

# Inondation pluviale et développement périurbain

## Pluvial flooding and periurban development

Pascal Breil <sup>\*1</sup>, Lilly-Rose Lagadec <sup>1,2</sup>, Enrique González-Sosa <sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> IRSTEA, 5 rue de la Doua, 69626, Villeurbanne cedex, France

([pascal.breil@irstea.fr](mailto:pascal.breil@irstea.fr))

<sup>2</sup> SNCF Réseau - INGENIERIE & PROJETS - Département Lignes Voie  
Environnement (PSIGT.LVE) - 6, avenue François Mitterrand - 93574 La plaine  
St Denis cedex.

([lilly-rose.lagadec@reseau.sncf.fr](mailto:lilly-rose.lagadec@reseau.sncf.fr))

<sup>3</sup> University of Mexico valley, Queretaro, Mexico

([enrique.gonzalez-sosa@irstea.fr](mailto:enrique.gonzalez-sosa@irstea.fr))

### RÉSUMÉ

Les inondations liées au ruissellement et les conséquences associées sont à l'origine de coûts importants pour le système d'assurance lors de catastrophes naturelles. La nécessité d'approfondir l'étude sur le zonage du ruissellement pluvial au-delà des capacités de drainage prévues est mentionnée dans différents documents ayant une portée réglementaire. Nous présentons ici un modèle (iRIP©) qui produit une cartographie des zones à fort potentiel de ruissellement. L'exemple d'une ville inondée en 2015 dans le sud de la France est traité et des indices recueillis sur le terrain sont comparés avec les prédictions du modèle. Plusieurs indices montrent la pertinence du modèle iRIP© pour développer une approche préventive de la gestion des inondations par ruissellement intense.

### ABSTRACT

Pluvial flooding and related consequences like mudflows are causing significant costs that penalize insurance system during natural disasters. The need for deepen study on the zoning of the pluvial runoff beyond planned drainage capacities is mentioned in regulatory documents. We present a model (iRip ©) that produces maps of areas that exhibit more favorable capacities for generating an intense overland runoff. The example of a town flooded in 2015 in the south of France is treated and a set of indices collected from the field is compared with model predictions. Several indices show the relevance of the iRIP© model for developing a preventive approach to flood management by intense runoff.

### MOTS CLÉS

Ruissellement intense, zonage pluvial, inondation, prévention, modèle géomatique

## 1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

En cas d'inondation par catastrophe naturelle, il est fait la distinction entre les inondations par débordement, ruissellement, remontée de nappe, submersion marine et rupture d'ouvrage hydraulique. Les inondations par ruissellement font aujourd'hui l'objet d'une demande d'étude particulière (MEDDE, 2004 ; GRAIE, 2009) car leurs conséquences ne sont plus négligeables alors que les modèles hydrologiques ruraux et urbains ont conduit à des solutions standardisées d'ingénierie pour le dimensionnement des ouvrages de drainage et de rétention transitoire. Par ailleurs, la loi GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations) ne concerne pas aujourd'hui la gestion des eaux pluviales mais ce transfert de compétence vers les collectivités pourrait être réalisé en particulier pour mieux prendre en compte la problématique des inondations par ruissellement.

L'exploitation des données de la base Gaspar des catastrophes naturelles (Prim.Net, 2010) entre 1982 et 2010 (soit environ 130000 déclarations) permet d'observer que les inondations représentent 85% des déclarations pour lesquelles la caisse centrale de réassurance (CCR) a été mobilisée. Les deux types majeurs d'inondations (soit 84% des inondations) correspondent à part égales aux débordements de cours d'eau et au ruissellement. On associe au phénomène de ruissellement intense les coulées de boue, certaines laves torrentielles, des érosions et dépôts importants ou encore des types de glissement de terrain (Sauret, 1987). Le coût global des indemnités associées aux inondations par ruissellement équivaut à celui des inondations par débordement de cours d'eau (communication personnelle de la CCR, 2014).

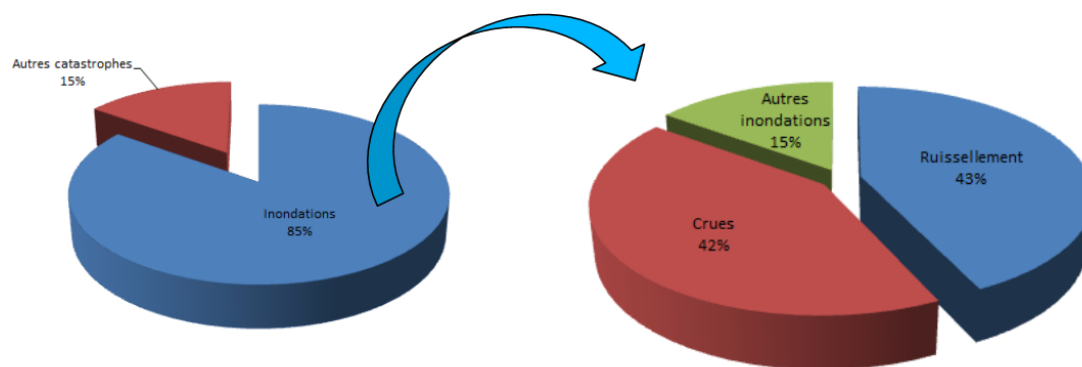


Fig.1 : Les parts des différents types d'inondation dans les déclarations de catastrophe naturelle (calculé sur environ 130 000 déclarations renseignées de 1982 à 2010).

L'expansion urbaine colonise aujourd'hui des bas de pente et des reliefs où les processus du ruissellement intense ont fait l'objet de peu d'étude méthodologique. Un rapport produit pour le bureau des risques météorologiques du MEDDE (Jaillet et al., 2012) fait un état des lieux des méthodes et des transcriptions cartographiques du ruissellement intense dans les plans de prévention contre les inondations (PPRI) disponibles en ligne et concernés par ce type d'aléa. Il en ressort une grande disparité et une faible traçabilité, en lien avec des approches géomorphologiques, expertes, ou de modélisation dont les hypothèses sont peu explicitées, cela accompagné d'une représentation cartographique du ruissellement intense souvent limitée à des axes d'écoulement.

Le zonage pluvial est une obligation décrite dans le Code Général des Collectivités Territoriales. Il a vocation à assurer la maîtrise des ruissellements dans les zones terrestres vulnérables mais aussi à prévenir de l'impact négatif des rejets vers milieux aquatiques récepteurs. L'étude concerne un territoire administratif mais doit autant que possible intégrer une logique de bassin versant et intégrer les développements futurs. Le développement périurbain constitue un enjeu particulier en ce sens que le ruissellement doit être géré, autant que possible par des techniques alternatives au tout tuyau. Ceci car les réseaux anciens situés en aval ne peuvent accueillir plus d'eau. Une bonne connaissance des ruissellements en temps normal permet de mieux envisager le déploiement des techniques dites alternatives et d'éviter d'aggraver la situation en temps exceptionnel.

Une note technique du MEDDE (2004) met en avant l'utilité de décomposer l'étude du ruissellement en trois étapes que sont la production, le transfert et l'accumulation. Depuis 2009 cette approche a fait l'objet du développement d'un modèle géomatique. Le modèle vise à fournir une représentation cartographique du potentiel de ruissellement d'un territoire selon les trois phases du ruissellement intense. Un cas d'application est présenté pour le vallon des Combes (commune de Biot) situé dans le Var (06) et qui a subi une inondation catastrophique dans la nuit du 03 octobre 2015.

## 2 METHODE

La méthode dénommée IRIP pour Indicateurs du Ruissellement Intense Pluvial, est décrite en détail dans une note technique accessible en ligne (Dehotin & Breil, 2011). Elle est donc rappelée brièvement ici. IRIP permet de fournir, dans un territoire donné, une cartographie de la susceptibilité au ruissellement. Le principe de la méthode est de créer 3 cartes distinctes, représentant les trois étapes du ruissellement qui sont la production, le transfert et l'accumulation. La Fig.2 présente schématiquement cette logique, sachant que ces étapes peuvent se produire en séquence dans une continuité amont-aval ou encore en un même lieu.

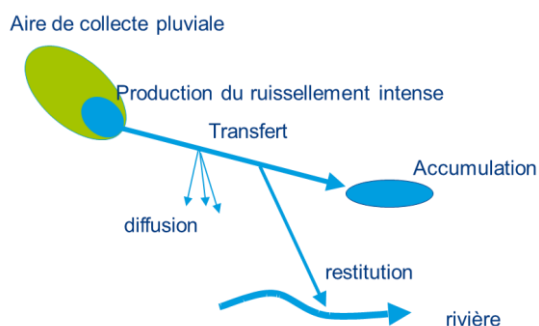


Fig.2 : Représentation des étapes du ruissellement intense pluvial et de son devenir possible.

Une version logicielle appelée iRIP© a été développée par SNCF pour étudier la sensibilité du réseau ferré aux inondations par le ruissellement intense pluvial. iRIP© est utilisée dans l'étude du vallon des Combes présentée ci-après. La donnée RGE ALTI® 5m a été retenue compte tenu de la faible surface du bassin versant (5.5 km<sup>2</sup>).

Les cartes sont créées par combinaison géomatique d'indicateurs du paysage. Les indicateurs sont extraits de trois couches d'information : la topographie sous la forme d'un modèle numérique de terrain à maille carré (ex : BD ALTI® 25m, RGE ALTI® 5m), l'occupation du sol (Corine Land Cover) et la pédologie (InfoSol, Inra). Dans l'occupation du sol, les éléments linéaires tels que les chemins forestiers, les routes et voies ferrées sont traités comme des éléments spécifiques du paysage car ils interceptent et redirigent le ruissellement de versant. Cinq indicateurs du paysage sont combinés pour la création de chaque carte et sont présentés dans le Tableau.1. Pour les indicateurs dérivés de la topographie, le calcul est réalisé en chaque maille du modèle numérique de terrain par rapport à l'aire drainée par la maille. Une fois la carte de production créée elle constitue un des cinq indicateurs pour la création des cartes de transfert et d'accumulation.

<b>Production</b>	<b>Transfert</b>	<b>Accumulation</b>
Pente et indice topographique	<b>Production</b>	<b>Production</b>
Occupation du sol	Pente	Surface drainée
Perméabilité du sol	Rupture de pente	Pente
Erodibilité du sol	Indice de compacité	Rupture de pente
Profondeur du sol	Axe linéaire au sol	Indice topographique

Tab.1 : Tableau de synthèse des indicateurs utilisés pour la création des trois cartes IRIP de susceptibilité au ruissellement.

La Fig.3 illustre la méthode de combinaison des cinq indicateurs pour la création de la carte de susceptibilité à la production du ruissellement. La valeur « 0 » attribuée à une maille indique qu'elle n'est pas favorable au ruissellement. Dans le cas contraire la maille prend la valeur « 1 ». Comme il y a cinq indicateurs, l'échelle de susceptibilité comprend 6 niveaux allant de 0 à 5. La même méthode est appliquée pour obtenir les cartes de transfert et d'accumulation.

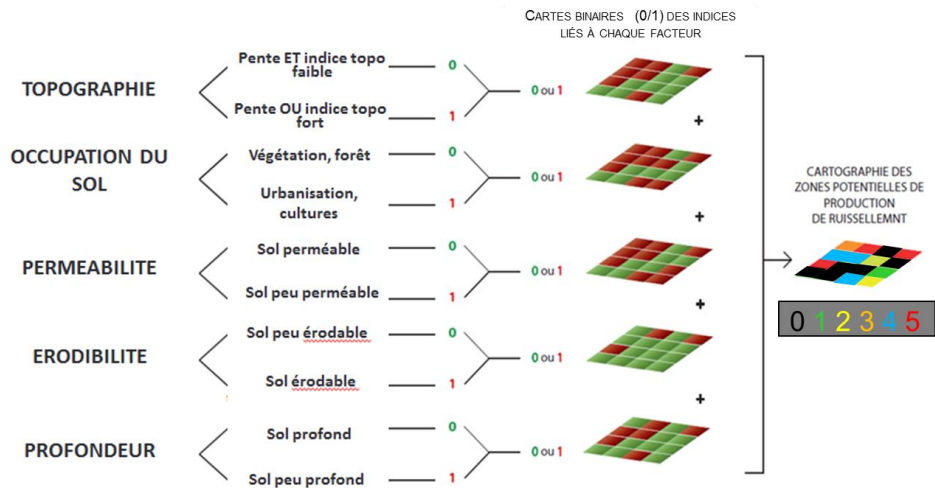


Fig.3 : Schéma de combinaison des indicateurs, exemple pour la création de la carte de susceptibilité à la production.

### 3 RESULTATS ET DISCUSSION

Sur les illustrations suivantes, seules les mailles avec un potentiel de ruissellement fort ( $\geq 4$ ) sont affichées. Les vues aériennes proviennent de Google Earth®, campagne 2015. Le bassin présente un réseau hydrographique, orienté Nord-Sud, très encaissé en amont et qui débouche sur une petite plaine alluviale où des activités sportives et économiques ont pris place. L'urbanisation y est rapide et participe au développement périurbain de la ville d'Antibes. Sous l'effet de la pression urbaine l'habitat se développe aussi sur les pentes abruptes et de manière plus ancienne sur le sommet des collines calcaires. Les sols sont de faible épaisseur avec une végétation typique du climat méditerranéen.

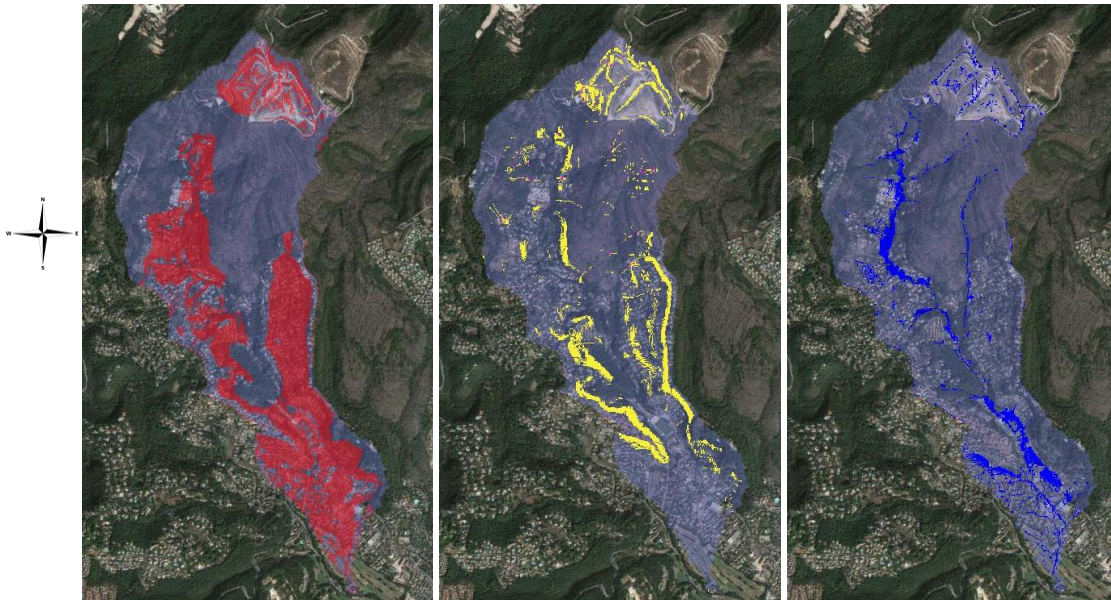


Fig.3 : Illustration (de gauche à droite) des cartes de fort potentiel de production (rouge), de transfert (jaune) et d'accumulation (bleu) du ruissellement intense pluvial pour le bassin du vallon des Combes à Biot (06, France).

La production du ruissellement apparaît forte (en rouge) sur certaines parties du bassin uniquement. Elle est en particulier renforcée par les zones imperméables, comme les zones urbaines, qui alimentent les mailles de production. Les fortes productions conditionnent l'existence des axes de transfert les plus actifs (en jaune). Les fortes accumulations se retrouvent dans les points bas, dont les cours d'eau mais pas uniquement.

Une analyse rapprochée de la zone à enjeu constituée par la petite plaine alluviale sur laquelle

débouche le ruisseau du vallon des Combes permet de comparer des observations terrain avec les cartes de transfert et d'accumulation. Ainsi la Fig.4 (droite) montre des coulées avec érosion et dépôts en lien avec des axes de transfert fort (gauche, jaune) qui sont alimentés par des zones urbanisées développées sur les collines. Les étoiles bleues signalent les coulées recensées lors de la visite de terrain post événement (27/28 oct 2015). Des routes ont été coupées de part et d'autre de la vallée pendant l'événement, bloquant les automobilistes et les services de secours.

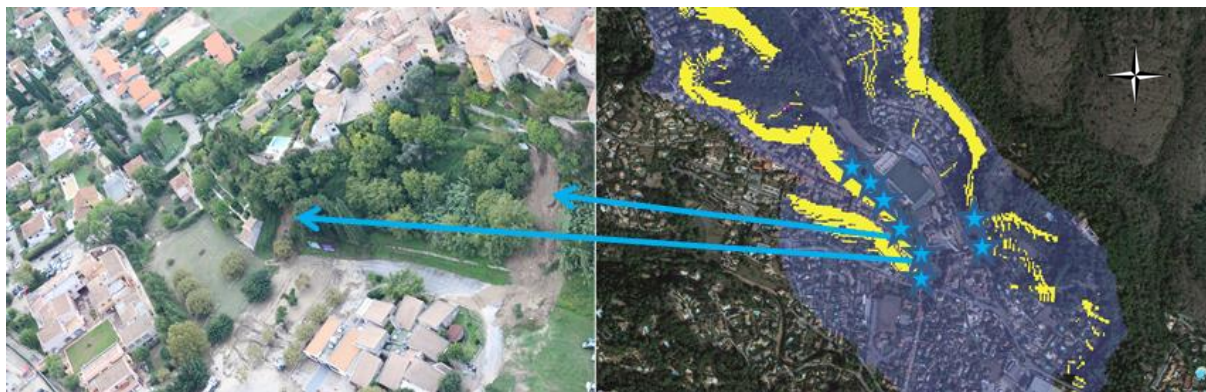


Fig.4 : (droite) Vue aérienne post événement du 03/10/2015 (crédit photo : vue hélicoptère DDTM-06/10/2015) ; (gauche) Position des axes de transfert (jaune) du ruissellement intense avec iRIP©.

La comparaison entre le plan de prévention contre le risque d'inondation (PPRI de Biot), en rouge sur la Fig.5, et la cartographie du potentiel d'accumulation du ruissellement intense (en bleu) montre quelques recouvrements (violet). Cela indique que l'origine de l'inondation en cas de forte pluie (ici 120 mm en 3 heures) n'est pas forcément le seul fait du débordement du cours d'eau, mais peut aussi résulter du ruissellement des coteaux. Les photos de la Fig.5 prises pendant l'événement orageux du 03 octobre 2015 montrent que le pont (photo supérieure droite) n'était pas encore submergé que 100 mètres plus loin la voiture qui précédait la caméra embarquée avait de l'eau jusqu'au pare-chocs, soit environ 0.3m. Cela à l'endroit indiqué par la flèche blanche du bas. Ce résultat tend à confirmer que la zone d'accumulation du ruissellement intense (bleue) détectée par le modèle iRIP© y compris en dehors de la zone rouge du PPRI est bien réelle.

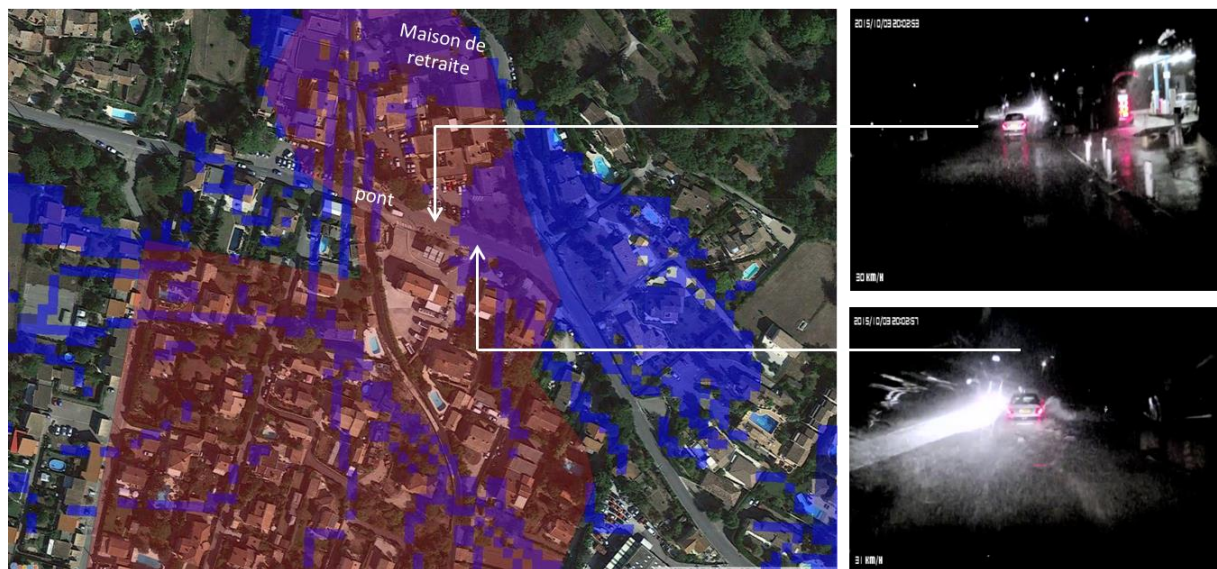


Fig.5 : (gauche) vue superposée du PPRI (rouge) avec les zones d'accumulation (bleu) du ruissellement intense; (droite) vue du passage du pont (bas) puis à 100m du pont (haut) depuis un véhicule roulant.

Ce résultat confirme l'existence de deux processus distincts d'inondation. On distingue ainsi l'inondation « par le haut », qui est liée au ruissellement, de l'inondation « par le bas » qui est liée au débordement. La question peut alors se poser de savoir si la concordance spatiale des deux processus (zone en violet) peut aussi donner lieu à une concomitance des deux inondations. On peut fort bien l'imaginer pour ce petit bassin versant dont le temps de concentration estimé à 1 heure permet d'avoir les deux types d'inondation dans les 3 heures de pluies intenses mesurées.

## 4 CONCLUSION

Cet article présente une méthode de cartographie en trois étapes du ruissellement intense d'origine pluvial et montre son application à un petit bassin ayant subi un orage dévastateur. Comme il n'existe pas de mesures du ruissellement sur les versants ; la vérification des prédictions cartographiques du modèle iRIP© implique de croiser avec des traces du ruissellement dans le paysage. Ainsi, cette étude confirme ce qui a déjà été observé (Lagadec, soumis), c'est à dire que les axes de transfert fort du ruissellement intense se manifestent par des érosions et des dépôts. L'accumulation du ruissellement est plus difficile à identifier après un événement, en particulier du fait du ressuyage rapide par les réseaux de drainage et la perte d'indicateurs dans les zones où le débordement de rivière vient à recouvrir les mêmes espaces. Seule l'observation directe, comme cela a été le cas par un vidéo amateur pour cette étude, apporte la confirmation d'un phénomène fugace. Cela révèle que des zones peuvent être sujettes à des inondations concomitantes par le bas (débordement) et par le haut (ruissellement) et sont donc exposées à un aléa plus important, en particulier sur les petits bassins versants ayant un temps de réponse court. La maison de retraite où l'on a déploré 3 décès suite à noyade se trouve dans une zone répondant à ces critères (Fig.5). Les pompiers ont été retardés par une coulée qui barrait la route entre la caserne et la maison de retraite.

La méthode IRIP est dédiée à prévention du risque lié au ruissellement intense. Ainsi dans le contexte du développement périurbain où la vulnérabilité augmente rapidement, elle peut contribuer à la définition du zonage pluvial. Il faudra ainsi éviter d'imperméabiliser des zones de production ou à défaut prévoir la gestion des « sur-débites » en cas de pluies exceptionnelles. Les axes de transfert, une fois identifiés, peuvent être déviés vers des zones de moindre vulnérabilité. Enfin, on évitera de développer la vulnérabilité des zones d'accumulation. L'évaluation réalisée dans cette étude grâce aux comparaisons effectuées avec les données post-événement contribue à développer la lecture et l'utilisation des cartes de susceptibilité au ruissellement dans un contexte de gestion des risques.

La méthode IRIP utilise des données facilement accessibles (MNT 30m de l'IGN, base InfoSol de l'INRA, base occupation du sol « Corine Land Cover » de l'UE) pour obtenir rapidement un diagnostic de territoire. Ces informations peuvent être affinées au besoin avec un MNT plus détaillé et des connaissances locales sur les conditions de ruissellement (Lagadec et al, soumis). La méthode se veut reproductible afin de rendre plus homogènes les cartes a portée réglementaire qui traitent du risque d'inondation (PPRI, PAPI, Jaillot et al., 2012). L'aléa ruissellement n'est cependant pas limité à l'inondation car les effets les plus destructeurs sont associés aux coulées de boue et de débris (Sauret, 1987). Le ruissellement intense résulte de la combinaison de plusieurs facteurs « au sol ». C'est la raison pour laquelle la méthode IRIP ne prend pas en compte la pluie comme une donnée d'entrée. Les éléments du paysage qui sont les plus impactés sont les réseaux de transport routier et ferré du fait des importants linéaires qui recoupent les versants. L'analyse du risque liée à l'aléa du ruissellement intense doit donc intégrer ces réseaux dans les vulnérabilités exposées.

## BIBLIOGRAPHIE

- Dehotin, J., Breil, P. (2011). *Projet IRIP : Rapport technique - Cartographie de l'aléa ruissellement (Rapport technique)*, 74p. <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00033496>
- 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.
- DPPR (2004). *Plans de prévention des risques naturels (PPR) : Les risques d'inondation (Le ruissellement périurbain)*. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable -, 67 p. <http://catalogue.prim.net/>
- GRAIE (2009). *Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme*. Avec la contribution de Breil P., Valla E., Le Nouveau N., Arcos M., Padet J., Bacot L., Brelot E., Valin K., Chapgier J., Sibeud E., Gislain Lipeme Kouyi, Alzate L., Martinet A., Morin-Batut C., Pasquier V., Giol S., Pierlot D., Senechal C. 81p. [http://www.graie.org/graie/graiedoc/doc\\_telech/guideepurba.pdf](http://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/guideepurba.pdf)
- Jaillot, C., Poulard, C., Breil, P. (2012). A5 - *Synthèse des méthodes de cartographie des inondations par ruissellement en France (au sens de la Directive Inondation)* - Convention "prévention des inondations." IRSTEA Lyon-Villeurbanne.
- Lagadec L.R. Patrice P., Braud, I., Chazelle B.; Moulin L.; Hauchard E.; Dehotin J.; Breil P. (soumis) -Description and evaluation of a surface runoff susceptibility mapping method. Special issue on flash floods & land slides. HYDROL20062R2.
- Sauret, B. (1987) Coulées boueuses. Laves torrentielles : 1- Coulées de débris canalisées - Compte rendu bibliographique. Bull, liaison Labo P. et Ch. - 150/151 - j u i l . - a o ù t / sept.-oct. 1987 - Réf. 3203.