



**HAL**  
open science

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

Pascal Breil, Tristan Gally

► **To cite this version:**

Pascal Breil, Tristan Gally. 4.1.4: Améliorations de la méthode IRIP au niveau national. [Rapport de recherche] INRAE Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône-Alpes. 2018. hal-03787457

**HAL Id: hal-03787457**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03787457>**

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 2018**  
**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 2018

**Breil Pascal**  
**Gally Tristan**

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

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



# Table des matières

<b>Rappel de la fiche action</b>	<b>4</b>
<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>Le découpage régional par les Hydro-EcoRégions (HER)</b>	<b>5</b>
Principes de l'évaluation	6
<b>Les HER des études IRIP</b>	<b>7</b>
Pour les études 2014 à 2017	7
HER « Tables calcaires »	7
HER Massif Central Sud :	8
HER Méditerranéen	8
HER Armoricaïn	8
Pour les études 2018	8
HER Plaine de Saône	8
HER Coteaux Aquitains	9
HER Pyrénées	9
HER PréAlpes du Sud	9
<b>Lien entre HER et niveaux de sensibilité au ruissellement intense</b>	<b>10</b>
<b>Etudes des bassins versants du Grand Chalon</b>	<b>11</b>
Evénements pluviométriques	11
Constitution de la base de données	11
<b>Résultats</b>	<b>12</b>
<b>Intérêt des données de pluie-radar pour l'évaluation de la méthode IRIP</b>	<b>15</b>
Méthode	16
Cas d'étude de Chalon-sur-Saône	16
<b>Résultats</b>	<b>16</b>
La relation pluie – aléa IRIP	16
Délimitation du territoire à ruissellement intense	17
Période de retour des pluies ayant déclenché le ruissellement intense	18
<b>Etudes de trois bassins du Gers</b>	<b>20</b>
Résultats	20
<b>Utilisation de la base de données de l'Organisme National des Forêts</b>	<b>21</b>
Présentation de la BD RTM	21
Export des données	22
Utilisation de la base de données avec IRIP :	22
Methodologie	22
Cas des Hautes Pyrénées (65)	23
<b>ANNEXES</b>	<b>24</b>
Annexe 1 : Base de données du cas d'étude de Chalon-sur-Saône	24
Annexe 2 : Base de données fournie par la DDT du Gers repérant les événements par les points kilométriques, leur type, et le côté de la route impacté.	25
Annexe 3 : Exemples de photographies fournies dans le cadre des déclarations CAtnat par des particuliers	26

## Rappel de la fiche action

<b>Titre complet de l'action</b>	<b>Fiche action : Améliorations de la méthode IRIP au niveau national</b>
<b>Action n°</b>	<b>4.1.4</b>
<b>Responsable Irstea (Unité)</b>	Pascal BREIL (HHLY)
<b>Responsable SRNH</b>	Jean-Philippe PENE (BRIL)
<b>Contexte et enjeux</b>	<p>Le ruissellement intense et ses conséquences (coulées de boue, emportement et encombrement des réseaux de transport) constituent des sources d'aléas encore mal cartographiés bien que les coûts induits par les indemnisations des zones déclarées en catastrophe naturelle soient comparables à ceux des inondations par débordement (source CCR).</p> <p>La cartographie du ruissellement intense a progressé en 2017 mais il est nécessaire d'associer à cette représentation une notion de période de retour en lien avec l'occurrence moyenne des pluies fortes sur la France métropolitaine.</p>
<b>Objectifs du projet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Développer 5 études d'événements passés dans différentes régions et pour lesquels la connaissance des pluies spatiales (radar météo) permettra d'évaluer les périodes de retour d'activation des seuils de ruissellement intenses.</li> <li>2- Produire une cartographie du ruissellement intense associé à des périodes de retour 10, 100 et 1000 ans (limite d'extrapolation du jeu de données pluie actuelle)</li> </ol>
<b>Travaux déjà réalisés et travaux prévus</b>	<p><b>Rappel des acquis si caractère pluriannuel de l'action :</b></p> <p>L'action IRIP a été développée à l'échelle de la France métropolitaine fin 2016 et durant 2017. L'analyse de complémentarité des modèles IRIP (Irstea) et WaterSed (BRGM) a permis d'affiner le niveau de détection des incidents sur le bassin de l'Austreberthe (Seine Maritime) avec 90% de détection des incidents hors EAIP (environ 700 points observés) pour 15% de territoire identifié à fort aléa de ruissellement.</p> <p>La régionalisation des pluies intenses (données pluie radar, maille 1 km, 5 minutes, 10 ans) mises à disposition courant 2017 par Météo-France a été réalisée en 2017.</p> <p><i>A titre d'information complémentaire, les travaux développés sur la méthode IRIP dans le contexte ferroviaire en partenariat avec SNCF (thèse LR Lagadec) ont abouti à une détection de 100% des incidents et 30% de faux positifs (zones à fort aléa de ruissellement mais sans incident répertorié) sur un tronçon de ligne grande vitesse de 80 km. L'analyse d'échelle a démontré que les événements de ruissellement intense responsables des incidents se produisent sur des aires de quelques hectares, ce qui implique des temps de concentration courts, de la dizaine de minutes à l'heure. L'information 'pluie radar' à 5 minutes constitue donc un atout.</i></p> <p><b>Travaux prévus :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- Sélectionner 5 catastrophes naturelles dans différentes régions (type de sols et climats différenciés) consécutives à du ruissellement intense et pour lesquelles les données de localisation des incidents sont disponibles (archives, retour d'expérience, media).</li> <li>2- Etablir la régionalisation des pluies intenses de 15 et 60 minutes puis 7 jours pour les périodes de retour 10 ans, 100 ans et 1000 ans, ceci en s'appuyant sur la consolidation régionale des pluies mesurées par les radars météo. Les cumuls forts sur 7 jours sont à considérer pour des sols dont le profil pourra se saturer sur des plateaux limoneux par exemple. Cela constitue un facteur de risques en particulier dans le Nord de la France.</li> <li>3- Réaliser le couplage de la cartographie du potentiel de ruissellement intense au sol (modèle IRIP) avec celui de la cartographie des pluies intenses et longues pour produire une carte de ruissellement intense associée à des périodes de retour en moyenne, ceci à l'échelle de la France métropolitaine.</li> </ol>

## Introduction

L'action SRNH 4.1.4 « Améliorations de la méthode IRIP au niveau national » a contribué à développer deux aspects de l'amélioration en 2018 :

- 1- la prise en considération des caractéristiques régionales au sol par l'intermédiaire des hydro-écorégions qui sont utilisées en France pour proposer un découpage du territoire en lien avec la directive cadre Européenne sur l'Eau ;
- 2- le développement méthodologique du couplage des cartographies IRIP avec les données de lame d'eau radar, ceci pour évaluer les périodes de retour des pluies à l'origine des incidents répertoriés.

Le choix des hydro-écorégions de travail a été conditionné par la disponibilité de données d'incidents au sol. Ces données ont été trouvées auprès de différentes structures :

- la communauté de communes du Grand Chalon (Saône-et-Loire, en région Bourgogne-Franche-Comté) qui a subi en 2016 des dégâts importants par ruissellement intense des terres situées en périphérie ;
- La DDTM du Gers (région Occitanie) qui a fourni une base de coupures de routes liées à des orages intenses ;
- L'ONF qui a donné accès à sa base dont une partie contient des incidents liés au ruissellement intense. Ces données concernent essentiellement les zones montagneuses. Pour cette base le travail de 2018 a consisté à pré-traiter les données et comprendre leur signification et exploitabilité pour l'étude du ruissellement intense. En cela l'aide du service en charge de la base à l'ONF a été précieuse. Des éléments sont brièvement présentés en annexe. Nous avons ainsi retenu de travailler sur les incidents : crues torrentielles et inondations, glissements de terrain et ravinement. Cette base contient des données qui remontent au 17<sup>em</sup> siècle ainsi que des données contemporaines. Par précaution quant à la précision du géo-positionnement, seuls les incidents consignés depuis 2000 ont été conservés pour cette étude. Deux bassins versants sont traités, l'un dans les Alpes et l'autre dans les Pyrénées.
- Le Syndicat Mixte du Bassin Versant de l'Austreberthe et du Saffimbec (SMBVAS) en Seine-Maritime.
- Les données ont aussi été obtenues par des visites de terrain après des événements de ruissellement intense comme à Biot et Vallauris (Var) en Octobre 2015, Luceux (Somme) en Juin 2016 et Costaros (Haute Loire) en Juin 2017.

## Le découpage régional par les Hydro-EcoRégions (HER)

Le premier objectif de l'action SRNH 4.1.4 est de vérifier si des seuils de susceptibilité au ruissellement sont associés à des caractéristiques pédo-climatiques. C'est en effet un point d'entrée à une pré-calibration de la méthode IRIP au niveau national. Il ne s'agit pas d'un calage au sens de l'optimisation des paramètres d'un modèle. En effet aucune action n'est réalisée sur la pondération des facteurs du ruissellement car la méthode IRIP délivre trois cartes avec chacune 6 niveaux de sensibilités compris entre 0 et 5. Le « calage » consiste alors à rechercher s'il existe un niveau de sensibilité plus approprié qu'un autre quand l'on se trouve dans une région qui diffère par son climat, qui influence les états hydriques moyens du sol, et sa géologie, qui influence la nature des sols et leur perméabilité. A noter que dans ce qui suit, un seuil de sensibilité « S » signifie tous les seuils qui sont «  $\geq S$  ».

Pour un découpage régional pertinent, il a été retenu le concept d'écohydro-région développé en France<sup>1</sup> pour répondre à « .....L'approche par hydro-écorégions (HER), basée sur la géologie, le relief et le climat, système fonctionnel régionalisé et hiérarchisé, permet de délimiter des entités géographiques dans lesquelles les écosystèmes d'eau courante présentent des caractéristiques communes. »<sup>2</sup>

A l'échelle de la France métropolitaine il est identifié 21 HER de niveau 1 (Fig. 1a). Les HER testées avec la méthode IRIP sont indiquées en rouge dans la figure 1b.

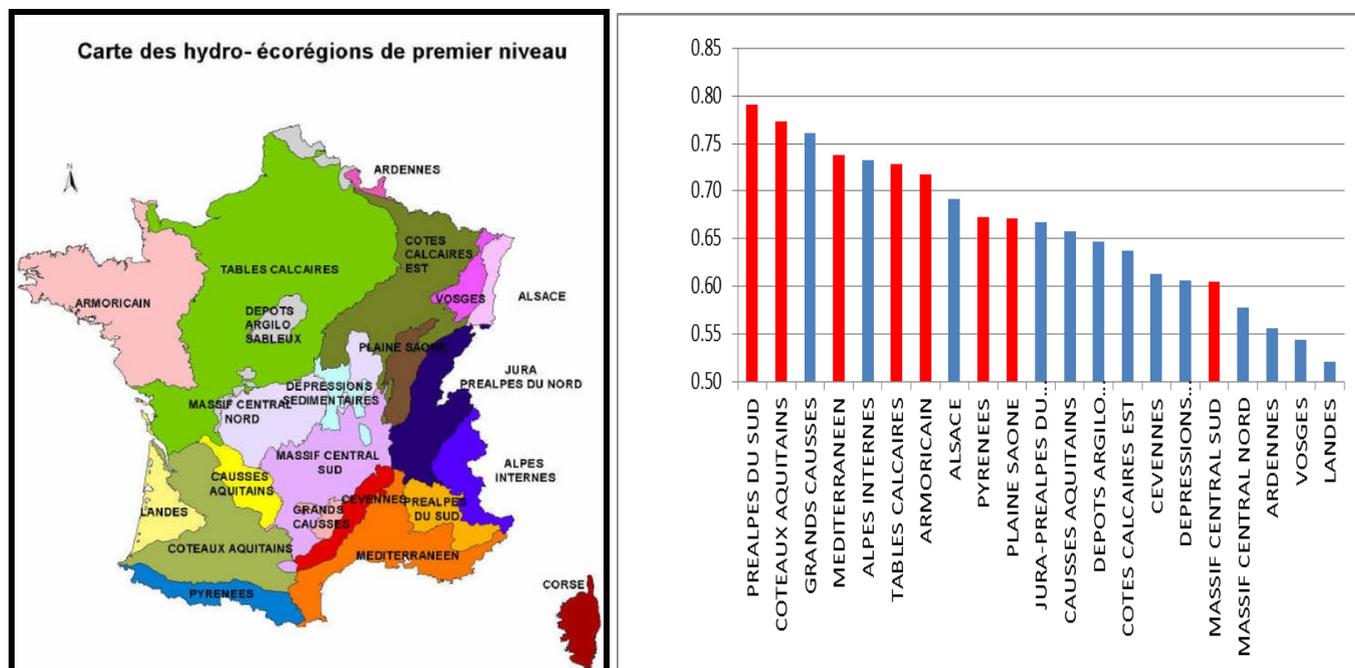


Figure 1a : Les hydro-écorégions de niveau 1 de la France métropolitaine (Jean-Gabriel WASSON et al., Cemagref). Figure 1b : Classement des HER selon leur pourcentage de surface ruisselante.

La figure 1b représente le pourcentage de surface ruisselante calculé par HER en comparant la conductivité hydraulique à saturation (exprimée en mm / heure) du sol, sur les 30 premiers centimètres, à l'intensité moyenne de la pluie trentennale sur 1 heure. Quand l'intensité pluvieuse dépasse la conductivité hydraulique le ruissellement hortonien est considéré actif. Les données sols utilisées pour réaliser cette cartographie nationale sont celles de la base LUCAS du « European Soil Data Centre ». Ces données sont fournies sous forme raster à la maille de 250m mais elles présentent l'avantage d'une information homogène en granularité à l'échelle de l'Europe. Les données de pluies sont tirées des lames d'eau radar fournies par Météo-France à la maille kilométrique. On observe que le pourcentage de ruissellement peut varier de 50 à 80% sous les conditions locales des pluies trentennales. De manière logique l'HER des Landes infiltre beaucoup alors que les coteaux aquitains, situé juste à côté, sont très favorables au ruissellement, sans doute du fait de sols battants comme cela est aussi observé dans l'HER des tables calcaires. L'hypothèse de travail consiste à dire que les HER les plus favorables au ruisselant devraient avoir de bons taux de détections des incidents liés au ruissellement intense pour les valeurs hautes de seuil de sensibilité.

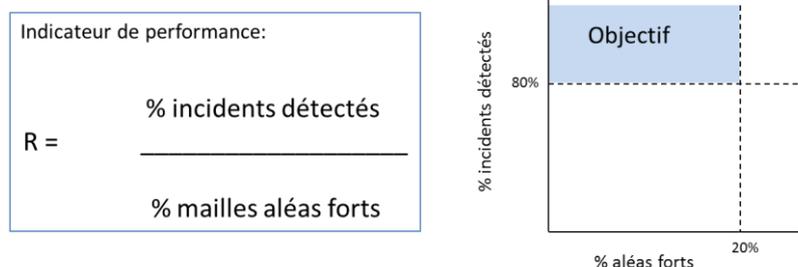
### Principes de l'évaluation

Afin de comparer les résultats obtenus dans les différentes HER, nous reprenons ici l'indicateur de performance utilisé en 2017 pour comparer l'efficacité des seuils. Cet indicateur fait le rapport du % d'incidents détectés sur le % de mailles classées en aléas forts Accumulation et (ou) Transfert. Ce ratio R augmente avec l'efficacité de la

<sup>1</sup> <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00475620>

<sup>2</sup> <https://www.irstea.fr/fr/les-hydro-ecoregions-une-approche-fonctionnelle-de-la-typologie-des-rivieres>

détection que l'on cherche à optimiser avec le moins possible de mailles en valeurs fortes. En effet, une détection de 100% des incidents est possible avec 100% du territoire en aléa fort (R =1) mais cela ne présente aucun intérêt opérationnel. Un objectif est alors d'obtenir plus de 80% d'incidents détectés avec moins de 20% du territoire en mailles fortes (ou surfaces dangereuses), soit une valeur de  $R \geq 4$ .



Les cartographies des aléas accumulation/ dépôt et transfert/ érosion sont présentées sous la forme de carte raster à maille carrée de 25m. La détection d'un événement est considérée positive à partir du moment où il existe au moins une maille avec un aléa égal ou supérieur au seuil de sensibilité testé dans les mailles adjacentes à la maille où s'est produit l'incident référencé. Il en va de même si l'aléa est situé sur la maille de l'incident.

La zone tampon autour de la maille incident ne doit pas être trop grande au risque de « capter » des mailles d'aléa fort sans lien hydraulique. Il faut cependant considérer une zone tampon pour prendre en compte les erreurs de positionnement ou encore l'environnement proche car l'incident n'est qu'une réponse à un aléa adjacent. Une zone tampon circulaire de 50 m à partir d'un point incident couvre l'équivalent en surface de 14 mailles de 25m. Le fait d'avoir 1 maille sur 14 en aléa fort suffit à valider le lien entre l'aléa et l'incident. Cela représente 1/14 soit 7% de la surface du tampon. La valeur de 7% est aussi considérée comme valeur minimale par exemple pour valider la détection des tronçons de route coupés par le ruissellement intense.

Un autre aspect évalué de la méthode IRIP est sa capacité à détecter des zones humides (ZU) qui peuvent entrer dans la stratégie de gestion du ruissellement intense. Nous avons retenu cette approche dans l'analyse régionale de l'analyse des seuils IRIP car elle contribue à explorer une HER de plus.

## Les HER des études IRIP

### *Pour les études 2014 à 2017*

*Les éléments d'information détaillés des différents cas d'étude sont présents dans les rapports des actions SRNH de la méthode IRIP rendus sur cette période.*

#### *HER « Tables calcaires »*

Sur le bassin de la Lézarde, suite à l'événement orageux du 13 octobre 2013, les 36 coupures de routes sont comparées aux aléas forts ainsi que des coupures du réseau ferré. Un tiers du bassin a été concerné par l'orage et ce secteur est donc retenu pour l'évaluation. Les coupures sont détectées à 81% avec un seuil de 4 en accumulation et transfert qui représente 4% de la surface du bassin versant. La plupart des routes non coupées mais prédites par la carte d'accumulation IRIP se sont avérées être protégées par un ou plusieurs des 45 ouvrages de rétention temporaires existant.

Sur le bassin de l'Austreberthe le choix du seuil = 3 donne un taux de détection de 90% des incidents recensés sur moins de 18% du territoire. Il s'agit d'incidents compilés par le syndicat mixte de bassin depuis les années 90. La

base contient 1017 incidents dont 459 sont situés en dehors de l'EAIP et que l'on considère alors relever des inondations par ruissellement intense.

### *HER Massif Central Sud :*

Événement du 13 juin 2017 avec 220 mm en 3 h, localement 400 mm sur images radar

Sur les trois bassins contiguës de la zone d'étude 72 incidents ont été compilés depuis les données des media, visite terrain et contacts avec les services techniques (Mairies, DDT). Le choix du seuil 5 pour l'accumulation et 4 pour le transfert donne un taux de détection de 72% des 36 incidents recensés hors l'EAIP-Ce et cela avec 21% du territoire en aléa fort.

### *HER Méditerranéen*

Événement du 3 octobre 2015 avec 120mm en 3 heures qui ont suivi 80mm de pluie le jour précédent. Visite terrain réalisée les 27 et 28 octobre.

Commune de Biot : 8 coulées de boue répertoriées et inondation pluviale localisée à partir d'une vidéo prise pendant l'événement. 8 incidents liés à l'érosion avec 100% de détection pour l'aléa transfert au seuil = 3. L'incident lié à l'accumulation d'eau avec 100% de détection pour l'aléa accumulation au seuil = 4. Les aléas forts cités représentent 16% du bassin versant.

Commune de Vallauris : 30 incidents avec 73% de détection pour un seuil = 4 en transfert et (ou) accumulation avec 18% du bassin versant en mailles à aléa fort.

### *HER Armoricain*

Dans les bassins versants du TRI de Nantes la carte d'accumulation a été post-traitée pour détecter les zones humides (ZH) de l'inventaire du SAGE Loire. Il s'agissait d'évaluer la capacité de la carte d'accumulation IRIP à reproduire cette information dans des zones non renseignées avec l'idée d'utiliser les ZH dans une stratégie de gestion du ruissellement intense. Après calage du post-traitement sur une sous zone, la cartographie des zones humides potentielles est évaluée sur le jeu des 13 995 ZH délimitées dans le SAGE Loire. On observe que 88% des ZH sont détectées avec un taux moyen de 65% de mailles favorables à la présence de zones humides dans les zones humides observées. La proportion de territoire en zones humides observées dans les bassins versants du TRI de Nantes est de 21% contre 24% « vu » par la méthode IRIP.

### **Pour les études 2018**

### *HER Plaine de Saône*

Territoire du Grand Chalon : événements du 4/11/2014 ; 13/05/2016 et 25/06/2016. Ce territoire dispose de 56 points d'incidents déclarés par des particuliers dans le cadre d'une déclaration CAtnat.

Hors de l'EAIP :

En tout 20 points incidents sont situés hors de l'EAIP-CE produites par le modèle EXZECO du CEREMA. Le modèle IRIP permet de détecter 90% de ces 20 points au seuil de niveau 4 avec une emprise spatiale de 6% pour les mailles en aléa fort en accumulation et (ou) transfert.

Dans l'EAIP :

97% des 36 points situés dans l'EAIP sont détectés au seuil de niveau 4 avec une emprise spatiale de 27% pour les mailles en aléa fort en accumulation et (ou) transfert.

### *HER Coteaux Aquitains*

Trois bassins versants du Gers suite à orage de mai et juin 2018. La DDT a fourni les coordonnées délimitant 36 tronçons de route impactés par des phénomènes de ruissellement intense. La surface cumulée des trois bassins versant est de 1656 km<sup>2</sup>.

Avec un tampon de 25m de part et d'autre des tronçons, 82% des routes impactées sont détectées au seuil de niveau 4 en transfert et (ou) accumulation, cela en considérant un minimum de 7% de mailles en aléa dans la zone tampon. Pour ce seuil, 12% de la surface totale des trois bassins sont en aléas forts.

L'étude comparée des % en aléas forts dans les zones tampons indique que pour les routes impactées ils varient de 3 à 27% contre 0 à 62% pour les routes non impactées. Cela semble indiquer que nombre de routes sont bien protégées par des dispositifs hydrauliques efficaces. Cela indique aussi que les routes sans aléas forts ne sont pas impactées.

### *HER Pyrénées*

Hors de l'EAIP :

Pour cette HER il a été isolé un bassin versant de 692 km<sup>2</sup> contenant 87 incidents de la base ONF, survenus après 1999 et classés en 42 glissements de terrain, 1 inondation et 44 crues torrentielles. Il est considéré un tampon de 50m autour des zones d'incidents qui dans la base ONF prennent des formes diverses d'emprises. Le taux de détection est de 80% des incidents au seuil IRIP 5 en accumulation et (ou) 5 en transfert. Avec ces seuils, 12% du territoire est en aléas forts. Les incidents sont détectés avec au minimum 5% de mailles en aléas forts dans les emprises avec tampon.

Dans l'EAIP :

56 incidents de la base ONF, survenus après 1999 et classés en 22 glissements de terrain et 34 crues torrentielles. Il est considéré un tampon de 50m autour des zones d'incidents qui dans la base ONF prennent des formes d'emprises diverses. Le taux de détection est de 88% des incidents au seuil IRIP 5 en accumulation et 5 en transfert. Avec ces seuils, 12% du territoire est en aléa fort. Les incidents sont détectés avec au minimum 22% de mailles en aléa fort dans les emprises avec tampon.

Les incidents « ravinements » sont traités à part car non datés pour l'essentiel, ce qui laisse supposer des événements anciens, parfois historiques (années 1700, 1800). Le taux de détection est de 69% avec au minimum 5% de mailles en aléa fort dans les emprises avec tampon, toujours avec les aléas transfert et (ou) accumulation au seuil de 5. Ce type d'incident semble être le plus complexe à décrire, parfois sous forme de zones étendues, parfois de linéaires, parfois de points. L'évaluation de ce type d'incident nécessitera de se rapprocher des services de l'ONF.

### *HER PréAlpes du Sud*

Hors de l'EAIP :

Pour cette HER il a été isolé un bassin versant de 789 km<sup>2</sup> contenant 58 incidents de la base ONF, survenus après 1999 et classés en 28 glissements de terrain, 1 ravinement et 29 crues torrentielles. Il est considéré un tampon de 50m autour des zones d'incidents qui dans la base ONF prennent des formes d'emprises diverses. Le taux de détection est de 79% des incidents au seuil IRIP 5 en accumulation et en transfert. Avec ces seuils, 18% du territoire est en aléas forts. Les incidents sont détectés avec au minimum 7% de mailles en aléas forts dans les emprises avec tampon.

Dans L'EAIP :

41 incidents de la base ONF, survenus après 1999 et classés en 14 glissements de terrain et 21 crues torrentielles. Il est considéré un tampon de 50m autour des zones d'incidents qui dans la base ONF prennent des formes diverses d'emprises. Le taux de détection est de 86% des incidents au seuil IRIP 5 en accumulation et (ou) 4 en transfert. Avec ces seuils, 18% du territoire est en aléas forts. Les incidents sont détectés avec au minimum 25% de mailles en aléa fort dans les emprises avec tampon.

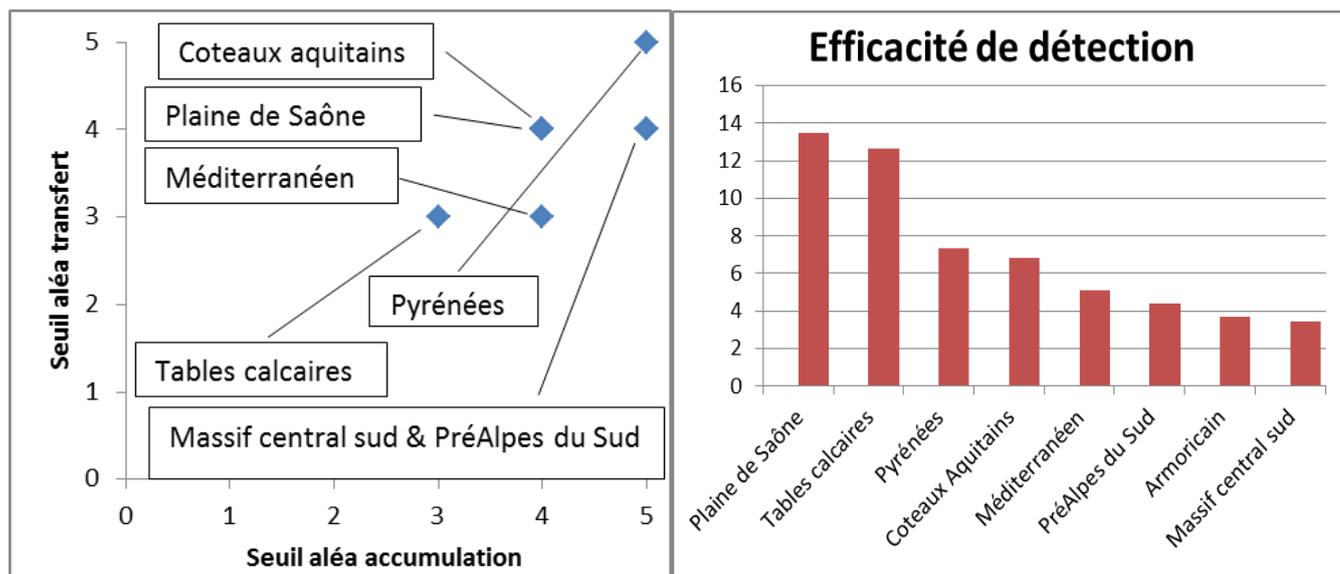
## Lien entre HER et niveaux de sensibilité au ruissellement intense

Il s'agit d'une première synthèse qui devra s'enrichir d'autres études. Ainsi 8 HER sur 22 ont pu faire l'objet d'une évaluation, soit à partir de données liées à des événements datés, soit à partir de données collectées par les services de l'Etat comme la DTTM du Gers ou l'ONF. Il est observé une différence entre les seuils nécessaires dans les cartes IRIP selon les HER considérées. Le critère posé en préambule était d'atteindre au minimum 80% de détection des incidents liés au ruissellement intense, cela avec moins de 20% de la surface de bassin versant concernée par des mailles en aléas forts au sens des seuils fournis par IRIP. Selon les régions ces seuils sont soit supérieurs ou égaux à 3, 4 ou 5 sur une échelle qui va de 0 à 5. On s'appuie ici sur des nombres d'incidents qui varient de 25 à 459 selon les cas étudiés.

L'HER Pyrénées est selon ce premier test la plus sensible au processus de ruissellement intense car les seuils de 5 en transfert et(ou) en accumulation sont retenus. Les HER « massif central sud » et « PréAlpes du Sud » présentent des seuils identiques avec niveau 5 en accumulation et (ou) 4 en transfert. L'HER des tables calcaires nécessite de partir du seuil 3. Les trois autres HER se situent entre ces extrêmes avec des variantes en accumulation ou en transfert. Il est possible de proposer un premier gradient de sensibilité au ruissellement du plus faible au plus fort :

Tables Calcaires - Méditerranéen – Plaine de Saône et Coteaux Aquitains – Massif Central Sud et PréAlpes du Sud - Pyrénées

On ne trouve cependant pas de lien avec le classement des HER selon leur capacité à produire du ruissellement pour la pluie trentennale (cf Fig. 1a).



Par contre, il est intéressant de regarder le rapport d'efficacité de la détection qui est donné par le % de détection sur le % de surface du bassin versant en mailles IRIP « aléas forts ». Ce rapport donne une information opérationnelle car plus il est grand pour des % de détection ici supérieur à 80 %, moins il y a de surface de bassin

concerné par les aléas liés au ruissellement intense. D'après le graphique ci-dessus, les HER « Plaine de Saône » et « Tables calcaires » donnent ici les meilleurs résultats alors que le massif central est le moins bon, ce qui est cohérent pour ce dernier avec sa relative faible capacité à ruisseler.

## **Etudes des bassins versants du Grand Chalon**

La zone d'étude du Grand Chalon, et des incidents géo-référencés, est située dans l'HER « Plaine de Saône ». Les données d'incidents sont situées sur la côte de Bourgogne qui est recouverte par des dépôts de silt et d'argile et des alluvions quaternaires qui favorisent l'apparition de ruissellement Hortonien. La pente moyenne de 6% reflète des conditions favorables à la culture viticole. Ces dénivelés permettent alors la formation plus aisée de coulées boueuses ou de glissements de terrains. L'accumulation d'eau en sous-sol peut conduire à la formation de coulées boueuses par liquéfaction de fines particules proches.

### ***Evénements pluviométriques***

Des cas de pluies intenses ont été enregistrés en Novembre 2014 puis Mai et Juin 2016 sur les alentours de Chalon-sur-Saône. Ils ont donné lieu à des coulées de boue en direction des zones urbanisées. Le Grand Chalon a engagé une étude de modélisation du ruissellement en 2017, cela afin de développer une action de gestion préventive à l'échelle de son territoire. Nous utiliserons ici des informations transmises par le Grand Chalon, à savoir :

- les déclarations individuelles de recours en catastrophe naturelle. Ces données sont précieuses pour comprendre les conditions des incidents, en particulier quand elles sont accompagnées de photos, et pour distinguer les types d'inondations par débordement et (ou) ruissellement intense. Ces données sont utilisées pour évaluer le taux de prédiction du modèle IRIP ;
- les sorties de modélisation par le modèle Lisem (développé par le Delft Hydraulic Institute) mis en œuvre par un bureau d'étude. Lisem est un modèle à base mécaniste qui requiert des données fines de description de la topographie et des propriétés du sol. Les données topographiques à la maille de 1m sont issues de campagnes Lidar et les données pédologiques sont quant à elles issues de la base de données MESALES de l'INRA, à l'origine développée pour la gestion de l'érosion agricole. La comparaison des cartographies IRIP et Lisem est une manière d'évaluer le pouvoir prédictif du modèle IRIP qui travaille à la maille de 25m, dans le cas d'une convergence observée des deux modèles.

### ***Constitution de la base de données***

Nous avons constitué une base de données en utilisant les recours en catastrophes naturelles des particuliers fournis aux mairies du territoire qui ont à charge de coordonner les dossiers avant transmission au préfet. Ces documents fournissent le plus souvent la géolocalisation précise des événements, et des photographies des dégâts causés par l'eau, nous permettant de ce fait de définir au mieux possible le type d'évènement en cause. Les informations sont ainsi localisées dans les différents villages ciblés par les catastrophes. La critique préliminaire des données consiste à vérifier les géo-positionnement et horodatage, puis à évaluer la cause de l'inondation entre ruissellement intense et (ou) débordement de cours d'eau. La colonne véracité est une note attribuée après lecture par nos soins des documents de déclaration transmis par les particuliers qui décrivent les circonstances de l'incident avec appui de photos. La base de données contient initialement 82 incidents dont 10 sont survenus en 2014.

Légende type d'événement		Véracité	
1.	Accumulation - transfert d'eau	1	approximative
2.	Ravinement	2	bonne
3.	Glissement terrain	<b>Légende iRIP</b> t : transfert acc : accumulation	
+1	Evenement + accumulation d'eau		
+0	Evenement + accumulation débris		

Par ailleurs certaines déclarations peuvent évoquer du ruissellement alors qu'il s'agit bien du débordement d'un talweg rarement mis en eau. Après analyse critique, 56 incidents sont imputables au ruissellement. Les données retenues sont reproduite en Annexe 1.

## Résultats

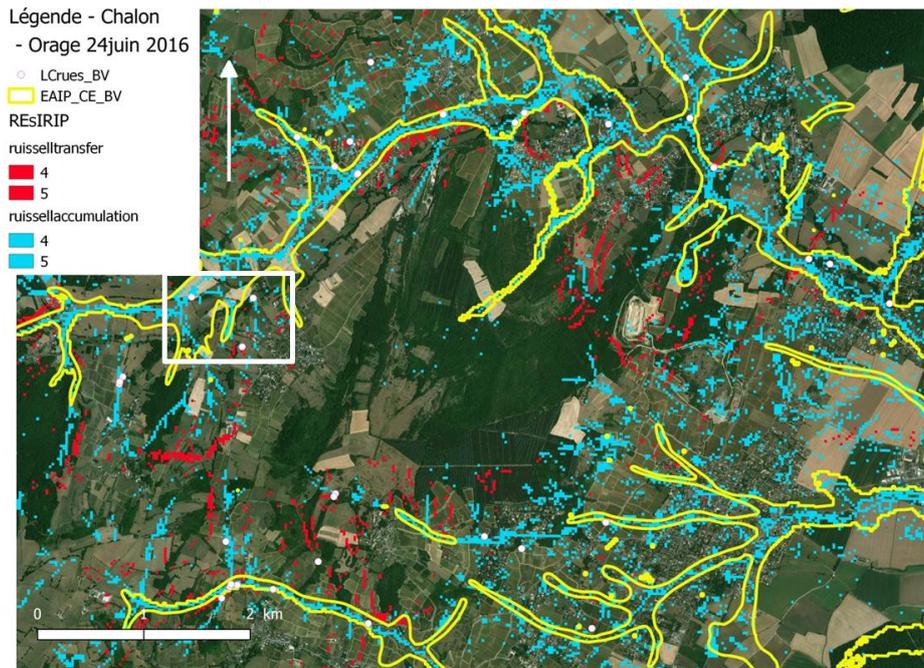
Il est considéré dans l'évaluation une distinction entre les points incidents qui sont situés dans et en dehors de l'« Emprise Potentiel d'Inondations Extrêmes » ou EAIP, telle que délimitée par la méthode Exzeco du CEREMA. Cette méthode basée sur la topographie permet de délimiter le long des talwegs une zone inondable sous un tirant d'eau forfaitaire de 1m. Cela n'implique pas que les incidents liés au ruissellement dans ces zones résultent systématiquement d'un débordement de talweg. Ce qui nous paraît intéressant sur un plan opérationnel est d'évaluer les pourcentages des surfaces de bassin versant qui sont concernées par les aléas de ruissellement selon les méthodes Exzeco et IRIP.

	Hors EAIP-CE	Dans EAIP-CE	Total BV
Nombre incidents	20	36	56
Taux détection	90%	97%	98%
% surface en aléa fort IRIP	6%	27%	9%

L'évaluation des cartes IRIP est réalisée d'une part avec le jeu des 20 points incidents situés en dehors de l'EAIP et d'autre part avec les 36 points d'incident situés dans l'EAIP, puis sur l'ensemble du bassin versant sans distinction.

Il est à noter que les aléas forts IRIP, qui représentent en tout 9% du bassin versant, sont dans ce cas d'étude localisés à 63% dans la zone EAIP, ce qui représente 5.6% du bassin versant. Par comparaison, la méthode Exzeco a par définition un taux de détection de 100% des 36 points incidents qu'elle contient, cela en occupant 21% du bassin versant. La méthode IRIP détecte 97% des 36 points situés dans l'emprise EAIP en occupant 5.6% du bassin versant.

La figure suivante fournit un aperçu de la zone d'étude du Grand Chalon.

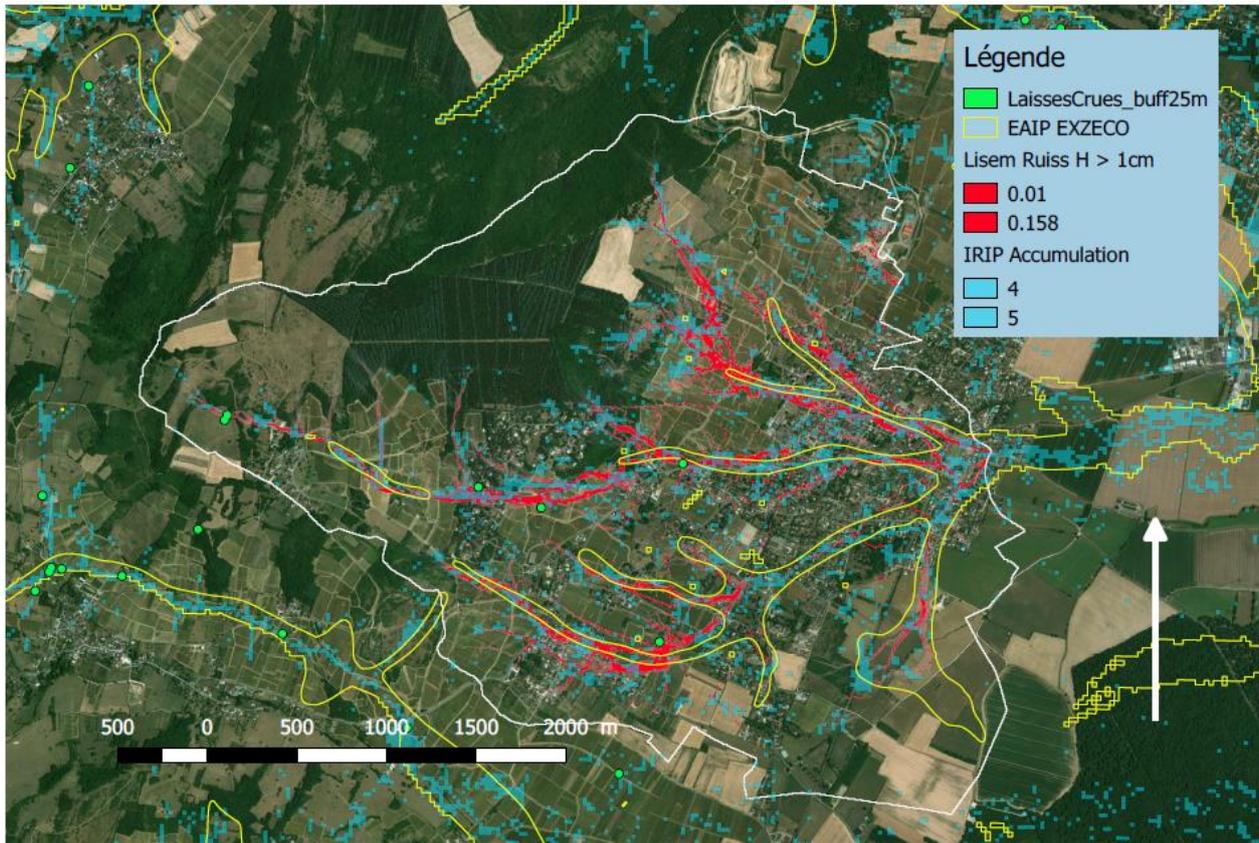


Les aléas de transfert-érosion et d'accumulation-dépôt de niveaux 4 et 5 prédits par la méthode IRIP sont représentés ainsi que les contours de l'EAIP-CE selon la méthode Exzeco. L'aspect « pixelisé » de la méthode IRIP surprend la plupart du temps car l'intuition hydraulique est de « voir » une continuité dans l'écoulement du ruissellement. La sélection des seuils hauts de susceptibilité au ruissellement intense a pour effet de rompre cette continuité.

La figure suivante montre comment la zone tampon autour de l'incident permet d'explorer la présence d'aléas forts, ici dans et en dehors de l'EAIP cours d'eau. Les points incidents sont entourés d'un tampon de diamètre 50m.



Il est aussi possible de comparer la cartographie des aléas IRIP à celle des hauteurs d'eau produites par le modèle LISEM du Delft Hydraulic Institute sur un sous bassin de notre zone d'étude du Grand Chalons.

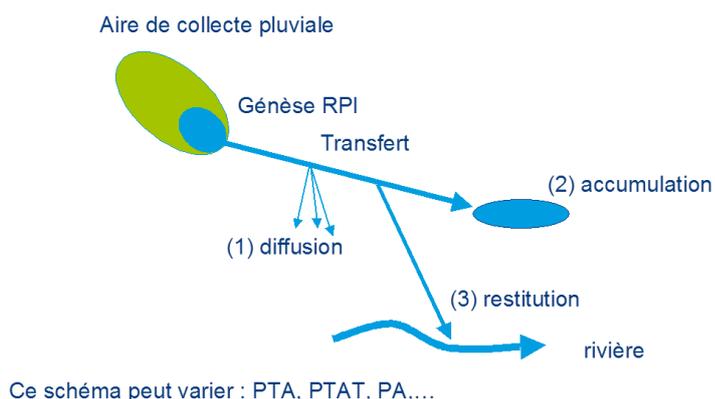


Ce modèle requiert des données topographiques fines collectées par un Lidar. La précision en plan est métrique et celle en altitude est décimétrique, alors que la méthode IRIP utilise en routine le modèle topographique de l'IGN à la maille raster de 25m avec une précision en altitude fournie au mètre près

La figure représente le contour du bassin versant, l'emprise de l'EAIP, les niveaux d'aléas 4 et 5 pour l'accumulation liée au ruissellement intense et la hauteur d'eau de plus de 1cm simulée par le modèle LISEM pour une pluie de période de retour de 30 ans. Les points incidents (ici légendés « laisses de crues ») sont aussi figurés.

Le modèle LISEM fait apparaître des discontinuités amont-aval qui résultent de la capacité d'infiltration et de la hauteur d'eau ici prise supérieure à 1cm pour considérer un ruissellement de surface consistant. Ces discontinuités ne sont pas aussi apparentes dans la modélisation IRIP basée sur des données topographique plus grossières mais cela confirme que le ruissellement prononcé peut disparaître en aval du fait de sa diffusion. Les cartographies IRIP ne sont donc pas contre-intuitives car le ruissellement intense peut se disperser puis se reconcentrer d'amont en aval, alternant ainsi les zones à forts et faibles aléas de ruissellement. C'est d'ailleurs l'un des postulats initiaux de la méthode IRIP comme l'indique la figure suivante :

Production → Transfert → Accumulation, Diffusion, Restitution



La succession des phases peut varier comme cela est aussi indiqué.

La coïncidence des modèles LISEM et IRIP hors de l'EAIP est aussi notable. Elle confirme que les incidents de ruissellement observés hors de l'EAIP répondent bien à des processus de ruissellement situés en dehors des talwegs. L'emprise plus large de la méthode IRIP que celle présentée par le modèle LISEM s'explique par une simulation réalisée pour une pluie trentennale dans le cas de LISEM alors que la méthode IRIP exprime des zones à potentiel de ruissellement qui seront activées en fonction de la force des pluies, éventuellement supérieures en période de retour.

## Intérêt des données de pluie-radar pour l'évaluation de la méthode IRIP

La donnée de pluie radar constitue une source de contrôle supplémentaire pour évaluer les prédictions du modèles IRIP. Rappelons que la pertinence des prédictions est évaluée statistiquement sur la base de la proximité des incidents constatés au sol avec des mailles IRIP qui présentent des valeurs fortes en capacité de transfert et (ou) d'accumulation du ruissellement intense.

Cette méthode d'évaluation présente deux limites :

- Les incidents déclarés sont connus à des endroits où existent des enjeux. Cela implique que des zones sans enjeux ont pu être soumises à des processus de ruissellement intense sans que cela soit répertorié.
- L'évaluation porte en général sur l'ensemble d'un bassin versant sans que l'on sache s'il a plu ou non de façon homogène sur celui-ci et en particulier de manière suffisamment soutenue.

Dans le cas (rare) d'une base de données constituée sur plusieurs années, la limite 2 perd de l'importance car il est considéré un grand nombre d'épisodes pluvieux. Par contre dans le cas d'une évaluation de la capacité de prédiction d'IRIP pour un événement précis, la connaissance de la répartition spatiale des pluies à un pas de temps fin sur le territoire étudié est un atout. C'est le cas des données de pluie radar de météo France qui sont disponibles au pas de 5 minutes sur l'ensemble de la France métropolitaine à la maille carrée du kilomètre de 2006 à 2016. Il est ainsi possible de « rejouer » des catastrophes naturelles passées.

Un autre intérêt des données de pluie radar est de pouvoir associer les incidents à une période de retour de la pluie spatialisée. Les relations en intensité-durée-fréquence ont été calculées pour la France entière dans le cadre de l'action 4.1.4 en 2017. Cela fait sens car les événements orageux concentrent de fortes pluies sur des espaces de quelques kilomètres carrés.

## ***Méthode***

Nous sommes intéressés par l'identification d'un seuil minimal de quantité de pluie-radar tombées sur une durée courte et capable d'initier un ruissellement intense ayant provoqué un incident répertorié. La durée courte testée s'étend entre 5 minutes et 60 minutes pour rester cohérent avec des temps de transfert du ruissellement sur de courtes distances. C'est en accord avec la modélisation IRIP qui apporte de l'information sur le ruissellement intense dans les versants et non dans les cours d'eau où les temps de concentrations dépassent rapidement l'heure au-delà de quelques kilomètres carrés de bassin versant.

On développera la méthode avec les étapes suivantes :

1. Choix de 5 durées : 5, 10, 15, 30 et 60 mn
2. Calcul du cumul glissant par durée (cgd) sur la durée de l'événement pluvieux pour chaque maille de pluie-radar où se situe un incident.
3. Calcul du minimum du cumul glissant par durée sur l'ensemble des mailles de pluie-radar où un incident est répertorié. Ce minimum est calculé au regard de 3 valeurs inférieures afin de réduire les erreurs de fluctuation d'échantillonnage.
4. Découpage du territoire de validation selon les mailles pluie-radar ayant atteint ou dépassé le minimum requis de pluie cumulée pour générer un incident durant la totalité de l'événement pluvieux et cela pour chacun des cgd sélectionnés.
5. Evaluation de l'hypothèse « les incidents sont liés à des aléas forts prédits par le modèle IRIP » à l'aide du Chi2 appliqué à une table de contingence sur ce territoire de validation.

Le point 4 permet de réduire le territoire d'évaluation aux zones à fortes intensités pluvieuses afin de ne pas travailler sur une zone non impactée par les pluies.

## ***Cas d'étude de Chalon-sur-Saône***

L'événement du 24 au 25/06/2018 a été sélectionné avec 20 incidents répertoriés hors de l'EAIP sur l'ensemble du territoire exploré. Il faut savoir que les lames d'eau radar fournissent une valeur moyenne sur la maille kilométrique pour différentes durées alors que les pluies ponctuelles donnent des mesures ponctuelles aux postes pluviométriques. Le recalage opéré par Météo-France entre les données radar et les postes pluviométriques ne peut par ailleurs répondre à une conversion simple car un poste pluviométrique donne une bonne information sur une intensité locale alors que l'image radar fournit une quantité d'eau et qu'un abattement de la quantité de pluie du poste à la maille kilométrique doit être appliqué.

Pour étudier l'effet de la quantité de pluie nécessaire pour déclencher un incident, nous formulons l'hypothèse de dépendance suivante : « Une grande susceptibilité au ruissellement, représentée par une valeur IRIP forte, nécessitera un cumul de pluies moins important pour déclencher un incident »

# **Résultats**

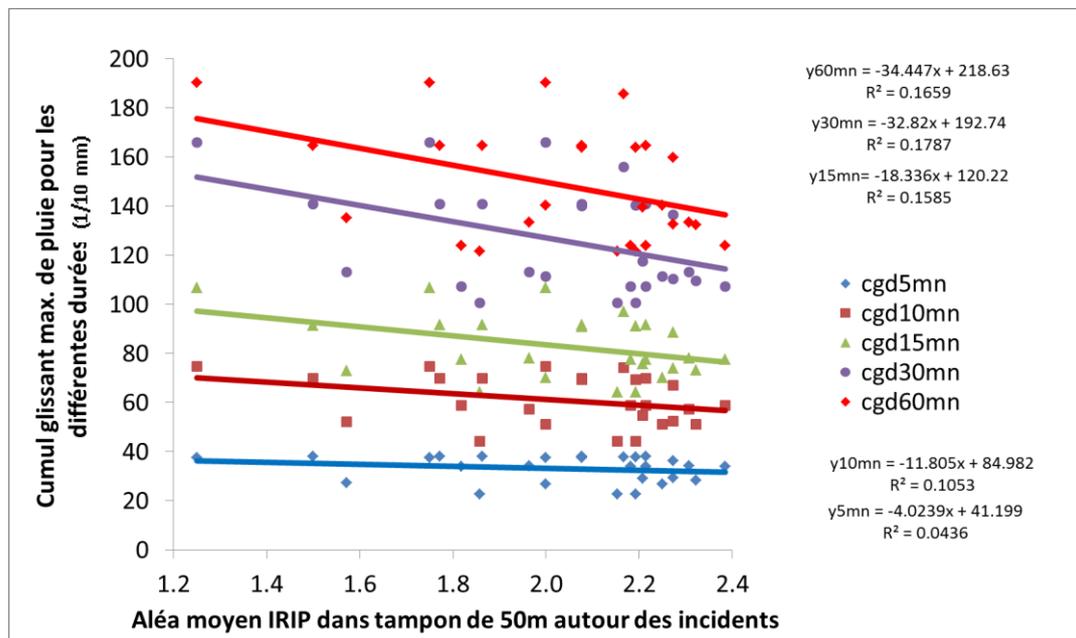
## ***La relation pluie - aléa IRIP***

Pour évaluer l'hypothèse émise, nous avons reporté les valeurs de pluie cumulées au niveau des différents incidents constatés lors de l'événement du 24 au 25/06/2016, en fonction des valeurs de susceptibilité moyennes au ruissellement calculées dans les zones tampon (d'où les valeurs fractionnaires). Nous considérons que l'aléa moyen est une mesure de la plus ou moins grande susceptibilité au ruissellement autour de l'incident.

Le graphique suivant résume les résultats obtenus. Des courbes de tendance linéaires ont été ajustées pour chacune des durées retenues.

Pour tester la significativité de la relation nous formulons les hypothèses suivantes :

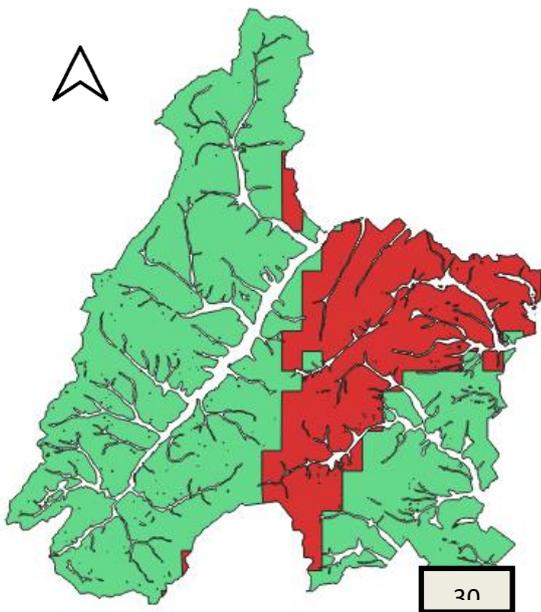
- L'hypothèse principale H0 : la pente de la droite ajustée n'est pas différente de 0.
- L'hypothèse alternative H1 : la pente de la droite est significativement différente de 0.



A partir de la durée 15 minutes de cumul des pluies, les pentes des droites ajustées sont significativement différentes de 0 au seuil de probabilité de 5%. L'hypothèse de dépendance formulée est donc validée dans ce jeu de donnée. C'est un résultat important car il confirme que le niveau d'aléa au ruissellement calculé par IRIP fait sens avec la quantité de pluie qui est nécessaire pour l'activer. Il est à noter la sensibilité de cette relation qui est établi sur une gamme réduite d'aléa au ruissellement, ici comprise entre 1.2 et 2.4.

### *Délimitation du territoire à ruissellement intense*

Pour suivre le point n°4 de la méthodologie proposée en préambule, nous découpons la zone d'étude en fonction du seuil d'activation discuté dans la partie méthodologie. Ce seuil est la moyenne des 3 plus petits cumuls maximum par durée (point n°3 de la méthodologie). Cela permet d'éviter un effet de valeur isolée. Ce seuil est comparé aux cumuls glissants maximum des lames d'eau radar du territoire d'étude pour une durée donnée et sur la durée complète de l'événement pluvieux. Les mailles dont les cumuls sont égaux ou supérieurs délimitent la zone qui répond à la définition du seuil de pluie minimale nécessaire pour induire un incident par ruissellement intense. L'exemple ci-dessous illustre le résultat.



Bassin versant du Grand chalon et zone couverte par le seuil d'activation des pluies au pas de temps de 30 minutes (en rouge). La zone découpée en fonction du seuil représente environ 1/4 du bassin versant.

Pour évaluer la probabilité de non lien entre les incidents et les mailles IRIP à fort aléa de ruissellement nous utilisons un test du Chi<sup>2</sup> sur une table de contingence. La valeur du Chi<sup>2</sup> devrait augmenter sensiblement du fait de la restriction de la zone testée à celle du bassin versant où les pluies ont été suffisantes pour déclencher des incidents. Sans cette restriction beaucoup de zones sont déclarées comme des faux positifs car la méthode IRIP fournit une carte de susceptibilité, qu'il ait plu ou non. Nous comparons donc la valeur de Chi<sup>2</sup> obtenue pour le bassin versant complet avec la zone découpée par le seuil d'activation des pluies de chaque durée, ceci afin d'apporter une conclusion sur le gain de précision obtenu via le découpage de la zone d'étude (cf. tableau suivant). Toutes les valeurs de Chi<sup>2</sup> indiquent une probabilité très faible de non liaison entre les aléas forts cartographiés par IRIP et les incidents (ex : Prob [Chi<sup>2</sup> >=6.63] <= 0.01 pour un degré de liberté =1 dans notre cas)

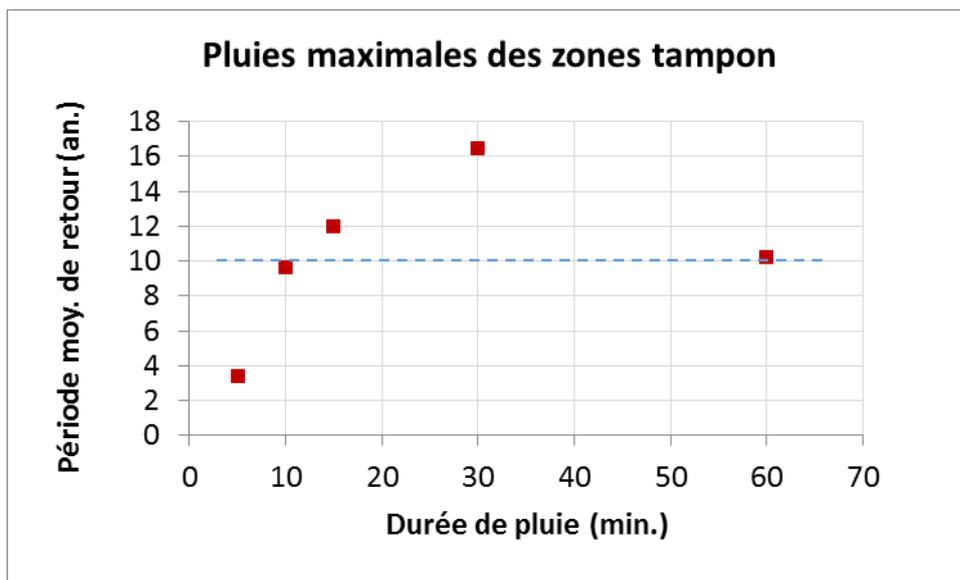
Chi <sup>2</sup>			
<b>Zone complete</b>		24,86	<b>Précision supplémentaire (%)</b>
<b>Seuils d'activation</b>	5 min	33,98	9,12%
	10 min	33,47	8,61%
	15 min	32,28	7,42%
	30 min	31,72	6,86%
	60 min	33,46	8,60%

Le résultat du Chi<sup>2</sup> montre une augmentation de la précision entre +7% et +9%, ce qui tend à confirmer que la sélection du territoire où il a beaucoup plu met en exergue le lien entre les incidents constatés et les mailles à fort potentiel de ruissellement. Le filtrage par la pluie permet ainsi de confirmer à nouveau la capacité de prédiction du modèle IRIP.

### *Période de retour des pluies ayant déclenché le ruissellement intense*

Afin de déterminer le temps moyen de retour des pluies qui ont contribué aux incidents, nous avons utilisé les coefficients des courbes « Indice-durées-Fréquences » (IdF) établies à partir de l'analyse statistique des données de pluie radar sur 10 ans. On se reportera utilement au rapport de l'Action

4.1.4, 2017<sup>3</sup> pour plus de détails. Ces courbes IdF ont été établies à partir de différentes emprises régionales, cela afin de consolider les données mesurées en chaque maille kilométrique. Cela permet d'éliminer les valeurs aberrantes et d'intégrer la notion de régime spatial des pluies car ce qui se produit en un point d'un territoire n'est qu'une vue partielle de ce qui peut se produire si l'on admet qu'une forte pluie peut intervenir en tous les points de ce territoire. L'emprise régionale doit cependant conserver une cohérence liée à des facteurs de contrôle des champs de pluie comme l'orographie. Nous utilisons ici les courbes IdF calées sur une matrice de 16 x 16 = 256 km<sup>2</sup> centrée sur la zone d'étude. Les cumuls glissants par durée (cgd) sont calculés pour l'événement du 25/06/2016. La valeur maximale de l'ensemble des valeurs maximales mesurées dans chacune des zones tampon est retenue. La période moyenne de retour de ce maximum est alors calculée à partir de la formule IdF correspondante. La figure suivante présente le résultat obtenu.



Il est observé que la période de retour des pluies maximales dans les zones tampon devient décennale dès la durée de 10 minutes et se maintient ainsi jusqu'à l'heure. Cette approche en fonction des durées est pertinente pour décrire des conséquences qui se produisent dans les versants, sur de petites surfaces pour lesquelles les temps de concentration sont de quelques minutes à l'heure.

En synthèse, il est possible de mettre en parallèle la relation en les pluies de 15, 30 et 60 minutes avec le niveau de sensibilité au ruissellement des zones d'incident avec la période de retour supérieure à 10 ans pour ces mêmes durées de cumul de pluie. Il est en effet courant de dimensionner les protections hydrauliques pour la période de retour décennale. Ce qui peut expliquer l'absence de lien entre la quantité de pluie et la présence d'incidents pour les périodes de retour infra-décennales.

<sup>3</sup> Action 414, 2017 : Cartographies des risques liés aux inondations par Ruissellement Intense Pluvial (IRIP) par Pascal BREIL ; Stanislas BONNE-C, Etienne LEBLOIS ; Angel EKOKO SAFI en Collaboration BRGM avec Olivier CERDAN et Rosalie VANDROMME

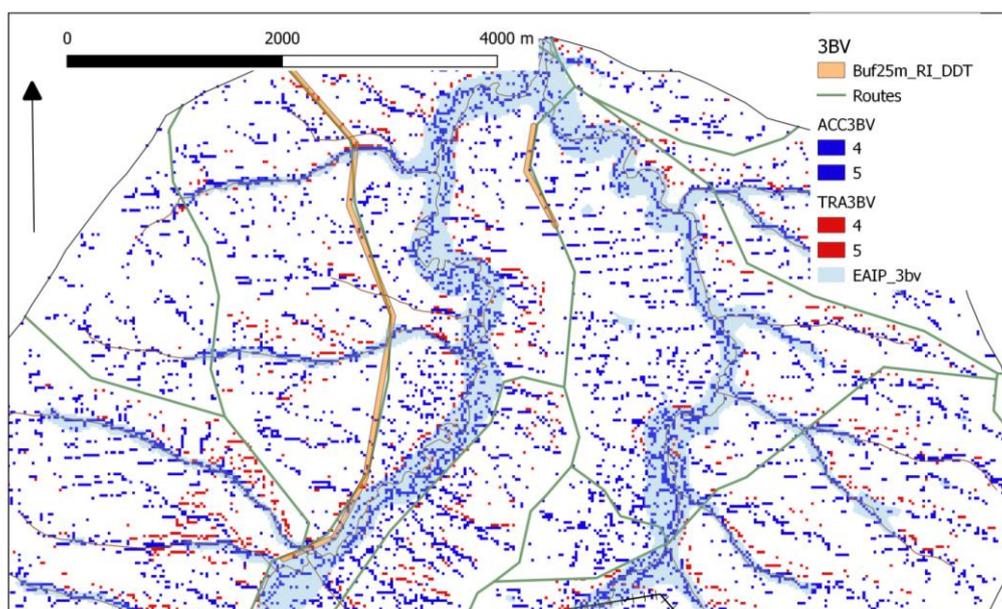
## Etudes de trois bassins du Gers

De violents orages ont touché la région Occitanie en Mai et Juin 2018. Ces orages ont créé du ruissellement intense accompagné de phénomènes érosifs et de transport de matériaux. Nous avons alors contacté des collectivités et des services déconcentrés de l'Etat basés dans cette région pour récupérer des données d'incidents liées au ruissellement intense. La DDT du Gers (Direction Départementale du Territoire) qui bancarise des événements apparaissant sur les routes lors de ses interventions a accepté de nous transmettre ses informations. Les données fournies ont été triées car l'intégralité des incidents sont consignés dès lors que la circulation routière est perturbée. Nous disposons après traitement d'une information géo-localisée et datée pour les perturbations qui nous intéressent, à savoir les glissements de terrain, les ravinements et les coulées boueuses. L'étude est donc située dans le département du Gers où trois bassins versants ont été sélectionnés en raison de coupures de route liées au ruissellement intense.

### Résultats

L'image ci-dessous montre un élément du territoire des 3 bassins versants du Gers. Le seuil 4 de la méthode IRIP est ici retenu pour les aléas d'accumulation-dépôt et de transfert-érosion. Dans la figure suivante, les portions de routes déclarées par la DDT comme ayant subi les effets du ruissellement intense sont représentées avec des zones tampon prises à 25m de part et d'autre de la route. L'EAIP cours d'eau est aussi figurée. On note la présence de mailles IRIP (rouges et bleues) dans les zones tampon ainsi que l'absence de ces mailles sur une bonne partie des routes non touchées. Il reste les routes non touchées mais exposées selon le modèle IRIP. En l'absence d'une connaissance des aménagements de protection réalisés le long de ces routes, il est difficile de trancher.

Sur l'ensemble du territoire (1656 km<sup>2</sup>), 82% des routes impactées sont détectées au seuil des aléas transfert et (ou) accumulation de niveau 4, cela en considérant un minimum de 7% de mailles en aléa dans la zone tampon. Pour ce seuil, 12% de la surface totale des trois bassins sont en aléas forts avec l'essentiel concentré dans les talwegs.



# Utilisation de la base de données de l'Organisme National des Forêts

L'Organisme National des Forêts (ONF) a la charge de la gestion de 11 millions d'hectares de forêts publiques en métropole et outre-mer. Pour le compte de l'état, l'ONF agit entre autres dans le domaine de la prévention et de la gestion des risques naturels tel que la restauration des terrains de montagne. Cette mission nationale de préservation nécessite la compréhension et la cartographie de phénomènes naturels tels que les glissements de terrain, les inondations et les ravinements. Nous utilisons par ailleurs ces mêmes phénomènes pour la validation de la méthode IRIP. La base de données ONF (BDRTM) nous fournit ainsi une cartographie des sites d'aléas hydrogéologiques dont une partie est liée au ruissellement intense, et ceci à l'échelle des espaces protégés du territoire national. L'acquisition de telles données restant à ce jour compliqué, il a été pertinent d'essayer d'appréhender cette base de données afin de tester la compatibilité avec notre méthode de validation.

## *Présentation de la BD RTM*

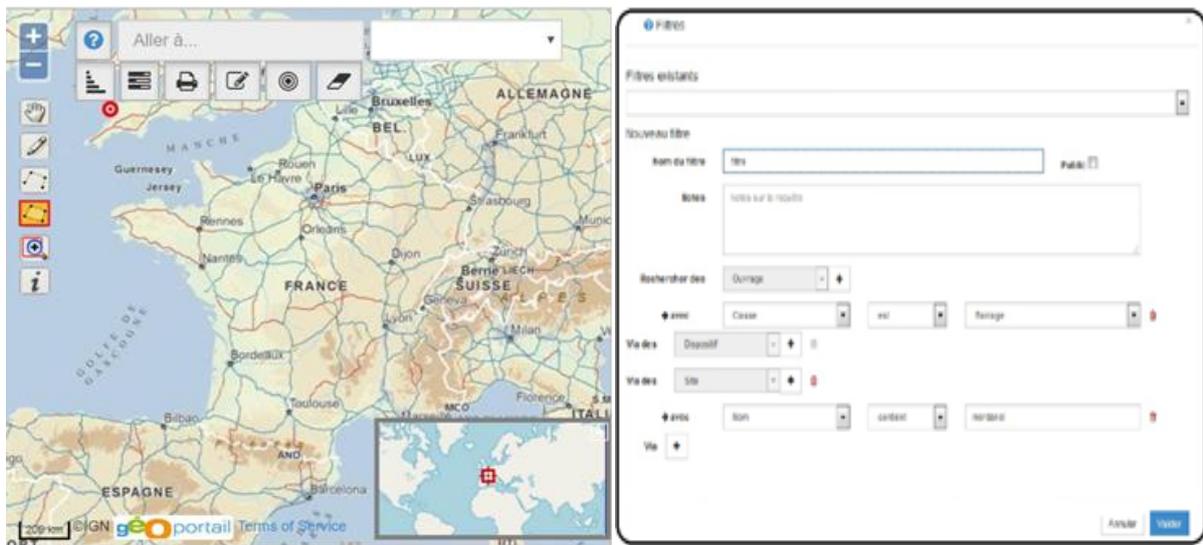
La base de donnée de l'ONF liée aux risques naturels est compilée sous le nom de BDRTM (RTM : Restauration des terrains de montagne) dans laquelle divers événements sont régulièrement répertoriés depuis la fin des années 1980 sur 11 départements des Alpes et des Pyrénées. De nombreux événements proviennent cependant d'archives bien antérieures à cette date. Elle contient maintenant des informations sur plus de 30 000 événements, et plus de 19 000 ouvrages de protection contre les risques naturels (regroupés en 2400 dispositifs de protection). La gestion et la mise à jour de la base de données sont financées par le Ministère du Développement Durable et par le Ministère de l'Agriculture. A noter que les techniques de cartographie ayant évolué, la précision des données s'est améliorée au fil du temps depuis ces dernières trente années

Les événements sont repérés sous formes de sites, qui se définissent selon la fiche de présentation de BDRTM par : « Zone d'étude d'un phénomène naturel en un lieu. Son périmètre est indépendant des limites communales ». On ne pourra pas alors via cette base de données avoir accès à un événement spécifique, mais plutôt à l'emprise maximale des événements similaires survenus sur une zone qu'on délimitera comme site. Pour autant la zone peut être considérée comme sujette à l'aléa et on se concentrera donc sur l'utilisation des sites pour évaluer IRIP sans détailler plus amplement les autres possibilités de la BDRTM tels que les ouvrages ou les interventions.

La base de données offre un outil graphique (figure suivante) qui permet de sélectionner les zones d'intérêt, ainsi qu'un requêteur pour filtrer les résultats sur la base de critères divers.

L'outils graphique (figure de gauche), permet d'utiliser notamment une forme polygonale afin de sélectionner l'ensemble des événements enregistrés sur cette zone.

Le requêteur (figure de droite), permet dans un second temps de trier les informations obtenues via une large liste de critères qui sont récupérés dans la zone de la sélection.



### *Export des données*

Les données ainsi obtenues se présentent sous forme de tableau, où seuls les 100 premiers résultats sont affichés. Il est pour autant possible de les exporter sous plusieurs formats tels que le csv, le format xlsx, ou le format shapefile (afin de gérer les entités directement sous un logiciel cartographique, rendant le tri plus facile). Dans le cas d'une zone mal localisée, un cercle désignant la perte de précision associée à l'événement est utilisé à défaut d'informations plus précises.

### *Utilisation de la base de données avec IRIP :*

Le référencement des événements par sites de la BDRTM n'est pas optimal pour notre utilisation car les sites superposent plusieurs événements et peuvent faire plusieurs kilomètres carrés, tandis que nous cherchons des informations datées et très localisées. Un site trop large contiendra un grand nombre de cellules IRIP lorsqu'il est question d'un maillage au 25 mètres. Pour autant il est possible d'utiliser ces zones de moindre précision en les considérant comme partiellement sujettes aux aléas de ruissellement intense. Cette large base de données nous offrirait alors dans le cas d'une étude préliminaire positive la capacité d'accélérer la production de résultats relatifs à la validation de la méthode IRIP. Nous essaierons dans cette étude d'apporter une conclusion quant à la pertinence de la cartographie des sites par l'ONF pour la validation de la méthode IRIP.

### *Méthodologie*

Nous testons dans cette étude deux zones couvertes par l'ONF afin d'apporter une conclusion à l'utilité de la base de données pour la validation de la méthode IRIP. Pour ce faire nous utilisons les incidents relatifs au ruissellement intense, tels que les glissements de terrain, les inondations et crues torrentielles, et enfin les ravinements de terrains. Les zones d'incidents situées dans l'EAIP- cours d'eau sont éliminées par analyse de la superposition des deux aires et en fonction du processus étudié. Par exemple pour éliminer les incidents de type 'ravinement' lors de cette étude il a fallu chercher les incidents longeant l'EAIP. Les zones sont validées par exemple à partir de 10% de mailles IRIP en aléas transfert et (ou) accumulation  $\geq 3$ . Un tampon de 50 m entoure la zone des incidents car les causes peuvent être externes à la zone d'impact et que la précision de la localisation comporte un écart d'incertitude.

### Cas des Hautes Pyrénées (65)

On s'intéresse ici au cas des Haute Pyrénées, terrain de haute-montagne créant des ruissellements violents et où une large partie du massif est géré par l'ONF. Les résultats de l'étude sont présentés dans les tables ci-après :

événement	glissements de terrain
valide	28
invalide	3
total	31

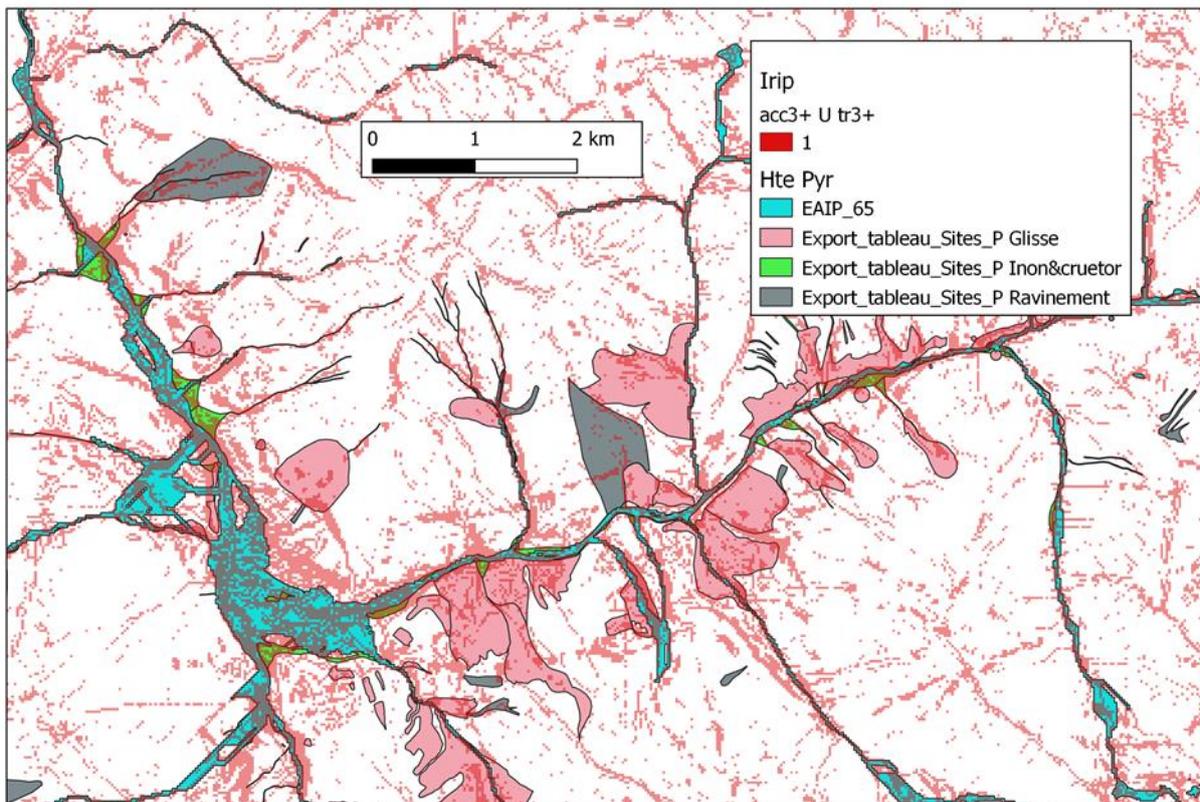
événement	Inondations et crues intenses
valide	12
invalide	4
total	16

événement	Ravinement
valide	0
invalide	4
total	4

Glissement de terrains	56,6	Très grande dépendance
Inondations et crues	23,8	Très grande dépendance
Ravinement	0,7	indépendance

Les glissements de terrain sont détectés à 90%, les inondations et crues torrentielles à 75% et les ravinements à 0%. Il est à noter que les emprises ravinement sont particulièrement étendues et semblent correspondre à des aires élargies qui englobent des phénomènes discrets. Le test du Chi2 sur la matrice de contingence des événements détectés et non détectés confirme le caractère non aléatoire de ces résultats ( $\text{Prob}(\text{Chi}2 \geq 6.63) \leq 0.01$ ) hormis pour les ravinements. Le test a cependant été mené sur peu d'éléments et sera réitéré sur un plus grand territoire.

La figure suivante illustre les différents types de données qui pourront être exploités hors de l'EAIP. On voit comment les aléas transfert et accumulation recourent les trois types d'incidents analysés.



# ANNEXES

## Annexe 1 : Base de données du cas d'étude de Chalon-sur-Saône

Date	natures des aléas						Adresse	Si disponible		Commentaire (ex: liens video, photos,)	info supplémentaire	type	vérité	type -> IRI	
	accumulation		érosion / déstabilisation / ravinement					coordonnées sur carte IGN 1/25000							
	eau	boue / pierres / bois	bâti	route/ chemin / voie ferrée	champs	talus		Y	X						
25/06/2016	80 cm cave et grange			ravinement chemin			Le bourg, 71640 Le Barizey	46.788904	4.679424	photos;	Cas Viennes Ruissellement intense	21	1	acc	
25/06/2016	1m30 garage & sous-sol			ravinement chemin			Route de Jambles 71640 Le Barizey	46.785577	4.679868	photos;	Cas Djerdet Ruissellement intense	21	1	t/acc	
25/06/2016	5 cm RDC maison			ravinement dans la cour			Le bourg, 71640 Le Barizey	46.789936	4.679398	photos;	Cas Muller L'eau coulait depuis la rue vers le chemin et le jardin pour enfin inonder le RDC et la cour	21	1	t/acc	
25/06/2016	5 cm d'eau RDC			ravinement chemin saignée de 50 cm			Theurey, Le Barizey	46.795371	4.683868	photos;	Cas Chantrault	21	1	t/acc	
25/06/2016				ravinement sur les côtés des routes / chemin, Destruction partielle des routes à certains endroits			Le Barizey / Theurey	/	/	photos;	Commune de Barizey Sur l'ensemble de la commune les bords de route sont ravinés et à refaire	2	1	t	
25/06/2016				Ravinement sous la maison avec la			Jambles, 30 Route de la Vallée d	46.775206	4.692889	photos;	Cas Frederic Ansay Trous sous la maison	2	1	t	
25/06/2016	infiltration et inondation des caves menant à 1m d'eau						Jambles, 18 Route de la Vallée d	46.774242	4.693425	photos;	d'eau dans 4 caves, cour et par	1	1	acc	
25/06/2016	infiltration et inondation des caves menant à 1m d'eau						St-Denis-en-Vaux	46.796539	4.694773	photos;	Vermorel Gilles 1m30 d'eau dans le sous-sol - > dégâts matériels	1	1	acc	
25/06/2016	infiltration et inondation des caves menant à 1m d'eau						St-Denis-en-Vaux	46.792941	4.693856	photos;	BARTHEL Patrice 50 cm granges, caves et buanderie	1	1	acc	
25/06/2016	infiltration et inondation des caves			ravinement parking			St-Denis-en-Vaux	46.793901	4.699393	photos;	BAUDRAND Valérie 50 cm mur arrière maison	21	1	acc	
25/06/2016	accumulation d'eau	légère accumulation					2 rue du travail St-Denis-en-Vaux	/	/	photos;	MAITRE Gérard 70 cm à 3 m terrain stockage	10	1	acc	
25/06/2016				ravinement cour et accès			St-Denis-en-Vaux	46.791899	4.695473	photos;	BARONIN Roger Dégradation cour et accès	2	1	t	
25/06/2016	accumulation d'eau						St-Denis-en-Vaux	46.794293	4.69626	photos;	VENDEME Olivier	1	1	acc	
25/06/2016				ravinement cour endommagée			St-Denis-en-Vaux	46.791531	4.69451	photos;	RENAUD Guillaume	2	1	t	
25/06/2016				Ravinement cour + glissement			St-Denis-en-Vaux	46.791876	4.694313	photos;	POPILLE Rémi	2	1	t	
25/06/2016	accumulation d'eau			légère érosion chemin			St-Denis-en-Vaux	46.795159	4.694784	photos;	AUCAIGNE Gilles	21	1	t/acc	
25/06/2016	accumulation d'eau	accumulation bois		ravinement			St-Denis-en-Vaux	46.792514	4.694471	photos;	RAVE Georges	210	1	t/acc	
25/06/2016	accumulation d'eau			ravinement voie d'accès			St-Denis-en-Vaux	46.791914	4.693426	photos;	BOUGEANT Youri	21	1	acc	
25/06/2016	accumulation d'eau						St-Denis-en-Vaux	46.793384	4.694888	photos;	FREAUX Germaine	1	1	acc	
25/06/2016	accumulation d'eau						St-Denis-en-Vaux	46.793393	4.695409	photos;	DONET Michel	1	1	acc	
25/06/2016	accumulation d'eau						St-Denis-en-Vaux	46.791354	4.695963	photos;	VALLOT Pierre	1	1	acc	
25/06/2016	accumulation d'eau						St-Jean-de-Vaux	46.808917	4.697443	une pièce inondée	LEGUE - GUILLOT	1	2	acc	
25/06/2016				Erosion surface chemin + ravinement au 17 de la même rue			St-Jean-de-Vaux	46.8091	4.699294	Photos + garage	DAUSSON Pourrait être lié à l'écoulement détourné du cours d'eau du Frachet au dessus, qui en suivant les lignes de niveau arrive dans cette zone -> zone de transfert	2	2	t	
25/06/2016	accumulation d'eau						St-Jean-de-Vaux	46.810723	4.697884	Cour + Garage	LÉMONIER JOUTELUX Cyrille Pourrait être lié à l'écoulement détourné du cours d'eau du Frachet au dessus, qui en suivant les lignes de niveau arrive dans cette	1	2	acc	
25/06/2016	accumulation d'eau			érosion surface			St-Jean-de-Vaux	46.808993	4.704558	otos; entrée + gara	JOUTELUX Cyrille Pourrait être lié à l'écoulement détourné du cours d'eau du Frachet au dessus, qui en suivant les lignes de niveau arrive dans cette	1	2	acc	
13/05/2016	accumulation d'eau			pisicine: érosion surface			St-Jean-de-Vaux	46.809725	4.70438	mmagée + cuvage	DEMOURY Pierrick Cette rue peut être en fait influencée par le	21	2	t/acc	
13/05/2016	accumulation d'eau						St-Jean-de-Vaux	46.808417	4.698018	mmagée + caves	BRAGARD Henri	1	2	acc	
13/05/2016				érosion surface + ravinement route proche			St-Jean-de-Vaux	46.809396	4.703339	imé / eau provient	LAILLET Maurice Cette rue peut être en fait influencée par le écoulement détourné. Pourrait être lié à l'écoulement détourné du cours d'eau du Frachet au dessus, qui en suivant les lignes de niveau arrive dans cette	2	2	t	
13/05/2016	accumulation d'eau						St-Jean-de-Vaux	46.809273	4.700221	cave inondée	LECOURTIER Pourrait être lié à l'écoulement détourné du cours d'eau du Frachet au dessus, qui en suivant les lignes de niveau arrive dans cette	1	2	acc	
25/06/2016	Accumulation d'eau caves			ravinement et destruction mur			St-mard-de-Vaux	46.8098	4.686782	photos;	influenc certain du Frachet qui coupe non loin du village (à départementale; néanmoins	21	2	t/acc	
25/06/2016				léger ravinage			Mellecey	46.816115	4.716493	photos;	VALLET Emmanuel Valérie	2	2	t/acc	
25/06/2016				ravinement route			COMMUNE de St-Martin-Sous-M	46.81545	4.711224	photos;	la Croix Reuchou (environ pou	2	1	t	
25/06/2016				érosion de surface			COMMUNE de St-Martin-Sous-M	46.816761	4.710296	photos;	clos des Montaigu (environ po	2	1	t	
25/06/2016				érosion de surface			COMMUNE de St-Martin-Sous-M	46.814801	4.716844	photos;	Rue sous le puits (environ	2	1	t	
25/06/2016	amulation eau Jardin						St-Jean-de-Vaux	46.80976	4.707121	photos;	Remontée probable de nappe, touchant ainsi la	1	2	acc	
25/06/2016	Inondation avec coulées de boues						Mercreuy	46.84047	4.718937	du dépôt de terre	GRANGE Paul	1	1	acc	
25/06/2016	Inondation						Mercreuy	46.835705	4.731762	tions d'événem	Jeanin-Maitet Françoise Méténier-Dupond	1	1	acc	
13/05/2016	Inondation			Erosion de surface			Givry	46.782154	4.744638	photos;	Passage par les vignes et par un ruissellet qui prends maintenant plus d'importance	21	1	t/acc	
13/05/2016	Grosse accumulation			Ravinement fort du chemin +			Jambles	46.775153	4.692683	photos;	ANCEY	10	1	acc	
13/05/2016	Inondation	osse accumulation		terrain inondé			Jambles	46.774565	4.69518		Barrios	10	1	acc	
13/05/2016	Inondation			ravinement chemi	terrain inondé		Lessard-le-national	46.866693	4.836316	photos;	Geniaut monique Eau provenant du bois (ajouté cas Sassot avec	21	1	acc	
13/05/2016	Inondation sous basement						Lessard-le-national	46.864869	4.837248		Mugnier	1	1	acc	

Remonté  
e nappe  
phréatique  
probable

**Annexe 2 : Base de données fournie par la DDT du Gers repérant les événements par les points kilométriques, leur type, et le côté de la route impacté.**

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following content:

Row 1: **DEPARTEMENT DU GERS** (colspan 5), 32000 (col 6)

Row 2: **TABLEAU DEGATS INTEMPERIES sur RD MAI-JUIN 2018**

Row 3: Headers: RD, PR début, PR Fin, Longueur, Côté, Type de dégâts

	RD	PR début	PR Fin	Longueur	Côté	Type de dégâts
53	D 39	PR 16+220	16+340	120	Gauche	Coulée de boue
54	D 39	PR 30+020	30+100	80	Droit	Coulée de boue
55	D 21	PR 0+800			Gauche	Glissement
56	D 21	PR 1+280			Gauche	Glissement
57	D 21	PR 1+900	2+250	350	Gauche	Coulée de boue
58	D 165	PR 4+100	4+320	220	Gauche	Coulée de boue
59	D 165	PR 4+680	4+750	70	Gauche	Coulée de boue
60	D 165	PR 5+000	5+050	50	Gauche	Coulée de boue
61	D 120	PR 6+130	6+160	30	Gauche	Coulée de boue
62	D 120	PR 7+850	7+920	70	Gauche	Coulée de boue
63	D 120	PR 7+850	8+000	250	Droit	Coulée de boue
64	D 120	PR 13+200	13+360	160	Gauche	Coulée de boue
65	D 120	PR 15+350	15+550	200	Gauche	Coulée de boue
66	D 207	PR 0+750	0+870	120	Gauche	Coulée de boue
67	D 207	PR 1+790			Gauche	Glissement
68	D 207	PR 1+810			Gauche	Glissement
69	D 207	PR 2+200			Gauche	Glissement
70	D 207	PR 2+350			Gauche	Glissement
71	D 207	PR 2+460	2+600	140	Gauche	Coulée de boue
72	D 207	PR 2+570	2+660	90	Gauche	Coulée de boue
73	D 207	PR 2+710			Gauche	Glissement
74	D 207	PR 2+780	2+890	110	Gauche	Coulée de boue
75	D 207	PR 2+850			Gauche	Glissement
76	D 207	PR 3+100			Gauche	Glissement
77	D 207	PR 3+205			Gauche	Glissement
78	D 207	PR 3+300			Gauche	Glissement
79	D 207	PR 3+350			Gauche	Glissement
80	D 207	PR 3+480			Gauche	Glissement
81	D 207	PR 3+540			Gauche	Glissement
82	D 207	PR 4+280			Gauche	Glissement
83	D 161	PR 3+750	3+870	120	Gauche	Coulée de boue
84	D 161	PR 4+750			Gauche	Glissement

Les tronçons impactés sont délimités selon des PR fournis par l'IGN.

### ***Annexe 3 : Exemples de photographies fournies dans le cadre des déclarations CAtnat par des particuliers***

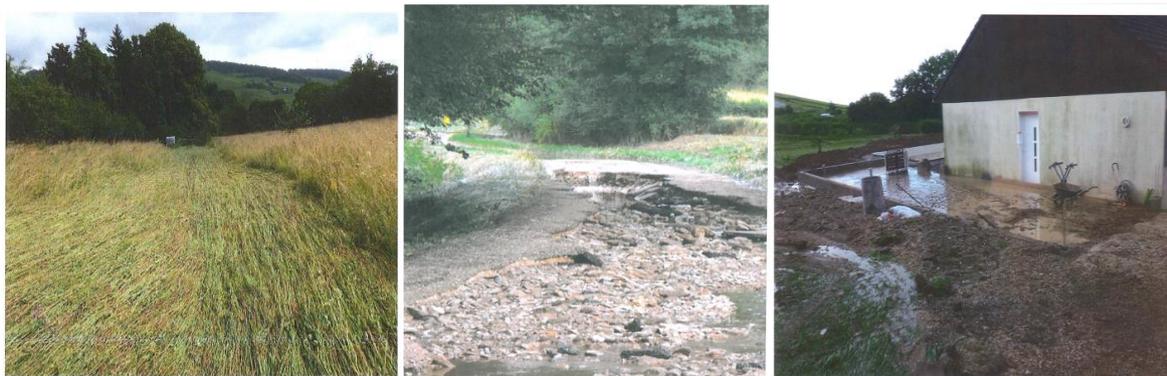


Illustration des étapes de production, transfert érosif et accumulation en versant - De gauche à droite : Herbes couchées par ruissellement intense en partie amont de versant ; Bitume de route érodé dans une route de versant ; Maison à flanc de coteau inondée par ruissellement.



Illustration des étapes d'accumulation – rupture et de dépôt - De gauche à droite : Mur de grange écroulé par la poussée de l'eau venue de l'amont ; Mur de ceinture d'une propriété écroulé sous l'effet de l'accumulation d'eau de ruissellement ; Dépôt de matériaux grossiers dans un jardin.



Illustration des étapes d'accumulation – dépôt - De gauche à droite : Eléments rocheux décimétriques déposés en amont d'habitations ; Route ensevelie par matériaux de la couche de forme de chaussée érodée plus en amont ; Dépôt de boue après montées des eaux dans une grange inondée par ruissellement.

L'intérêt de ces témoignages photographiques est de bien illustrer les différentes conséquences du ruissellement intense pluvial. La méthode IRIP tend à prouver, au travers des différentes études menées en France métropolitaine, que ces conséquences sont bien le fruit d'un environnement propice à la manifestation des aléas de transfert-érosion, et d'accumulation avec rupture et (ou) dépôt en lien avec le ruissellement intense. Cela se traduit par des impacts sur les structures anthropiques qui sont situées dans les environnements propices aux aléas cités.

## Résumé

L'évaluation de la méthode IRIP a été poursuivie en 2018 au niveau national. Le découpage de la France métropolitaine en « HydroEcorégions » ou « HER » a servi de support à cette évaluation. Les HER répondent à une demande de la Directive Cadre Eau de l'Europe et présentent l'avantage de combiner les facteurs géologiques et climatiques qui sont pour notre étude des déterminants supposés de la susceptibilité des territoires à produire du ruissellement intense. Ainsi 8 HER sur 21 ont fait l'objet d'une évaluation du taux de détection avec la méthode IRIP en s'appuyant sur des jeux de données significatifs en nombre d'incidents ou de vérités terrain associées au ruissellement intense. L'objectif d'atteindre à minima 80% de détection avec moins de 20% du territoire en aléas forts IRIP a permis de définir les seuils requis. L'évaluation a porté sur les incidents situés hors de l'EAIP cours d'eau pour les talwegs. Les seuils de susceptibilité pour atteindre les taux de détection fixés varient de 3 à 5 sur la gamme de 0 à 5. Il reste que les vérités terrain utilisées sont de natures assez différentes depuis des déclarations individuelles de catastrophes naturelles, à des observations de terrain post crise et des données de DDTM ou encore de l'ONF. Une standardisation des données semble nécessaire pour avancer dans l'évaluation des modèles de ruissellement d'une manière générale.

Des tests ont été menés dans l'EAIP cours d'eau. Ces tests montrent la capacité de la méthode IRIP à être très performante en cartographiant moins de surface que l'EAIP cours d'eau. Un certain nombre d'incidents liés au ruissellement sont de fait susceptibles de se produire dans cette zone.

L'utilisation des données de lame d'eau radar sur le cas d'étude du Grand Chalon a montré que les cumuls de pluie nécessaires à déclencher un incident lié au ruissellement (hors de l'EAIP cours d'eau) diminuent quand la susceptibilité moyenne à produire du ruissellement augmente. C'est un résultat logique important qui confirme la pertinence des aléas prédits par la méthode IRIP. Par ailleurs les données radar ont permis d'évaluer la pluie de période de retour 30ans de durée 1 heure sur l'ensemble de la France. Cette donnée est intégrée à la carte de production IRIP et permet d'avoir un élément d'aléa temporel dans l'interprétation des cartes. La mise à jour des données de lame d'eau radar avec Météo-France est à prévoir afin d'une part de « rejouer » des événements de ruissellement intense de ces dernières années en France et d'autre part augmenter la profondeur historique de ces données.

Un travail de comparaison a été réalisé entre la cartographie de l'aléa accumulation produit par IRIP et la lame d'eau produite par une pluie pluri-décennale avec un modèle mécaniste comme LISEM sur un petit bassin versant du territoire du Grand Chalon. Il a permis de mettre en évidence deux aspects du ruissellement intense :

- (I) L'emprise submergée n'est pas continue d'amont en aval comme cela est attendu avec une inondation par débordement ; au contraire il est observé des phases de concentration et de dispersion qui font que l'aléa « hauteur d'eau » peut disparaître puis réapparaître. Les cartes IRIP sont en cohérence avec cette discontinuité spatiale qui ne doit pas être confondues avec un effet de « pixelisation ».
- (II) le modèle LISEM utilise une topographie Lidar avec des mailles raster de 1m. La cohérence observée avec les cartes d'accumulation de la méthode IRIP qui utilise un modèle numérique de terrain beaucoup moins précis est rassurante. Cette observation confirme que la méthode IRIP permet de détecter les zones critiques au sens de l'aléa accumulation. L'aléa érosion n'a pu être testé avec les cartes LISEM.