



HAL
open science

CARTO ALEA (Zones inondables) 4.1.7.: Régionalisation des paramètres IRIP

Pascal Breil, Hélène Abekhzer, Tristan Gally

► **To cite this version:**

Pascal Breil, Hélène Abekhzer, Tristan Gally. CARTO ALEA (Zones inondables) 4.1.7.: Régionalisation des paramètres IRIP. [Rapport de recherche] INRAE UR-RiverLy. 2020. hal-03787485

HAL Id: hal-03787485

<https://hal.inrae.fr/hal-03787485v1>

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.

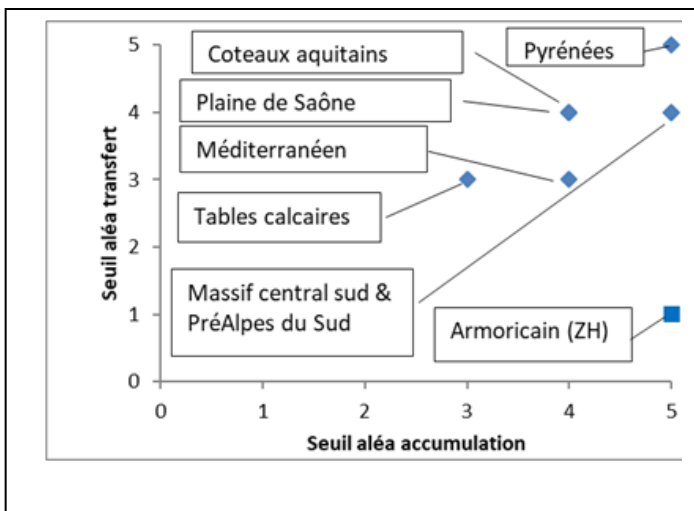
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PROGRAMME MTES (DGPR / SRNH) - INRAE 2020
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)

4.1.7. : Régionalisation des paramètres IRIP



Décembre 2020 (Janvier 2020)

Breil Pascal
ABEKHZER Hélène
Gally Tristan

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

www.inrae.fr

Table des matières

I.	Préambule	3
II.	Contexte pédoclimatique et ruissellement intense.....	4
a.	introduction.....	4
b.	Méthode et données	6
c.	Résultats	7
d.	Les résultats commentés par HER.....	8
	HER « Tables calcaires »	9
	HER « Massif Central Sud ».....	9
	HER « Méditerranéen »	9
	HER « Armoricaïn »	9
	HER « Plaine de Saône »	9
	HER « Coteaux Aquitains ».....	10
	HER « Pyrénées »	10
	HER « PréAlpes du Sud ».....	10
e.	Discussion.....	10
f.	Conclusions	11
g.	Remerciements	12
h.	Références	12
III.	Résumé	13

I. Préambule

Cette action est résumée par un article court qui est intégré au compendium des articles du Colloque SHF : «Ruissellement : Diagnostic et solutions » , Lyon 30 nov-2 déc 2020 »

La fiche action est rappelée ci-après.

Convention SRNH – Irstea 2020			
Titre complet de l'action ou s/ action (acronyme éventuel)	Régionalisation des paramètres IRIP		
Action n°	IRIP_Reg		
Responsable Irstea (Unité)	Nouvelle action (anciennement dans même fiche action que IRIP_IdF_Reg avec l'analyse des données de lame d'eau radar)		
Responsable SRNH (Bur.)	P. Breil (RIVERLY) coût complet: 47.3 € demande :25.5€ taux :54%		
Contexte et enjeux	Les désordres divers (coulées de boue, emportement et encombrement des réseaux de transport) attribuables à des épisodes de ruissellement intense sont présents sur tout le territoire français et cela malgré des différences de climats, de régimes de pluies fortes, de géologie et de pédologie.		
Objectifs du projet	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 Hydro-EcoRégions (HER).		
Travaux déjà réalisés et travaux prévus	<p>Rappel des acquis si caractère pluriannuel de l'action : L'étude de la régionalisation des seuils de sensibilité IRIP s'est poursuivie dans l'hydro-écorégion (HER) « Méditerranée » en 2019 avec une collecte conséquente (de nouvelles données terrain (# 30000 déclarations de calamités agricoles dans les départements 11 et 66 +une centaine de coupures de route dans le 66), suivi d'une première confrontation avec la cartographie IRIP. Cela porte depuis 2017 à 8 sur 21 HER testées.</p> <p>Travaux prévus : 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. Pour cela les HER Jura-Préalpes du Nord, Massif central Nord (DREAL BFC) et Méditerranéen (DDTM11, DDTM66 et DDTM83) seront ajoutées.</p>		
Durée si action pluriannuelle	<i>Durée</i>	<i>Début de l'action</i>	<i>Fin de l'action</i>
	<i>2 an</i>	<i>Année 2020</i>	<i>Année 2021</i>
Produits et valorisations projetés	Nature (publi scient, technique, guide methodo, outil, formation ...)	Cibles visées	Echéancier (au moins un rapport d'étape par an)
	1/ Publication technique (SET ou autre).)	Services de l'Etat, collectivités	un rapport chaque année
Equipe de travail Irstea (noms, Unités)	Breil, P. + un CDD 6 mois		
Partenariats envisagés (noms, rôle)	DDTM 11, DDTM66, DDTM83, DREAL BFC, EPTB Fleuve Hérault		
Références ou bibliographie sommaire	Rapports pour la DGPR/SRNH 2017, 2018, 2019		
Date de mise à jour de la fiche :	20/11/2019		

II. Contexte pédoclimatique et ruissellement intense

Pascal BREIL¹, Hélène ABEKHZER¹, Tristan GALLY¹

¹ INRAE, UR RIVERLY, 5 rue de la Doua 69625, Villeurbanne, France

Les Hydro-Eco-Régions (ou HER) répondent à une demande de la Directive Cadre Eau de l'Europe. Les HER constituent des entités pédoclimatiques dont nous testons ici l'hypothèse qu'elles conditionnent les processus d'érosion et de dépôt liés au ruissellement intense. La confirmation de cette hypothèse permettrait de proposer au niveau national un pré-calage des cartographies de ruissellement produites par la méthode IRIP. Dans ce travail mené sur 4 années, des zones test de 8 HER parmi 21 que compte la France métropolitaine ont pu être testées. Pour cela les cartographies IRIP du potentiel de ruissellement intense ont été confrontées à divers jeux de données considérés comme représentatifs des conséquences du ruissellement intense. La méthode de comparaison entre les HER a utilisé un critère d'efficacité opérationnelle : il a été retenu les niveaux de potentiel qui permettaient de détecter a minima 80% des incidents sur a maxima 20% du bassin versant. Les combinaisons des niveaux de potentiel pour les aléas transfert-érosion et inondation-dépôt diffèrent selon les HER. Cette première tentative de pré-calage régional des seuils de potentiels significatifs selon les HER fait sens. Il faudrait cependant disposer de plus de données terrain au sein d'une même HER pour s'assurer de l'homogénéité interne et des différences entre HER.

Mots-clefs : hydroécorégions, ruissellement intense, régionalisation

Pedo-climatic context and intense runoff

The Hydro-Eco-Regions (or HERs) respond to a request of the European Water Framework Directive. HERs are soil-climatic entities whose hypothesis we test here that they condition erosion and deposition processes linked to intense runoff. Confirmation of this hypothesis would make it possible to propose at the national level a pre-calibration of the runoff maps produced by the IRIP method. In this work carried out over 4 years, test zones from 8 HERs out of 21 in metropolitan France were tested. For this purpose, the IRIP maps of intense runoff potential were compared with various data sets considered to be representative of the consequences of intense runoff. The comparison method between HERs used an operational efficiency criterion: the potential levels were chosen to detect at least 80% of incidents over a maximum of 20% of the catchment area. The combinations of potential levels for transfer-erosion and flood-deposit hazards differ according to the HER. This first attempt at a regional pre-calibration of significant potential thresholds according to the HER makes sense. However, more field data should be available within the same HER to ensure internal homogeneity and differences between HERs.

Key words : hydro-eco-regions, intense runoff, regionalization

a. introduction

D'après la base de données des arrêtés de catastrophes naturelles [GASPAR, 2020], les inondations représentent 67% des 171 000 arrêtés publiés entre 1982 et 2020. Les deux types principaux d'inondation sont le débordement de cours d'eau et le ruissellement qui est associé aux coulées de boue dans la base GASPAR. Ces dernières sont présentes dans 69% des déclarations. Les coûts d'indemnisation engendrés par les deux types d'inondation sont estimés équivalents [Moncoulon *et al.*, 2014]. Les déclarations sont répertoriées au niveau communal et il est possible de regarder le nombre de déclarations pour « Inondations et coulées de boue » à l'échelle de la France métropolitaine (Figure 1a). Cette cartographie nous informe que très peu de communes sur les 34 839 que compte le territoire n'ont jamais déclaré ce type de catastrophe. Le nombre de déclarations augmente de fait dans les zones où la densité de population et d'activité est la plus forte, comme les grands centres urbains. Il augmente aussi avec l'intensité des pluies en bordure de Méditerranée. Cependant l'occurrence dans le Nord de la France est liée à des pluies moins intenses. Dans ce cas la nature du sol, son état hydrique moyen et les usages qui affectent les propriétés de surface, sont aussi des facteurs connus pour influencer l'apparition du ruissellement [Dehotin et Breil, 2011]. Ces facteurs sont hérités de grands ensembles géologiques et climatiques dont les distributions spatiales forment des régions pédo-climatiques qui pourraient s'avérer contrôler la production du ruissellement.

Pour un découpage régional pertinent, il a été retenu le concept d'Hydro-Ecorégion développé en France [Wasson *et al.*, 2004] pour répondre à la demande de la Directive Cadre Eau de l'Europe de délimiter des ensembles écologiques régionaux des écosystèmes d'eau courantes : «L'approche par Hydro-EcoRégions

(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. »¹

A l'échelle de la France métropolitaine il est identifié 21 HER de niveau 1 (Fig.1b). Les HER testées avec la méthode IRIP sont signalées en rouge dans la figure 2.

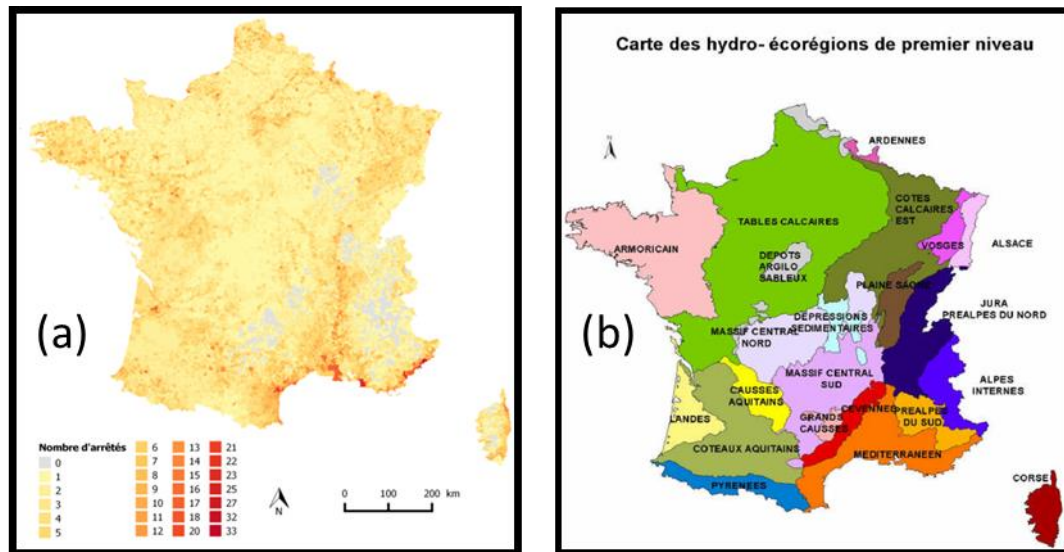


Figure 1: (a) Illustration du nombre d'arrêtés en catastrophes naturelles de la catégorie « inondations et coulées de boue » de 1982 à 2020, et (b) découpage de la France métropolitaine en HER de niveau 1.

Le terme « inondations par ruissellement » recouvre en fait des processus d'érosion, d'arrachage et de dépôt qui sont la conséquence d'un ruissellement intense qui interagit avec le sol. L'inondation peut se produire par effet d'accumulation dans les ruptures de pente concaves, la rencontre d'obstacles. Elle est souvent liée à un processus d'érosion en amont dans les ruptures de pente convexes, là où le ruissellement acquiert de la vitesse. Les coulées de boue se forment alors. Il ne faut pas non plus négliger l'effet des débris végétaux et ligneux flottés depuis de larges zones à faible pente et qui vont souvent concourir à créer des embâcles et boucher des ouvrages de gestion hydraulique. La charge solide véhiculée est à l'origine de la divagation des écoulements sur les versants, cela y compris dans les talwegs peu marqués. Les étapes de production du ruissellement, suivies de l'érosion par les flux concentrés et d'accumulation ou même de diffusion sur de large zones peuvent s'enchaîner dans les versants. Ce sont là différentes formes d'aléas associés et il paraît plus à propos de parler de « ruissellement intense » que d'inondation par ruissellement, le terme étant assez équivoque quand on aborde le milieu urbain, capable de s'auto-inonder au-delà de la période de retour de 10 ans pour les pluies, quand cette période n'est pas un facteur de perturbation majeur en milieu rural. L'expérience tend à montrer que les dommages d'ampleur se manifestent à partir d'une pluie de période de retour de 30 ans. Nous considérons dans ce qui suit comme descripteurs des aléas : les cartes de transfert, dont les valeurs fortes sont souvent associées sur le terrain aux processus d'érosion, et les cartes d'accumulation dont les valeurs fortes sont souvent associées aux processus de dépôt en eau, minéraux et végétaux.

Par ses multiples aspects le processus de ruissellement intense est un phénomène complexe dans les étapes de sa formation comme de ses conséquences. Il n'existe pas de mesure de ces flux complexes dont les seules données exploitables sont les désordres ou stigmates laissés après l'événement. Le terme anglo-saxon de « proxy » est utilisé pour désigner ce type de données. Des documents visuels existent en particulier pour ce qui concerne les coulées de boue qui traverse des routes ou des zones habitées. Ce sont là des manifestations abouties des étapes qui se sont succédées. L'objectif de la cartographie des étapes du ruissellement intense est alors bien de développer des actions préventives ou encore d'anticipation dans le cas de projets nouveaux. Cette cartographie doit cependant être confrontée aux désordres recensés pour en évaluer la pertinence et le caractère opérationnel.

¹ <https://www.irstea.fr/fr/les-hydro-ecoregions-une-approche-fonctionnelle-de-la-typologie-des-rivieres>

L'objectif de ce travail est de vérifier si des seuils de susceptibilité au ruissellement sont associés à des caractéristiques pédo-climatiques qui permettraient de différencier de grands territoires. 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 l'optimisation de la pondération des facteurs du ruissellement. La méthode IRIP calcule trois cartes avec chacune 6 niveaux de sensibilités compris entre 0 et 5 du fait de la somme des valeurs de 5 facteurs binaires (valeur de 0 ou 1) pour chaque carte. Plus le score atteint est fort plus la susceptibilité de la maille raster où est réalisé le calcul est considérée favorable au ruissellement. Il faut comprendre que toutes les mailles d'un bassin versant reçoivent un score mais que la surface concernée du bassin versant couverte diminue plus l'on considère un seuil de susceptibilité élevé. Le « calage » ou plutôt l'étalonnage consiste alors à rechercher s'il existe un seuil de susceptibilité plus approprié qu'un autre quand l'on se trouve dans une région qui diffère par ses caractéristiques pédo-climatiques. A noter que dans ce qui suit, un seuil de sensibilité signifie tous les scores égaux ou supérieurs à ce seuil.

b. Méthode et données

Nous le verrons, les données d'incidents ou proxy sont de natures diverses et le principe d'évaluation associé fait l'objet de choix dont il faut pouvoir tester l'influence sur l'évaluation du caractère prédictif des cartographies IRIP. La méthode est présentée dans d'autres publications [Braud et al., 2020 ; Lagadec et al., 2018 ; Dehotin et al., 2015 ; Dehotin & Breil, 2011] et nous rappelons seulement ici son principe. Le modèle utilise une méthode de score pour évaluer la capacité d'une maille raster à développer un aspect du ruissellement intense que l'on distingue en zones de production, de transfert ou d'accumulation. Ces processus sont fonction des facteurs topographiques, pédologiques et d'usage du sol qui caractérisent la maille de calcul, et sous condition des caractéristiques de l'aire drainée que cette maille collecte. Le modèle utilise ici en entrée les données topographiques IGN à la maille raster de 25m, l'occupation du sol OSO-2017 proposée par le CES-BIO à la maille de 20m et les caractéristiques hydrodynamiques du sol supérieur (0 à 30 cm de profondeur) proposées par l'ESDAC à la maille de 250m. La maille de restitution des cartes de production, transfert et accumulation est celle du MNT qui est le moteur gravitaire des écoulements en surface.

Au cours d'un événement de ruissellement intense il est possible d'avoir une réaction des talwegs et des cours d'eaux qui vont déborder, sans que cela soit systématique. La distinction entre les dégâts causés par le ruissellement intense et des dégâts provoqués par le débordement n'est pas toujours évidente et seule les données de description locales et l'analyse de la topographie amènent un éclairage. Ce n'est cependant pas toujours possible à faire avec les données anciennes. D'une manière simplifiée il est alors possible de séparer ce qui relève des dommages liés aux inondations par débordement et par ruissellement en utilisant « l' Enveloppes Approchées d'Inondations Potentielles (EAIP) ». Cette donnée a été cartographiée et finalisée par le Cerema et les DREAL de Bassin sous couvert de la DGPR à l'échelle de la France en 2011². Elle est utilisée dans le traitement de notre étude pour séparer les données de terrain en dégâts liés au ruissellement intense et en dégâts liés au débordement de cours d'eau. Il est cependant important de tester l'ensemble du jeu de données car l'EAIP, comme son nom l'indique est une enveloppe approchée, voire maximaliste qui ne représente pas un événement en particulier. Par ailleurs l'expérience de terrain nous a montré que sur de petits bassins versants, jusqu'à 10 km², les inondations par ruissellement pouvaient frapper des habitations « par le haut » avant que le débordement de la rivière n'inonde « par le bas ».

Un rapport d'efficacité de la détection des incidents a été proposé [Breil et al., 2017] pour comparer les résultats entre les bassins versants des différentes HER où des données d'incidents de natures différentes, et liées au ruissellement intense étaient disponibles. Il consiste à faire le rapport du pourcentage d'incidents détectés sur le pourcentage de surface du bassin versant cartographié en aléas forts. L'objectif opérationnel consiste alors à maximiser le pourcentage d'incidents détectés tout en minimisant le pourcentage de surface du bassin versant en aléas forts. Pour cette étude nous avons validé les conditions suivantes : détecter *a minima* 80% d'incidents avec *a maxima* 20% du bassin versant en aléas forts, soit un rapport de 4 ou plus. Ces contraintes ont permis d'évaluer pour chaque HER testée les seuils d'aléas forts à conserver pour atteindre l'objectif opérationnel, le cas échéant.

Pour cette étude, des données d'incident liées au ruissellement ont été collectées, après analyse critique, depuis des bases de données ou encore à partir de campagnes de terrain. Elles sont résumées dans le Tableau 1. Il est à noter la diversité de nature des données entre les coupures de route, les points incidents liés aux

² https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/EPRI-Principaux-resultats_120712.pdf

déclarations individuelles de catastrophes naturelles, les emprises spatiales liées à des coulées de boue, glissements de terrain et autres formes de réponses au ruissellement intense.

Un cas d'étude particulier a été ajouté à cette analyse : celui du Territoire à Risque important d'Inondation de Nantes (TRI). Il contribue à l'étude de l'HER « Armoricaïn ». Sur ce territoire c'est la donnée « zones humides » qui a été traitée comme un élément de la gestion du ruissellement intense. La méthode IRIP est utilisée ici pour évaluer la capacité de détection des zones humides par la cartographie des zones d'accumulation. Une validation réalisée sur les zones humides recensées permet de retrouver des zones humides asséchées ou comblées dont la réhabilitation pourrait entrer dans la gestion du ruissellement intense.

Afin de vérifier une différence d'intérêt entre les HER de niveau 1 pour la production du ruissellement intense, il a aussi été collecté les données « Top soils hydraulic characteristics »³ 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.

Tableau 1 : Sources et nature des données par HER

HER	Nature de l'incident géolocalisé	Source	nombre
Table calcaires	coupure de route	CODAH	36
Table calcaires	points incidents	SMBVAS	459
Massif central sud	points incidents	Com. Costaros	36
Méditerranéen	Coulées de boue, zone inondable	Com. Biot	9
Méditerranéen	points incidents	Com. Vallauris	30
Plaine de Saône	points incidents	Grand Chalon	56
Coteaux Aquitains	coupure de route	DDT 32	36
Pyrénées	GT,I,CT,R*	ONF	143
PréAlpes du Sud	GT,I,CT,R*	ONF	99
Armoricaïn	zones humides	SAGE Loire	13995
(*) Glissement terrain, Inondation, Crue torrentielle, Ravinelements			

La méthode IRIP intègre aussi l'influence de la pluie pour produire du ruissellement par saturation et du ruissellement par dépassement de la vitesse d'infiltration. Les données de pluies sont tirées des lames d'eau radar fournies par Météo-France à la maille kilométrique. Ces données ont fait l'objet d'une analyse par géostatistique pour en calculer les quantiles de pluie [Breil et al., 2017]. Cette étape est réalisée en comparant les valeurs de conductivité hydraulique à saturation et la capacité de rétention en eau à saturation dans les 30 premiers centimètres du sol (horizon racinaire moyen) avec les pluies de 1 heure et de 24 heures, pour la période de retour 30 ans. A titre d'exemple, quand le cumul de pluie horaire dépasse la quantité d'eau qui peut s'infiltrer en 1 heure le ruissellement Hortonien est considéré actif et la maille raster de 250m est mise à 1, sinon à 0.

c. Résultats

La figure 2 représente le pourcentage de surface ruisselante par HER de niveau 1. 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. Le massif central est peu ruisselant du fait d'une géologie propice à la porosité de fracturation, en particulier au niveau des couches de laves. L'hypothèse de travail consiste à dire que les HER les plus favorables au ruissellement devraient avoir de bons taux de détection des incidents liés au ruissellement intense pour les valeurs hautes de seuil de sensibilité.

³ <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/soil-hydraulic-properties>

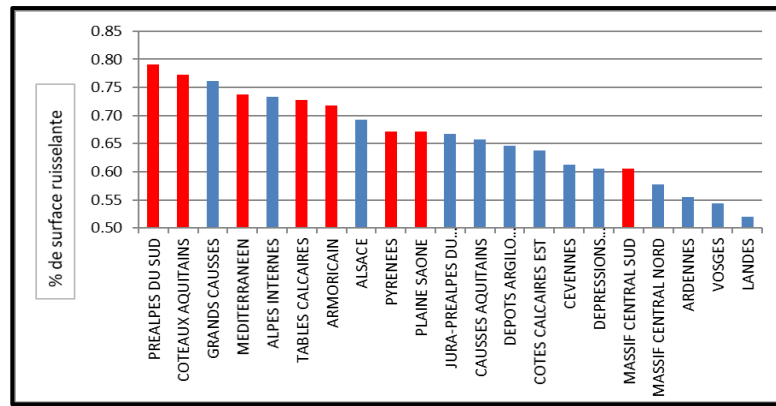


Figure 2 : La figure représente le pourcentage de mailles ruisselantes dans chaque HER pour une pluie de période de retour de 30 ans et d'une durée de 1 heure.

Les détails des résultats et des conditions d'évaluation sont reportés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résultats par HER

HER	Seuils d'aléa accumulation	Seuils d'aléa transfert	Largeur tampon m	% aléa fort dans tampon	% détection par IRIP	% aléa fort dans surface bv	Taux efficacité
Table calcaires	4	4	25	7	81	4	20.3
Table calcaires	3	3	50	7	90	18	5.0
Massif central sud	5	4	50	7	72	21	3.4
Méditerranéen	4	3	50	7	100	16	6.3
Méditerranéen	4	4	50	7	72	18	4.0
Plaine de Saône	4	4	50	7	81	6	13.5
Coteaux Aquitains	4	4	25	7	82	12	6.8
Pyrénées	5	5	50	22	88	12	7.3
PréAlpes du Sud	5	4	50	7	79	18	4.4
Armoricaïn	5	1	0	65	88	24	3.7

On notera dans ce tableau 2 les largeurs des tampons autour des incidents. Pour l'HER « Armoricaïn » qui concerne les zones humides, c'est l'emprise cartographiée par le SAGE Loire qui est retenue. Dans ce cas le pourcentage d'aléas forts minimum de validation est de 65% car il ne s'agit pas de détecter la présence de quelques mailles en aléas forts de ruissellement mais bien de caractériser une zone d'accumulation.

d. Les résultats commentés par HER

Le tableau 2 peut être visualisé par les figures 3a et 3b.

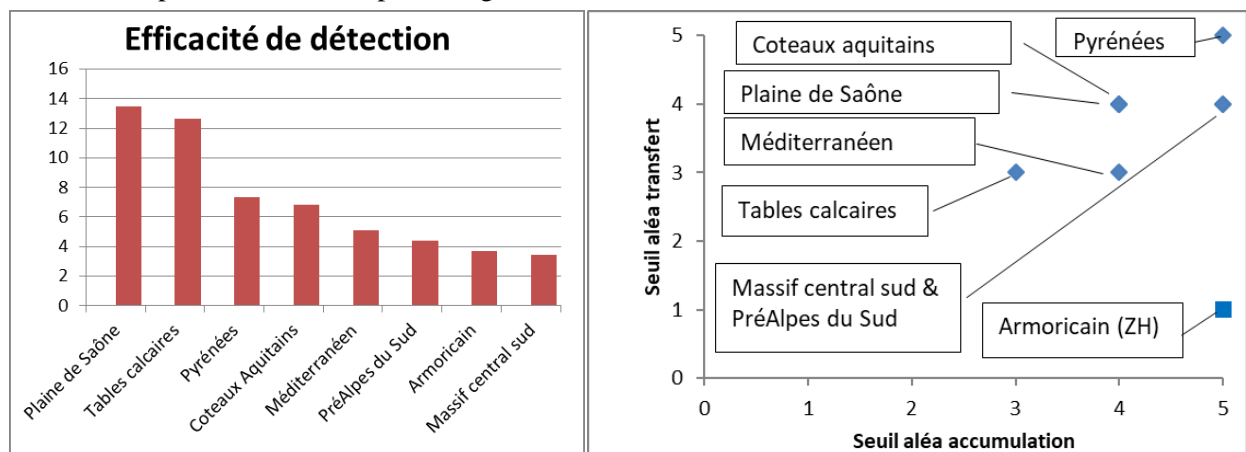


Figure 3 : (a) Rapports d'efficacité des détections par HER; (b) Scores des aléas transfert et accumulation retenus pour atteindre ou dépasser le rapport d'efficacité de 4. Les rapports pour les HER Armoricaïn et Massif Central Sud sont légèrement inférieurs à 4.

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 temporaire. C'est l'illustration d'une action de prévention efficace.

Sur le bassin de l'Austreberthe le choix du seuil = 3 donne un taux de détection de 90% des incidents recensés avec moins de 18% du territoire en aléas forts de transfert et(ou) accumulation. 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 connexes 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 sur deux communes fortement impactées.

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 « Armoricaïn »

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. Des zones asséchées ou remblayées pour construire des lotissements ont ainsi été confirmées par une campagne de terrain sur la commune de Vertou (44).

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. 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 des orages 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 km².

Avec un tampon de 25m de part et d'autre des tronçons de route, 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 km² 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 sont 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 précise 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 km² 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 sont 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.

e. Discussion

Nous notons des gammes de scores selon les HER pour les 2 facteurs du modèle. En particulier les HER qui atteignent le score Maximum de 5 en accumulation se distinguent par des scores croissants en Transfert selon le gradient du relief des HER concernées. Le relief est l'une des trois caractéristiques de la classification des hydro-écorégions avec le climat et la géologie. Le gradient de relief fait ainsi sens pour le rôle des HER sur les scores des facteurs du modèle. 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.

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 la figure 3b, 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.

On ne trouve cependant pas de tendance bien établie du taux d'efficacité avec le classement des HER selon leur capacité à produire du ruissellement pour la pluie trentennale (Fig.4).

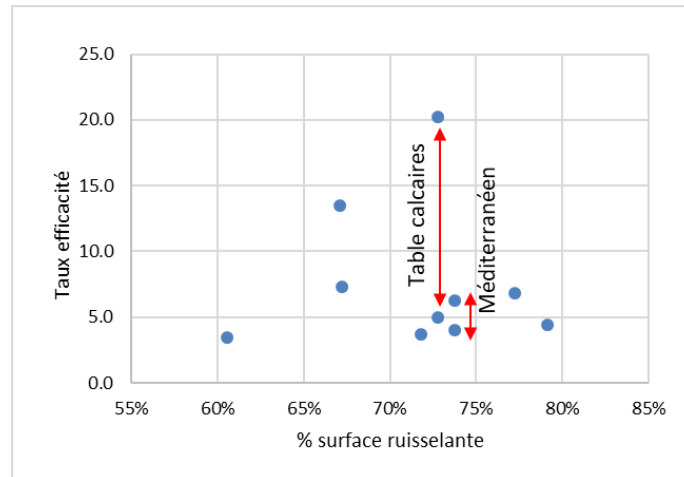


Figure 4 : Lien entre pourcent de surface ruisselante et taux d'efficacité à détecter le ruissellement.

En particulier les deux HER pour lesquelles nous disposons de deux jeux de données d'incidents séparés ne permettent pas de trancher sur l'homogénéité d'une HER au sens du taux d'efficacité car l'écart est important pour l'HER « tables calcaires » et réduit pour l'HER « Méditerranéen ». Plusieurs autres facteurs peuvent jouer comme la distance géographique entre sites qui peut expliquer des différences microclimatiques (Le bassin de la Lézarde est côtier de la Manche), le nombre de données et surtout leur nature.

f. Conclusions

Il s'agit d'une première synthèse qui devra s'enrichir d'autres études. Ainsi 10 zones d'études réparties dans 8 HER sur 22 au total que compte la France 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 (les zones humides n'étant pas comptabilisées en incidents).

Les déclarations relatives aux arrêtés de catastrophes naturelles par inondation [GASPAR, 2020] ne concernent pas toutes les formes de pertes. Ainsi les dommages aux cultures et aux ouvrages, et les pertes de sol sont indemnisés dans le cadre des déclarations de calamités agricoles. Il n'existe pas de base nationale consultable librement dans ce cas mais deux exemples traités dans le sud de la France pour des événements de pluies intenses (Pyrénées orientales en 2014 et Aude en 2018) montrent plus de 1000 déclarations dans chaque département. En utilisant ici aussi l'EAIP pour ne conserver, *a priori*, que les parcelles impactées par du ruissellement, nous découvrons que de nombreuses parcelles agricoles sont concernées. C'est une autre source de données en cours d'exploitation. Elle sera par ailleurs combinée à une utilisation des données satellites très haute résolution (Pléiade) sur des territoires comme l'Aude (inondations d'octobre 2018) ou l'île de la Réunion

(pluie cycloniques) en partenariat avec le CNES et l'ONERA pour étudier la possibilité de détecter « automatiquement » des éléments de désordre au sol consécutifs à un ruissellement intense.

Pour la suite, il convient d'enrichir la base de données comme précisé ci-avant et de tester les HER de niveau 2 [LEGIFRANCE, 2010] qui au nombre de 120 pour la France métropolitaine apportent beaucoup plus de nuances dans les facteurs pédo-climatiques.

g. Remerciements

Ces travaux ont bénéficié à l'origine du soutien de la Région Rhône-Alpes et du Ministère chargé de l'environnement, de l'énergie et de la mer par sa décision de subvention n°21367400.

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 : Cette base contient des données qui remontent au 17^{em} siècle ainsi que des données contemporaines ;
- 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 et la collecte d'information via les media et riverains après des événements de ruissellement intense comme à Biot et Vallauris (Var) en Octobre 2015, Luchaux (Somme) en Juin 2016 et Costaros (Haute Loire) en Juin 2017 ;
- Le SAGE Loire pour la partie inventaire des zones humides.

h. Références

Braud I., Lagadec L.R., Moulin L., Chazelle B., Breil P. (2020) Evaluation of a model for mapping intense pluvial runoff hazard using proxy data of runoff-related impacts. Application to the railway context. Special Issue: Natural hazard impacts on technological systems and infrastructures; Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 20, 947–966, 2020; <https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/20/947/2020/nhess-20-947-2020.pdf>

Breil P., Leblois E., Ekoko Safi A. (2017) Cartographies des risques liés aux inondations par Ruissellement Intense Pluvial (IRIP). PROGRAMME MEEM (DGPR / SRNH) - IRSTEA 2017 78 p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02960502>

Dehotin, J., Breil, P., Braud, I., de Lavenne, A., Lagouy, M., Sarrazin, B. (2015). Detecting surface runoff location in a small catchment using distributed and simple observation method. J. Hydrology, 525, 113–129. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169415001638>

Dehotin J., Breil P. (2011) Projet IRIP : Rapport bibliographique sur la cartographie de l'aléa inondation par ruissellement. *Irstea*. pp.34. <https://hal.inrae.fr/hal-02595953/document>

Lagadec Lilly-Rose, Moulin L., Braud I., Chazelle B., Pascal Breil P. (2018) A surface runoff mapping method for optimizing risk analysis on railways. Safety Science - Special issue: Railway Safety. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01549762/document> - 10.1016/j.ssci.2018.05.014

GASPAR (2020) Base nationale de Gestion ASsistée des Procédures Administratives relatives aux Risques. <https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/base-gaspar>

LEGIFRANCE Arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2010/1/12/DEVO1000661A/jo/texte>

Moncoulon, D., Labat, D., Ardon, J., Leblois, E., Onfroy, T., Poulard, C., Aji, S., Rémy, A., Quantin, A., (2014). Analysis of the French insurance market exposure to floods: a stochastic model combining river overflow and surface runoff. *Natural Hazards and Earth System Sciences, European Geosciences Union*, n° 14, p. 2469 -2485, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01070525>

Wasson J.G, Chandesris A., Pella H, Blanc L. (2004) Les hydro-écorégions: une approche fonctionnelle de la typologie des rivières pour la Directive cadre européenne sur l'eau. Ingénieries eau-agriculture-territoires, *Lavoisier; IRSTEA; CEMAGREF*, 2004, p. 3-10. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00475620/document>

III. Résumé

Les Hydro-Eco-Régions (ou HER) répondent à une demande de la Directive Cadre Eau de l'Europe. Les HER constituent des entités pédo-climatiques dont nous testons ici l'hypothèse qu'elles conditionnent les processus d'érosion et de dépôt liés au ruissellement intense. Dans ce travail mené sur 4 années, 8 HER sur 21 que compte la France métropolitaine ont fait l'objet d'une évaluation. Pour cela les cartographies du modèle IRIP ont été utilisées et comparées à des jeux de données significatifs en nombre d'incidents.

IRIP fournit pour un bassin versant donné une carte de production, une carte de transfert-érosion et une carte d'inondation-dépôt. Les deux dernières cartes constituent les aléas de ruissellement intense. Chaque carte est codée selon un potentiel croissant de 0 à 5 qui exprime le nombre de facteurs favorables en chaque maille raster du bassin cartographié. La surface de bassin concernée par les aléas de ruissellement intense réduit plus l'on augmente le seuil de potentiel. Les aléas forts correspondent aux valeurs 3, 4 et 5.

Un critère d'efficacité de la détection des incidents a été proposé pour comparer les résultats entre les bassins des différentes HER. Il consiste à faire le rapport du pourcentage d'incidents détectés sur le pourcentage de surface du bassin versant cartographié en aléas forts. L'objectif opérationnel consiste à maximiser le pourcentage d'incidents détectés tout en minimisant le pourcentage de surface du bassin versant en aléa fort. Pour cette étude nous avons validé les conditions suivantes : détecter a minima 80% d'incidents avec moins de 20% du bassin versant en aléas forts, soit un rapport de 4 ou plus. Ces contraintes ont permis d'évaluer pour chaque HER testée les seuils d'aléas forts à conserver pour atteindre l'objectif opérationnel, le cas échéant.

Les seuils d'aléas de ruissellement retenus pour l'objectif opérationnel varient de 3 à 5. Les combinaisons des seuils pour les aléas transfert-érosion et inondation-dépôt diffèrent selon les HER selon un gradient de topographique qui fait sens pour les processus de ruissellement en jeu. Cette première tentative de pré-calage régional est donc encourageante mais il faudrait cependant disposer de plus de « vérités terrain » au sein d'une même HER pour s'assurer de l'homogénéité interne et des différences entre HER. Il faut aussi voir qu'il existe 120 HER de niveau 2 qui témoignent d'une diversité au sein des 21 HER de niveau 1 qu'il nous faudra aussi considérer. Les données de la télédétection sont à explorer dans ce sens. Les données d'incident utilisées vont des déclarations individuelles de catastrophes naturelles, à des observations de terrain post crise et des données de DDTM ou encore de l'ONF. Les principes d'évaluation sont adaptés selon leur nature ponctuelle, linéaire ou zonale.