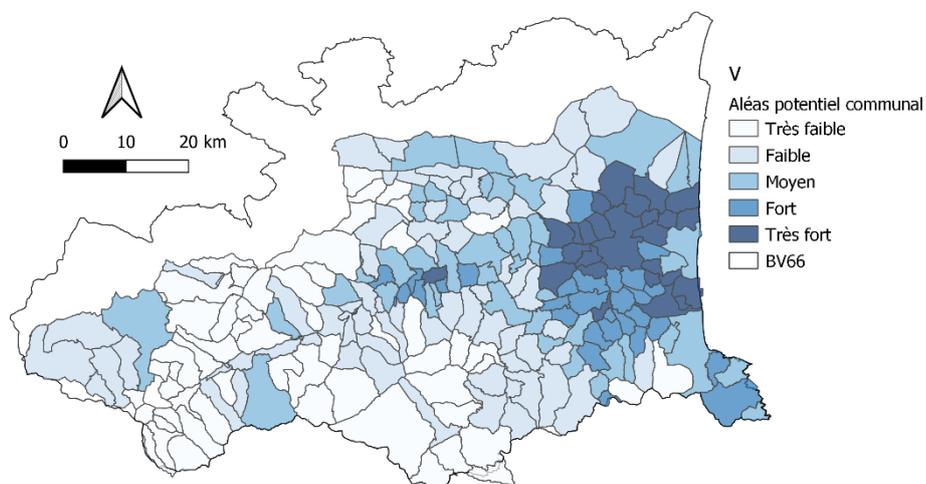
Les cartes de production, transfert et accumulation ont été générées pour l'ensemble du département des PO à la maille de 25m.

Le meilleur rapport de détection des parcelles déclarées est obtenu en combinant les cartes de transfert et d'accumulation. La combinaison produit une carte binaire avec en chaque maille du raster 25m la valeur 1 si le potentiel de transfert est supérieur à 2 ou si le potentiel d'accumulation est supérieur à 3. Sinon la valeur 0 est attribuée à la maille raster. Le résultat est la cartographie des aléas forts de ruissellement qui représentent 18.2 % de la surface du bassin versant des PO.



## Notion d'aléas potentiel communal

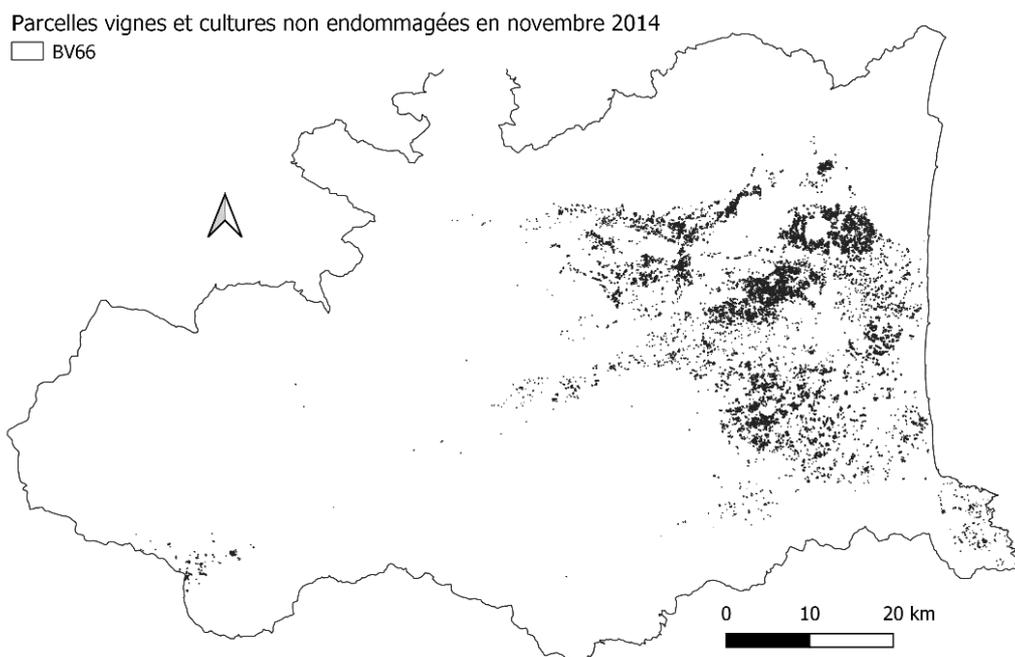
Pour répondre à la demande de la DDTM 66 il a été générée la carte du potentiel d'aléas forts en transfert et accumulation ( $T > +4$  et  $A \geq 4$ ).



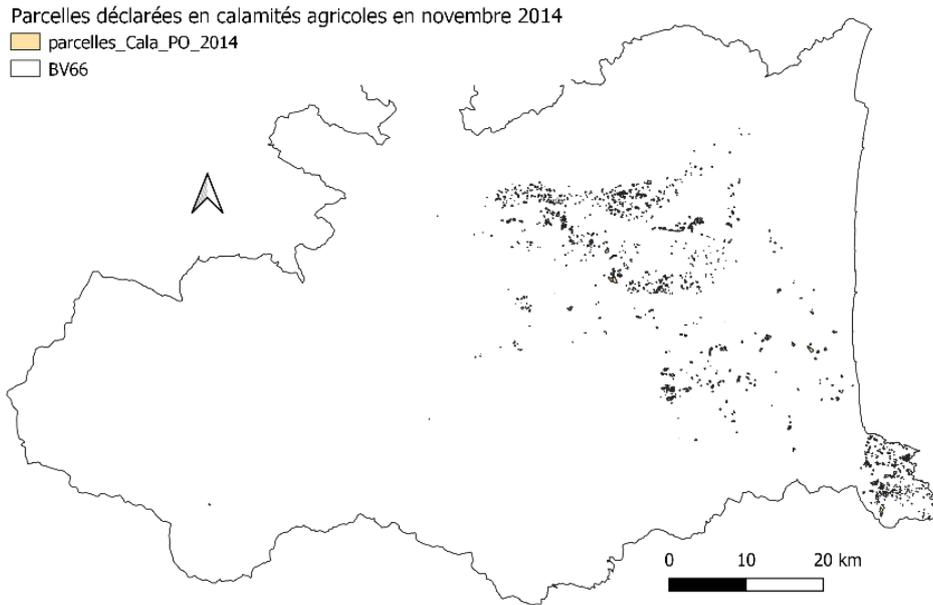
Ce type d'information est requis pour alerter les maires sur le besoin d'études complémentaires lors de l'instruction de dossier par les services de l'Etat qui ont pour rôle d'avertir sur les risques naturels qui peuvent impacter un projet d'aménagement. La cartographie résultante est la suivante. Les zones très urbanisées dans la vallée de Perpignan et du bord de la côte méditerranéenne ressortent bien, comme Banyuls.

## Données de calamités agricoles

Afin d'évaluer le pouvoir discriminant de la cartographie des aléas forts, les parcelles agricoles non impactées ont été considérées. Ce jeu a été constitué en considérant les parcelles agricoles « pures » correspondant aux occupations du sol : cultures d'été, cultures d'hiver et vignes. Les parcelles mixtes ont été écartées compte tenu de la difficulté à évaluer les combinaisons d'occupation du sol pouvant contenir des éléments urbains. Les parcelles agricoles pures et non déclarées en calamités agricoles sont au nombre de 17061 contre 3829 parcelles déclarées en calamités agricoles. Le jeu sans calamités totalise une surface de 64 km<sup>2</sup> contre 31 km<sup>2</sup> pour les parcelles déclarées.



*Parcelles agricoles non déclarées en calamités ou non endommagées en novembre 2014*



*Parcelles agricoles déclarées en calamités en novembre 2014*

Dans ces conditions 66% des parcelles impactées sont détectées avec une présence d'au moins 5% de maille en aléas forts mais 53% des parcelles non impactées répondent à ce critère de 5%. La valeur de 5 % peut être discutée. A 10% le résultat est sensiblement le même (61% / 50%). A 1% aussi (68% / 54%). En fait dans le cas des parcelles il faut se rendre compte qu'il n'est nul besoin d'avoir la totalité de la parcelle en aléas forts pour que des dégâts apparaissent. Une proportion de 1/20 est acceptable a priori. On pourrait aussi légitimement regarder la présence d'aléas forts dans la périphérie (ou zone tampon) amont de chaque parcelle mais c'est plus délicat à mettre en place.

Un test de comparaison non paramétrique (Wilcoxon-Mann et Withney) des distributions des valeurs en aléas forts dans les deux jeux de parcelles agricoles indique une probabilité inférieure de 0.0006 qu'elles soient identiques. En particulier la médiane de la distribution des aléas forts dans les parcelles en calamités agricoles est de 0.17 contre 0.1 pour les parcelles non déclarées (voir figure ci-dessous).

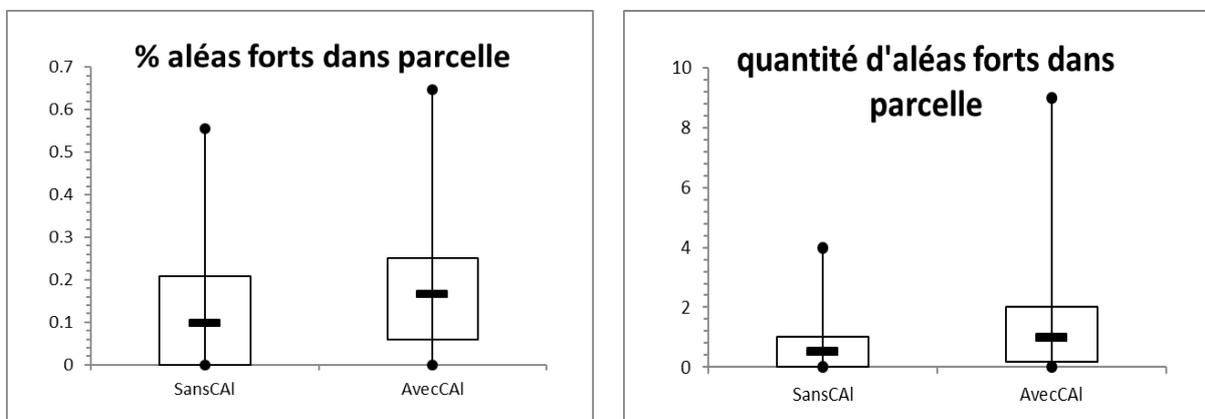


Figure de droite : Boîtes des distributions des aléas forts dans les deux jeux de parcelles : sans calamités et avec calamités. La figure de gauche indique la distribution du nombre de mailles avec aléas forts dans chaque parcelle.

Sur un plan purement statistique il y a bien une plus grande proportion de potentiel d'aléas forts en ruissellement dans les parcelles impactées. De même le nombre de mailles en aléas forts est statistiquement plus important malgré une surface totale des parcelles déclarées de 31 km<sup>2</sup> contre 71 km<sup>2</sup> pour les parcelles sans calamités.

## Test de la distribution spatiale des aléas forts

On peut se demander si une répartition « au hasard » des aléas forts donnerait le même résultat que ce que prédit le modèle IRIP. Dans ce cas le modèle dans ses réglages actuels n'aurait aucune capacité prédictive. Pour évaluer cet effet il est possible de construire une table de contingence qui dénombre les différents cas de figures rencontrés :

Ceux qui confirment les prédictions du modèle avec

- les parcelles déclarées et qui contiennent une proportion d'aléas forts supérieure (ou égale) à 5% ;
- celles non endommagées qui contiennent une proportion d'aléas forts inférieure (ou égales) à 5% ;

Ceux qui infirment les prédictions du modèle avec

- celles déclarées mais contenant moins de 5% d'aléas forts et
- celles non endommagées ou non déclarées qui contiennent plus de 5% d'aléas forts .

La table de contingence peut être comparée à une autre table qui résulterait de la répartition au hasard des aléas forts. Cette dernière est calculée à partir des fréquences marginales de la table initiale. Le test du KHI2 permet ainsi d'évaluer la probabilité que la table de contingence initiale soit le fruit du hasard ou au contraire sans éloigne de manière significative, ce qui indique alors une tendance liée à la distribution spatiale des aléas forts.

Les tables ci-dessous résument ce test. Si les parcelles impactées étaient exhaustives et le modèle parfait, les effectifs seraient à 0 dans la première diagonale de la table supérieure. Nous en sommes assez loin quand on se réfère aux % des effectifs dans la table inférieure. Cependant le test du KHI2 indique clairement que la distribution des aléas forts n'est pas indépendante des parcelles avec et sans aléas. En particulier 50% de l'effectif se concentre dans la deuxième diagonale. On note que 2/3 des parcelles avec calamités sont détectées en aléas forts mais que 38% des parcelles sans calamités sont déclarées en aléas < 5% de leur superficie.

Table contingence au seuil de		0.05	
Parcelles Agri.	< 5% aléas	>= 5% aléas	
Sans Cal.	7991	9071	
Avec Cal.	1301	2528	
Probabilité "distribution liée au hasard" =			0.0000
Matrice en %			
Parcelles Agri.	Aleasfaibles	Aleas Forts	
Sans Cal.	38%	43%	
Avec Cal.	6%	12%	

*Table supérieure : table de contingence des nombres de parcelles selon leurs proportions d'aléas forts et selon leurs statuts « avec calamités » ou « sans calamités ». La table inférieure indique les pourcentages relatifs correspondant.*

Dans la réalité il existe plusieurs sources d'erreur qui entachent l'évaluation du caractère prédictif de la cartographie des aléas forts: les parcelles impactées mais non déclarées, les parcelles déclarées à tort, les aménagements protecteurs qui ont réduit l'impact des aléas forts, les changements d'occupation du sol qui sont intervenus depuis 2014 car la carte d'occupation du sol est issue des données satellites de 2017 (produit THEIA©).

Une autre source d'erreur dans l'évaluation des cartographies est de considérer que l'ensemble des parcelles agricoles a subi des pluies intenses. Ce point est en cours d'étude selon la méthode proposée ci-après.

### Utilisation des données de lame d'eau radar

Une évaluation moins biaisée peut être obtenue en ne considérant que les zones qui ont reçu assez de pluie en 2014 pour expliquer l'apparition d'un ruissellement intense. Pour cela on se base sur les données de lame d'eau radar enregistrées pendant l'événement de 2014 par Météo-France. Ces données sont connues par maille de 1 km<sup>2</sup> et au pas de 5 minutes. Le principe testé consiste à calculer des *maxima* de précipitations sur différentes durées. Prenons par exemple la durée de 1 heure. On cherche alors les cumuls horaires maxima qui ont frappé les parcelles déclarées. On fait ensuite l'hypothèse que le plus petit des *maxima* est le cumul nécessaire pour déclencher des dommages aux parcelles agricoles. Cette valeur seuil connue, elle est utilisée sur les pluies de l'événement pour ne garder que les cumuls horaires supérieurs ou égaux à ce seuil. Le résultat est une empreinte réduite de l'événement de pluie « où il a suffisamment plu » pour déclencher les calamités agricoles. Cela permet d'évaluer la performance des cartes IRIP uniquement sur les parcelles qui ont reçues assez d'eau.

L'annexe technique qui suit décrit une méthode d'exploitation des données de lame d'eau radar à l'aide d'une interface développée à INRAE / RIVERLY. Ce travail a été réalisé dans le cadre de la convention DGPR/SRNH pour le besoin d'exploration de cette source de données considérée très intéressante pour l'évaluation des cartes IRIP ainsi que pour la caractérisation en fréquence des pluies à l'origine des processus de ruissellement intense.

## Annexe Technique - Interface d'interrogation de fichiers « lames d'eau radar » Panthère, 2019

Etude des pluies spatialisées de la base PANTHERE 2006-2016 et application à l'interprétation d'incidents liés au ruissellements à Chalon sur Saône

La base de données Panthère mise à disposition dans le cadre de la présente convention contient les champs de lame d'eau radar à 5 minutes sur des mailles carrées de 1km de côté environ sur le territoire de la France métropolitaine, de mi-2006 à mi-2016. Elle apporte une information sur la structure spatiale des pluies, très intéressante pour une meilleure compréhension des phénomènes de genèses des inondations par des épisodes localement intenses, mais aussi des problématiques de composition spatiale des crues sur un réseau hydrographique ramifié.

Nous présentons ici l'exploitation de ces données en 2019 pour **contribuer aux diagnostics des pluies ayant entraîné des incidents de ruissellement**, en replaçant les événements pluvieux en fréquence sur les IdF (en lien avec les actions IRIP). Nous présentons ici les premiers résultats sur Chalon sur Saône. Dans cette phase, il s'agit de fournir des éléments de compréhension, à travers le développement de traitements spécifiques. Ce rapport insistera donc autant sur la démarche que sur les premiers résultats, et proposera des pistes pour les développements ultérieurs.

En parallèle, ce cas d'étude de Chalon a également été utilisé pour **illustrer l'importance de la surface-cible dans le calcul des relations Intensité-durée-Fréquence**, et donc dans la construction de pluies de projet par des méthodes basées sur les IdF (article soumis à TSM sur les pluies de projet, à la suite du colloque Novatech). Ces deux articles portent sur la méthodologie, et n'ont pas pour objet d'interpréter les résultats sur le cas particulier de Chalon.

Une annexe technique présente plus en détail l'outil développé pour visualiser les données et effectuer les traitements, ainsi que les perspectives d'évolution.

Pour la suite, combiner les données radar, qui apportent des informations précieuses sur la structure spatiale des pluies, avec des observations sur des réseaux de pluviomètres de meilleure précision mais très ponctuelles offre de belles perspectives dans la compréhension et l'analyse des pluies.

## 1. Matériel et méthodes

Nous allons rappeler le contexte et les questions posées, qui nous ont conduit à définir une méthodologie d'analyse des données disponibles. Ces analyses peuvent en particulier, mais par exclusivement, produire des éléments de réflexion utilisables en synergie avec IRIP.

### 1.1. Contexte

Dans la communauté de commune du Grand Chalon, des incidents liés à du ruissellement intense, avec ou sans débordement de cours d'eau concomitants ont donné lieu à des études, auxquelles nous allons contribuer. Le territoire correspond au bassin versant aval de la Corne, jusqu'à sa confluence avec la Saône.

Nous disposons d'une liste d'incidents géoréférencés, datés des 4 novembre 2014, 13 mai 2016 et 25 juin 2016.

L'objectif est de caractériser les épisodes pluvieux ayant précédé ces 3 événements.

### 1.2. Nature et structure des données

La base PANTHERE a été mise à disposition dans le cadre de la présente convention, de mi-2006 à mi-2016. Elle contient les champs de lame d'eau radar à 5 minutes sur des mailles carrées de 1km de côté environ sur le territoire de la France métropolitaine. Ce sont des mesures indirectes, c'est-à-dire qu'à partir des échos radar on va estimer une lame d'eau à partir de relations plus ou moins empiriques. Il faut donc être relativement prudents quant à la précision des mesures, et a fortiori les analyses en fréquences sur une durée aussi courte, mais en revanche cette source d'information donne à voir la structure spatiale des pluies ; or, la variabilité spatiale des pluies a des conséquences sur l'estimation locale des périodes de retour. **Nous allons donc explorer l'apport de la base Panthère dans le diagnostic des épisodes de pluie précédant les incidents liés au ruissellement.**

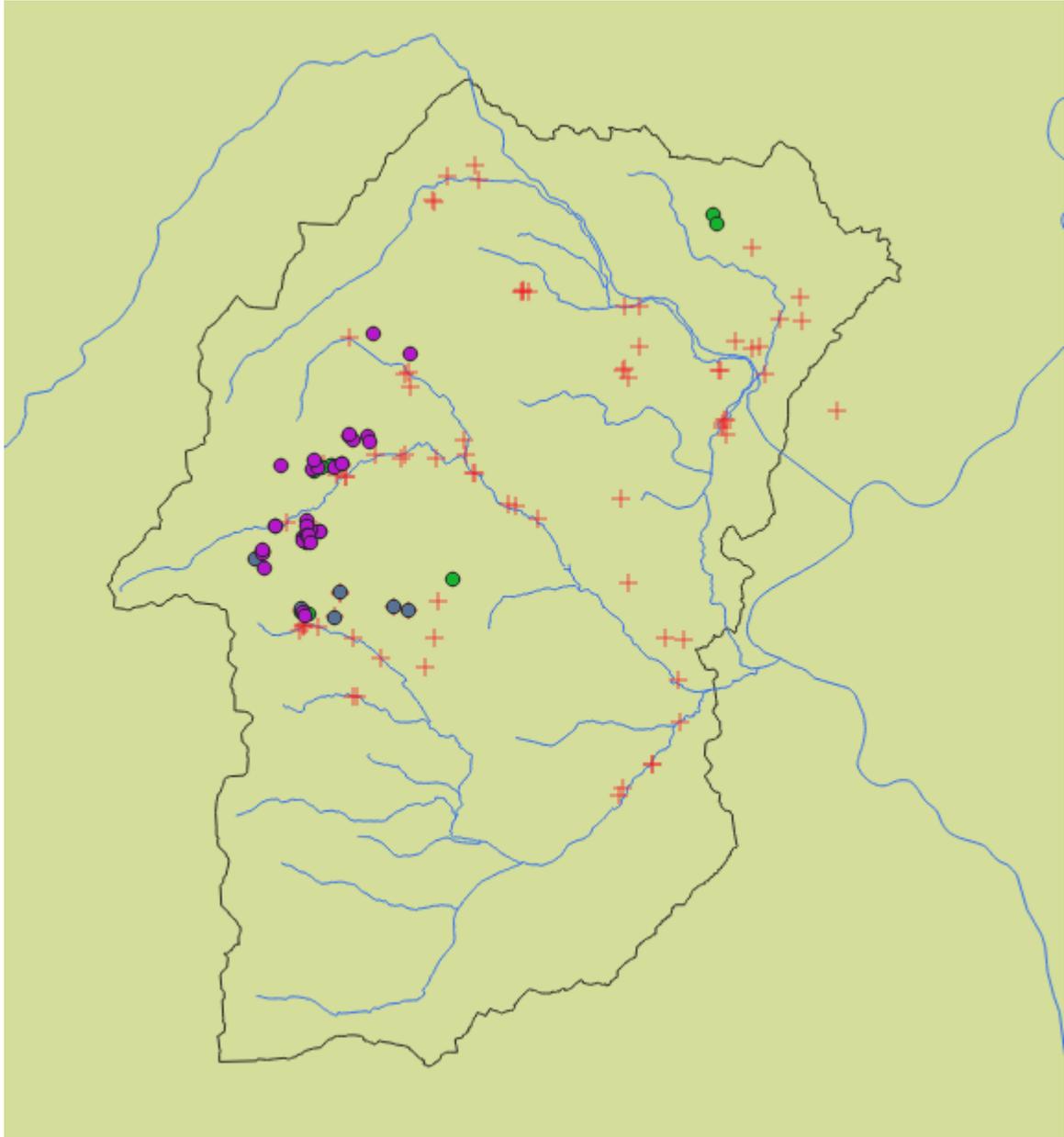
Pour lire et réaliser les traitements dont nous avons besoin, nous avons développé un code qui exploite deux ensembles de fichiers créés à partir de la base Panthère :

- ⑩ par journée, avec 288 champs à 5 minutes

- ⑩ par « bloc » de 16x16 mailles : pour faciliter les analyses temporelles, ces fichiers comportent la chronique complète pour chacune des 256 mailles du bloc, successivement.

Les détails concernant le code et la structure des fichiers sont décrits plus précisément dans l'annexe technique.

La présente étude n'utilise pas d'autre sources de données, mais l'exploitation conjointe de donnée pluviométriques est bien entendu une perspective majeure.



**Figure 1: Bassin aval de la Corne à Chalon, à la confluence avec la Saône, avec incidents du 04/11/2014 (points bleus), du 12/05/2016 (vert) et du 25/06/2016 (mauve) – Réseau de cours d'eau (Corne et ses affluents traversant Chalon et Saône) issu de la base TOPO de l'IGN**

## 1.2. Représentations des données et analyses spatiales

L'information contenue dans la base Panthère revient à une cartographie des lames d'eau radar au pas de temps 5 minutes. La fonctionnalité la plus basique consiste donc à extraire une carte pour un pas de temps donné, mais il faut également proposer des outils de synthèse. Nous proposons donc des cartes de lames d'eau agrégées sur des durées plus grandes (une heure, un jour), ainsi que des cartes de cumuls maximaux sur une durée donnée.

### 1.2.1 Visualisation des données : cartes de cumuls à pas de temps fixe

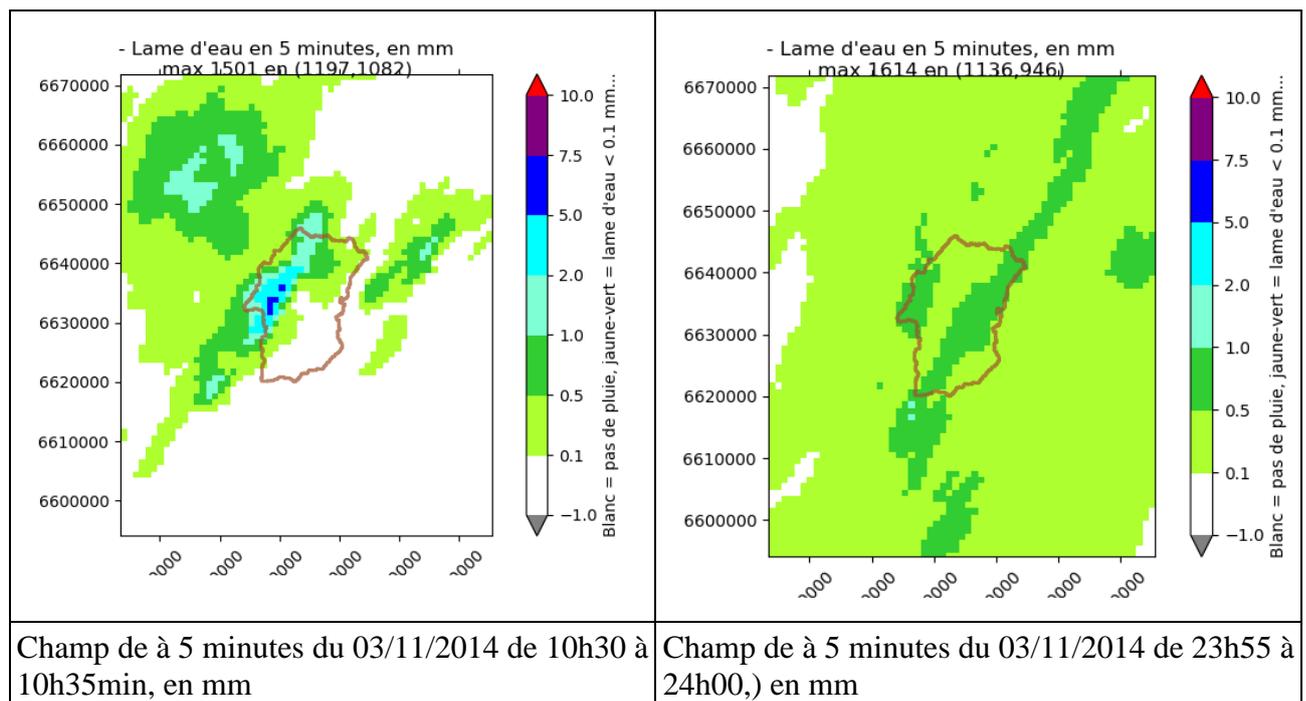
Dans un premier temps, des cartes de lames d'eau cumulées à pas de temps fixe sont construites (à 5 minutes, 1 heure ou 1 journée) pour les 3 événements cités ; elles permettent de se rendre compte des cumuls et de leur répartition spatiale. Les cartes sur la France entière fournissent une information sur les circulations, mais pour les études envisagées on a également besoin de cartes restreintes à la zone d'étude.

**Pour une journée**, pour chaque échelle (France ou zone d'étude) on dispose donc de :

- ⑩ 288 cartes de lame d'eau à 5 minutes ;
- ⑩ 24 cartes de lame d'eau horaires ;
- ⑩ 1 carte de lame d'eau journalière.

Pour chaque carte sont produits deux fichiers : **une image au format «PNG»** consultable immédiatement mais qui n'est pas modifiable, et **un fichier grid ascii**, importable dans un projet QGis pour une mise en forme (code couleur modifiable, choix des autres couches d'information...).

Toutes les cartes intéressantes pour analyser les 3 séries d'incidents à Chalon sont fournies en annexe 1 ; on reproduit ci-dessous quelques cartes pour illustrer le principe.



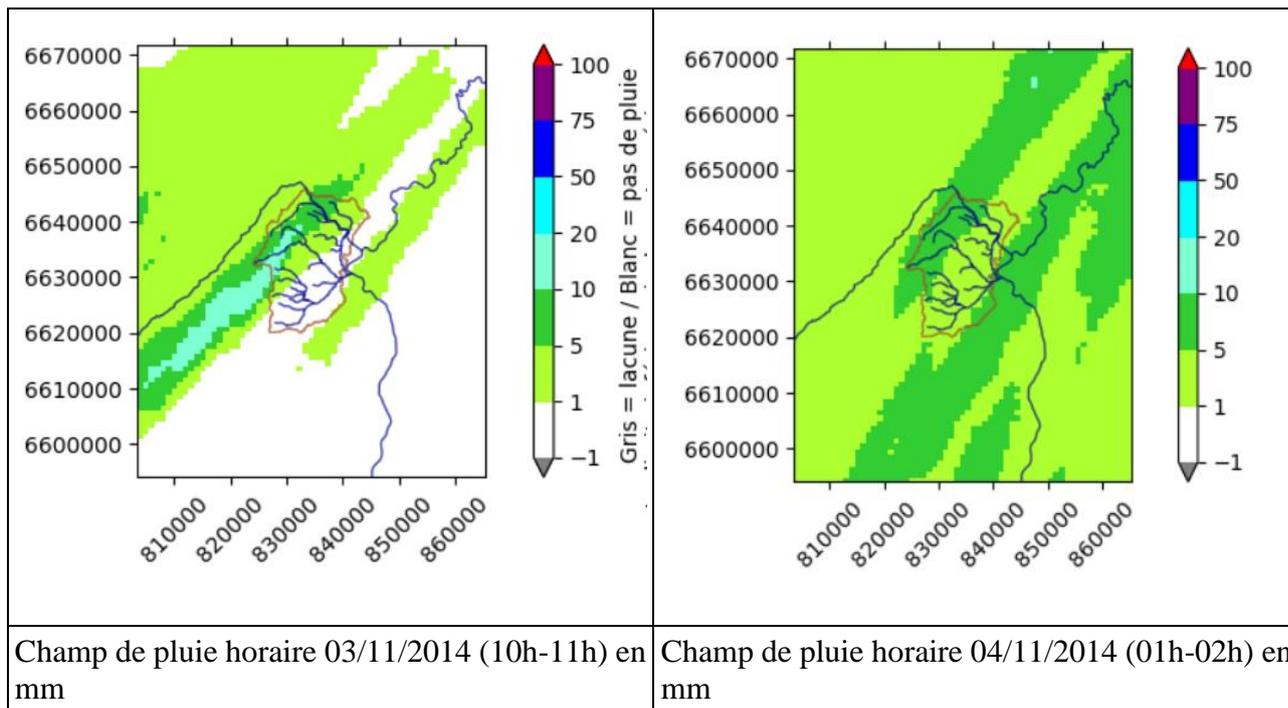


Figure 2: Cartographies de champs de pluie horaires choisis le 03 et le 04/11/2014

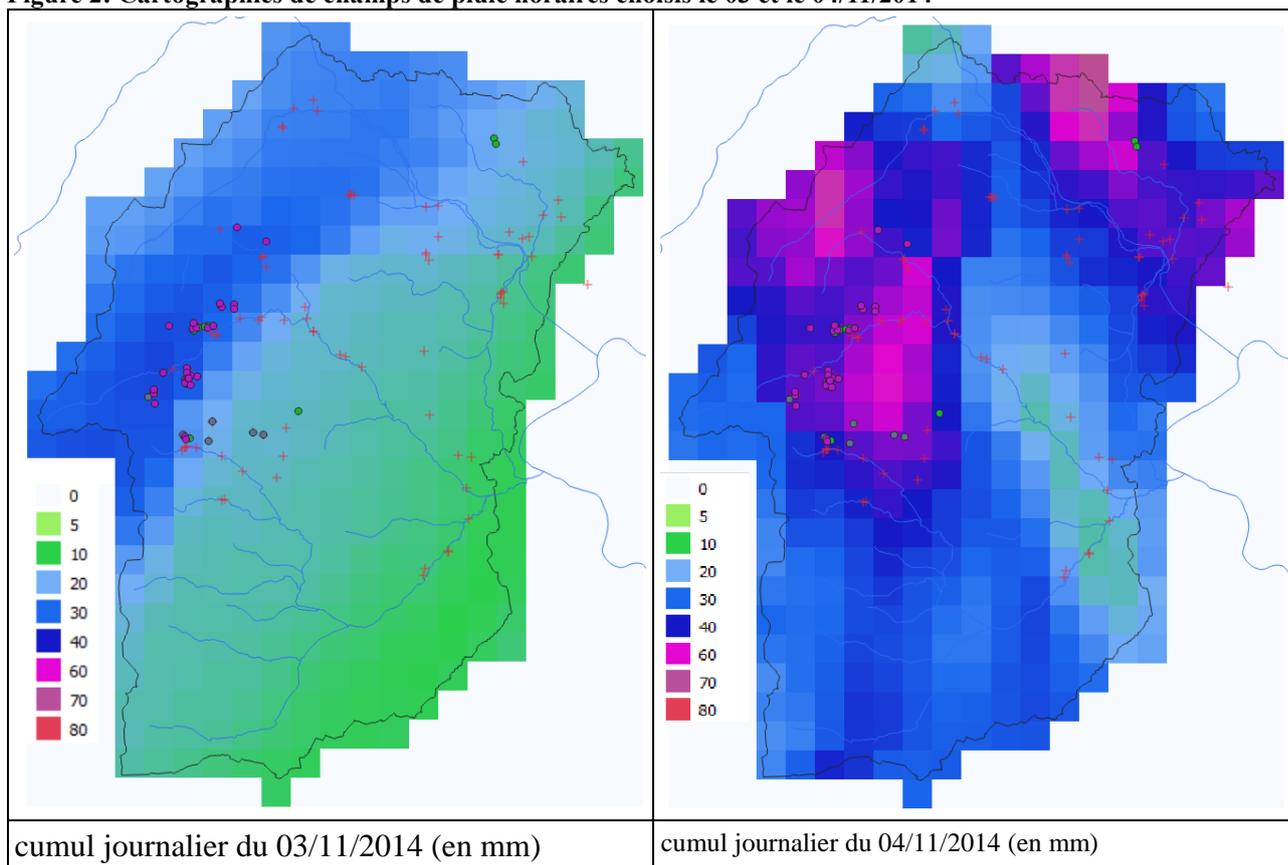


Figure 3: Cartographies de champs de pluie journaliers des 03 et 04/11/2014 (avec laisses de crue et incidents) exporté comme grid ascii et importé dans un projet Qgis. Le code couleur peut être adapté à chaque situation ou, comme ici, identique sur plusieurs cartes à des fins de comparaison.

### 1.2.2. Analyse des cumuls maximums, sur pas de temps glissant

Le code propose aussi des résultats d'analyse :

- ⑩ cumuls maximums sur une liste de durées multiples du pas de temps (de 5 minutes à 1 journée)
- ⑩ dates d'occurrence de ces maxima.

On retrouve la richesse et la difficulté de ces analyses : on peut raisonner sur un grand nombre de durées, chaque durée ayant sa propre carte. On s'est pour l'instant limité à l'étude d'une journée à la fois, et donc le « cumul max sur 1j » correspond donc en fait au simple cumul de la journée. Bien entendu, si c'est nécessaire on pourra étendre la recherche de maximums de cumuls glissants à des durées plus grandes (donc en exploitant plusieurs fichiers journée successifs).

On présente ici les résultats à 5 minutes et 1 heure pour les 03 et 04/11/2014.

On vérifie que la carte des maximums des lames d'eau maximales à 5 minutes est cohérente avec les lames d'eau des cartes à 5 minutes, en s'aidant éventuellement de la carte des pas de temps de ces maximums. Pour les valeurs les plus fortes, l'heure est bien 10h30. On rappelle que, sous Qgis, on peut obtenir les valeurs des cartes sous la souris (icône « identifier les entités », ).

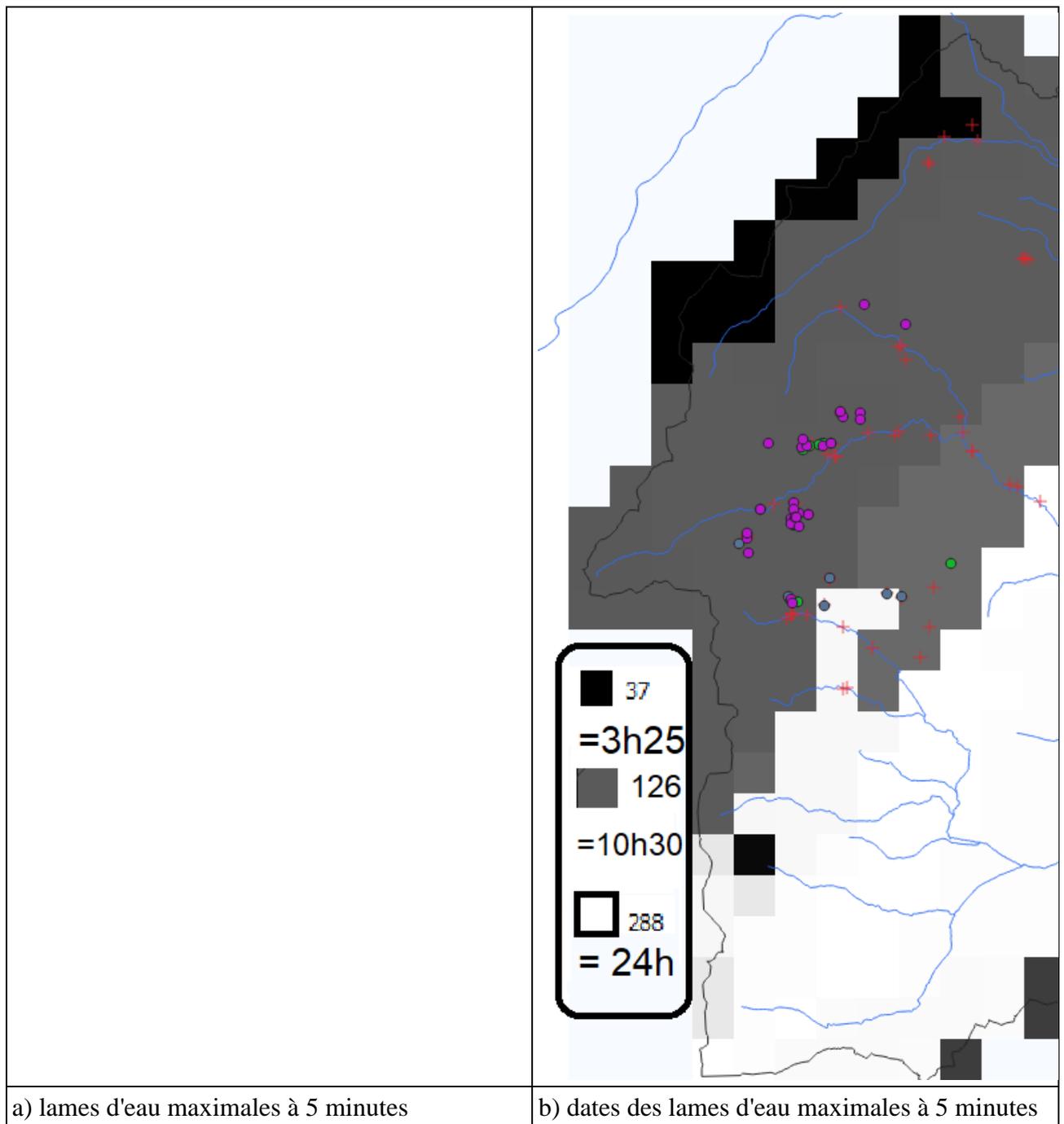
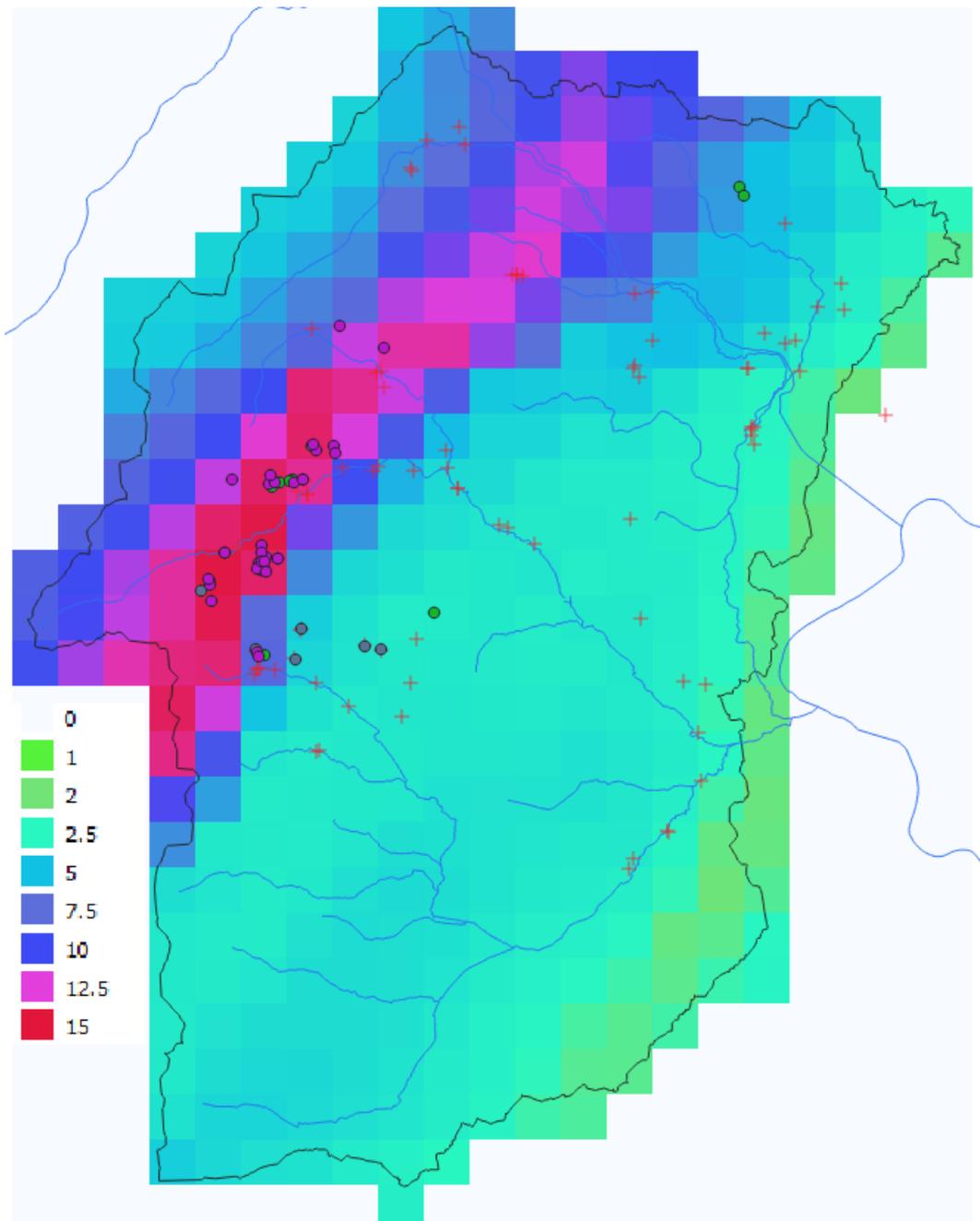
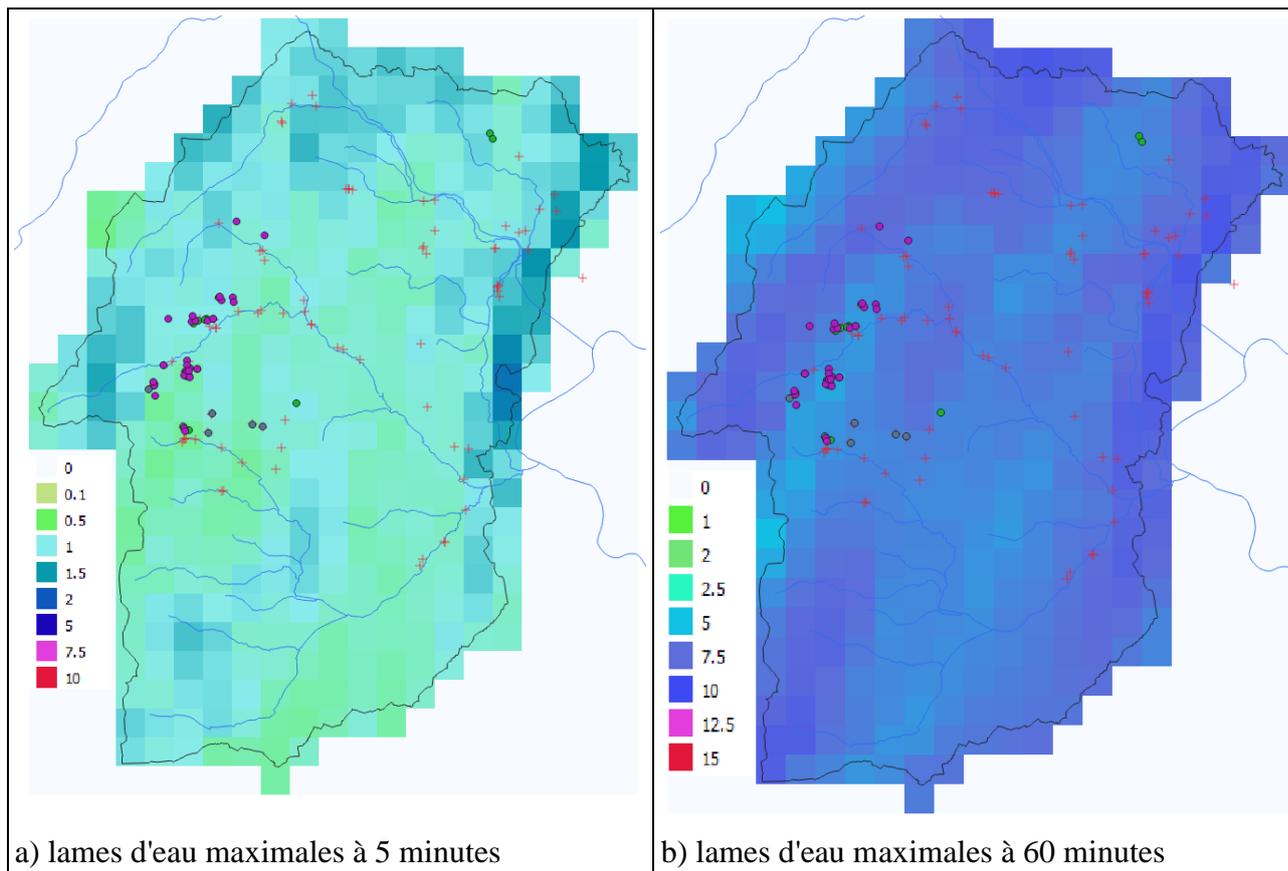


Figure 4: Cartes a) des lames d'eau maximales à 5 minutes (en mm) à la date du 03/11/2014 et b) des dates correspondantes, créées dans Qgis à partir de fichiers grid générés par le code



**Figure 5:**  
Carte des lames d'eau maximales à 1 heure (en mm) à la date du 03/11/2014, créée dans Qgis à partir de fichiers grid générés par le code



**Figure 6: Carte des lames d'eau maximales à 1 heure (en mm) à la date du 04/11/2014, créée dans Qgis à partir de fichiers grid générés par le code**

On a choisi ici pour la carte des lames d'eau maximale à 60 minutes du 04/11/2014 la même échelle de couleur que pour le 03/11/2014, à des fins de comparaison. Si on souhaitait obtenir un meilleur contraste pour cette carte, dont le maximum est inférieur à 10mm en 1h, on modifierait l'échelle de couleur en conséquence.

La comparaison des deux cartes des cumuls sur une heure révèle que le 03/11 les cumuls à 1 h sont très contrastés, avec des valeurs supérieures à 10 mm en une heure sur une petite bande au nord-ouest de la carte, et inférieures à 5 mm sur une majorité du bassin. Au contraire, le 04/11, les valeurs de maximum sur une heure sont très homogènes, étant toutes comprises entre 5 et 8 mm. Les mêmes structures se retrouvent sur les cumuls sur 2 heures, avec des valeurs maximales très intenses mais localisées le 03, pouvant dépasser 15mm en 2 heures, alors que le lendemain les cumuls sur 2 heures sont partout comprises entre 10 et 15mm.

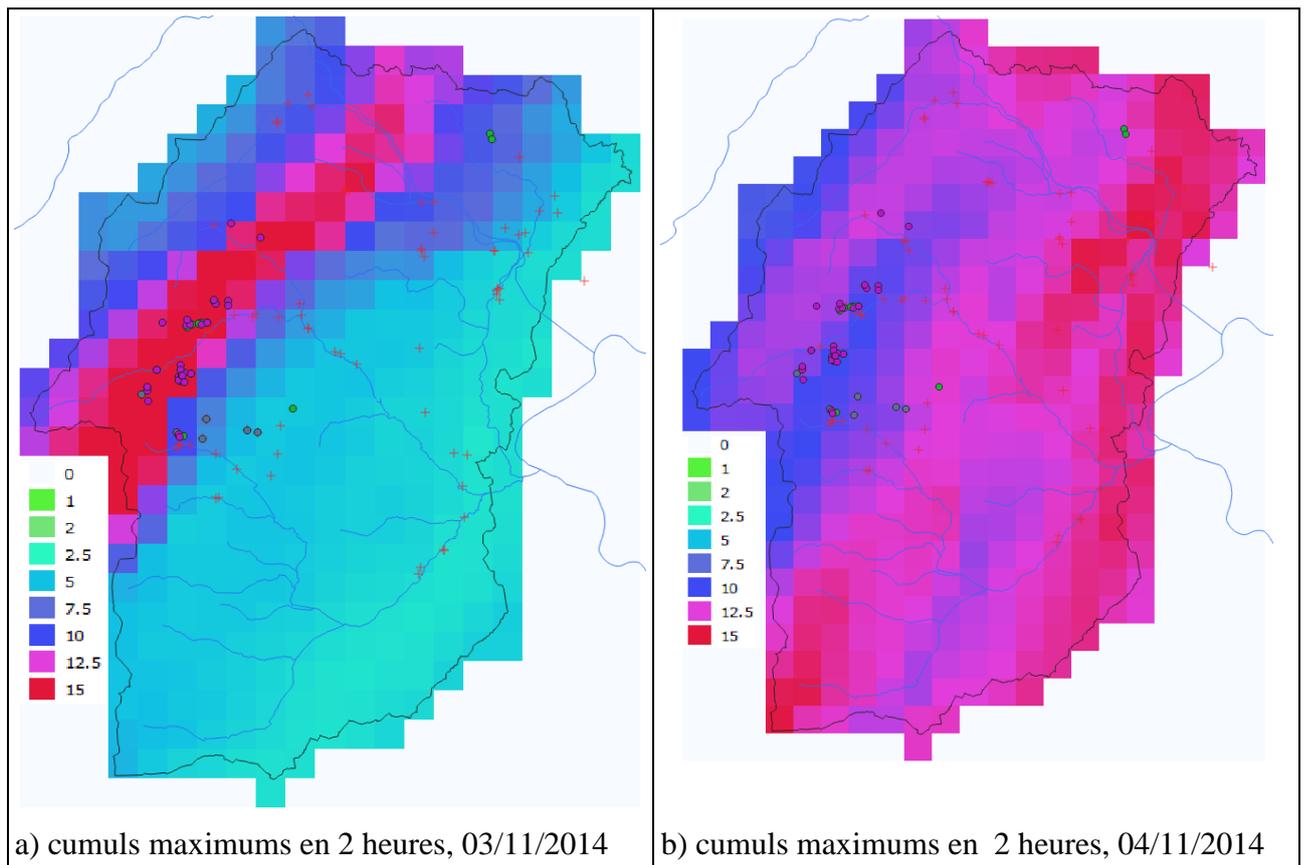


Figure 7: Carte des lames d'eau maximales en 2 heures (en mm) a) le 03/11/2014 et b) le 04/11/2014,

### 1.3. Traitements de chroniques sur une cellule ou moyennées spatialement

L'intérêt et la difficulté de l'exploitation des lames d'eau radar est de valoriser des données spatialisées. On retrouve cette dimension spatiale même dans l'analyse de chroniques temporelles : en effet, on peut analyser la chronique des lames d'eau sur une cellule (donc à la résolution spatiale des données) ou **sur une surface quelconque** correspondant à une zone d'étude, bassin versant ou limite administrative.

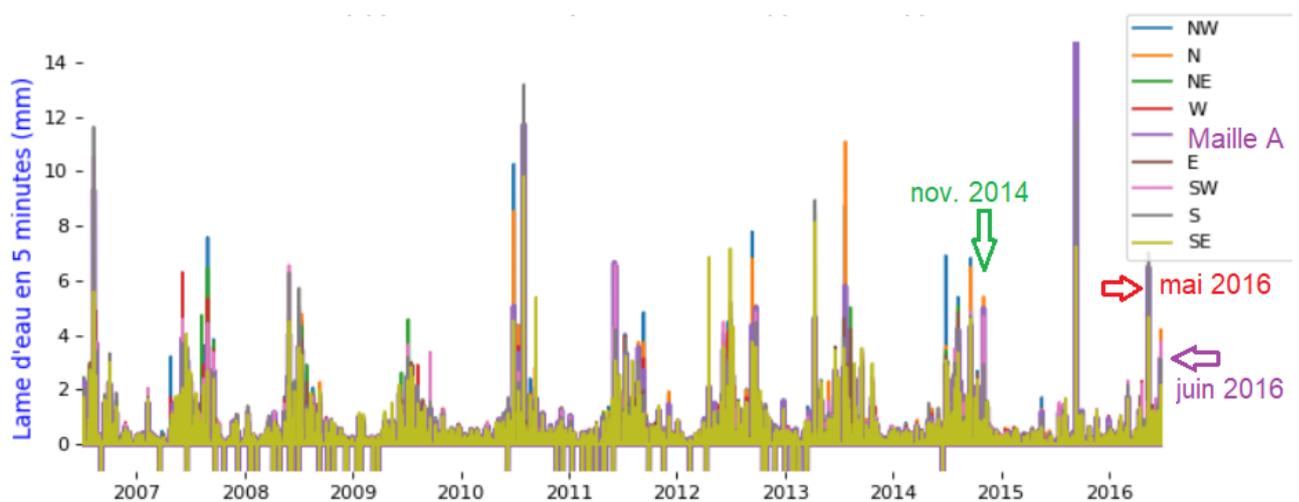
#### 1.3.1. Chronique d'une cellule et IdF d'une cellule

On attend des chroniques conjoncturellement différentes d'une cellule à l'autre, mais le régime des pluies (IdF) n'a pas de raison d'être différent au sein du même bassin.

*Résultats de la visualisation des chroniques* : sur le bassin aval de la Corne, on observe effectivement des chroniques variables d'une cellule à une autre, et même très fortement variables. La Figure 8 superpose les chroniques d'une maille et de ses 8 voisines ; même si les recouvrements empêchent de voir l'intégralité de l'information, ce graphique met déjà très bien en évidence des différences très importantes, pouvant aller du simple au double. Ces différences d'une cellule à l'autre auront un impact fort sur les études diagnostic d'événements : les cumuls multidurées étant différents, pour un régime des pluies IdF identique sur le bassin, les mêmes

périodes de retour estimées varieront fortement d'une cellule à l'autre. Il a donc été proposé de dresser des cartes de sévérité suivant le protocole proposé par Ramos *et al.* (2005), ce qui suppose de calculer les cumuls maximums multidurées sur l'ensemble des mailles du territoire.

*Limite de l'analyse statistique des chroniques d'une maille* : les calculs statistiques sont à prendre avec précaution pour 2 raisons, d'une part le caractère indirect de la mesure (et en particulier les données Panthère ne sont pas recalées avec les informations aux pluviomètres), et d'autre part la faible profondeur temporelle, 10 ans. En conséquence les estimations IdF ne sont pas fiables en valeur absolue, et en plus elles peuvent fluctuer fortement d'une cellule à l'autre pour des durées d courtes. Pour les cumuls intégrés sur une durée plus longue, les estimations seront cependant déjà plus cohérentes sur le bassin.



**Figure 8: chroniques d'une maille ( notée « A » dans l'article soumis à TSM) et de ses voisines immédiates, nommées par points cardinaux. Les 3 événements ayant donné lieu à des incidents de ruissellement ont été ajoutés postérieurement sur la copie d'écran.**

### 1.3.2. Chronique de bloc et IdF de bloc

Il se trouve que l'emprise du bassin aval de la Corne correspond, très grossièrement, à l'un des blocs de 16x16 cellules définis pour gérer plus facilement les données au format chronique (voir document technique). Ce bloc correspond encore mieux au dernier affluent de la Corne (réseau hydrographique au Sud).

Nous avons donc admis, dans un premier temps, que le bloc représentait une unité d'étude correcte pour montrer l'importance de la prise en compte de l'aspect spatial. Des fonctions de calcul de chronique moyenne « de bloc » et de leur analyse ont donc été développées. Dans la suite, il est bien entendu prévu de proposer des analyses sur des zones d'étude quelconques, en allant chercher les chroniques dans les fichiers blocs pertinents déjà identifiés par la procédure d'étude de BV.

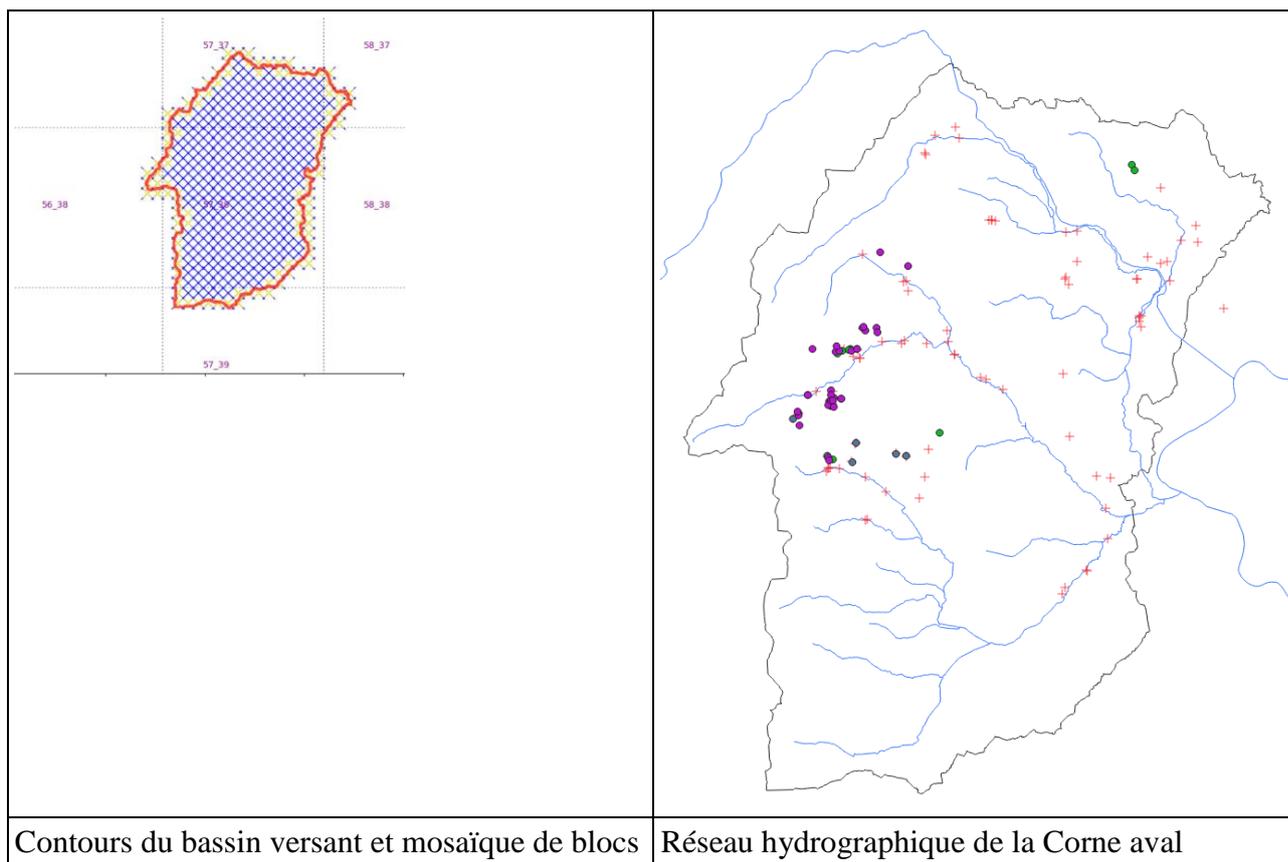


Figure 9: correspondance entre l'emprise du bassin aval de la Corne aval et la mosaïque de blocs  
 Fichier D:/2019-Panthere/BLOCS\_BIN/chronique\_bloc\_38\_57.bin

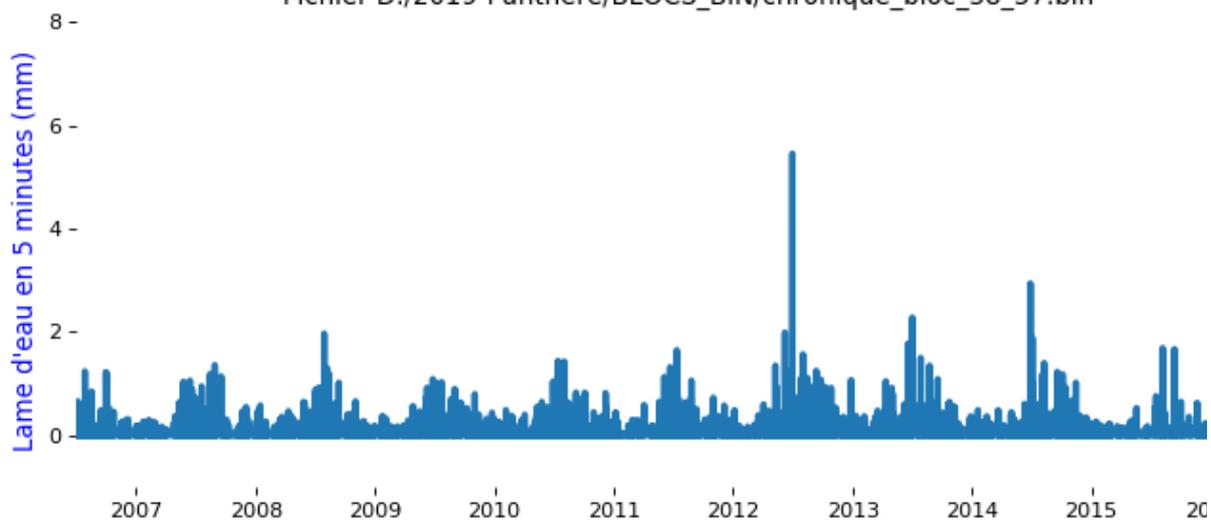


Figure 10: Chronique du bloc 38\_57 correspondant approximativement au bassin de la Corne aval, préalablement calculée et stockée dans le fichier chronique\_bloc\_38\_57.bin

### 1.3.3. Intérêt et limites du développement d'une étude de chronique de bassin et d'un IdF de bassin

Dans l'optique de l'étude des phénomènes déclencheurs du ruissellement, il est intéressant de pouvoir croiser la pluie et la structure des surfaces de collecte. Il est donc important de pouvoir calculer et analyser des chroniques par bassin, en calculant les lames d'eau moyenne sur une surface. Il n'y a pas de difficulté particulière, mais plus le bassin sera grand et plus il faudra de traitements de chroniques à la maille, donc du temps de calcul. On

rencontrera toutefois une difficulté méthodologique à propos des lacunes et des valeurs suspectes :

- ⑩ doit-on déclarer tout le pas de temps en lacune si on rencontre au moins une valeur suspecte ou une lacune ? Doit-on simplement exclure la valeur absente du calcul (et donc raisonner sur une surface amputée des zones où la valeur est écartée)
- ⑩ Peut-on affecter à chaque pas de temps un « code qualité », à définir selon le mode de traitement des lacunes choisi ?

Pour une exploration méthodique des pluies « de bassin », nous proposons de donc compléter les cartes de sévérité de pluie à la maille, au sens de Ramos, par des cartes de sévérité sur des sous-bassins emboîtés. Pour cela, on peut s'orienter vers :

- ⑩ **un calcul « une fois pour toutes » des chroniques de bassins à la résolution kilométrique**, à condition de disposer d'un réseau de drainage sur la même grille d'espace, à stocker de préférence dans un ensemble de fichiers binaires de même structure que les chroniques à la maille (par bloc de 16x16)
- ⑩ **une fonction de calcul de chroniques moyennes pour un ensemble de sous-bassins emboîtés**, définis par des fichiers shape, si possible munis d'une carte de connectivité pour rendre les calculs plus performants (les chroniques moyennes après confluence étant obtenues par moyenne des chroniques amont). Cette solution a l'avantage d'être souple, non limité à des ensembles entiers de mailles, et de tenir compte des informations plus précises disponibles sur chaque cas d'étude.

Pourquoi mentionne-t-on ici des « limites » de l'approche par bassin ?

- ⑩ Le code calcule des moyennes par bassin (ou tout autre entité géographique) par **pas de temps** ; or, sur des surfaces croissantes, on sait bien que la transformation pluie-débit dans les bassins dépend des temps de transfert. La pluie qui tombe près de l'aval et la pluie qui tombe dans les parties amont ne vont donc pas contribuer au débit aux mêmes **pas de temps**. C'EST FINALEMENT UNE REMARQUE ASSEZ BANALE, MAIS IL Y A PEUT-ETRE LA ENCORE UNE HYPOTHESE SIMPLIFICATRICE DANS LA NOTION MEME DE PLUIE DE PROJET CONSTRUITE A PARTIR DES IDFS, TELLEMENT COMMUNE QUE L'ON N'Y PRETE PLUS ATTENTION
- ⑩ Si un noyau pluvieux intense tombe sur la partie aval d'un bassin versant, les analyses actuelles, qui passent par des moyennes sur tout le bassin, risquent de le qualifier en-dessous de son intensité réelle sur cette sous-partie. Et pourtant, en raison justement de la dynamique du transfert évoquée à l'instant, c'est bien cette intensité locale sur une sous-partie qui risque d'être importante pour la genèse du ruissellement ou de la crue, selon les échelles. Une méthode d'analyse de la structure des événements de pluie, par délimitation de clusters de mailles sup-seuil comme proposé par Cristiano et al. (2019), pourrait répondre partiellement à ce problème, mais il faudrait ensuite dans un second temps réintroduire le découpage par la structure des bassins versants.

Des éléments de réponse pourraient être apportés par l'ajout d'une étape de transformation pluie-débit distribuée (voir par exemple Cristiano et al., 2019 ou Braud et al. 2015).

### 1.3.4. Construction de chroniques agrégées à des pas de temps plus longs

Le code propose d'agréger une chronique à 5 minutes en chroniques mensuelles et journalières. Il s'agit de décrire l'information selon une autre échelle de temps. On propose une analyse simple des cumuls mensuels, habituelle en hydrologie pour décrire le régime et sa variabilité.

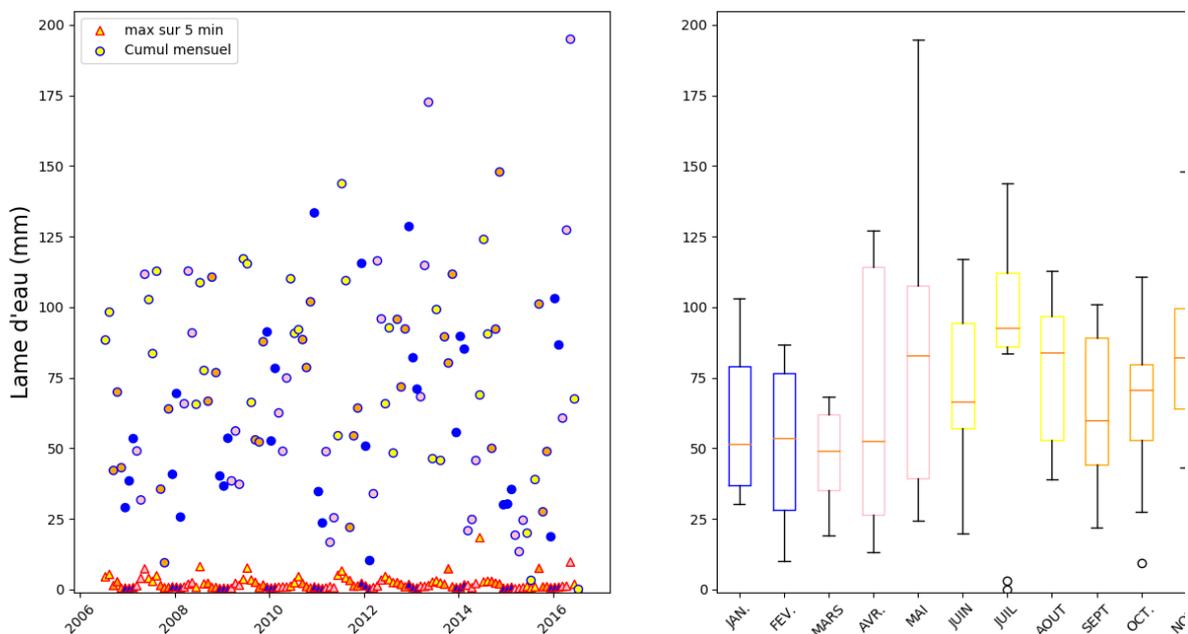
Une analyse des maximal annuels a été implémentée, elle peut servir à des tests mais n'est pas proposée dans l'interface.

## Cumuls mensuels

Cette première analyse, inspirée du code SynGen, calcule les cumuls par mois calendaire. Elle trace dans une fenêtre volante ces cumuls mensuels de manière chronologique, avec en plus la lame d'eau à 5 minutes maximale de chaque mois. Les données de cumul mensuels sont également représentés sous une forme plus synthétique, avec un boxplot par mois.

Un code couleur par saison est également utilisé à l'intérieur des marqueurs.

Analyse mensuelle - Pixel numéro 1 du bloc D:/2019-Panthere/BLOCS\_BIN/bloc\_38\_57



**Figure 11: Chronologie des cumuls mensuels et lames d'eau à 5 minutes maximales du mois, et box plot par mois**

## Cumuls journaliers (PJ)

Cette fonctionnalité a été implémentée car les graphiques de lame d'eau moyenne par jour mettent mieux en évidence les volumes et des cumuls de pluie que le graphique en lames d'eau à 5 minutes.

Un code couleur par saison est utilisé pour faciliter la lecture du graphique.

Il n'y a pas de traitement particulier prévu pour ce format ; on recommandera plutôt d'utiliser dans l'analyse multidurée standard la durée de 24 heures glissantes (288 pas de temps de 5 minutes).

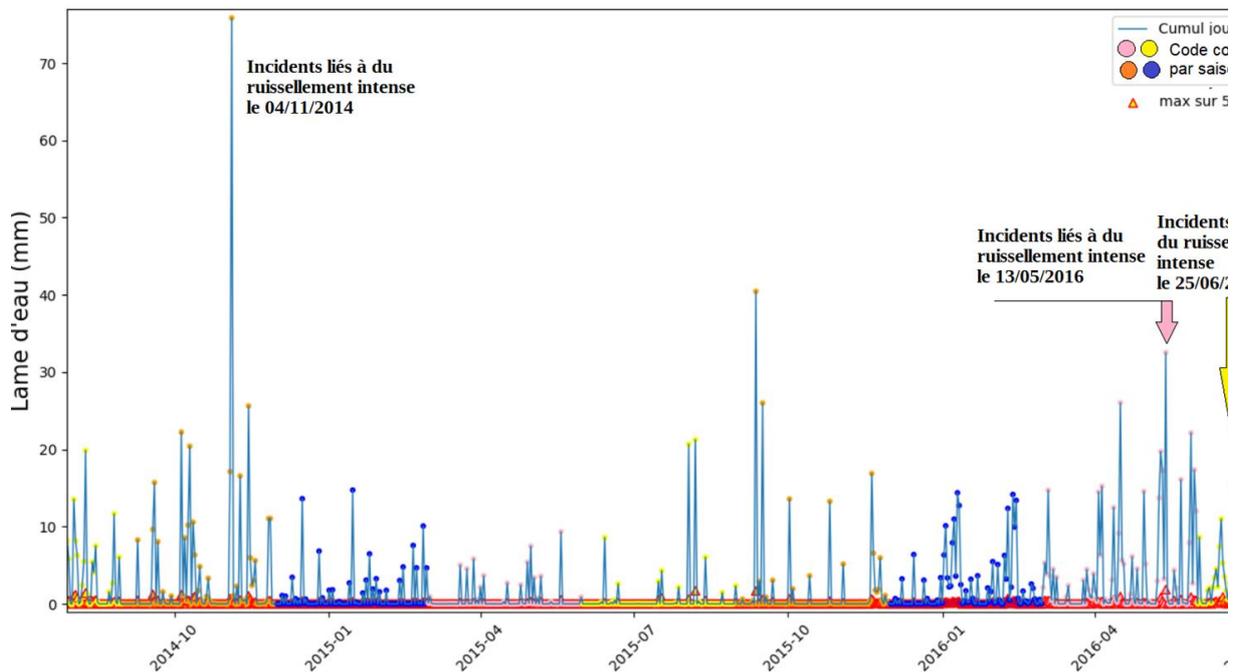


Figure 12: chronique au pas de temps journalier (zoom sur 2014-2016) ; elle a été surchargée ensuite manuellement avec des dates d'incidents

### 1.3.5. Analyses statistiques multidurées de chroniques

Pour établir les relations **Intensité-durée-Fréquence**, le code propose des analyses statistiques multidurées, avec les étapes d'échantillonnage sup-seuil et d'ajustement de lois exponentielles (à 2 paramètres) par durée. L'ajustement d'une loi de Montana (3 paramètres pour toutes les durées) a été implémenté, mais ne donne pas de bons résultats. L'algorithme d'optimisation converge bien vers le minimum de la fonction objectif (en fait, 4 fonctions objectif ont été testées), on pourra dans la suite vérifier pourquoi ces chroniques se prêtent mal à cet ajustement classique (nature indirecte de la mesure, moyenne spatiale et non ponctuelle...)

L'implémentation des fonctions suivantes est envisageable :

- ⑩ **ajustements consolidés par voisinage** (méthode Hosking-Wallis, avec une première version déjà implémentée par Leblois dans un autre code)
- ⑩ **ajustements systématiques** : dans sa version actuelle, le code offre la possibilité de traiter une chronique de maille ou une chronique de bloc à la fois. On peut avoir besoin d'un traitement « batch » qui traite systématiquement chaque maille d'un bassin versant, à condition de définir précisément quelles informations seront sauvegardées et comment elles seront mises en forme, pour être synthétiques et exploitables.

## 2. Résultats des analyses statistiques des chroniques

Dans sa version actuelle, le code suppose un traitement individuel de chaque chronique. Nous présentons ci-dessous les résultats pour deux mailles et un bloc, tels que choisis dans l'article soumis à TSM.

### 2.1. Visualisation simple de chroniques

On peut tracer dans le graphique du haut la chronique des lames d'eau à 5 minutes (d'une maille en particulier ou de la chronique moyenne de bloc), éventuellement avec ses voisines immédiates (cocher « voir chroniques autour »). Les graphiques sont interactifs (zoom...). Les chroniques se superposent sur le même graphique ; on peut toutefois effacer le graphique.

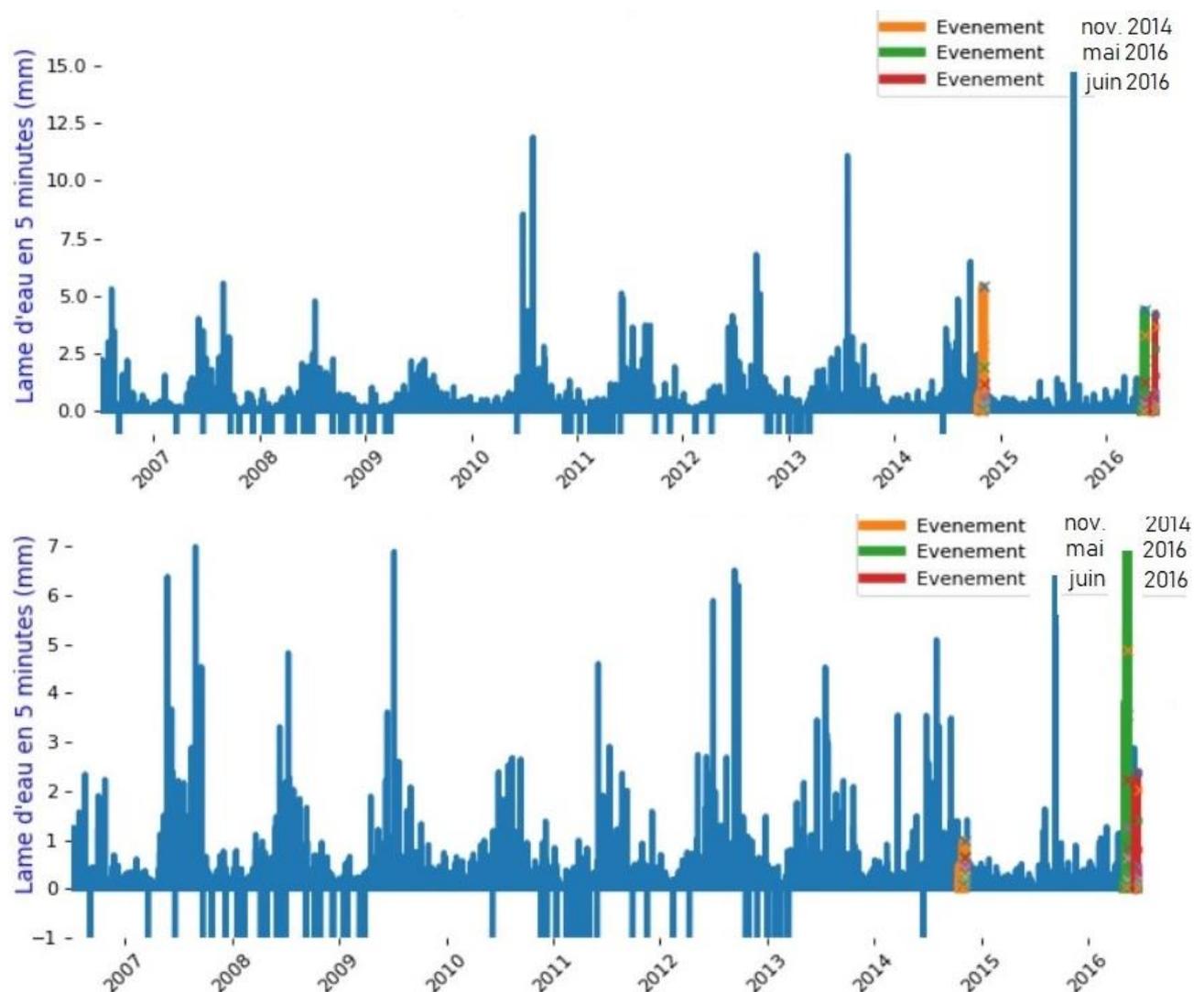


Figure 13: chroniques des lames d'eau à 5 minutes de deux mailles du bassin aval de la Corne à Chalon (valeurs négatives = lacunes), avec repérage de 3 événements ayant donné lieu à des incidents de ruissellement, sur deux mailles distantes de quelques kilomètres ; illustration composée pour un article soumis à TSM (la légende a été surchargée pour noter la date de façon plus claire)

## 2.2.2. Echantillonnage des maxima et ajustement de lois statistiques

Les analyses multidurées sont proposées au pas de temps d'observation, 5 minutes, puis sur des durées plus grandes avec cumul glissant (pour l'instant, la liste des durée est définie dans le code).

### Analyse des lames d'eau à 5 minutes

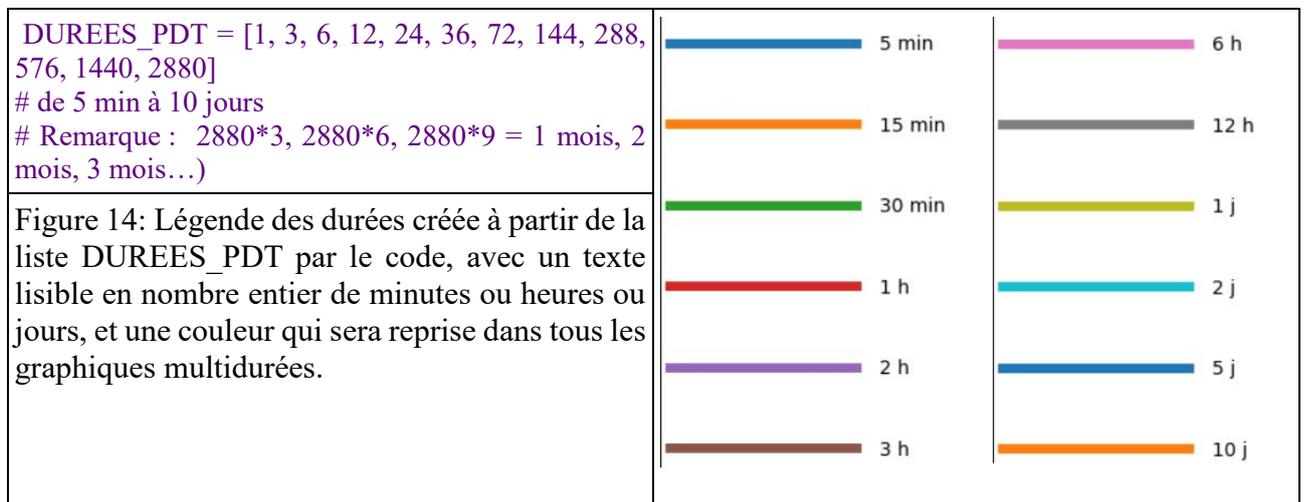
Cette analyse, codée au début du développement, permet simplement une analyse des maxima :

- \* échantillonnage des maxima par année civile, par année hydrologique
- \* échantillonnage sup-seuil
- \* tracé de la chronique avec les max sélectionnés
- \* ajustements

### Analyse multidurées

Cette analyse généralise l'analyse précédente sur des chroniques de cumul sur différentes durées, au pas de temps glissant.

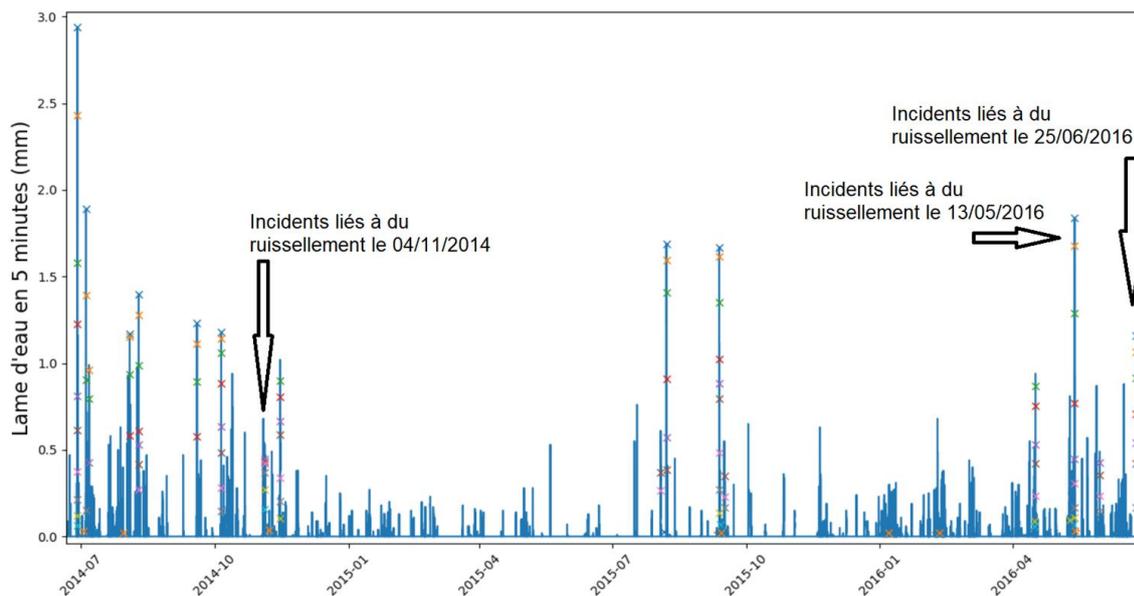
On définit la liste des durées dans le module LecturePanthereParBlocsChroniques, en minutes, dans la variable DUREES\_PDT. Une liste de cases à cocher est alors créée dans l'interface principale, et une légende est disponible dans un menu (pour l'édition de rapports).



L'utilisateur doit indiquer la taille de l'échantillon, par défaut 4 valeurs x nombre d'années, ainsi que les critères d'indépendance entre deux événements.

Les résultats sont :

- 1) Un graphique sur fenêtre volante avec la chronique à 5 minutes et les 40 maximums sélectionnés par durée ; ce graphique est également interactif
- 2) l'ajout des maxima sur le graphique chronique du haut, où le cumul est traduit en lame d'eau moyenne à 5 minutes pendant la durée
- 3) un graphique lames d'eau – durée – fréquence sur le graphe du bas



**Figure 15: zoom sur 2 ans, de mi-2014 à mi-2016, de la chronique de lames d'eau à 5 minutes sur la surface de 16x16 mailles définie précédemment et repérage des cumuls sup-seuils sélectionnés sur chacune des durées ( même code couleur pour les durées )**

**La représentation des maxima sélectionnés sur le graphique des chroniques** permet de se rendre compte de leur répartition temporelle, et d'avoir une idée globale de la période précédant les événements. Dans l'article pour TSM, on a proposé une interprétation en comparant le nombre d'épisodes sélectionnés avec le nombre moyen attendu, sachant que pour être réellement informative cette analyse doit se faire sur une durée correspondant aux temps caractéristiques du bassin : regarder sur trois mois pour des ruissellements sur des secteurs sans réservoir important n'est sans doute pas pertinent.

Un zoom sur cette figure donne une première idée des cumuls sur un épisode, sachant qu'on y verra figurer que les cumuls suffisamment importants pour avoir été sélectionnés.

## Comparaison d'analyses multidurées

Pour les raisons évoquées plus haut, les IdF calculés séparément pour chaque maille risquent de varier d'une maille à l'autre à cause de la faible profondeur temporelle. Cependant, tracer les graphiques en lame d'eau-durée-fréquence gomme ces disparités, puisqu'elles sont moins fortes pour les cumuls sur des durées longues. De même, la représentation en HdF écrase les disparités entre IdF de cellule et de bloc.

On a donc tracé un graphique en IdF pour faire ressortir les disparités cellules / bloc ; le coefficient d'abattement est de 50 % pour les durées courtes.

Il n'est pas prévu pour l'instant d'automatiser ce tracé, mais c'est possible si nécessaire.

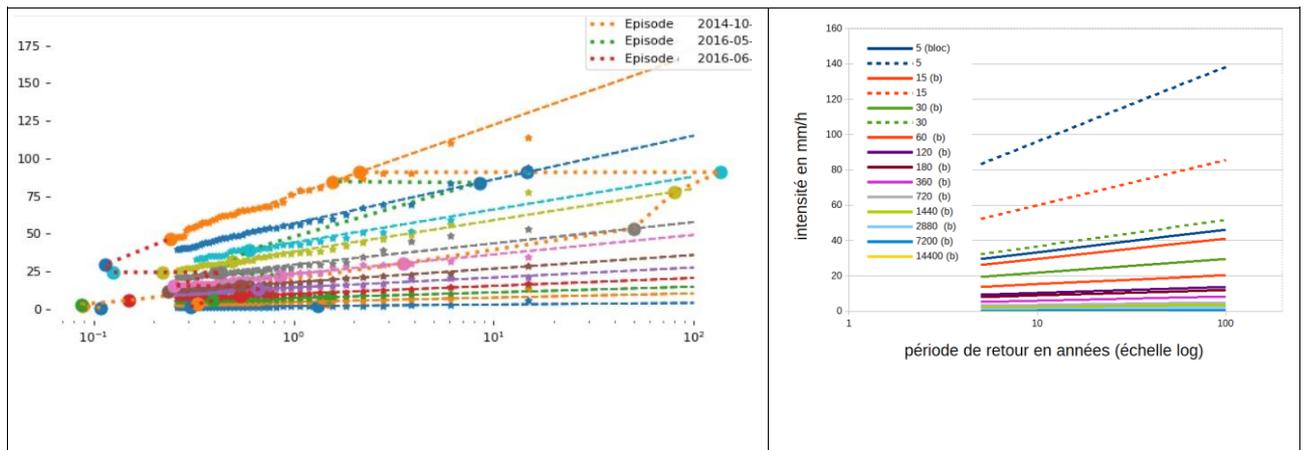


Figure 16: Description du régime par IdF sur le bloc : a) relations Lames d'eau-durée-fréquence ; b) relations Intensité-durée-Fréquence (b, traits pleins) en comparant avec les IdF de la maille B pour les durées 5, 15 et 30 minutes (traits pointillés).

### 3. Description des événements en fréquence et interprétation

Les traitements précédents sont plutôt classiques dans leur principe, même si un code spécifique a été développé pour traiter le format Panthère. Ce qui est plus spécifique, notamment en lien avec l'action IRIP, est de chercher à décrire les événements passés en fréquence, dans une optique de chercher des relations entre leurs propriétés I.d.F.S et le déclenchement d'incidents.

On peut caractériser et analyser les événements :

- ⑩ par des visualisations cartographiques : cartes des cumuls sur plusieurs durées, cartes des maximums de cumuls pour une durée donnée dans une fenêtre temporelle d'une journée ou de l'événement...), cartes et diagrammes de sévérité...
- ⑩ par des visualisations fréquentielles : IdFS

...sachant que dans tous les cas les deux dimensions, spatiales et temporelles, sont présentes et importantes : on parle bien d'IdFS en fréquence par des visualisations et les cartographies correspondent bien à des cumuls (ou cumuls maximums sur une période donnée) sur une durée d prise parmi une liste de durées définies.

#### 3.1. Modalités de définition d'un événement

**Pour les cartographies, qui exploitent les données rangées par champs**, l'opérateur doit pour l'instant lancer les analyses journée par journée, ou sur une durée inférieure à une journée. Il n'y a pas encore de notion d'« événement », mais c'est sans doute à prévoir, notamment pour obtenir les vrais maximums glissants (s'ils couvrent une période à cheval sur deux jours).

**Pour l'analyse fréquentielle, qui exploite les données rangées par chroniques de maille**, l'option « Recherche d'un événement » ouvre un menu de saisie de 2 dates.

Entre ces dates, on recherche le cumul maximal sur le jeu de durées, pour l'instant sans autre condition.

Dans le graphique du haut, la chronique est surlignée sur la durée de cette événement.  
 Un graphique volant présente ces valeurs, ainsi qu'un « rétrocumul »  $R(t)$  montrant l'évolution de la lame d'eau totale entre la fin de l'épisode et  $t$ .  
 Les valeurs maxi pour chaque durée sont ensuite reportées sur l'HdF du graphique du bas pour caractériser chaque événement de manière multidurées.

	* dates de début *	* dates de fin *
Année, de 2006 à 2016 ?	2014	2014
Mois, de 1 à 12 ?	7	8
Jour, de 1 à 28, 30 ou 31 ?	23	2
Heure, de 0 à 23 ?	0	0
Minute, de 5 (cumul de 0 à 5 min) à 60 (cumul de 55 à 60 min)	5	5

Tracer et analyser

Figure 17: menu

d'extraction d'un événement

## 3.2. Evénement de novembre 2014

Prenons l'exemple de l'événement de 2014 ;

### 3.2.1. Protocole de calcul de la « trace multidurées » de l'événement

L'analyse des journées concernées (, 3 et 4 novembre 2014) a déjà été présentée, elle fournit les cartes suivantes :

- ⑩ le « film » des cartes de lame d'eau sur les journées des 03 et 04/11 à 5 min et horaires : il montre deux séquences très contrastées, le 03 connaissant les intensités locales les plus fortes mais un petit quart du bassin seulement est concerné, tandis que le 04 les intensités sont moindres mais plus généralisées. Cette différence est visible même sur les cumuls journaliers. Cet exemple montre bien la difficulté de caractériser de manière synthétique un événement, qui dans son déroulé est d'abord localisé puis se généralise avec des intensités maximales moins marquées. Quels indicateurs retenir, qu'est-ce qui est pertinent ?
- ⑩ Les cartes des valeurs maximales de cumul sur les différentes durées, indépendamment pour chaque journée, qui sont les préfigurateurs des cartes de sévérité.

Nous allons détailler ici le protocole de calcul des « traces multidurées » d'un événement, sur un support géographique donné (pour l'instant, une maille ou un bloc), déclenché via le « menu d'extraction d'un événement »

- ⑩ la partie de la chronique (par maille ou par bloc) correspondant à l'événement est tracée en gras, avec mention de la date dans la légende (Figure 13). Si la chronique a déjà été tracée, elle se superpose donc à cette chronique. Si l'analyse multidurées a déjà été effectuée, des croix sur la chronique repèrent les 40 cumuls déjà sélectionnés pour chaque durées : attention à **ne pas confondre avec** les cumuls maxima pour différentes durées calculés sur la durée de l'événement, et tracés avec le rétrocumul (cumul entre la fin de l'événement et l'instant t). Le zoom de la chronique sur l'épisode fait ici apparaître que les cumuls de 2h à 10 jours ont été sélectionnés dans les échantillons de maximums. Cependant, les cumuls de 5 et 10 jours définis dans l'analyse multidurée se poursuivent après l'événement : on comprend bien que les valeurs de cumuls sur 5 à 10 jours de l'événement seront légèrement différentes.
- ⑩ Un graphique volant avec une chronique restreinte à la période définie, avec le rétrocumul (cumul entre la fin de l'événement et l'instant t) et les cumuls maxima pour différentes durées calculés sur la durée de l'événement. Il n'y a pour l'instant pas de contrainte de délai entre le maximum sélectionné et la fin de l'épisode, ce qui peut poser problème si on sélectionne par exemple un pic sur 5 minutes très antérieur à la fin de l'épisode : est-ce vraiment un élément impliqué dans le déclenchement des incidents ? Pour cette raison, on s'est limité à des durées d'événements plutôt courtes, de quelques jours, en complétant éventuellement avec une seconde analyse sur une durée supérieure à 10 jours.
- ⑩ Et enfin, les cumuls maximums par durée sur l'événement (qui ne correspondent pas forcément à des valeurs sélectionnés parmi les 40 valeurs maximales des 10 années) sont replacés sur l'IdF, avec le même code couleur par événement que celui du graphe des chroniques, ce qui :
  - ↘ illustre qu'un événement n'a pas une période de retour, mais une période de retour par durée ;
  - ↘ décrit de manière synthétique les composantes fréquentielles de l'événement par sa « trace » (on relie ensemble les points cumul-fréquence)
  - ↘ permet la comparaison d'événements.

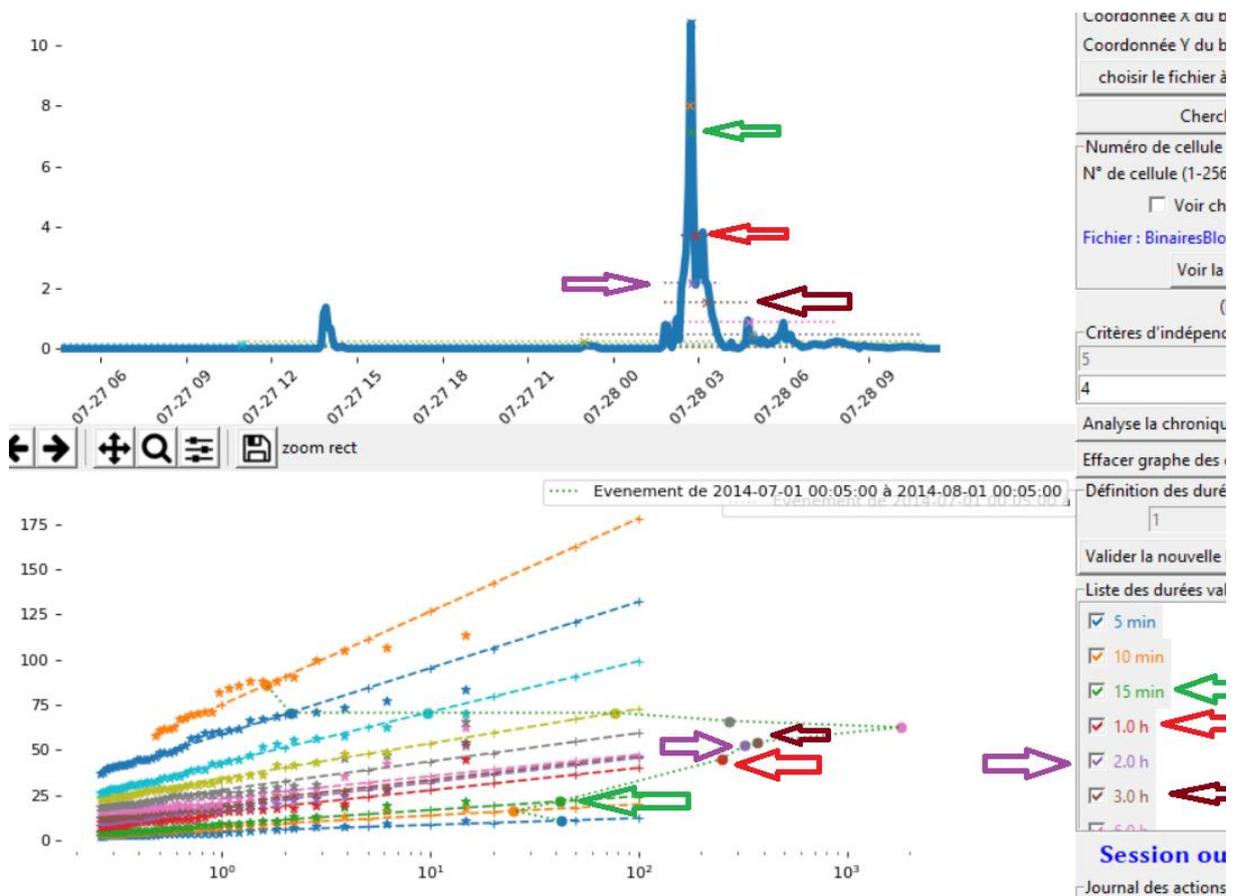


Figure 18 : résultats de l'analyse multidurée sur l'interface, en chronique et en HdF. La copie d'écran a été surchargée pour mettre en évidence le code couleur des durées, rappelé par des checkbox dans le cadre « liste des durées ». Zoomer sur le graphe du haut permet de mieux voir à quoi correspondent les maxima sélectionnés. La fonction « définir des épisodes » permet ensuite de reporter sur ce graphique les lames d'eau maximales pendant un épisode, calculées pour chaque durée, constituant ainsi une « caractérisation multidurées » de chaque épisode sur la surface considérée.

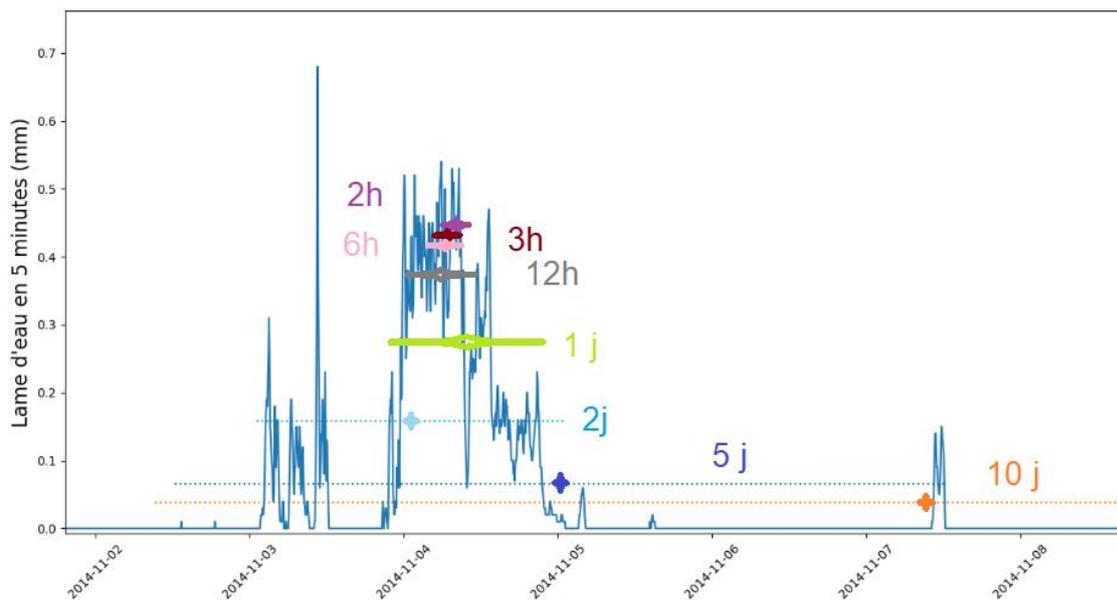


Figure 19: zoom sur l'événement de novembre 2014 de la chronique de lames d'eau à 5 minutes sur une surface de 16x16 mailles du BV de la Corne aval et repérage des 40 maximums des moyennes glissantes sur chacune des durées ; figure composée à partir de la chronique tracée sur fenêtre volante, surchargée par une croix au milieu de l'intervalle et le rappel des durées pour aider la compréhension

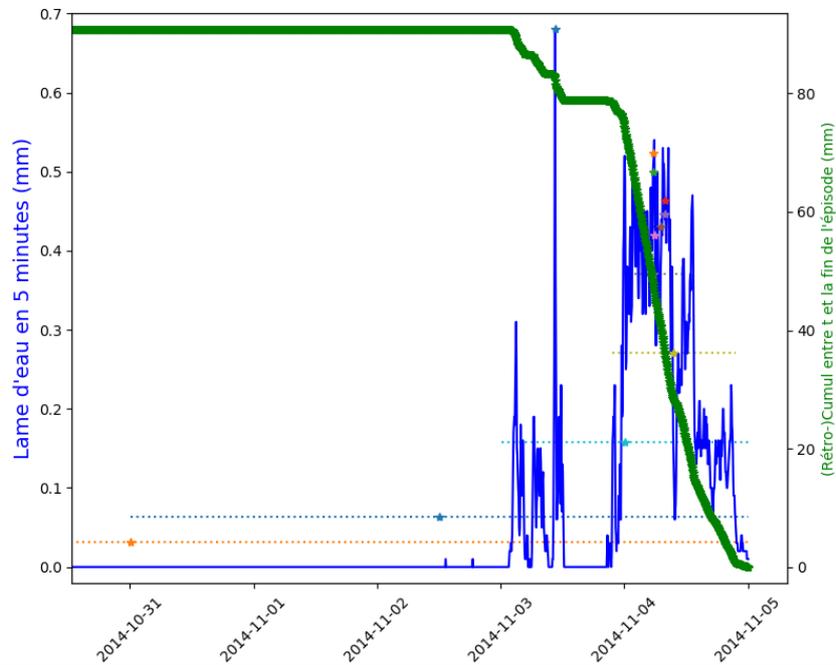


Figure 20: résultat de l'analyse de l'événement de 2014 sur le bloc : graphique sur fenêtre volante avec le cumul entre l'instant t et la fin de l'épisode (étoiles vertes) et les cumuls maximum sur chaque durée d, de 5 minutes à 10 jours, représentées en équivalent lame d'eau sur 5 minutes sur la durée d.

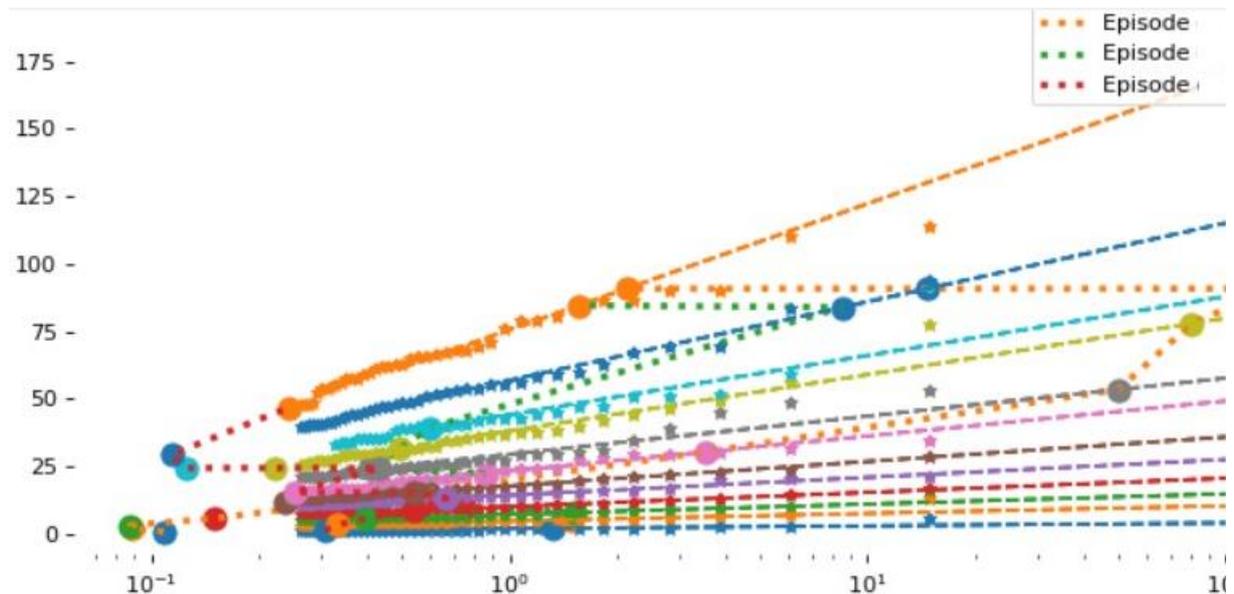
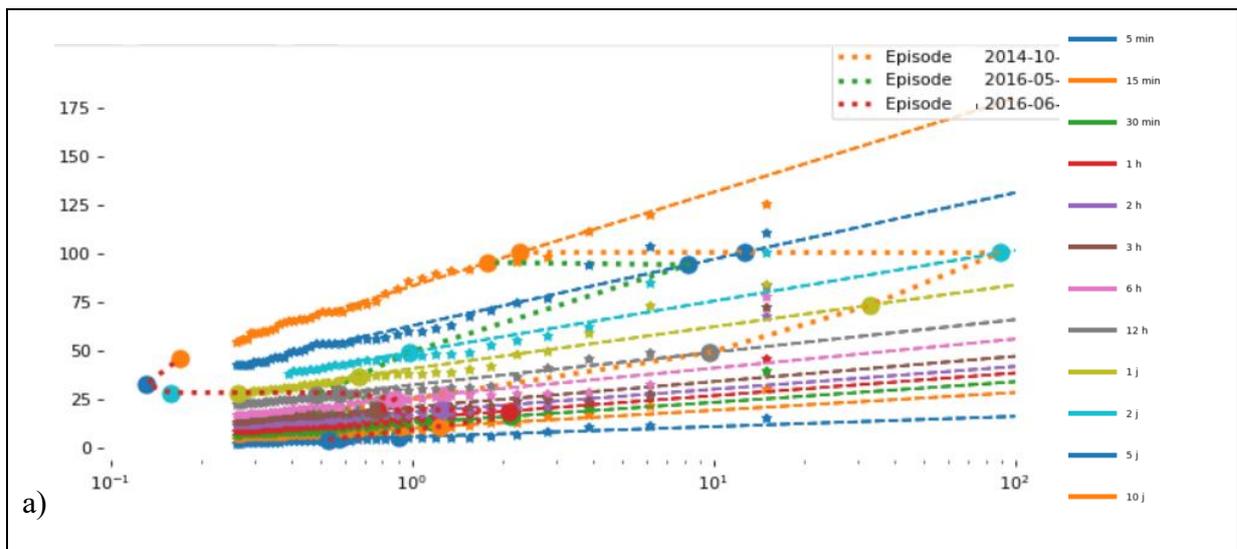


Figure 21: graphique lames d'eau – durée – fréquence sur une maille du BV de la Corne aval ( même code couleur pour les durées que la figure 9), avec report des lames d'eau maximales pendant 3 épisodes ayant provoqué des inondations par ruissellement.

A l'échelle du bloc, l'événement de 2014 est supérieur à 10 ans pour des durées de 5 jours à 12 heures. avec la période de retour estimée la plus élevée pour 1 jour (les points correspondant à cet événement, placés sur l'IdF, sont reliés par un trait pointillé orange).

Si on refait le travail pour deux mailles individuelles, notées A et B dans l'article, on voit que les « traces » ont des points communs mais aussi des divergences. Pour la maille A, le cumul de pluie est plus que décennal pour les même 4 durées, avec une période de retour estimée maximale pour 2 jours ; pour la maille B, c'est seulement pour les durées 2j, 1j et 12h, avec un maximum pour un jour.

Ces éléments sont donnés et interprétés dans l'article de Poulard et al. soumis à TSM. On fait d'abord remarquer que, vu la nature des données, les estimations des périodes de retour sont très approximatives, surtout pour des fréquences rares. Ensuite, après la description, nous concluons : « Ainsi, pour annoncer une période de retour il faut préciser non seulement la durée, mais aussi l'emprise spatiale : un événement orageux intense peut générer une lame d'eau moyenne rare sur une petite surface, avec en conséquence des phénomènes de ruissellement en versant, mais si aux mêmes dates la lame d'eau moyenne sur le bassin versant total reste modeste il n'y aura pas forcément de crue notable dans le cours d'eau. »



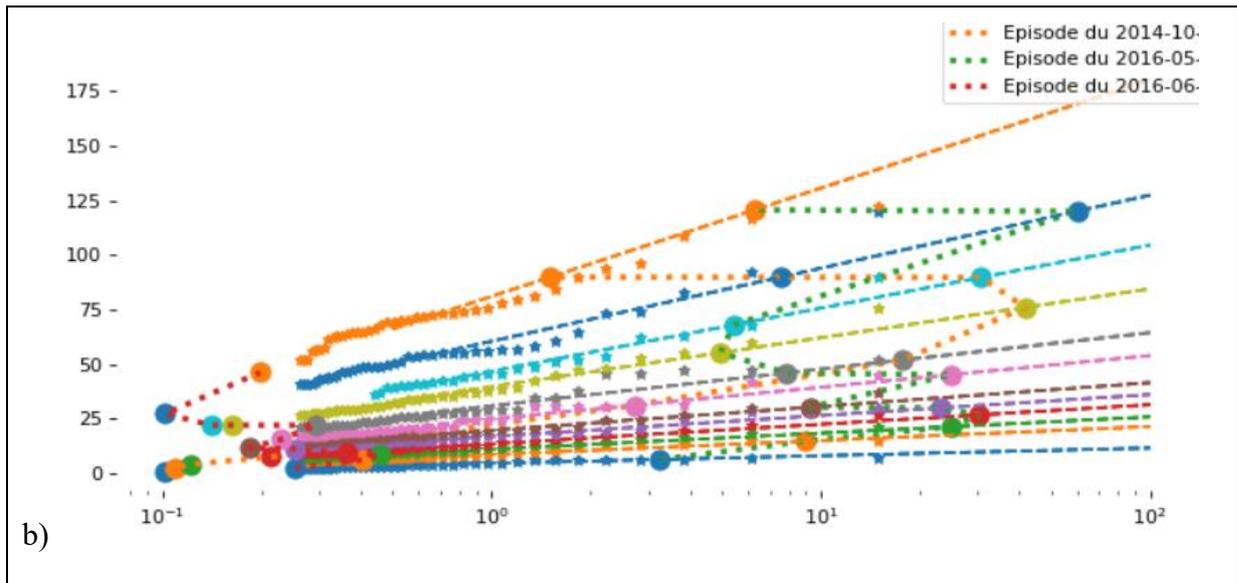


Figure 22 : relations lame d'eau-durée-fréquence : période de retour en abscisse (années, échelle log) et lame d'eau en ordonnée (mm) pour des durées de 5 minutes à 10 jours, avec repérage des 3 événements en fréquence a) maille A ; b) maille B – Figure composée pour l'article soumis à TSM

### 3.3. Evénements de mai et juin 2016

Le même travail a été mené pour les 2 événements de 2016 (code couleur vert pour celui de mai, et rouge pour juin).

Pour la maille A, en mai 2016 le cumul sur 5 jours était décennal. L'événement de juin n'apparaît pas exceptionnel. Sur la maille B, celui de mai 2016 apparaît exceptionnel pour la durée 5 jours mais aussi pour des durées de 30 min à 2h (b). Comme pour la maille A, la pluie de l'événement de juin 2006 est modeste.

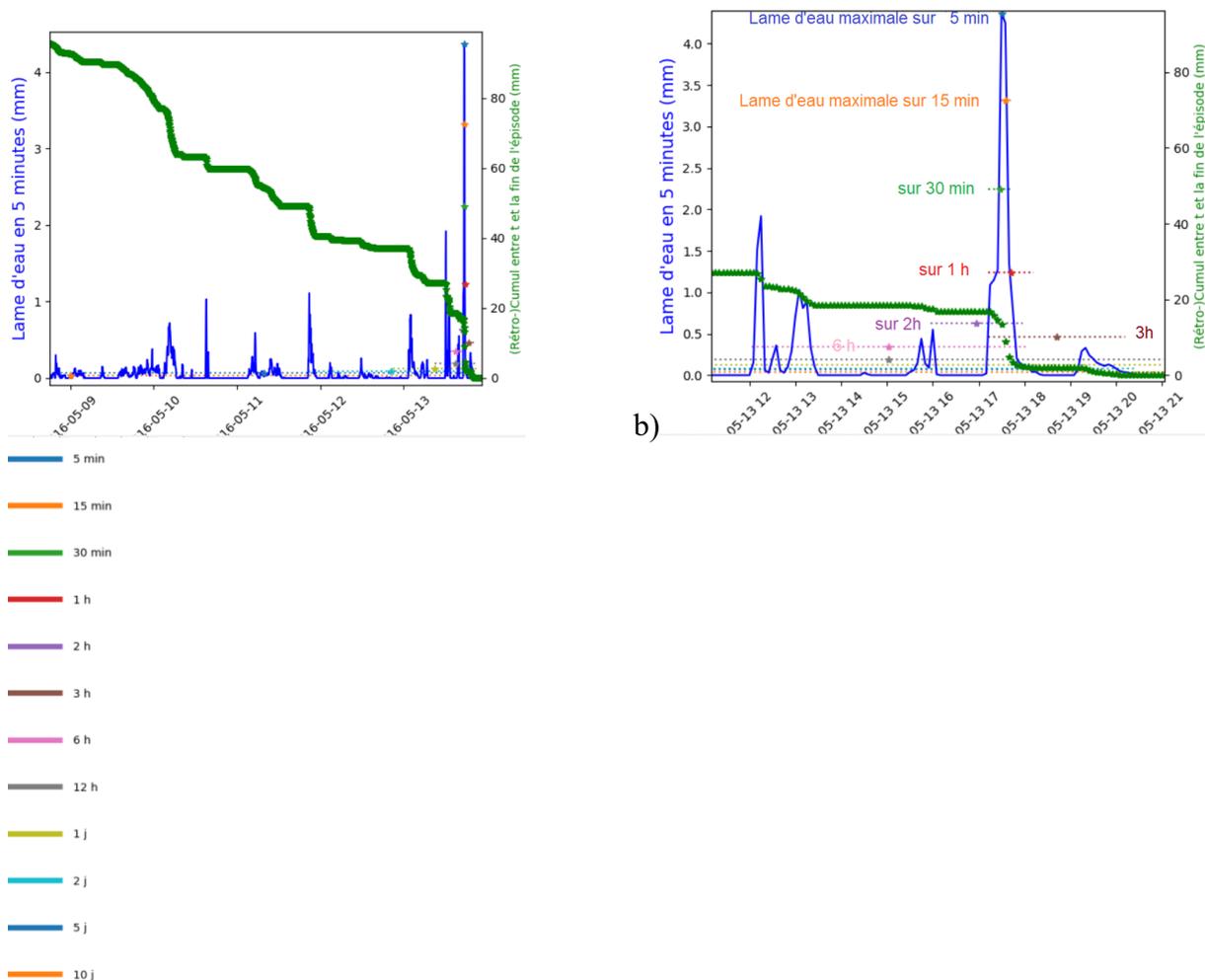


Figure 23: a) chronique de l'épisode de mai 2016 sur la maille A (ligne bleue) et rétrocumul, soit le cumul entre l'instant t et la fin de l'épisode (étoiles vertes) ; b) zoom sur le 13 mai de 12 à 20h pour mieux identifier les cumuls maximum sur chaque durée d, de 5 minutes à 10 jours, représentées en équivalent lame d'eau sur 5 minutes sur la durée d.

#### 4. Remarques sur le calcul de « pluies de projet » pour l'article soumis à TSM

Le code a également été utilisé pour illustrer et valoriser une analyse bibliographique sur les pluies et crues de projet réalisée en 2018, et poursuivie en 2019. Nous avons construit des pluies de projet à partir des données lames d'eau radar, même si les IdF estimés par cellule sont à prendre avec précaution, car ces données spatialisées permettent également de raisonner en pluie « de bassin ».

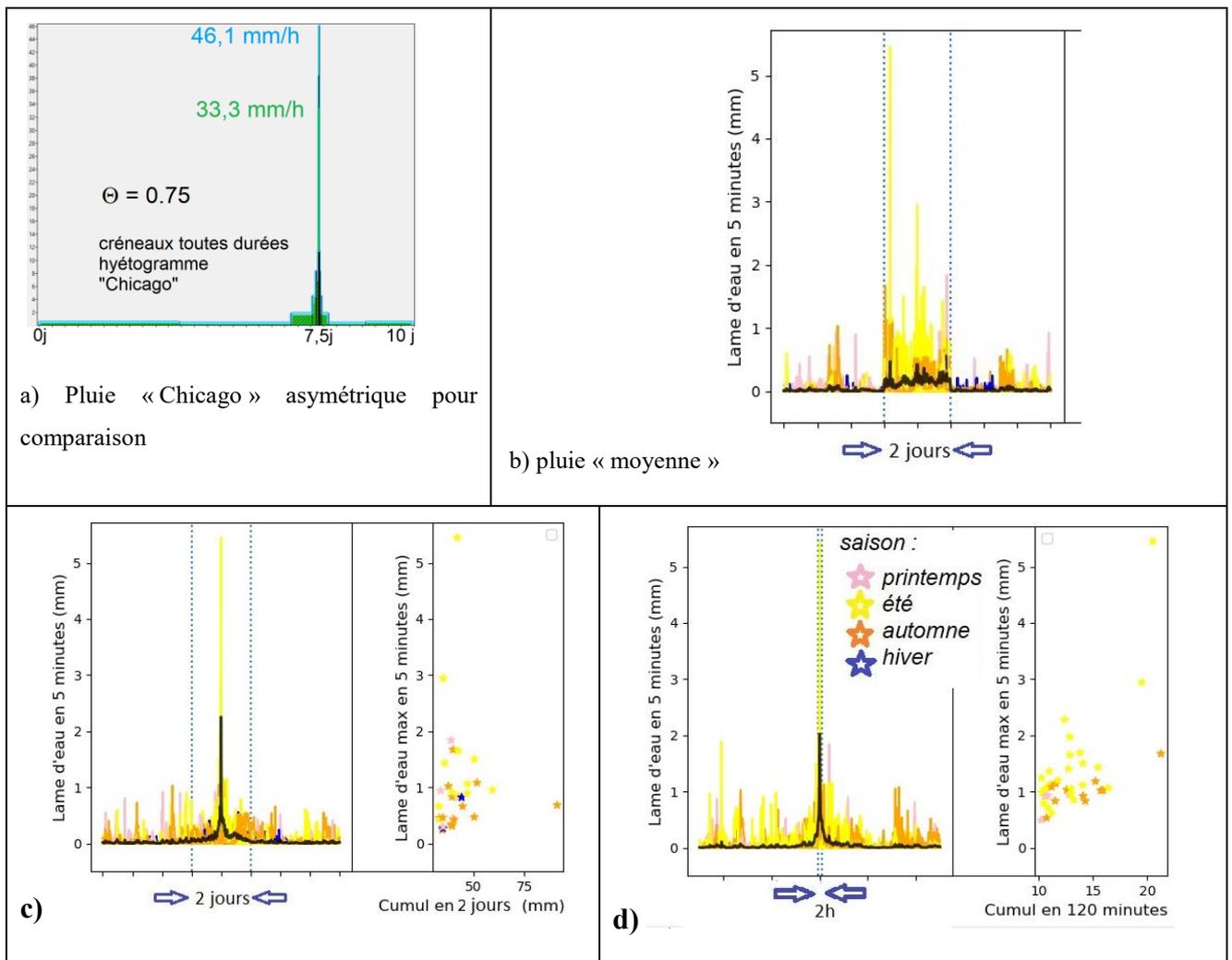
Réaliser des pluies « de projet » à partir d'événements et d'IdF avait pour but de **discuter des hypothèses et montrer la subjectivité inhérente à la construction** (comment sélectionner des pluies, comment choisir une méthode de construction et quelle est l'influence des degrés de liberté...), et de montrer la variabilité des pluies obtenues.

### Calcul d'une « forme moyenne d'événement » :

Le but est de construire un hydrogramme de forme « moyenne » pour utiliser ensuite comme forme pour des « pluies de projet », d'après les consignes du cours d'hydrologie en ligne de l'EPFL Vicaire (chapitre « Design storms »<sup>1</sup>), avec la possibilité de tester des variantes.

Le cours de l'EPFL conseille de travailler avec des pluies **de cumul et durée comparables**, et de normer chaque épisode par son volume total. Pour obtenir une pluie probabilisée, on dénormera par le volume correspondant à la période de retour voulue pour la durée choisie.

Le code propose de travailler avec les événements extraits de la chronique autour des 40 cumuls maximums identifiés pour une durée donnée, en écartant ceux avec des lacunes. La vignette b présente les événements sélectionnés pour leur cumul sur 2 jours (non normés) et la forme moyenne obtenue: elle est aplatie, car le pic de chaque épisode se produit dans n'importe quel pas de temps de la fenêtre. **Centrer sur les pics** avant de moyenner permet de faire apparaître un pic (c et d), mais chaque épisode étant décalé plus ou moins vers la droite ou vers la gauche, c'est cette fois la durée que l'on malmène. Enfin, la partie droite des graphiques montre les corrélations entre pic et volume, avec un code couleur par saison, pour mettre en évidence leur variabilité. Quelle que soit la méthode retenue au final, même avec les astuces de Pilgrim et Cordery, la « forme moyenne » en grisé sera inévitablement plus lisse et symétrique que chacun des épisodes, en occultant forcément aussi la variabilité du rapport pic/volume.



<sup>1</sup>[http://echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod\\_1b/chapt\\_2/main.htm](http://echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1b/chapt_2/main.htm)

**Figure 24 : comparaison de « formes moyennes » obtenues avec des variantes avec la forme d'une pluie de type « Chicago »**

## 5. Discussion : interprétation des résultats pour comprendre la genèse du ruissellement et identifier des indicateurs pertinents

Le travail d'analyse a donc été fait, ou en tous cas toute analyse complémentaire est possible avec le code, par contre la synthèse est délicate. Une fois la description d'un événement donnée, par des cartes de sévérité et/ou sa trace sur l'IdF, comment interpréter, et comment relier les incidents aux facteurs explicatifs ?

Il faut pour cela compléter l'analyse des données par une analyse fine des conditions de genèse des écoulements, en prenant garde aux éléments anthropiques (les routes par exemple, dont il est dit dans les relevés d'incident qu'elles transfèrent le ruissellement), et aux temps caractéristiques propres à chaque sous-bassin. Des opérations de fouille de données sur des jeux d'incidents importants pourraient apporter des éléments de synthèse consolidés, en prêtant attention à l'homogénéité des territoires étudiés : les facteurs explicatifs n'ont pas de raison d'être les mêmes dans les plaines du Nord de la France, où la saturation est considérée comme un facteur déclencheur important, et des vallées de la partie Sud qui connaît des averses soudaines et intenses.

Les actions à court et moyen terme proposées sont de :

- ⑩ **proposer et automatiser la construction de cartes de sévérité et de diagrammes de sévérité** au sens de Ramos et al. (2015), avec les modifications proposées par Poulard et al. 2019 ; là aussi, il faudra optimiser le code (voir en particulier le point suivant).
- ⑩ *sous-action du précédent* (algorithmique et informatique) : réfléchir à un traitement simultané de moyennes spatiales sur des bassins emboîtés (définie par une liste de fichiers shape) optimisant le temps de calcul.
- ⑩ Identifier d'autres méthodes pour décrire la sévérité des événements : recherche de « clusters » de pluie au sens de Cristiano et al. (2019), et caractérisation par des ratios adimensionnels entre les dimensions caractéristiques des pluies et des bassins ?

## Références :

Autre livrable 2019 connexe : des mêmes auteurs, Annexe Technique - *Panther'ogation : outil d'interrogation de fichiers « lames d'eau radar »*

BENOIT, L., ALLARD, D., MARIETHOZ, G. (2018) : Stochastic Rainfall Modeling at Sub-kilometer Scale. *Water Resources Research*, 54 (6), pp. 4108-4130

BRAUD, I. ; SUSPENE, H. ; DELRIEU, G. ; WIJBRANS, A. ; BOUDEVILLAIN, B. ; LEBLOIS, E. ; RENARD, B. ; ADAMOVIC, M., (2015) Characterization of rainfall variability and uncertainty and its impact on the hydrological response during flash floods in the Ardèche catchment 2300 km<sup>2</sup> (France). 9th HyMeX workshop, Mikonos, GRC, 21/09/2015

CRISTIANO, E., TEN VELDHUIS, M.-C., WRIGHT, D.B., SMITH, J.A., VAN DE GIESEN, N. (2019) : The Influence of Rainfall and Catchment Critical Scales on Urban Hydrological Response Sensitivity, *Water Resources Research* 55(4) :3375-3390  
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018wr024143>

IGN (consulté en 2019) : BD TOPO<sup>®</sup> Hydrographie au format Shapefile sur l'ensemble du territoire français en licence ouverte, URL <http://professionnels.ign.fr/bdtopo-hydrographie#tab-3> (consultée le 12/11/2019)

PASCHALIS A. , FATICHI S. , MOLNAR P. , RIMKUS S. , BURLANDO P. (2014) : On the effects of small scale space–time variability of rainfall on basin flood response, *J. Hydrol.*, 514 (2014), pp. 313-327.

**POULARD C., LEBLOIS E., GONZALEZ-SOSA E., BENMAMAR S., CHIBANE T., ROYER Q., HASBAIA M. (2019) :** Pluies de projet de bassin : un outil pour et des arguments contre... L'eau dans la Ville, Novatech 2019, Lyon, 01-04 Juillet 2019, Graie Ed., 4 p. Disponible en ligne : <http://www.novatech.graie.org/documents/auteurs/IBIP-160POU.pdf>

**POULARD C., LEBLOIS E. FAURE J.-B. BREIL P. (2019, soumis) :** les pluies de projet et crues de projet « monofréquences » peuvent-elles être représentatives d'une période de retour ? *Techniques Sciences Méthodes*.

**RAMOS M.-H, CREUTIN J.-D, LEBLOIS E. (2005) :** Visualization of storm severity, *Journal of Hydrology* 315:295-307.

## Listes des figures et des tableaux:

### Index des figures

Figure 1: Bassin aval de la Corne à Chalon, à la confluence avec la Saône , avec incidents du 04/11/2014 (points bleus), du 12/05/2016 (vert) et du 25/06/2016 (mauve) – Réseau de cours d'eau issu de la base TOPO de l'IGN .....	3
Figure 2: recherche des zones de pluie intense pour l'épisode du 02 au 04/11/2014 .....	5
Figure 3: Carte créée dans Qgis à partir de fichiers grid générés par le code ; la couche « max à 5 minutes » correspond aux lames d'eau maximales à 5 minutes dans la journée du 29/11/2014 sur les Pyrénées Orientales, en centièmes de mm (le code couleur est modifiable dans QGis) .....	6
Figure 4: chroniques des lames d'eau à 5 minutes d'une maille du bassin aval de la Corne à Chalon ; les valeurs négatives correspondant aux lacunes, avec repérage de 3 événements ayant donné lieu à des incidents de ruissellement (la légende a été surchargée pour noter la date de façon plus claire) .....	8
Figure 5: chroniques d'une maille (ici notée « A ») et de ses voisines immédiates, nommées par points cardinaux, tracées sur le graphique du haut. Les 3 événements ayant donné lieu à des incidents de ruissellement ont été ajoutés postérieurement sur la copie d'écran. ....	8
Figure 6: Chronologie des cumuls mensuels et lames d'eau à 5 minutes maximales du mois, et box plot par mois.....	9
Figure 7: chronique au pas de temps journalier (zoom sur 2014-2016) ; elle a été surchargée ensuite manuellement avec des dates d'incidents .....	10

Figure 8: Légende des durées créée à partir de la liste DUREES_PDT par le code, avec un texte lisible en nombre entier de minutes ou heures ou jours, et une couleur qui sera reprise dans tous les graphiques multidurées. ....	11
Figure 9 : résultats de l'analyse multidurée sur l'interface, en chronique et en HdF. La copie d'écran a été surchargée pour mettre en évidence le code couleur des durées, rappelé par des checkbox dans le cadre « liste des durées ». Zoomer sur le graphe du haut permet de mieux voir à quoi correspondent les maxima sélectionnés. La fonction « définir des épisodes » permet ensuite de reporter sur ce graphique les lames d'eau maximales pendant un épisode, calculées pour chaque durée, constituant ainsi une « caractérisation multidurées » de chaque épisode sur la surface considérée. ....	12
Figure 10: fenêtre volante avec les lames d'eau à 5 minutes sur une surface de 16x16 mailles du BV de la Corne aval et repérage des 40 maximums des moyennes glissantes sur chacune des durées ( même code couleur pour les durées que la figure 9) ; a) zoom sur 2 ans, de mi-2014 à mi-2016, surchargée manuellement avec des dates d'incidents et b) zoom sur l'événement de novembre 2014, surchargé par une croix au milieu de l'intervalle et le rappel des durées pour aider la compréhension.....	13
Figure 11: menu d'extraction d'un événement.....	14
Figure 12: graphique lames d'eau – durée – fréquence sur une maille du BV de la Corne aval ( même code couleur pour les durées que la figure 9), avec report des lames d'eau maximales pendant 3 épisodes ayant provoqué des inondations par ruissellement. ....	14
Figure 13 : comparaison de « formes moyennes » obtenues avec des variantes avec la forme d'une pluie de type « Chicago ».....	17

## Index des tableaux

Tableau 1: Numérotation des pixels dans un bloc.....	28
--	----

## Annexe 1. Sélection de cartes de l'événement de Novembre 2014 ayant généré des incidents liés au ruissellement

Nous présentons ici une sélection des cartes au pas de temps fixe (cumuls à 5 minutes, 1 heure et une journée) permettant de décrire l'événement de novembre 2014. L'annexe suivante décrit l'arborescence des répertoires avec toutes les sorties disponibles au moment de l'édition pour les 3 événements ; il est tout à fait aisé de naviguer dans ses répertoires et visualiser rapidement les séquences importantes grâce aux cartes au format image. Pour des analyses plus fines, nécessitant un ajustement de l'échelle des couleurs par exemple, il faut alors utiliser les fichiers grid ascii.

### A1.1. Chronique de l'événement de Novembre 2014

L'événement de Novembre 2014 commence le 02/11/2014, avec des incidents répertoriés le 04/11/2014. En attendant que des analyses pour n'importe quelle surface soient disponibles, nous avons travaillé sur des chroniques à l'échelle de cellules (mailles à peu près kilométriques) et d'un bloc compris dans le bassin aval de la Corne et correspondant à environ 70 % du bassin.

La chronique moyenne sur ce 'bloc' montre un événement pluvieux concentré sur 2 journées. Nous avons quand même ajouté le jour précédent à l'analyse, pour voir la situation à l'échelle de la France.

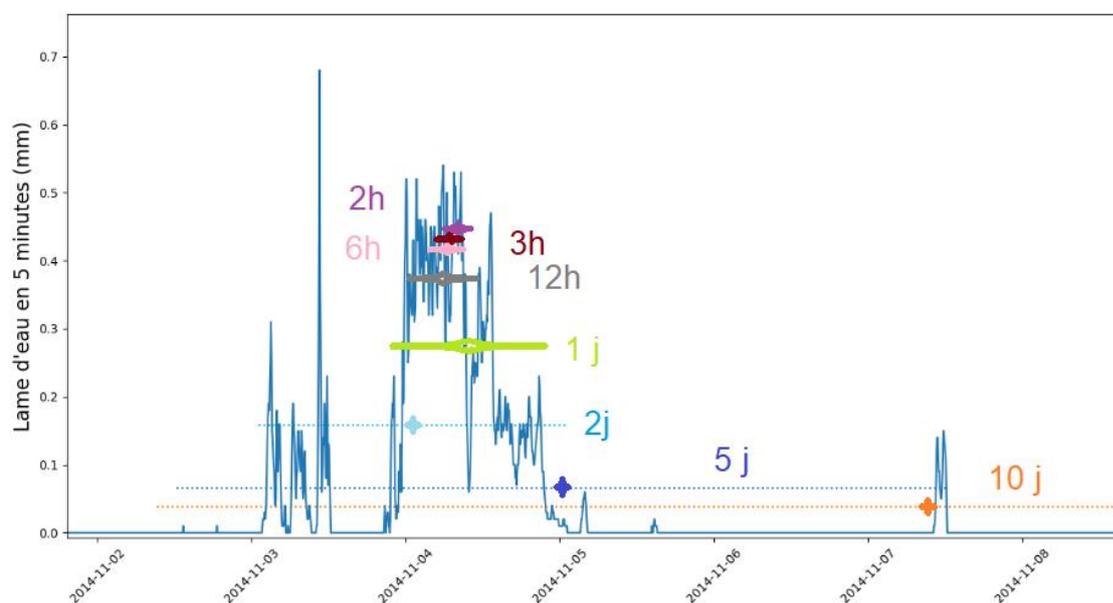


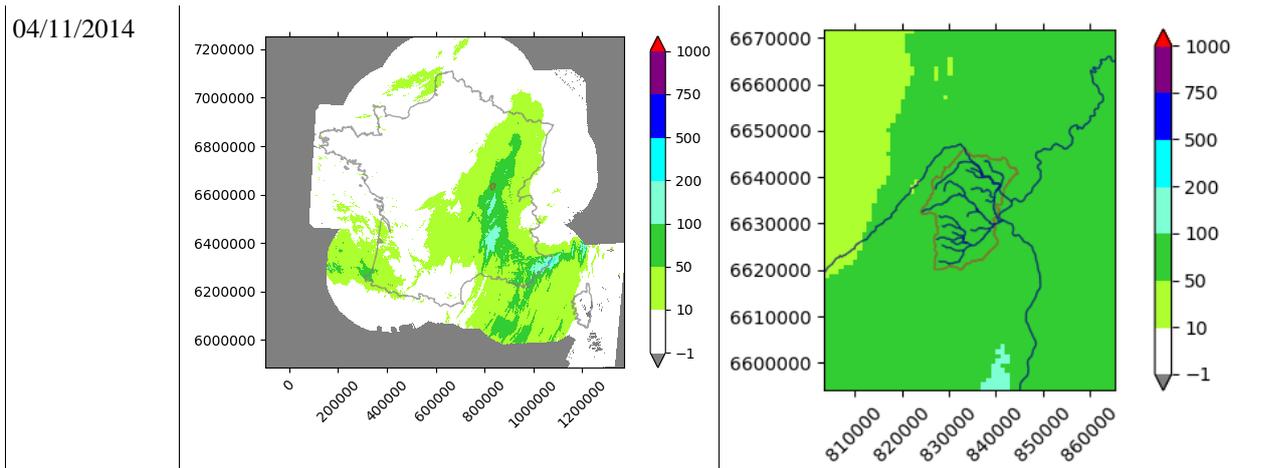
Figure 25 : lames d'eau à 5 minutes sur un bloc (16x16 mailles) compris dans le bassin aval de la Corne pendant l'événement de début novembre 2014 ; repérage des cumuls parmi les 40 plus forts de la chronique sur des durées de 2h à 10 jours (figure composée pour l'article soumis à TSM)

## A1.2. Cumuls au pas de temps journaliers

Les fichiers images permettent de comparer facilement les journées, mais l'échelle colorimétrique n'est pas forcément adaptée à tous les cas ; il est alors intéressant de travailler avec les fichiers grid sous QGis.

**Tableau 1: Cartes de cumuls journaliers au format image pour les 2, 3 et 4/11/2014 exprimés en mm, avec le même code couleur (gris = lacune, blanc = pas de pluie, vert clair = de 10 à 50mm...)**

	France entière	Zone restreinte au BV de la Corne aval
02/11/2014		
03/11/2014		



champs de pluie horaires choisis le 03 et le 04/11/2014

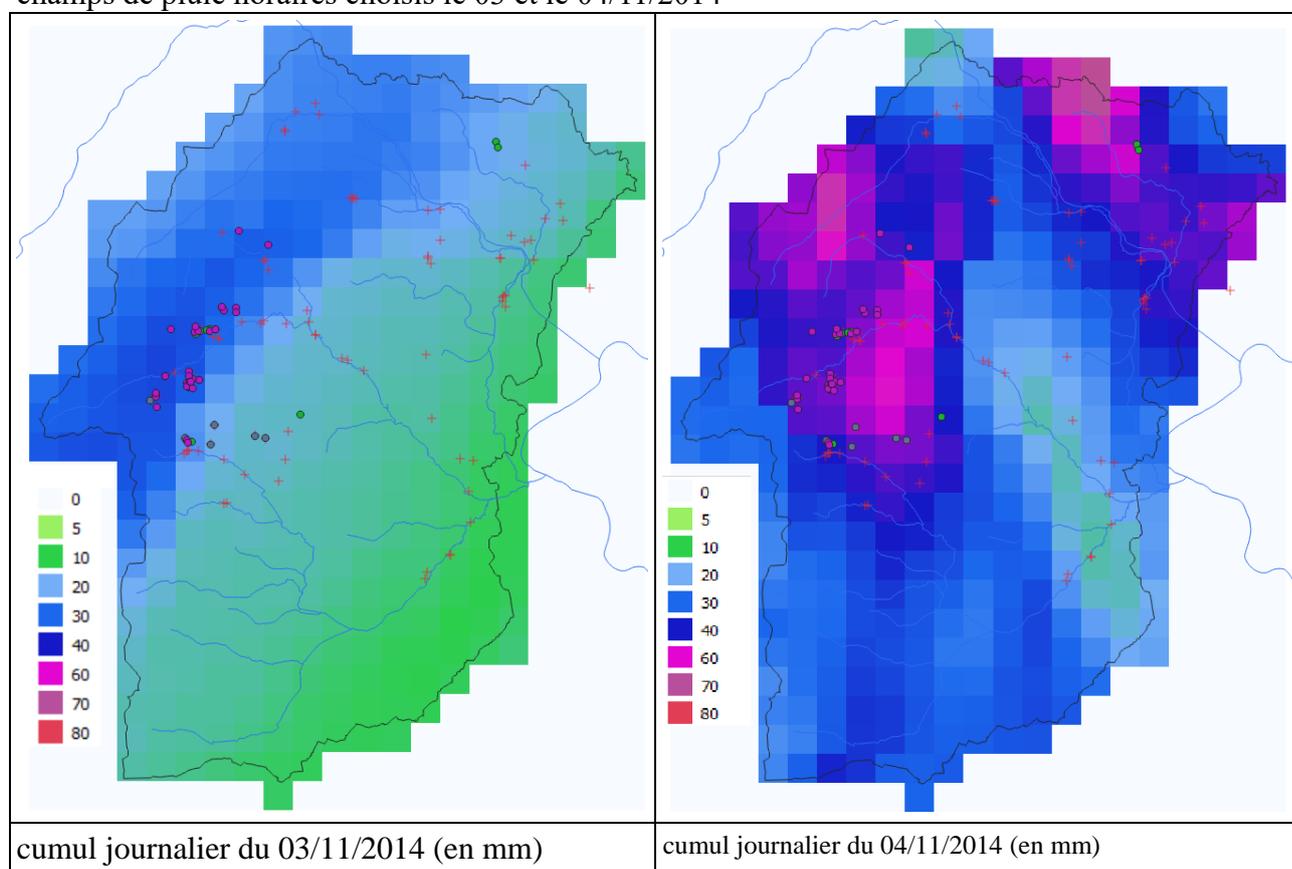
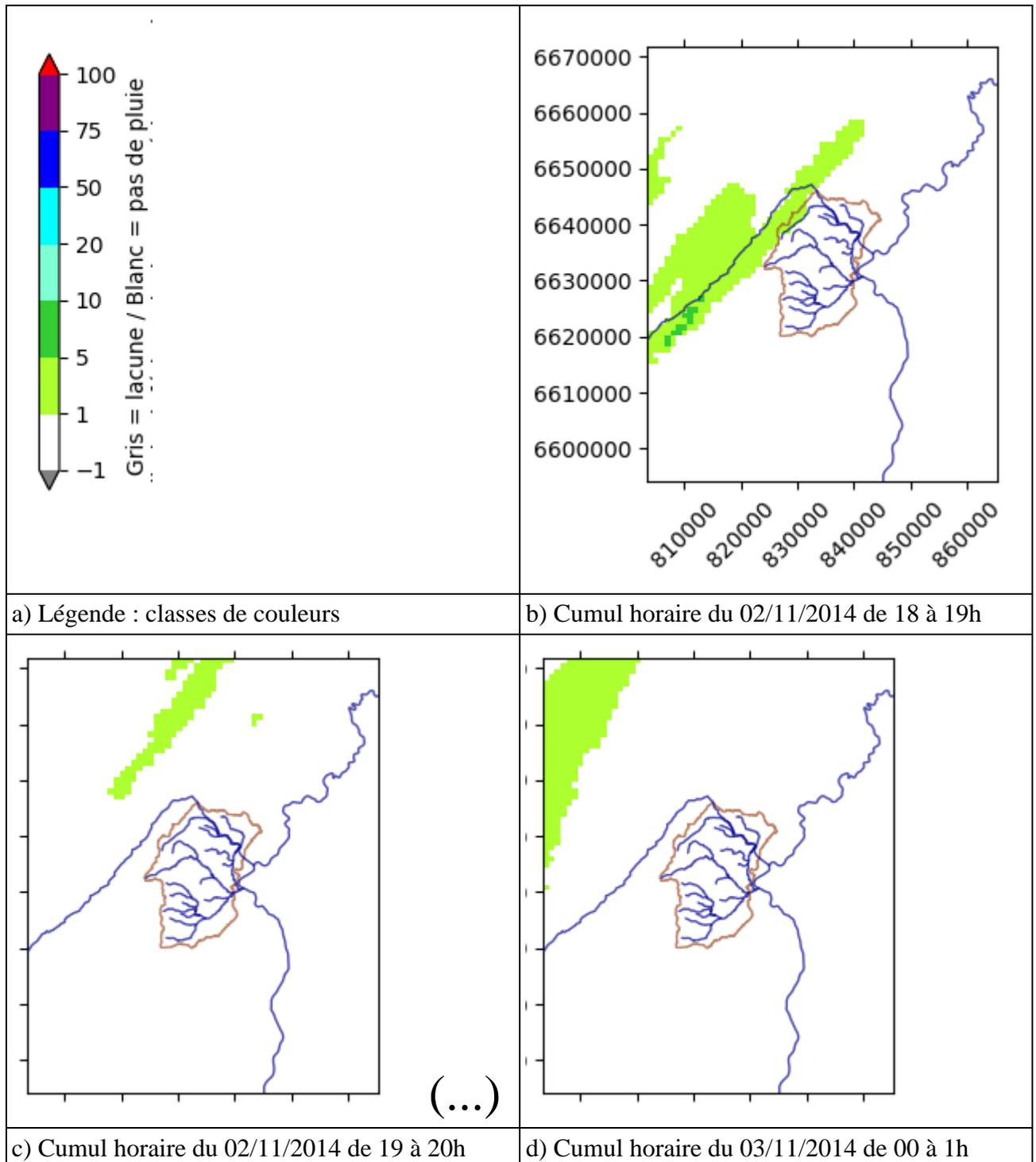


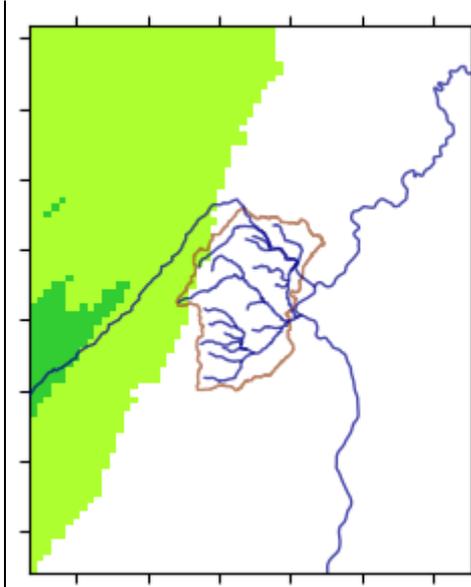
Figure 26 : Rappel des cartes de cumul de pluie journalières des 03 et 04/11/2014 créées sous QGis à partir du fichier Grid calculé par notre code.

### A1.3. Cumuls horaires

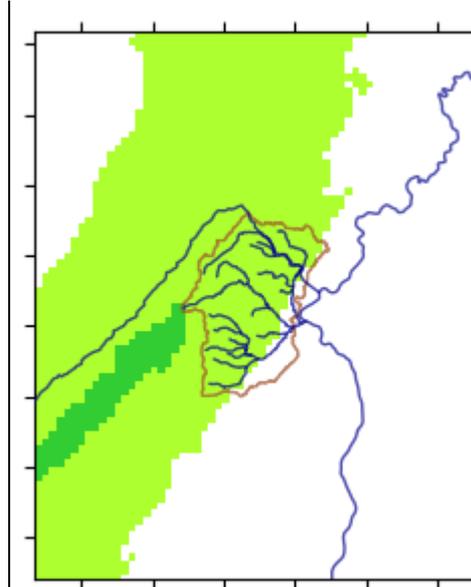
Le code produit 24 cartes de cumul horaires aux deux échelles. Nous ne présentons ici que les images centrées sur la zone d'étude, en enlevant les plages sans pluie.

Les données Panthère font apparaître 37 heures avec des pluies non nulles sur la zone étudiée entre le 03/11 à 2h et le 04/11 à 21h (dont trois heures avec des pluies non nulles seulement sur une frange très réduite du bassin). On remarque une séquence pluvieuse intense le 03/11/2014 de 10 à 11h, avec des cumuls horaires dépassant par endroit 10 mm. Le 04/11/2014, les intensités dépassent 5mm/h sur le bassin étudié de minuit à 9h, sans jamais dépasser 10mm (des intensités supérieurs à 10 mm existent cependant en-dehors de la zone).

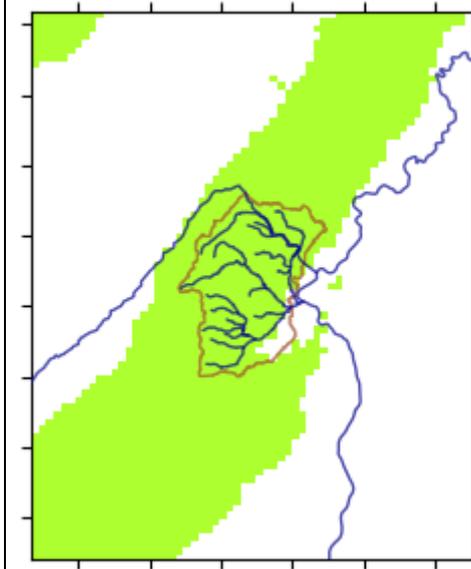




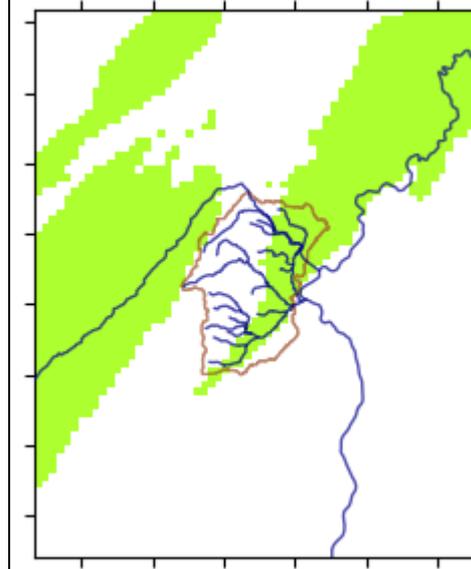
e) Cumul horaire du 03/11/2014 de 1 à 2h



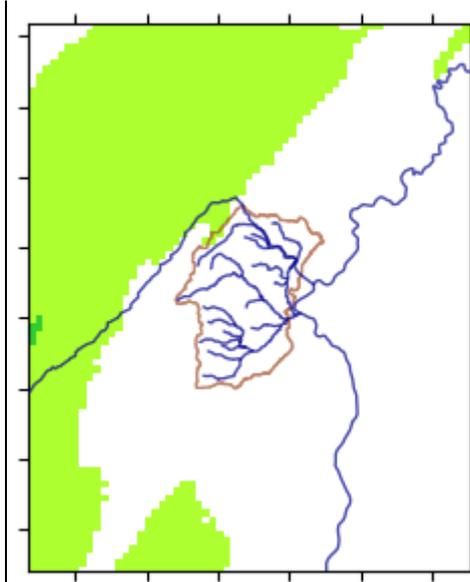
f) Cumul horaire du 03/11/2014 de 2 à 3h



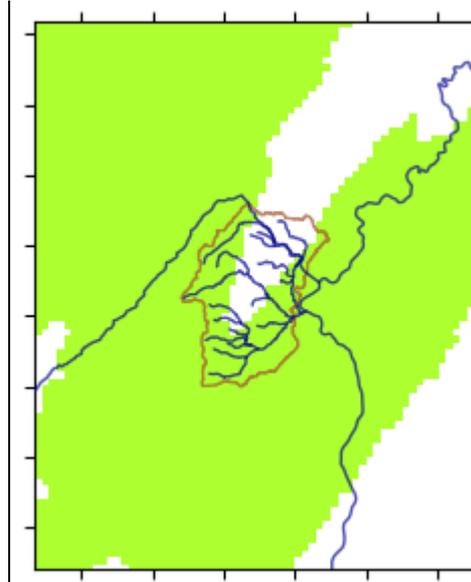
g) Cumul horaire du 03/11/2014 de 3 à 4h



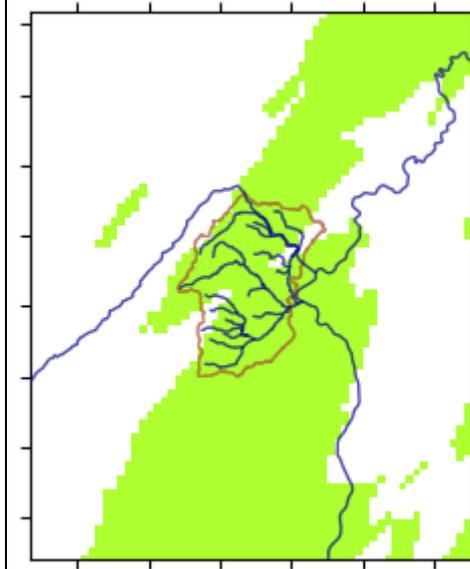
h) Cumul horaire du 03/11/2014 de 4 à 5h



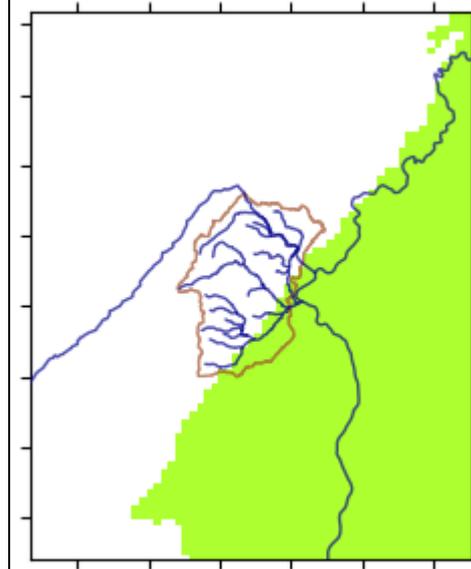
i) Cumul horaire du 03/11/2014 de 5 à 6h



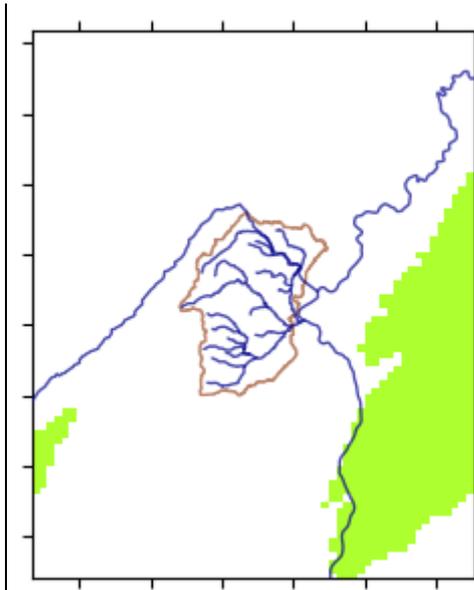
j) Cumul horaire du 03/11/2014 de 6 à 7h



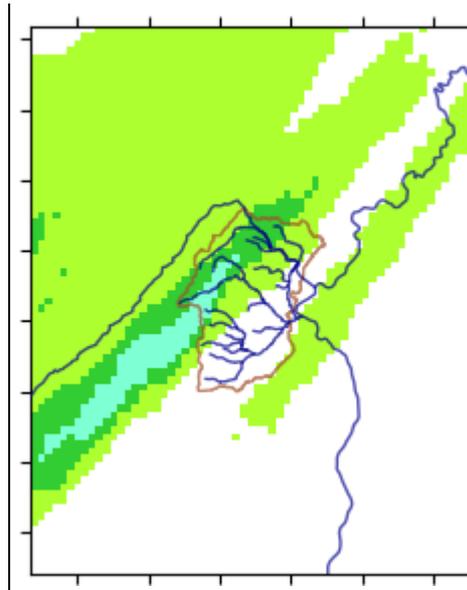
k) Cumul horaire du 03/11/2014 de 7 à 8h



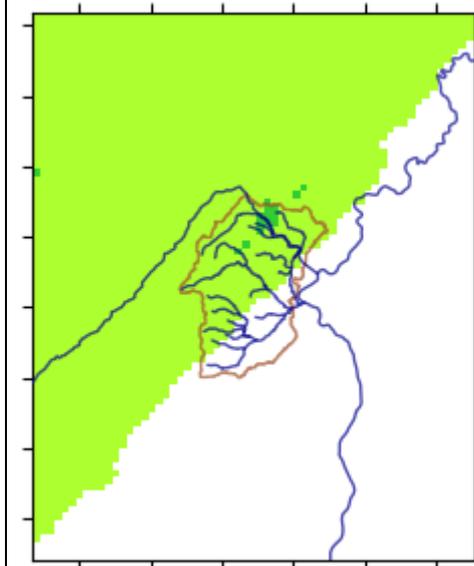
l) Cumul horaire du 03/11/2014 de 8 à 9h



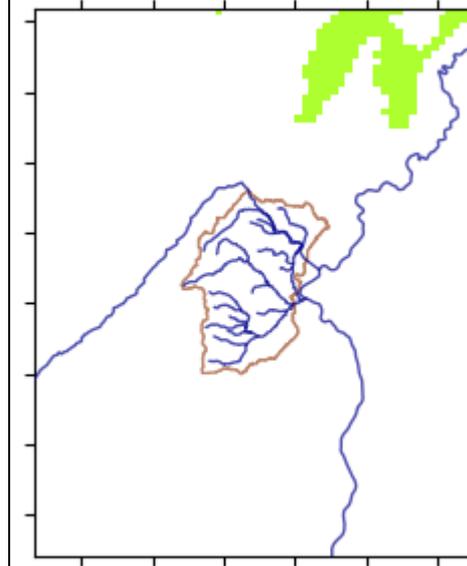
m) Cumul horaire du 03/11/2014 de 9 à 10h



n) Cumul horaire du 03/11/2014 de 10 à 11h

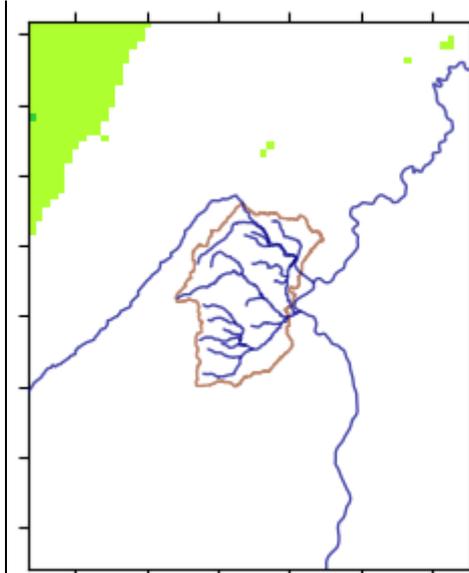


o) Cumul horaire du 03/11/2014 de 11 à 12h

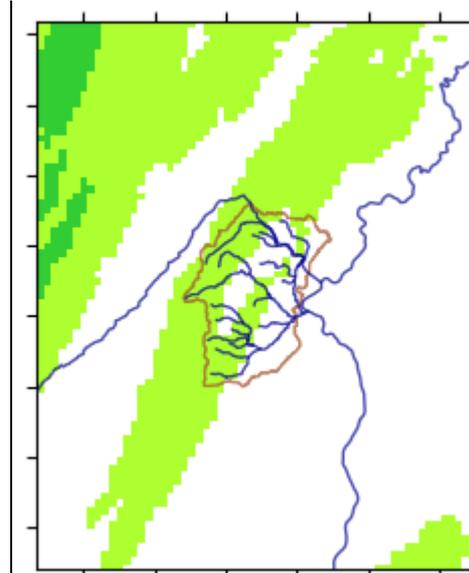


p) Cumul horaire du 03/11/2014 de 12 à 13h

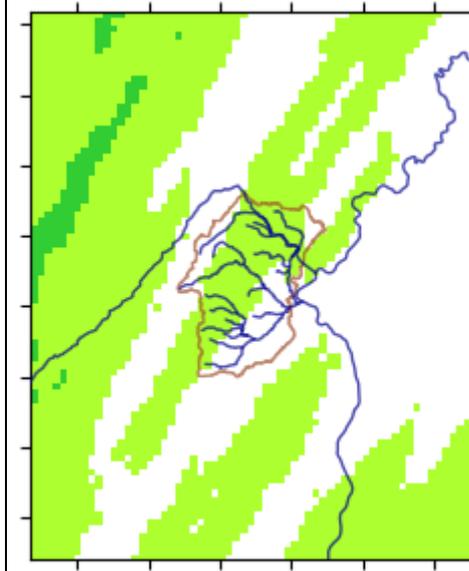
(...)



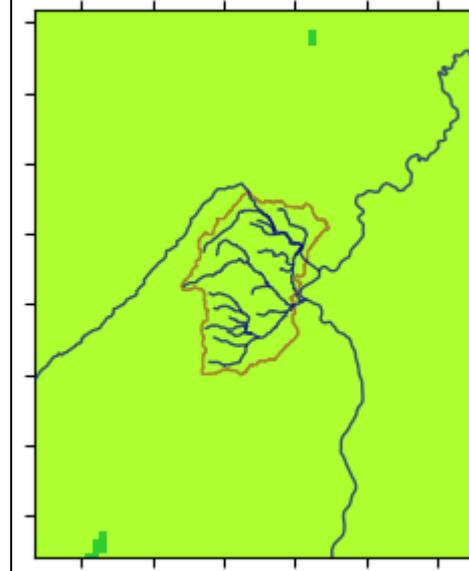
q) Cumul horaire du 03/11/2014 de 20 à 21h



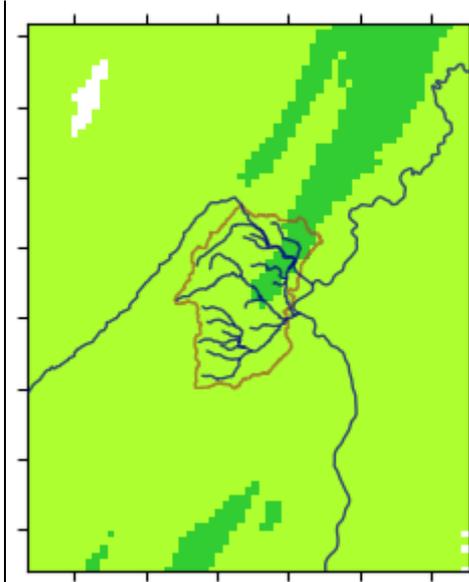
r) Cumul horaire du 03/11/2014 de 21 à 22h



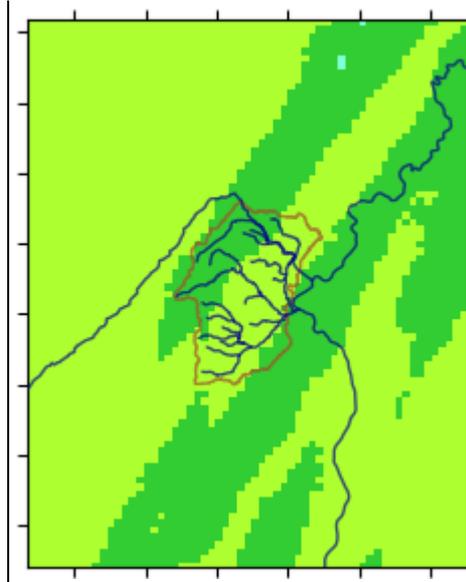
r) Cumul horaire du 03/11/2014 de 22 à 23h



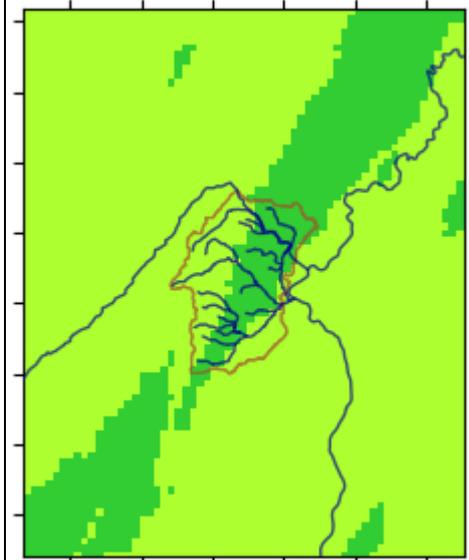
s) Cumul horaire du 03/11/2014 de 23 à 24h



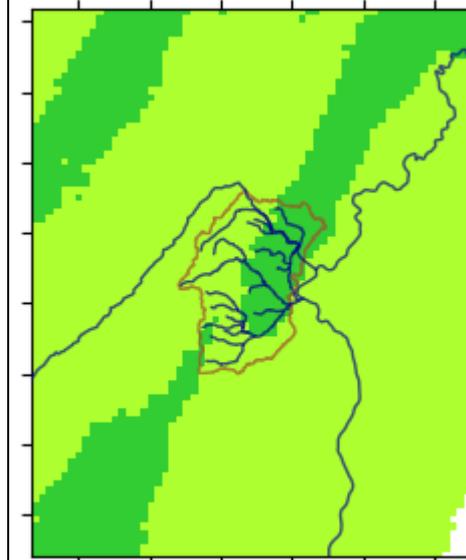
t) Cumul horaire du 04/11/2014 de 00 à 1h



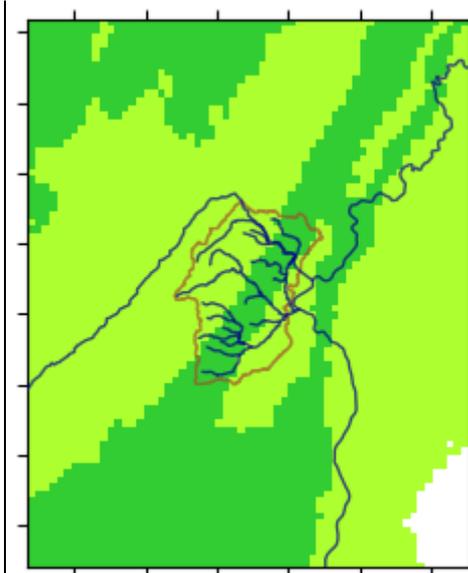
u) Cumul horaire du 04/11/2014 de 1 à 2h



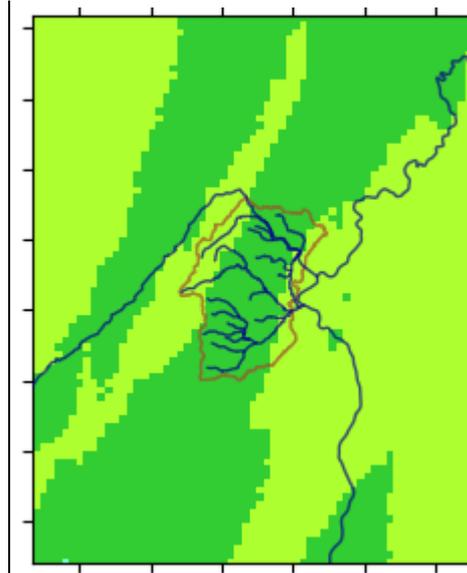
t) Cumul horaire du 04/11/2014 de 2 à 3h



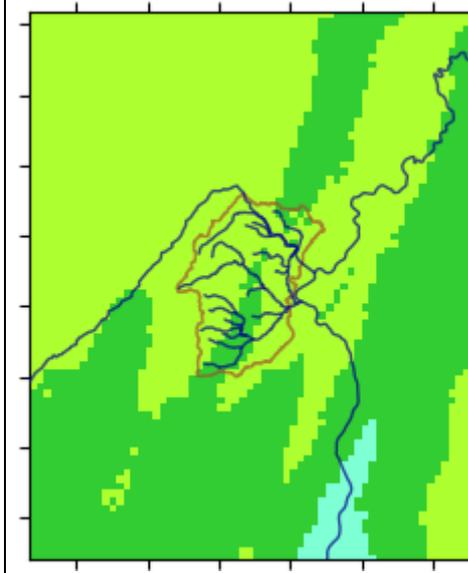
u) Cumul horaire du 04/11/2014 de 3 à 4h



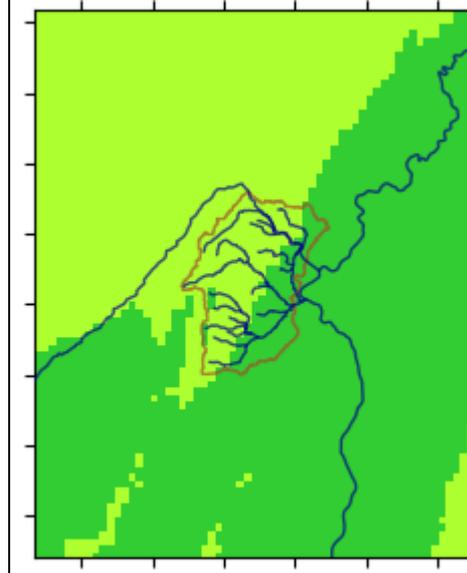
v) Cumul horaire du 04/11/2014 de 4 à 5h



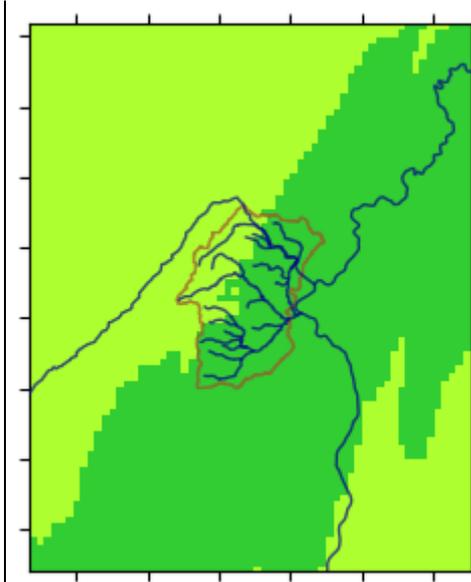
w) Cumul horaire du 04/11/2014 de 5 à 6h



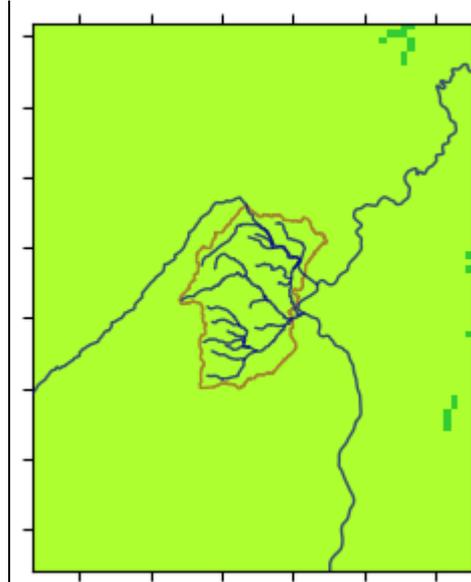
x) Cumul horaire du 04/11/2014 de 6 à 7h



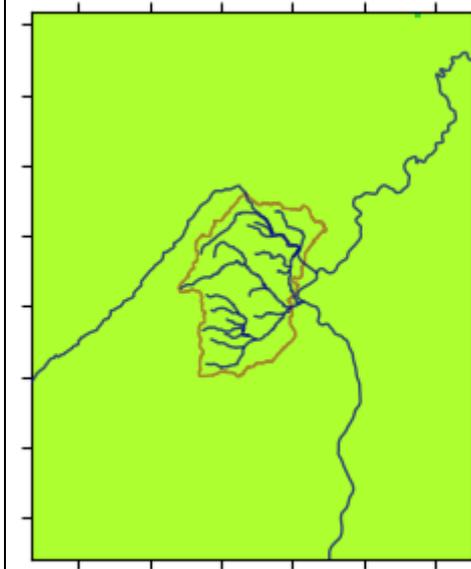
y) Cumul horaire du 04/11/2014 de 7 à 8h



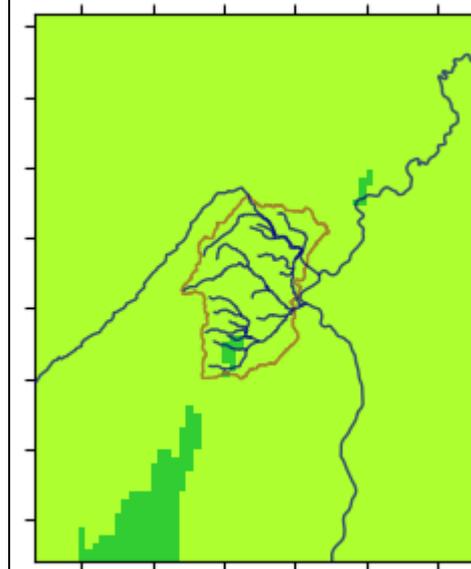
z) Cumul horaire du 04/11/2014 de 8 à 9h



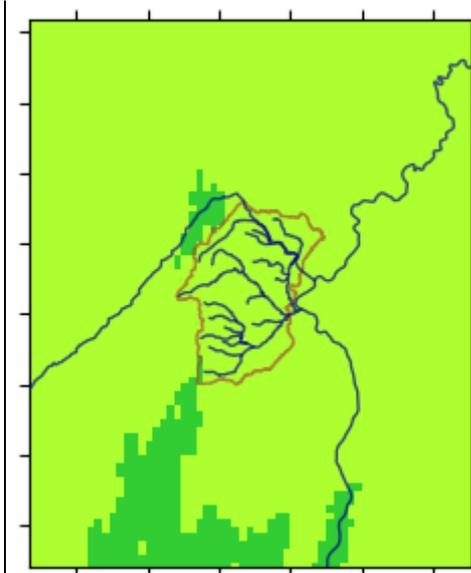
aa) Cumul horaire du 04/11/2014 de 9 à 10h



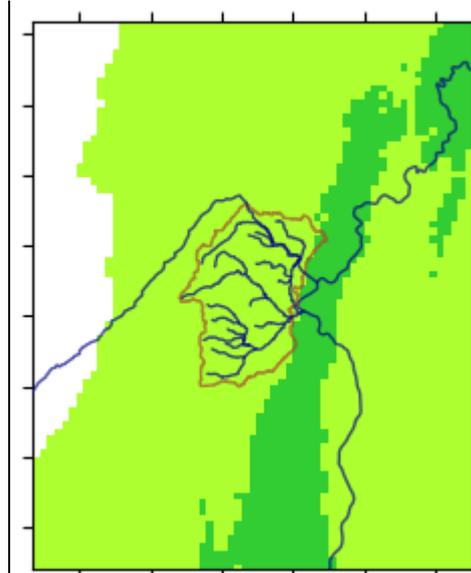
ab) Cumul horaire du 04/11/2014 de 10 à 11h



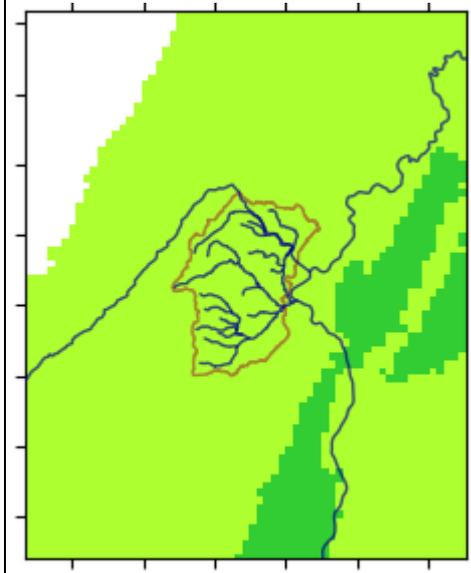
ac) Cumul horaire du 04/11/2014 de 11 à 12h



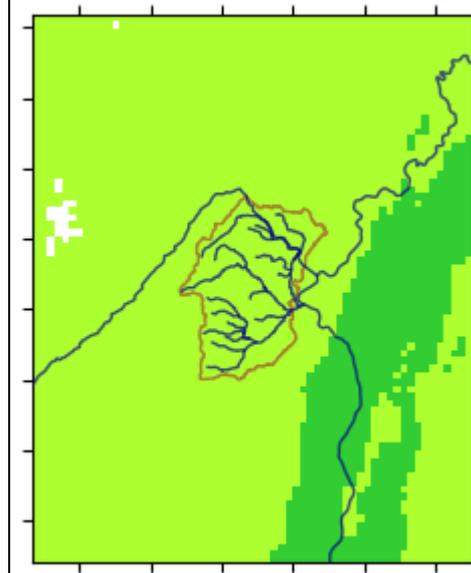
ad) Cumul horaire du 04/11/2014 de 12 à 13h



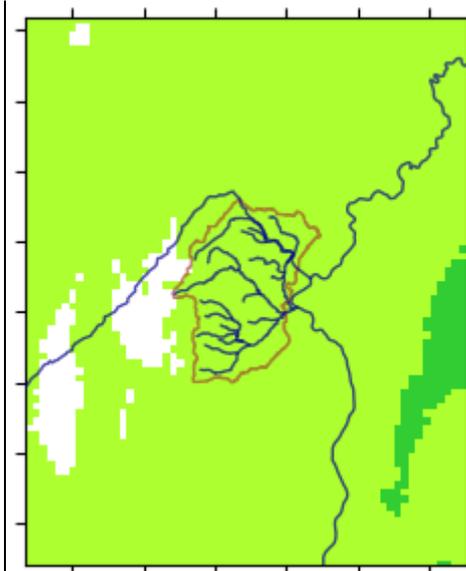
ae) Cumul horaire du 04/11/2014 de 13 à 14h



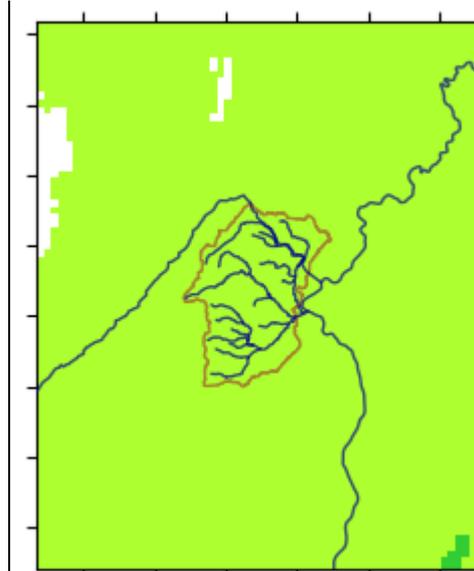
af) Cumul horaire du 04/11/2014 de 14 à 15h



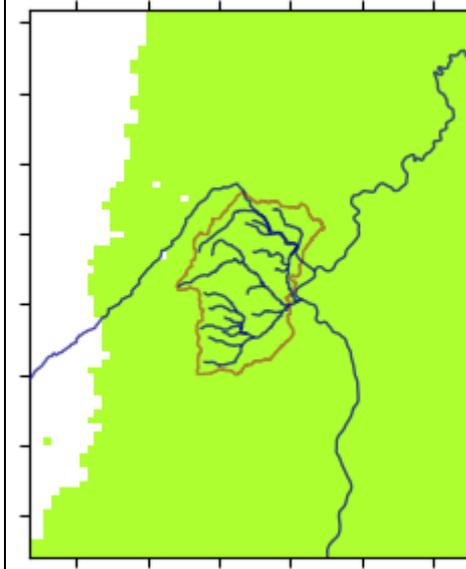
ag) Cumul horaire du 04/11/2014 de 15 à 16h



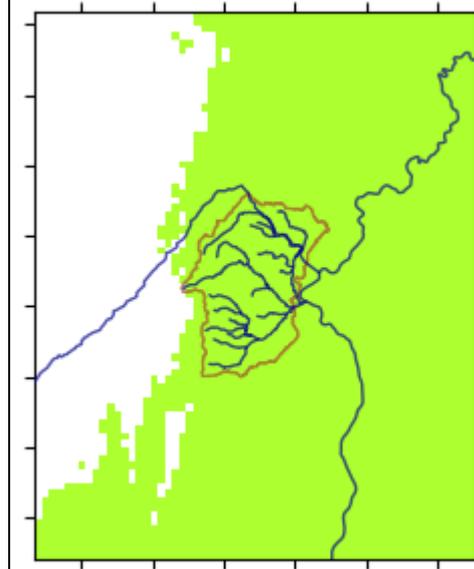
ah) Cumul horaire du 04/11/2014 de 16 à 17h



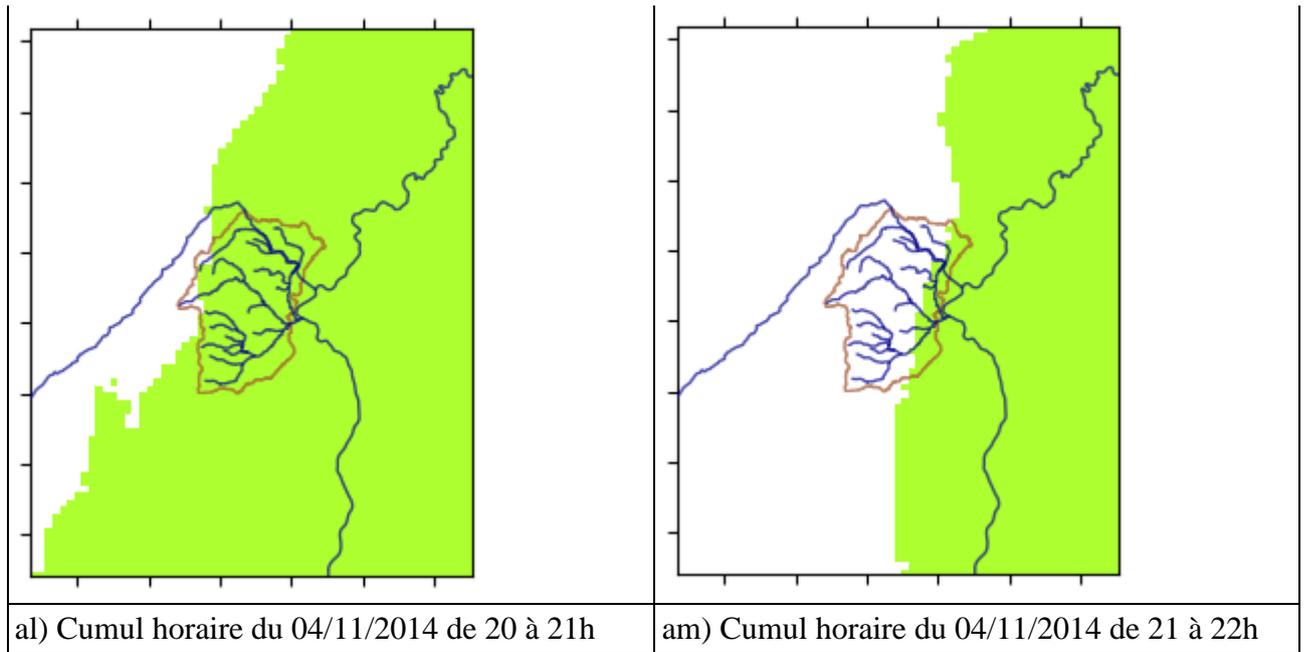
ai) Cumul horaire du 04/11/2014 de 17 à 18h



aj) Cumul horaire du 04/11/2014 de 18 à 19h



ak) Cumul horaire du 04/11/2014 de 19 à 20h

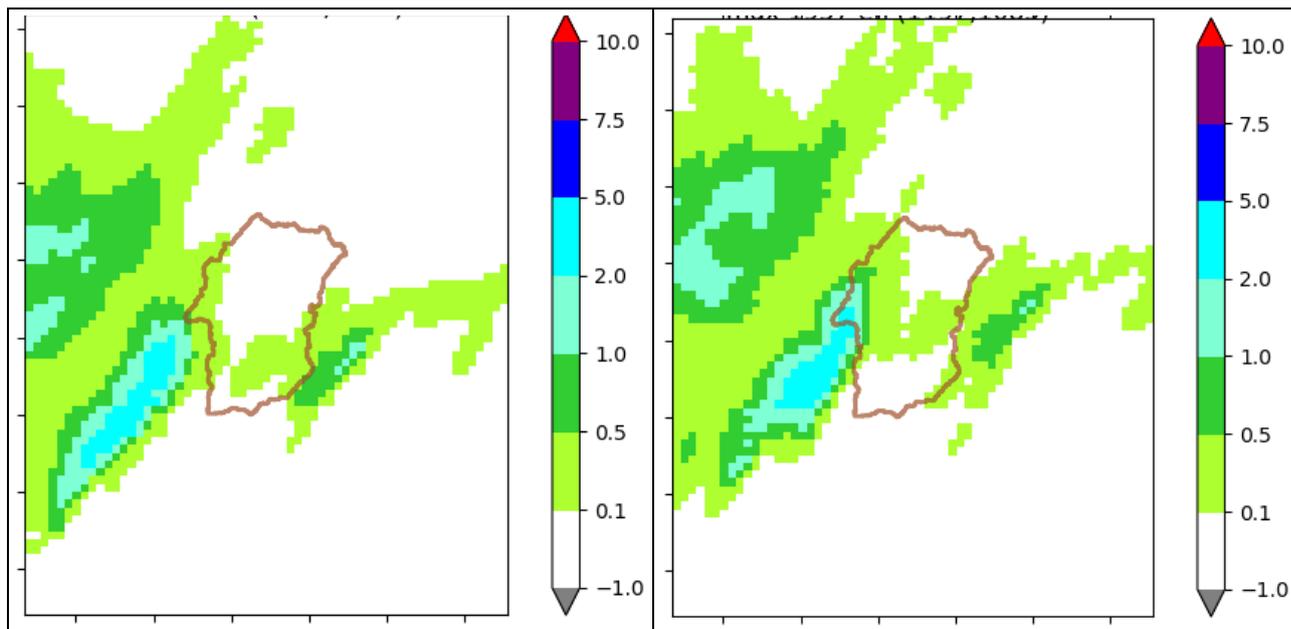


#### A1.4. Cumuls à 5 minutes

Nous présentons ici quelques images à 5 minutes centrées sur la zone d'étude avec des cumuls horaires important.

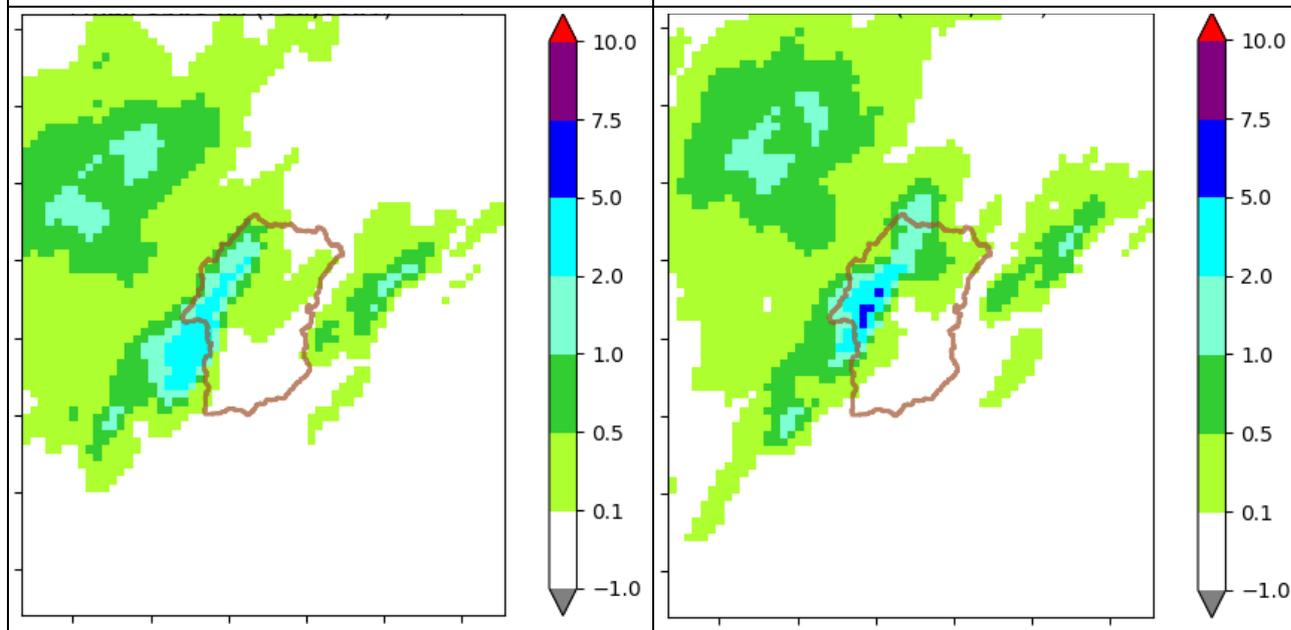
Les intensités maximales en 5 minutes, entre 2 et 5 mm, se produisent le 03/11/2019 entre 10h et 11h, mais aussi entre 11 et 12h. Les intensités maximales sur 60 minutes glissantes sont bien entendu supérieures aux intensités horaires maximales à pas de temps fixe présentées dans le paragraphe précédent, notamment entre 10 et 11h (voir paragraphe correspondant).

Le 04/11/2014, on ne relève pas d'intensités supérieures à 1 mm en 5 min, mais la séquence pluvieuse avec des intensités comprises entre 0,5 et 1 mm en 5 minutes est plus longue. Quelques cartes entre 13h05 et 13h30 ont été sélectionnées pour cette annexe.



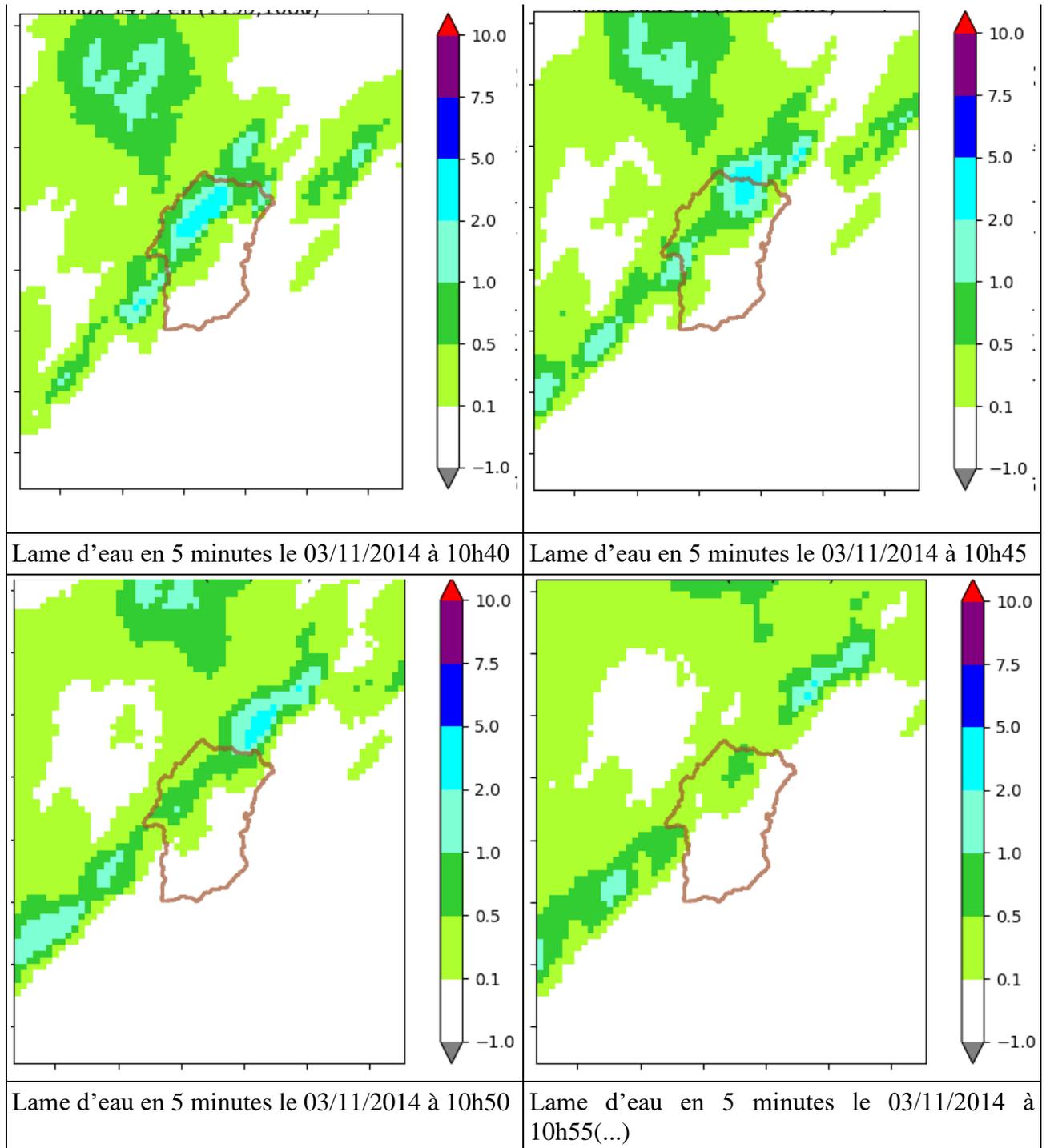
Lame d'eau en 5 minutes le 03/11/2014 à 10h20

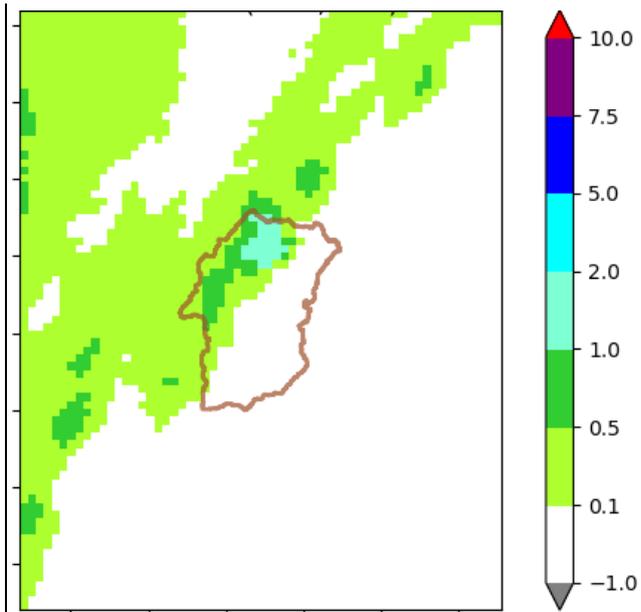
Lame d'eau en 5 minutes le 03/11/2014 à 10h25



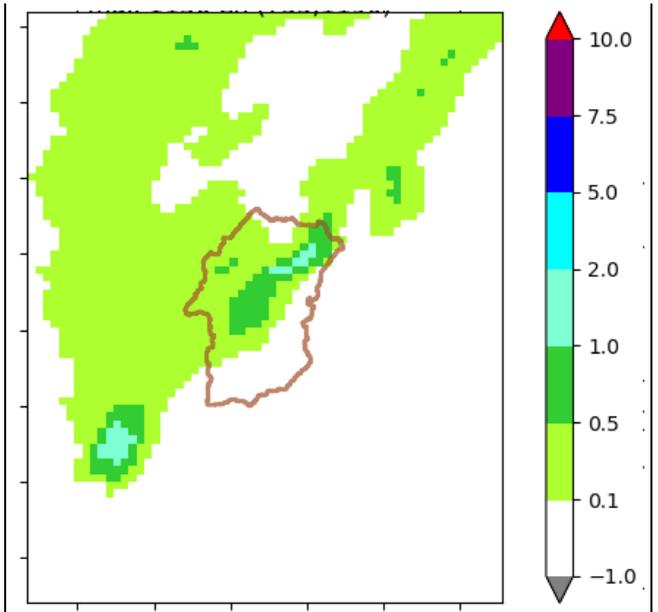
Lame d'eau en 5 minutes le 03/11/2014 à 10h30

Lame d'eau en 5 minutes le 03/11/2014 à 10h35

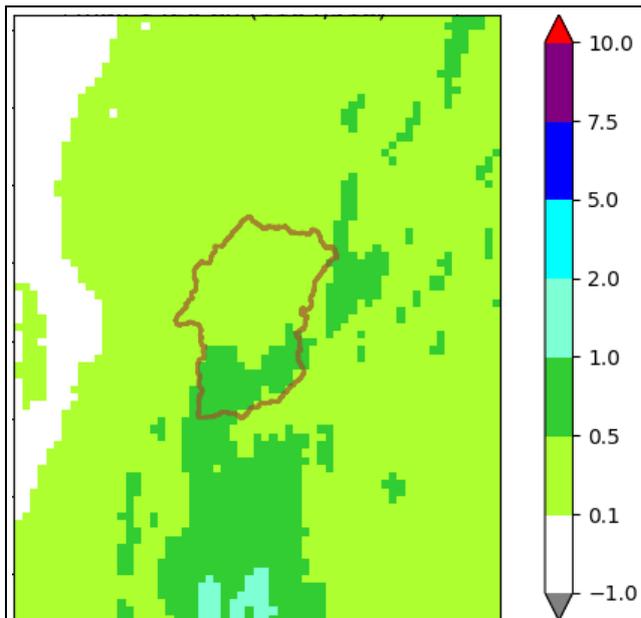




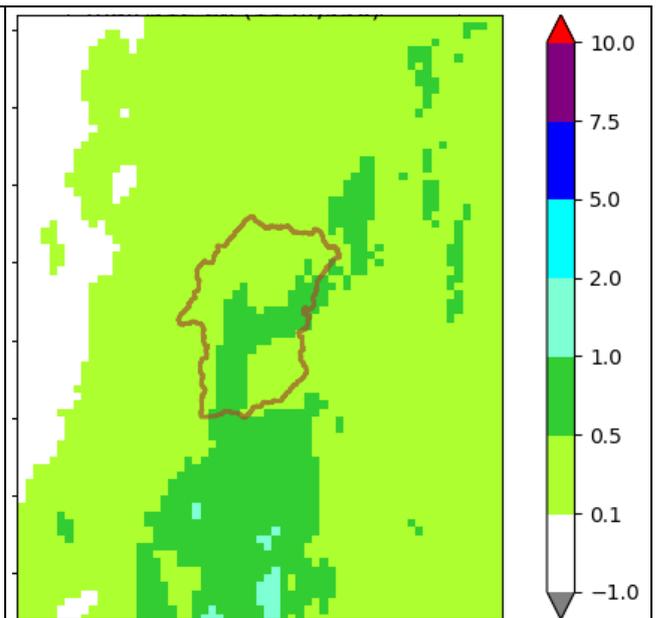
Lame d'eau en 5 minutes le 03/11/2014 à 11h15



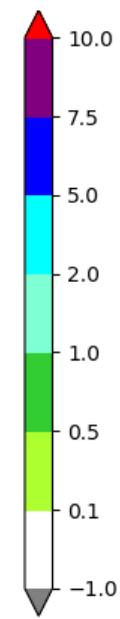
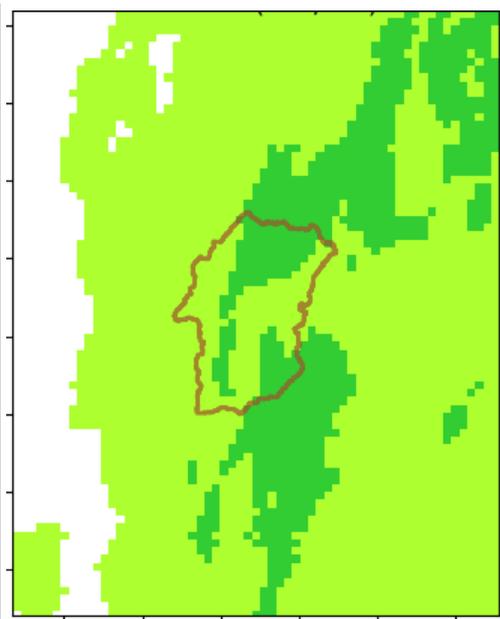
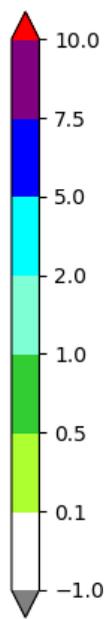
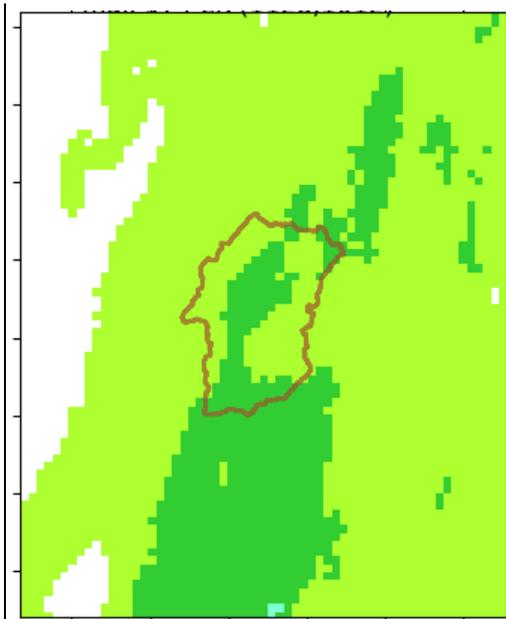
Lame d'eau en 5 minutes le 03/11/2014 à 11h45



Lame d'eau en 5 minutes le 04/11/2014 à 13h05

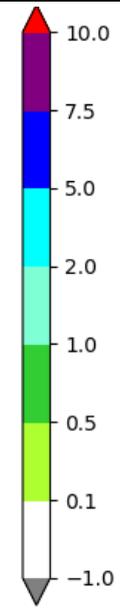
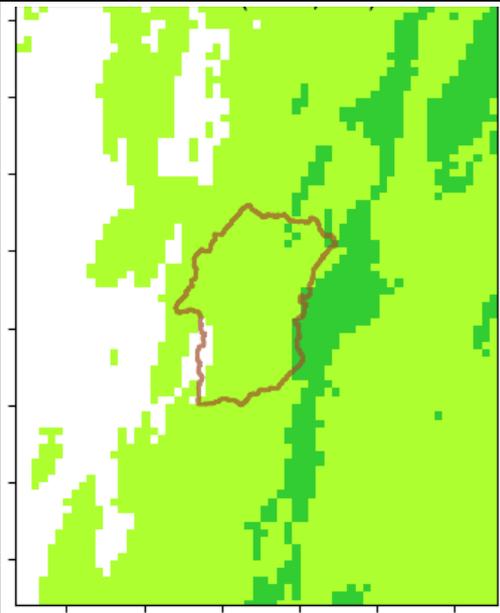
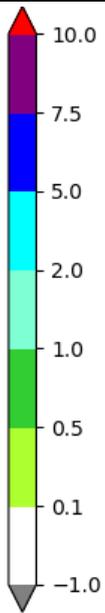
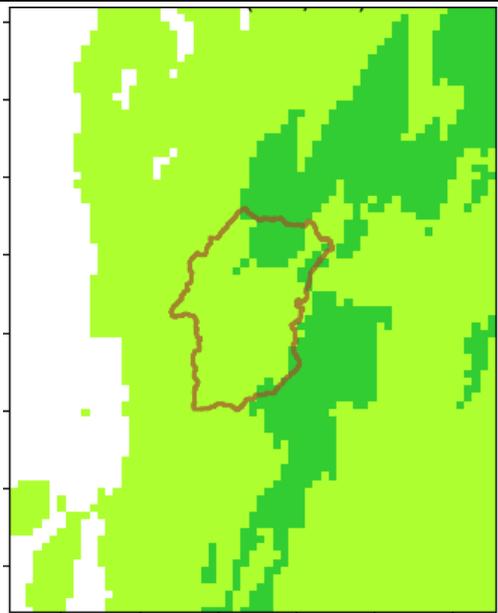


Lame d'eau en 5 minutes le 04/11/2014 à 13h10



Lame d'eau en 5 minutes le 04/11/2014 à 13h15

Lame d'eau en 5 minutes le 04/11/2014 à 13h20



Lame d'eau en 5 minutes le 04/11/2014 à 13h25

Lame d'eau en 5 minutes le 04/11/2014 à 13h30


## Annexe 2. Liste des fichiers de l'étude

Par convention, on notera entre crochets les noms de répertoire, ce qui évitera de devoir préciser à chaque fois qu'il s'agit d'un répertoire. Les noms de fichiers seront systématiquement pourvus de leur extension, ce qui permettra aussi de savoir qu'il s'agit de fichiers.

Les fichiers géoréférencés au format « shape » présentent la particularité d'être un ensemble de fichiers avec le même nom et des extensions différentes (cpg, dbf, prj, qpj, shp et shx). On mentionnera uniquement l'extension « shp », sachant qu'il faut bien l'ensemble des fichiers pour travailler.

On n'utilisera pas d'accents dans les noms de répertoire et de fichiers.

### A2.1. [FichiersGeoreferences]

Ce sont les fichiers géoréférencés de données, éventuellement créés ou adaptés pendant cette étude.

BV\_CorneAval\_IGN.shp : contour du bassin versant de la Corne Aval extrait de la base IGN TOPO.

CorneEtSaone\_IGN.shp : réseau hydrographique de la Corne et de ses affluents traversant Chalons sur Saone, ainsi que la Saône jusqu'à Lyon, extraits de la base IGN TOPO.

GrandChalon\_Laisses\_Cruets\_2014\_09.2016\_L93.shp : laisses de crue correspondant au fichier excel GrandChalon\_Laisses\_Cruets\_2014\_09.2016\_L93.xls

GrandChalon\_Laisses\_Cruets\_2014\_09.2016\_L93.xls : informations du Grand Chalon sur les laisses de crue

IncidentsRuissellement20141104.csv, IncidentsRuissellement20160513.csv et IncidentsRuissellement20140625.csv : fichiers extraits de la feuille Excel TauxDetect\_pour EL.xlsx pour import dans QGis

LimBvGC.shp : contour du bassin versant de la Corne Aval donné par le Grand Chalon.

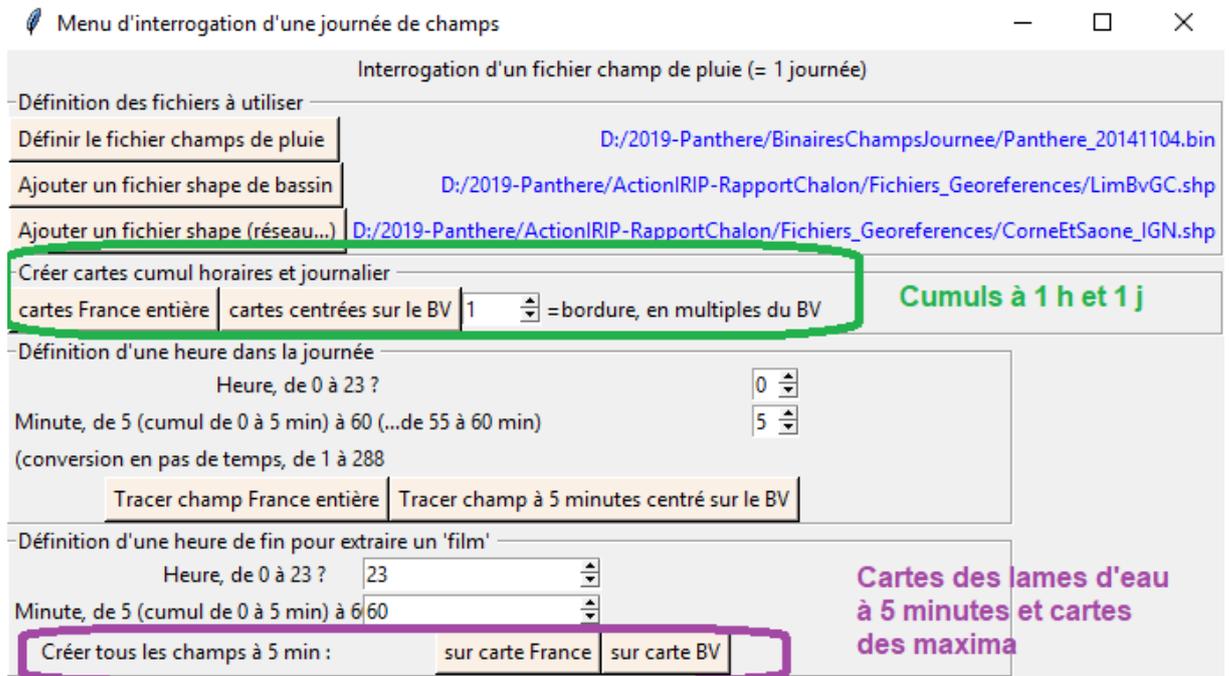
TauxDetect\_pour EL.xlsx : incidents datés et géoréférencés donnés par le Grand Chalon

FranceContours.shp : contour de la France métropolitaine construit à partir de la base IGN TOPO.

### A2.2. [Champs\_2014]

Champs correspondant à l'épisode de novembre 2014

Pour un jour donné, des séries de cartes sont produites par les fonctions « "Créer cartes cumul horaires et journaliers" et "Créer tous les champs à 5 minutes". On peut choisir de ne sortir que des cartes France entière ou préciser que l'on souhaite aussi des cartes centrées sur zone d'étude particulière (défini par la fonction « Ajouter un fichier shape de bassin »).



**Figure 27: menu d'interrogation d'une journée de champ, avec fonctions "Créer cartes cumul horaires et journaliers" et "Créer tous les champs à 5 minutes"**

#### A2.2.1. [CartesA5min\_AAAMMJJ]

Ces cartes ont été produites par la fonction "Créer tous les champs à 5 minutes", bouton « sur carte BV ».

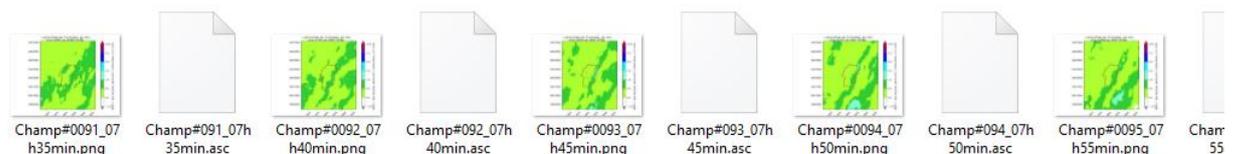
Les cartes à 5 minutes ont été construites pour trois dates, donc la même structure de fichier a été créée dans trois répertoires : [CartesA5min\_20141102], [CartesA5min\_20141103] et [CartesA5min\_20141104]

Chaque fichier correspondant à un champ tel que lu dans les données ; sauf mention contraire, les cartes sont des zooms autour de la zone d'étude définie par le fichier shape LimBvGC.shp

#### Dans chaque répertoire :

De Champ#0001\_00h05min.png à Champ#0288\_24h00min.png : fichiers image des 288 champs à 5 minutes de la journée correspondant au répertoire.

De Champ#001\_00h05min.asc à Champ#0288\_24h00min.asc: fichiers des 288 champs à 5 minutes au format « grid ascii » de la journée correspondant au répertoire.



**Figure 28: Répertoire des cartes de lames d'eau à 5 minutes du 04/11/2014, affichage mode vignettes**

Cumuls\_LimBvGC.asc : fichier du champs de lame d'eau cumulée sur l'ensemble de la journée

(cumuls\_provisoires#N\_LimBvGC.asc : fichiers de débogage, N=1 à 288 cumul depuis le premier pas de temps ; donc pour N=288 on doit retrouver les mêmes valeurs que Cumuls\_LimBvGC.asc)

Max\_5min\_LimBvGC.asc : carte des maximums des lames d'eau à 5 min sur la journée

max\_duree\_LimBvGC#D.asc: carte des maximums des lames d'eau cumulées sur D pas de temps sur la journée ; ici D = 1, 3, 6, 12, 24, 72 et 288.

*Pour débogage :*

max\_duree\_LimBvGC#001.asc doit être égal à Max\_5min\_LimBvGC.asc

et max\_duree\_LimBvGC#288.asc doit être égal à Cumuls\_LimBvGC.asc

max\_duree\_LimBvGC#D\_dates.asc: carte des numéros de pas de temps (de 1 à 288) d'occurrence des maximums des lames d'eau cumulées sur D pas de temps sur la journée ; ici D = 1, 3, 6, 12, 24, 72 et 288.

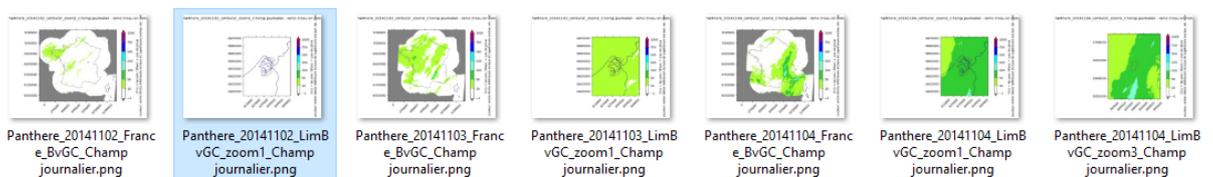
#### A2.2.2. [2014\_11\_J]

Ces cartes ont été produites par la fonction "Créer cartes cumul horaires et journaliers ».

Fichiers des cumuls journaliers pour chaque jour, du 02/11/2014 au 04/11/2014, à deux niveaux de zoom :

Panthere\_AAAAMMJJ\_France\_BvGC\_Champ journalier.png : carte de cumul journalier à la date AAAAMMJJ au format image, France entière

Panthere\_AAAAMMJJ\_LimBvGC\_zoom1\_Champ journalier.png : carte de cumul journalier à la date AAAAMMJJ au format image, centré sur la zone étudiée



**Figure 29: Répertoire des cartes de cumul journalier de novembre 2014, affichage mode vignettes**

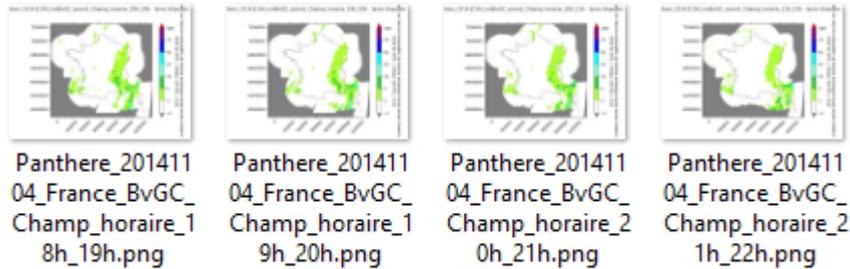
Ce répertoire ne contient pas la version des fichiers au format grid ascii, mais celui-ci existe dans le répertoire [[CartesA5min\_AAAMMJJ]], fichier Cumuls\_LimBvGC.asc : fichier du champs de lame d'eau cumulée sur l'ensemble de la journée

### A2.2.3. [201411\_h\_BVzoom1] et [201411\_h\_BVzoom1]

Ces cartes ont été produites également par la fonction "Créer cartes cumul horaires et journaliers », avec respectivement, des champs horaires centrés sur la zone d'étude et France entière sur les 3 journées :

Panthere\_AAAAMMJJ\_BvGC\_zoom1\_Champ\_horaire\_XXh\_YYh.png : carte de cumul du jour AAAAMMJJ de l'heure XX à l'heure suivante YY au format image

Panthere\_AAAAMMJJ\_France\_BvGC\_Champ\_horaire\_XXh\_YYh : carte de cumul de l'heure XX à l'heure suivante YY au format grid ascii



**Figure 30: Répertoire des cartes de cumul hoaire de novembre 2014, France entière, affichage mode vignettes**

### A2.3. [Champs\_2016/Champs\_2016\_05]

Un répertoire a été créé, pour les fichiers horaires et journaliers des dates du 12 et 13/05/2016, France entière et zone d'étude.

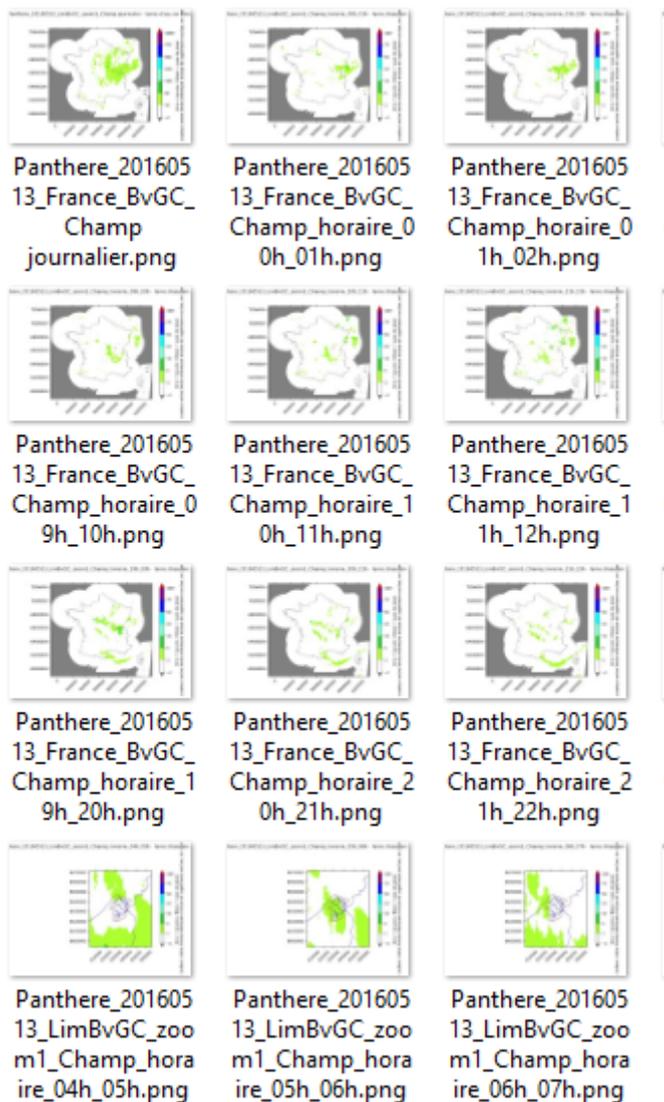


Figure 31: Vue en mode vignettes de

Champs\_2016\201605\20160513

## A2.4. [Champs\_2016/Champs\_2016\_06]

Un répertoire a été créé, pour les fichiers journaliers des dates du 21 au 25/06/2016, France entière et zone d'étude, ainsi qu'un répertoire pour chaque date avec les fichiers horaires. Le suffixe « ZR » parfois ajouté indique que certaines cartes sont réduites à la zone d'étude (Z) et que le réseau hydrographique est dessiné dans les cartes (R).

- ChampsJournaliers21au25
- Panthere\_20160621\_ZR
- Panthere\_20160622\_ZR
- Panthere\_20160623\_ZR
- Panthere\_20160624\_ZR
- Panthere\_20160625\_ZR

Figure 32: Vue en mode vignettes de Champs\_2016\_06

## **Résumé**

Ce rapport explore deux territoires qui sont le Grand Chalons et le département des Pyrénées Orientales.

Dans les P.O. la cartographie des aléas forts en transfert et en accumulation apparaît assez contrastée selon les communes de ce département. Cependant l'évaluation des cartographies IRIP à partir des 3829 parcelles impactées lors de l'événement pluvieux intense qui a frappé en 2014, causant de nombreux dégâts, est peu probante. En présence d'un tel jeu de données il paraît nécessaire de considérer la distribution spatiale des pluies de l'événement concerné. Cela est possible en utilisant les données de lame d'eau radar produites par Météo-France. Des algorithmes sont décrits et testés dans le cadre de ce travail sur un domaine spatial limité et un jeu réduit d'incidents situés dans le Grand Chalons (71). L'application aux PO est programmée dans une fiche action qui sera proposée pour 2020.

**Mots clé** : Ruissellement intense, calamités agricoles, lames d'eau radar.