



HAL
open science

Cartographie du ruissellement. Application des méthodes SHYREG et IRIP sur deux cas d'étude

P. Arnaud, Pascal Breil

► **To cite this version:**

P. Arnaud, Pascal Breil. Cartographie du ruissellement. Application des méthodes SHYREG et IRIP sur deux cas d'étude. [Rapport de recherche] irstea. 2019, pp.37. hal-02609676

HAL Id: hal-02609676

<https://hal.inrae.fr/hal-02609676>

Submitted on 16 May 2020

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.



Département Eaux

Cartographie du ruissellement Application des méthodes SHYREG et IRIP sur deux cas d'étude



Août 2019 – Synthèse

Patrick ARNAUD (UR RECOVER), Pascal BREIL (UR RiverLy)

Irstea, Département Eaux

en collaboration avec Eric Sauquet et Vazken Andréassian

Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture

Table des matières

Remerciements	4
Résumé	5
1 Introduction.....	6
2 Les méthodes en quelques mots.....	6
Le principe général des deux méthodes	6
La mise en œuvre des deux méthodes	7
Validation et limites des deux méthodes.....	8
3 Définitions du ruissellement vues par IRIP et SHYREG	9
Dans la méthode IRIP	9
Dans la méthode SHYREG	12
4 Les bassins versants examinés : Austreberthe et Réal Collobrier	12
5 Mise en œuvre de la méthode SHYREG	14
Distribution spatiale des paramètres.....	14
Valeurs des débits.....	18
6 Mise en œuvre de la méthode IRIP	20
7 Comparaison des approches SHYREG et IRIP	23
8 Conclusion	25
Des représentations différenciées du ruissellement intense.....	25
Précautions d'usage	26
Perspectives de recherche	27
9 Références bibliographiques	29
10 Annexes	31

Remerciements

Ce travail a reçu le soutien financier du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES) via les différentes conventions « Multirisques » passées entre Irstea et la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR).

Les travaux sur la méthode IRIP ont aussi bénéficié d'une bourse de thèse CIFRE en partenariat avec la SNCF (contrat 2014/0723). La méthode SHYREG a été développée depuis plusieurs années pour améliorer la connaissance de l'aléa hydrologique sur l'ensemble du territoire français, grâce au soutien financier de la DGPR et à la recherche réalisée par des doctorants au cours de nombreuses thèses.

Résumé

Irstea développe depuis plusieurs années une expertise et des méthodes susceptibles d'aider à l'appréciation du risque de ruissellement sur le territoire français. Ce risque est appréhendé de manière totalement différente par les deux méthodes proposées par Irstea : SHYREG et IRIP.

La méthode SHYREG s'appuie sur une information intégrée à l'échelle du bassin versant, la mesure des débits, pour proposer une modélisation distribuée des aires contributives à cet écoulement. La modélisation des écoulements sur cette maille de calcul est alors assimilée au phénomène de ruissellement sur les versants. La difficulté de cette approche réside dans la descente d'échelle spatiale (ou désagrégation) qui reste contrôlée par une variabilité spatiale imposée à la fois par la grande échelle (bassins jaugés) et une variabilité spatiale à petite échelle difficilement appréciable imposée par un *a priori* lié à l'occupation du sol.

La méthode IRIP s'appuie sur une information spatiale fine issue de SIG pour déterminer des relations *a priori* entre les variables environnementales et des indices de susceptibilité au ruissellement. Cette information qualitative permet une hiérarchisation des zones propices aux phénomènes liés au ruissellement, qui est ensuite comparée aux zones sur lesquelles des dégâts attribuables au ruissellement ont été constatés.

Au travers de deux applications sur deux bassins versants, l'étude présente ici les différences entre les deux méthodes mais aussi les points sur lesquels elles peuvent se rejoindre ou se compléter. En particulier dans la paramétrisation *a priori* de la production, des échanges entre les méthodes sont possibles.

Des travaux de collaboration à la date de rédaction de cette note de synthèse sont présentés en perspective pouvant alimenter les futurs développements des deux méthodes.

1 Introduction

La méthode SHYREG ainsi que la méthode IRIP ont été appliquées sur deux bassins versants communs afin d'analyser ce que chaque méthode peut apporter en termes d'estimation du risque de ruissellement et d'apprécier les complémentarités des deux approches. Les deux bassins versants choisis sont situés sous des contextes climatiques différents et possèdent les données nécessaires à l'application des deux méthodes.

Les deux méthodes étant conceptuellement très différentes, la comparaison des résultats obtenus doit être réalisée avec précaution. Ici, seule la variable « production » a fait l'objet d'une comparaison car elle fait appel à une notion similaire. On cherchera au travers de ces deux applications menées en parallèle, d'explicitier les différences, les similitudes et les complémentarités de ces deux approches.

2 Les méthodes en quelques mots

Une comparaison des deux méthodes avait été initiée en 2016. Ce travail initié en interne à Irstea par Vazken Andréassian (UR HYCAR) est partiellement repris ici.

Le principe général des deux méthodes

	SHYREG	IRIP
Objectif	<ul style="list-style-type: none">• Cartographie quantitative de la partie de la pluie qui va ruisseler en surface, représentant le ruissellement.	<ul style="list-style-type: none">• Cartographie des facteurs favorables au ruissellement pour en déduire un potentiel à produire, transférer ou encore accumuler du ruissellement.
Hypothèse	<ul style="list-style-type: none">• La détermination quantitative du ruissellement est liée à la connaissance des débits aux stations hydrométriques, donc à une échelle « macro », et sa variabilité spatiale à échelle plus fine peut être déduite de caractéristiques physiques.	<ul style="list-style-type: none">• La détermination des facteurs favorables au ruissellement est basée sur une connaissance <i>a priori</i> du phénomène, à une échelle fine.

La mise en œuvre des deux méthodes

	SHYREG	IRIP
Données d'entrée	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation d'une cartographie des quantiles de pluie régionalisés à l'échelle de la France à la résolution de 1 km². • Paramètre de production du ruissellement estimé au pixel lié à un modèle hydrologique simplifié : calage sur des bassins jaugés puis régionalisation avec prise en compte de variables environnementales. • Utilisation d'un plan de drainage issu du MNT à 50 m pour calculer les débits le long du réseau hydrographique. • Information sur l'occupation du sol exploitée pour les aspects « désagrégation » de la méthode. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de couches d'information facilement accessibles (MNT, occupation du sol, pédologie). Les données sont stockées sous forme d'une grille raster dont la résolution est imposée par celle du MNT. • Choix d'une méthode de score, pour combiner des variables numériques, binarisées selon des seuils, avec des variables qualitatives. Ce choix permet aussi de réduire l'effet de l'imprécision spatiale de la couche pédologique. • La couche des lames d'eau radar Météo-France à l'échelle du km² est utilisée pour évaluer la propension d'un sol à ruisseler pour une pluie objectif (ex : horaire de 30 ans). La carte binaire résultante est l'un des cinq facteurs de la carte de production.
Variables produites	<ul style="list-style-type: none"> • Calcul d'un paramètre de « ruissellement » (= rapport à la pluie en chaque maille de calcul), de façon à respecter l'observation du ruissellement moyen à l'échelle des bassins versants jaugés après sommation et abattement de l'information déterminée au pixel. • Calcul des débits produits à chaque maille. • Accumulation des débits ruisselés le long de réseau de drainage. 	<ul style="list-style-type: none"> • Quinze facteurs sont calculés puis groupés en trois lots de cinq. Les facteurs de chaque lot sont classés en favorable ou non favorable (0 ou 1) selon leurs valeurs, puis sommés pour produire chacun un indicateur d'une des trois étapes du processus de ruissellement : <ul style="list-style-type: none"> - <u>Production</u> - formation d'une lame d'eau mobile ; - <u>Transfert</u> - mise en vitesse de la lame d'eau, érosion ; - <u>Accumulation</u> - concentration du ruissellement, ralentissement, dépôt.
Résolution spatiale	<ul style="list-style-type: none"> • Maille kilométrique pour le calage et la régionalisation de la méthode. • Maille inférieure pour la mise en œuvre (calculs à 50 m réalisés pour le compte du MTES et mise à disposition sur le site web http://shyreg.irstea.fr pour tous les bassins de plus de 5 km²) 	<ul style="list-style-type: none"> • Elle dépend de celle du MNT (usuellement 25 m en diagnostic de territoire, mais jusqu'à 5 m ou 1 m pour des études locales précises).

Validation et limites des deux méthodes

	SHYREG	IRIP
Validation	<ul style="list-style-type: none"> • Validation axée sur l'aléa hydrologique : <ul style="list-style-type: none"> – Validation locale réalisée à l'échelle des bassins versants jaugés. – Confrontation faite sur 1600 bassins versants jaugés en France, pour lesquels les statistiques des débits observés ont été comparées aux statistiques des débits générés par la méthode SHYREG. – Projet ANR Extraflo (2009-2013) : la comparaison de plusieurs méthodes alternatives d'extrapolation des crues rares a montré les bonnes performances de SHYREG. 	<ul style="list-style-type: none"> • Validation axée sur les impacts : <ul style="list-style-type: none"> – Calcul du taux de détection des « vérités terrain » (conséquences observées d'épisodes passés de ruissellement au sol). – Calcul du taux d'efficacité défini comme le rapport du taux de détection sur la proportion (%) de surface du bassin prédite en aléas forts (transfert et accumulation).
Limites	<p>Des observations sur de très petits bassins versants voisins (1 km²) montrent des variations d'écoulement de 1 à 5 inexplicables par des caractéristiques géomorphologiques classiques. Les travaux sur la régionalisation en hydrologie montrent la difficulté de trouver une corrélation entre les paramètres hydrologiques et les variables environnementales, ce qui rend incertaines les estimations à échelle très fine sur certains secteurs.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La méthode ne permet pas pour l'instant de proposer un coefficient de ruissellement qui serait utile au dimensionnement d'ouvrages de laminage. • Les tests de désagrégation de la résolution spatiale du MNT depuis 1 m à 75 m ont confirmé la persistance des zones à fort potentiel de ruissellement. La maille MNT de 25 m, disponible sur l'ensemble de la France constitue un bon compromis entre temps de calcul et efficacité de détection pour des bassins de plusieurs centaines de km². Des mailles plus grandes seront à proscrire car la carte de transfert perdra beaucoup en précision.

Une classification des modèles abordant la question de la détermination de l'aléa hydrologique à des échelles fines a aussi été proposée par P. Breil en 2017 au groupe de travail « Ruissellement » mobilisé par la DGPR. On peut ainsi retrouver les deux approches SHYREG et IRIP parmi les modèles présentés lors des réunions de ce groupe de travail. On verra plus loin dans cette section une comparaison d'IRIP avec deux autres méthodes - LISEM et EXZECO - dédiées elles aussi au ruissellement.

La méthode IRIP est considérée comme une méthode de cartographie des zones susceptibles d'être soumise à l'aléa ruissellement. Elle n'est pas calée *a priori* mais ajustée *a posteriori* pour cibler les niveaux d'aléas pertinents à partir des vérités terrain. La méthode SHYREG est placée dans la catégorie des approches par modélisation hydrologique, précalées et fournissant une information quantitative de l'aléa pluie et débit sur une large gamme d'échelle spatiale.

A l'occasion de la dernière réunion du groupe de travail en décembre 2017 organisée par le MTES, des fiches de renseignement sur les différents modèles existants et pouvant répondre à la question de la cartographie de l'aléa ruissellement ont été rédigées par leurs auteurs. Les fiches des deux méthodes SHYREG et IRIP sont présentées ici en Annexe.

3 Définitions du ruissellement vues par IRIP et SHYREG

Dans la méthode IRIP

- Hypothèse : Résulte d'une combinaison pluie locale avec les caractéristiques hydrodynamiques des sols et des types d'occupation des sols qui peuvent aussi influencer les caractéristiques hydrodynamiques,
- Contrainte d'évaluation : peu de données de vérification,
- Contrainte de mise en œuvre : couches d'information géographique accessibles,
- Critère de performance/de calage : détecter le maximum d'incidents géo-localisés en minimisant les surfaces avec des aléas forts,
- Résultat : une carte de susceptibilité avec des scores IRIP de 0 à 5, les valeurs maximales indiquant les secteurs les plus propices au ruissellement.

Une définition du ruissellement intense dans la méthode IRIP:

- Processus d'écoulement associé au ruissellement diffus qui peut subir des concentrations avec mise en vitesse et érosion dans les versants convexes, accumulation dans les zones concaves ou de blocage des flux d'eau et de matière derrière des obstacles, avec ruptures possibles sous l'effet de pression liée à la hauteur d'eau accumulée.
- Ces phénomènes sont liés à des pluies soutenues et/ou intenses et à des facteurs topographiques et pédologiques propices. Ils peuvent se produire partout. Le terme « ruissellement intense » veut caractériser un caractère peu fréquent, des chemins inhabituels d'écoulement, et donc propices à l'érosion et au transport de matériaux.
- L'emprise spatiale peut être réduite et ne pas donner lieu systématiquement à des crues sensibles dans les cours d'eau au-delà de quelques km². Cela a été vérifié lors de l'expertise de la coulée de boue de Luheux dans une commune de la Somme en 2017 où un orage stationnaire a impacté un sous bassins versant représentant uniquement 1/5 du bassin versant amont. La Figure 1 vient en partie illustrer ce phénomène « d'emprise ». L'utilisation de la surface de production présentant des scores IRIP ≥ 4 (*surfRui*) au lieu de la surface totale (*surfTot*) améliore la relation avec le débit instantané de période de retour QIXA10 des petits bassins versants. La relation est meilleure pour les bassins de *surfTot* inférieure à 10 km². Une autre étude menée en 2013 (extrait de Hasnaoui (2013), Figure 2 **Erreur ! Source du renvoi**

introuvable.) sur 26 petits bassins versants jaugés, compris entre 6 et 32 km², a confirmé que le remplacement du coefficient de ruissellement, calculé par la méthode SETRA, par celui des surfaces de productions fortes selon IRIP (scores de 4 et 5) amélioreraient de manière sensible le calcul du débit décennal spécifique dans la formule rationnelle. Ces résultats tendent à confirmer que le ruissellement intense est un processus local qui peut ne pas participer de manière significative à la formation de la crue décennale. L'hypothèse du modèle IRIP est alors résumée par le schéma suivant (Figure 3) qui n'exclut pas la diffusion et la ré-infiltration des écoulements en aval. La succession des phases de production-transfert-accumulation peut varier le long du ruissellement dans un versant avec de la production directe vers une zone d'accumulation (cas des zones endoréiques), ou encore une zone d'accumulation qui peut déborder vers une zone de transfert, etc. Cette possibilité a été confirmée dans l'analyse comparée des cartes IRIP et Watersed (rapport SRNH 414 2017) sur le bassin versant de l'Austreberthe.

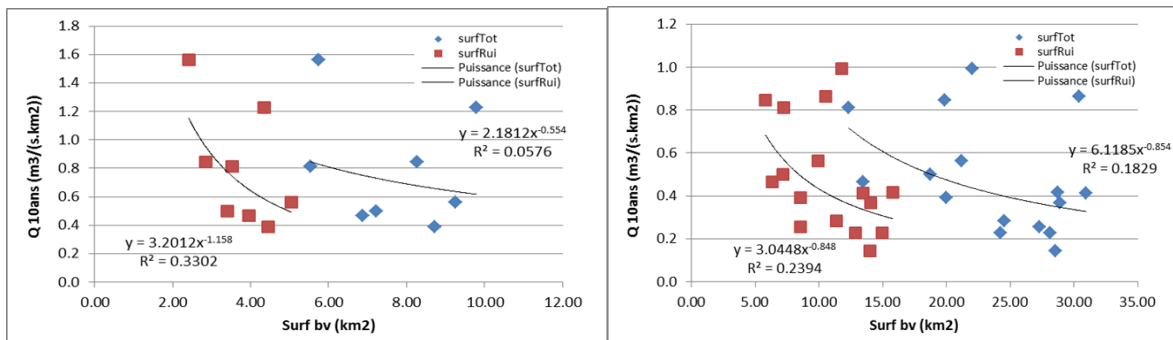


Figure 1 : Relation débit spécifique instantané de période de retour 10 ans (Q10ans) – surface contributrice pour les 24 plus petits bassins versants jaugés en France – figure de gauche : les bassins inférieurs à 10 km². Figure de droite : les bassins inférieurs entre 10 et 35 km². Dans chaque figure : les points rouges montrent Q10ans = f (surfTot) et ceux en bleu : Q10ans = f (surfRui)

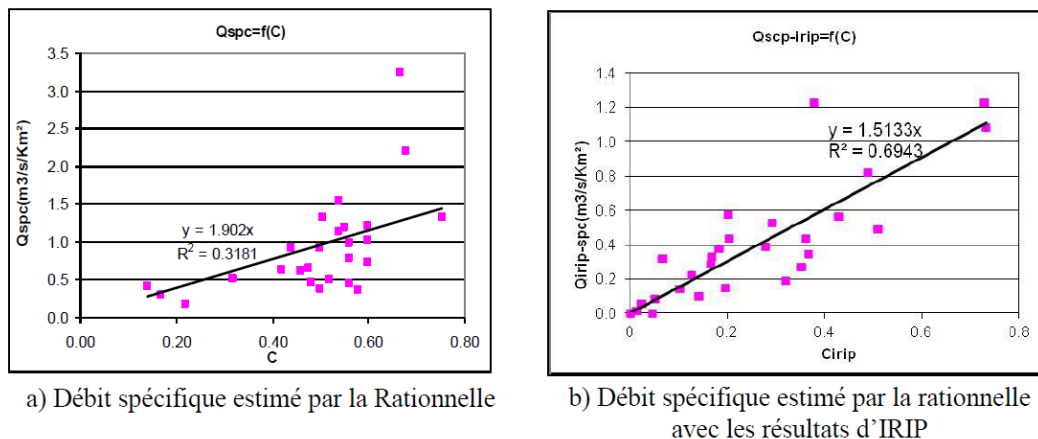


Figure 2 : Estimation du débit décennal spécifique par la méthode rationnelle avec coefficient de ruissellement par la méthode SETRA (gauche) et coefficient de ruissellement calculé par les zones de production IRIP avec un score supérieur ou égal à 4.

Production → Transfert → Accumulation, Diffusion, Restitution

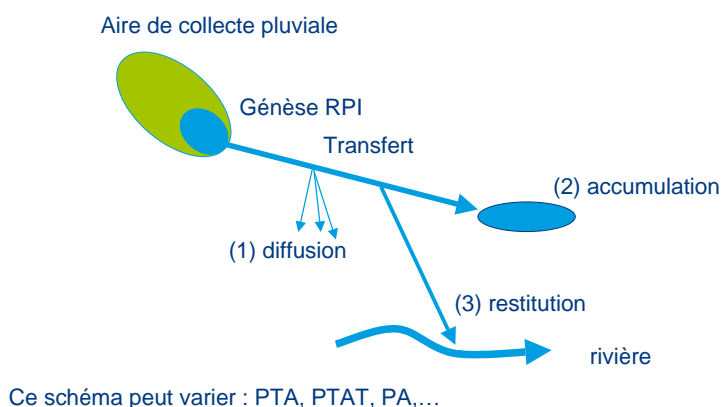


Figure 3 : Principe de représentation du ruissellement dans la méthode IRIP (RPI : Ruissellement Pluvial Intense)

La comparaison des cartes IRIP avec le résultat d'un modèle mécaniste de pluie et débit (LISEM) pour simuler le ruissellement a été réalisée sur un petit bassin versant de 9 km² ayant subi les dommages du ruissellement intense. La pluie de l'événement a été reprise dans la simulation faite par le bureau d'étude. La donnée topographique utilisée par LISEM provient d'un lidar et le modèle fonctionne avec une maille de 1 m. La Figure 4 illustre la comparaison des cartes produites par les méthodes LISEM (1 m), EXZECO (25 m) et IRIP (25 m).

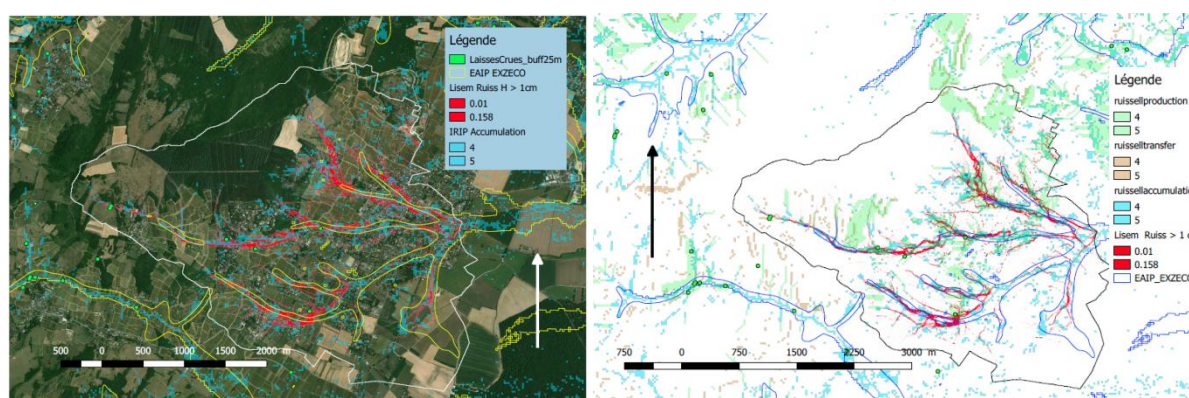


Figure 4 : Comparaison des modèles LISEM, IRIP et EXZECO

Les zones d'accumulation IRIP (pixels bleus, image de gauche) coïncident relativement bien avec les zones de ruissellement de LISEM > 1 mm (trainées rouges). L'emprise EXZECO en jaune contient pour partie seulement la zone d'écoulement LISEM et la surestime largement par endroit. L'image de droite illustre en vert les zones de production IRIP dont on perçoit des grandes zones assez bien délimitées. La cartographie IRIP est beaucoup plus simple à obtenir que la simulation LISEM pour un résultat proche pour ce cas d'étude, elle donne les zones de production et reprend statistiquement plus d'incidents que la méthode EXZECO pour des surfaces en aléas forts moins importantes.

Dans la méthode SHYREG

D'un point de vue hydrologique, la question de la distinction entre le « ruissellement » et le « débordement de cours d'eau » n'est en fait qu'un problème d'échelle et de continuité des processus. En effet, le ruissellement correspond généralement à la partie de la pluie qui, arrivant au sol, ne va pas s'infiltrer et va ruisseler en surface. Le phénomène physique est cependant plus complexe et une partie de l'eau s'infiltrant dans le sol peut être remobilisée rapidement en surface pour contribuer au ruissellement et inversement. Une définition plus générale pourrait être que le ruissellement correspond aux écoulements d'eau en surface. Sur un bassin versant, c'est l'ensemble des « surfaces » du bassin qui peuvent générer du ruissellement. L'eau ruisselée va alors circuler suivant un chemin préférentiel associé à la topographie, voire se re-disperser et s'infiltrer, participer à l'écoulement hypodermique.

C'est exactement ce que tente de faire les modèles hydrologiques ou les approches basées sur la modélisation hydrologique comme la méthode SHYREG : déterminer la partie de la pluie qui va ruisseler sur les versants (ici représentés par des pixels), puis la transférer le long d'un chemin préférentiel, généralement associé au réseau de drainage. Un modèle global modélise déjà le ruissellement moyen à l'échelle d'un bassin. Un modèle distribué va réduire la maille de calcul sur laquelle est modélisé le ruissellement. Cette maille est kilométrique pour l'instant dans la méthode SHYREG.

Une manière simple d'appréhender le ruissellement est de le définir comme le produit de la pluie par un coefficient de ruissellement. Dans cette formulation, le paramètre finalement à déterminer pour quantifier le ruissellement est le « coefficient de ruissellement ». Suivant les approches de modélisation, ce coefficient peut être constant (méthode rationnelle par exemple), variable dans le temps (cas de plusieurs modèles hydrologiques). Il peut aussi être linéaire (si la pluie double, le ruissellement double) ou non linéaire (les sols se saturant pour les pluies fortes, le coefficient peut être plus élevé pour les événements extrêmes). La connaissance hydrologique prône plutôt pour un coefficient de ruissellement variable dans le temps (et évidemment dans l'espace) et surtout non linéaire. Ce point important est respecté dans le cas de la modélisation hydrologique proposée dans les modèles conceptuels de type GR développés à Irstea et aussi dans la modélisation hydrologique de la méthode SHYREG.

Dans ce cas, grâce à une modélisation hydrologique non-linéaire, la méthode SHYREG propose de prendre en compte l'aléa de pluie pour évaluer l'aléa ruissellement en chaque maille de calcul. Cela permet entre autres de proposer un aléa ruissellement pour différentes périodes de retour (en lien avec la période de retour de pluie) avec des coefficients de ruissellement non-linéaires et spatialement distribués.

4 Les bassins versants examinés : Austreberthe et Réal Collobrier

Les deux bassins étudiés ici sont les bassins de l'Austreberthe en Seine-Maritime (215 km²) et du Réal Collobrier dans le Var (70 km²).

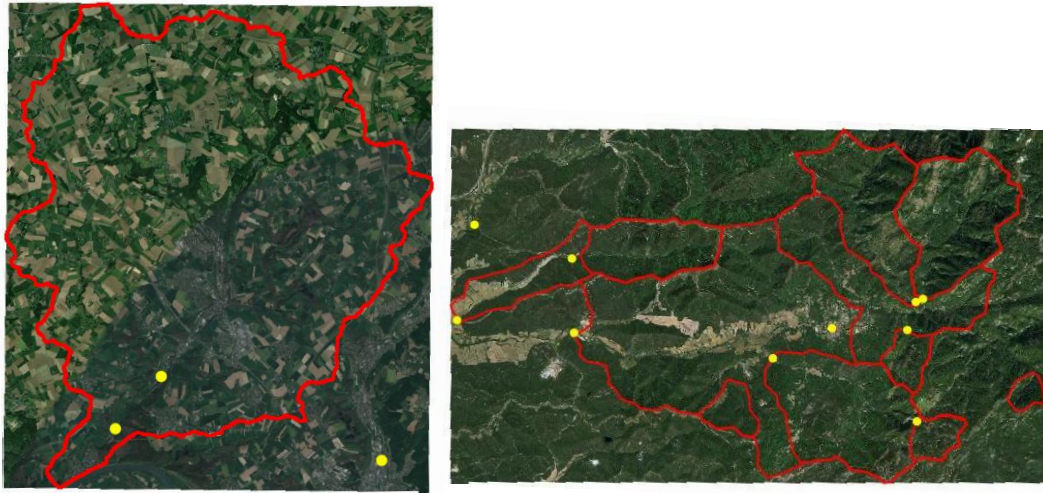


Figure 5 : Le bassin versant (contour en rouge), les exutoires jaugés (points jaunes) et photo satellite (fond de carte OpenStreetMaps) : Austreberthe (à gauche) et Réal Collobrier (à droite)

Les caractéristiques de ces bassins sont présentées sur les différentes cartes suivantes : le contour des bassins versants jaugés sur un fond satellite (Figure 5), une représentation du réseau routier, du relief et de la couverture végétale (Figure 6) et l'occupation du sol à travers la cartographie de Corine Land Cover de 2012 (Figure 7).

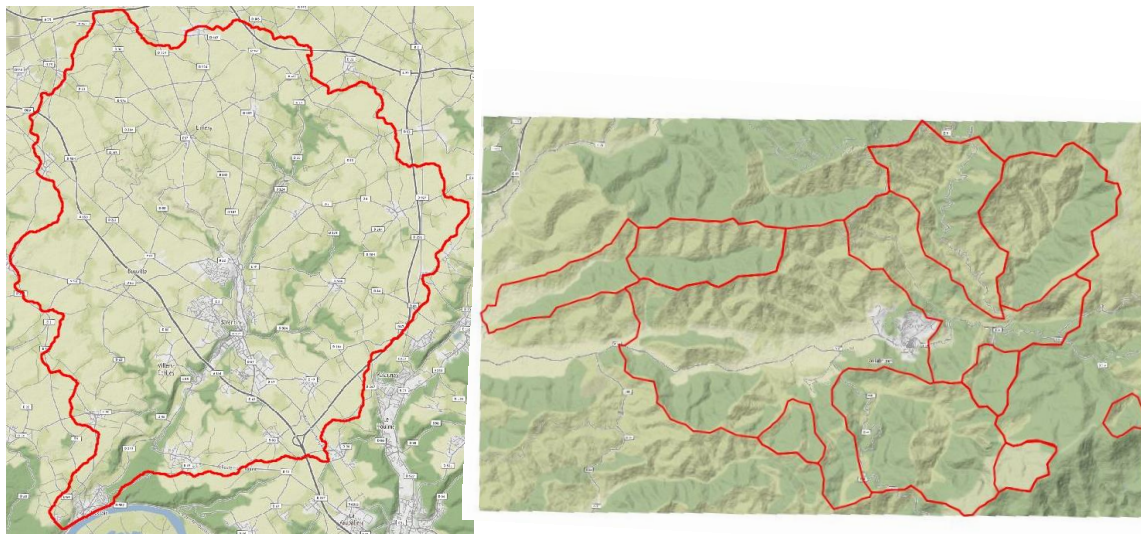


Figure 6 : Représentation du réseau routier, du relief et de la couverture végétale (fond de carte OpenStreetMaps) : Austreberthe (à gauche) et Réal Collobrier (à droite)

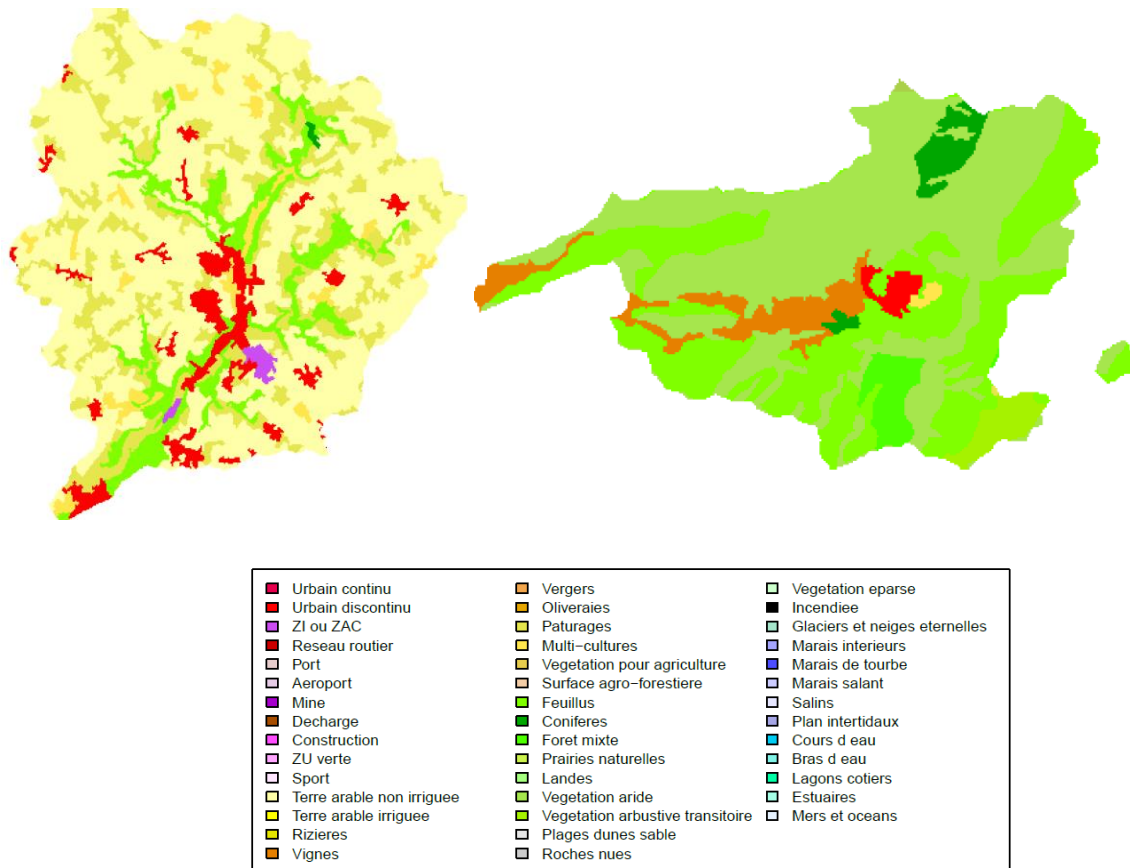


Figure 7 : Occupation du sol (Corine Land Cover 2012) : Austreberthe (à gauche) et Réal Collobrier (à droite)

Le bassin versant de l'Austreberthe est un bassin versant agricole, avec une majorité de terres cultivées. Il est aussi partiellement urbanisé avec la présence de nombreuses petites agglomérations en plus des deux agglomérations principales de Barentin et Pavilly. Le relief est relativement plat.

Le bassin versant du Réal Collobrier est un bassin versant forestier avec une forte présence de végétation arbustive en plus de forêts de conifères et de feuillus. Le bassin est faiblement urbanisé avec la seule présence de la commune de Collobrières. La vallée à l'aval est occupée par des vignobles. Le relief est relativement bien marqué.

5 Mise en œuvre de la méthode SHYREG

Distribution spatiale des paramètres

Pour générer des quantiles de crues par la méthode SHYREG (Figure 8), des événements pluvieux sont simulés à l'échelle de la maille de calcul (1 km² initialement) et ces pluies horaires sont transformées en scénarios de crue par le biais d'un modèle hydrologique simplifié (pour modéliser des crues au pixel). Les paramètres du générateur de pluie sont régionalisés à l'échelle de la France ainsi que certains paramètres hydrologiques comme le paramètre A (capacité maximale du réservoir de production) et Q_0 (débit de base moyen avant l'évènement). La valeur de B (capacité maximale du réservoir de transfert) est, elle, fixée. Le seul paramètre variable est le paramètre S_0/A (taux de remplissage initial du réservoir de production A) que l'on détermine pour caler la méthode sur les

bassins jaugés. Le calage de la méthode SHYREG consiste donc à déterminer pour chaque pixel de la zone d'étude la valeur du paramètre $S0/A$.

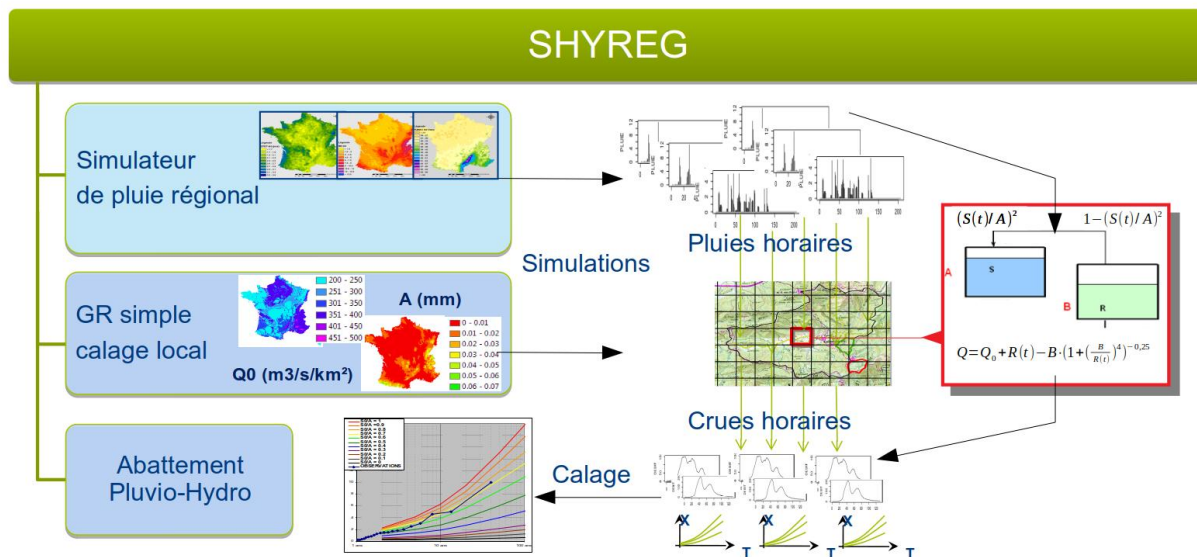


Figure 8 : Principe de calage de la méthode SHYREG

La méthode SHYREG a été calée sur les deux bassins versants. Pour cela, on a déterminé sur les bassins jaugés la valeur du paramètre $S0/A$ pour deux saisons distinctes liées à la méthode : « Hiver » (décembre à mai inclus) et « Eté » (juin à novembre inclus). Ce paramètre évolue au cours du temps lorsque le réservoir se remplit avec la pluie. La fraction de pluie contribuant au ruissellement est donnée par $(S(t)/A)^2$.

Le bassin de l'Austreberthe présente deux stations de jaugeage. La station de l'Austreberthe à Duclair (209 km²) et la station de l'Austreberthe à Saint-Paer (157 km²). Cependant seulement la station de l'Austreberthe à Saint-Paer a été utilisée car les données à la station de Duclair sont jugées douteuses par la DREAL (« station déplacée en raison d'un mauvais contrôle en crue, le Pont se mettant en charge. »). En effet, la station à Duclair (209 km²) présente des débits inférieurs de moitié à ceux de la station amont de Saint-Paer contrôlant pourtant un bassin plus petit (157 km²). Le bassin versant du Réal Collobrier présente une plus grande densité de points de calage avec neuf stations de jaugeage utilisées.

L'étape de calage est couplée avec l'étape de régionalisation par le biais d'une méthode de calage régional décrite par Odry (2017), pour aboutir à une cartographie du paramètre à l'échelle kilométrique.

On observe sur les cartes de la Figure 9 et de la Figure 10, les valeurs du paramètre $S0/A$ à l'échelle de pixels de 1 km² et à 50 m. La désagrégation du paramètre $S0/A$ a été réalisée jusqu'à la maille de 50 m, par la méthode décrite par Arnaud (2017), respectant la valeur moyenne du paramètre à l'échelle de quelques km². Pour cela, seule l'information de l'occupation du sol (Corine Land Cover 2006) a été utilisée comme *a priori* pour intégrer une variabilité spatiale au paramètre à l'échelle de 50 m. D'autres informations *a priori* auraient pu être injectées et seront testées dans le cadre d'une thèse démarrant en 2019 (cf. Conclusion, page 25).

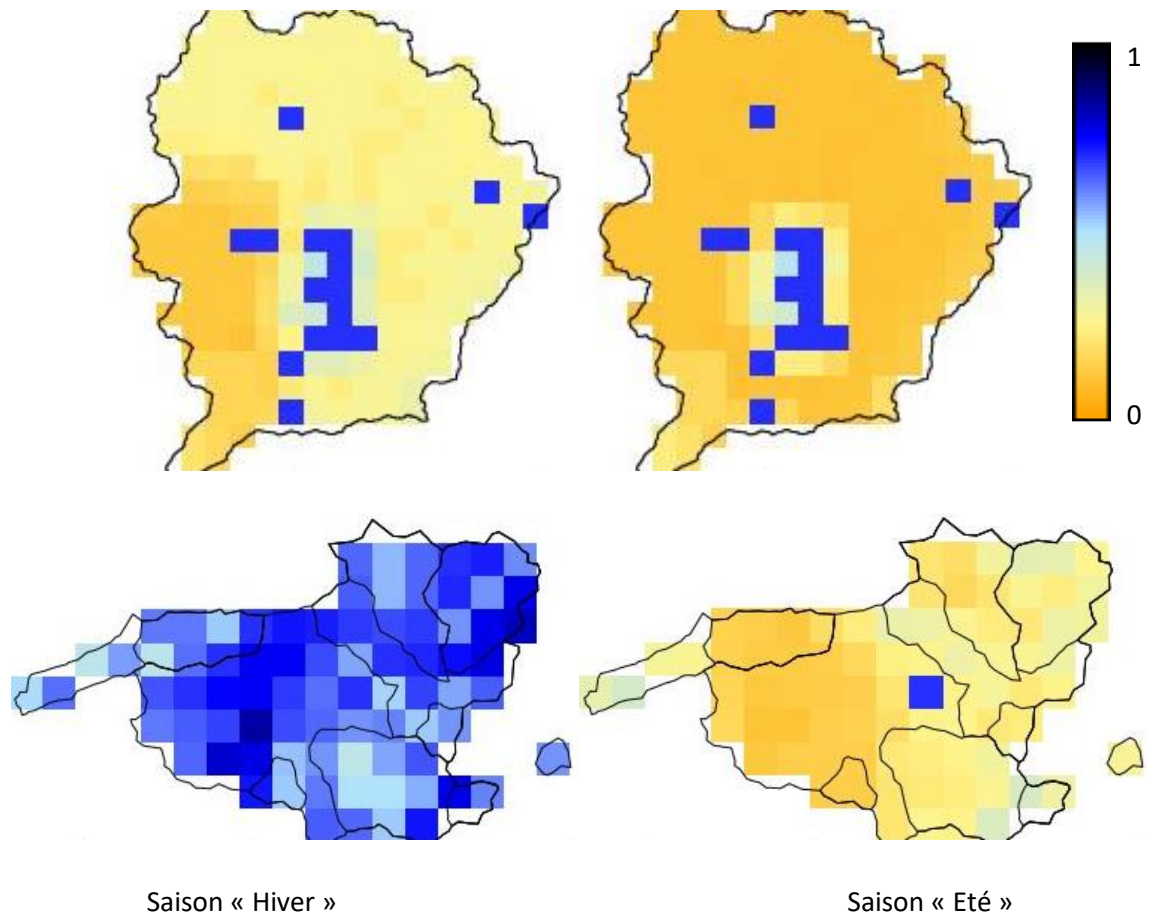


Figure 9 : Variabilité spatiale du paramètre de production de la méthode SHYREG (SO/A) pour les deux saisons, à la résolution initiale de 1 km : Austreberthe (en haut) et Réal Collobrier (en bas)

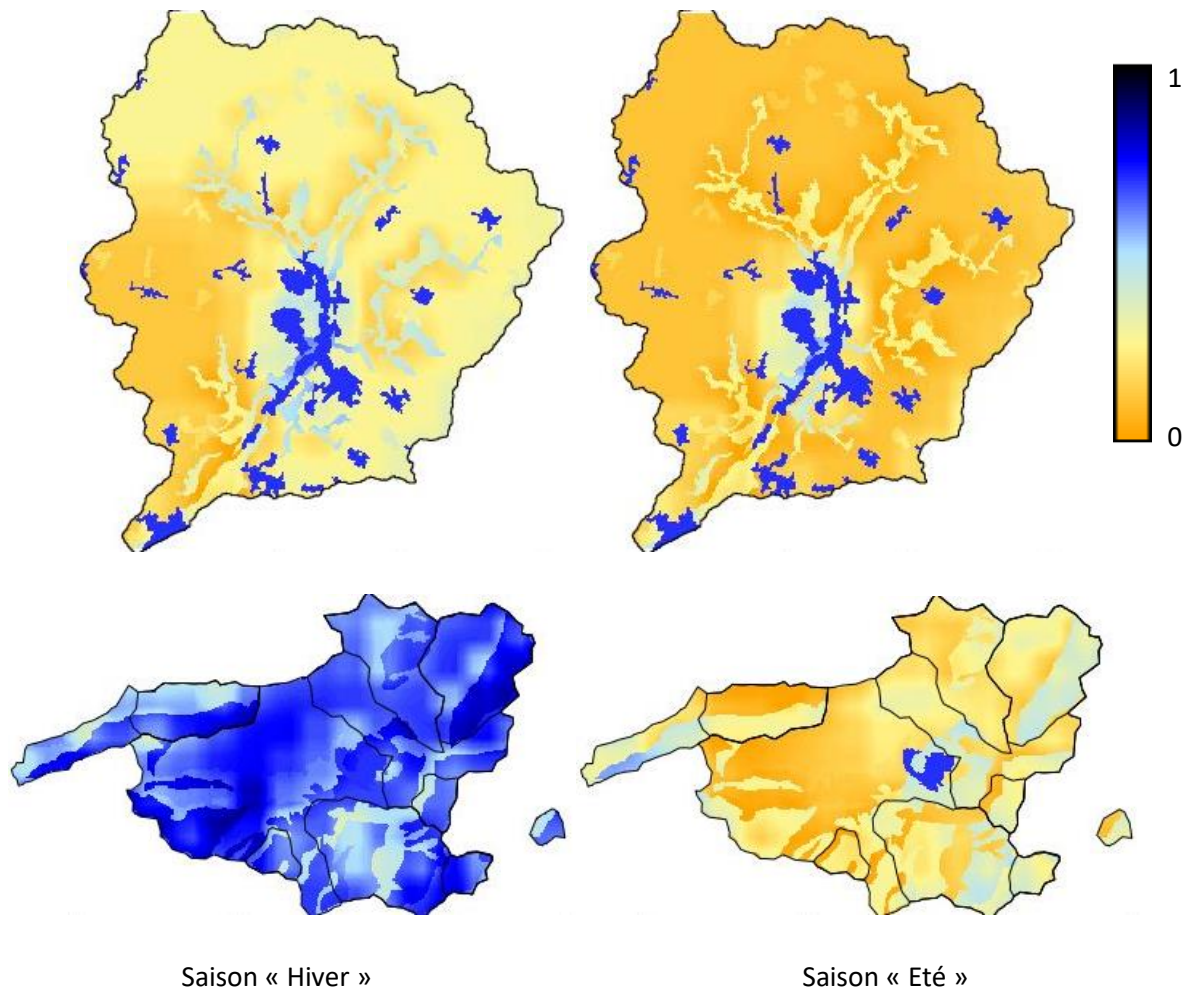


Figure 10 : Variabilité spatiale du paramètre de production de la méthode SHYREG ($S0/A$) pour les deux saisons de la méthode : Austreberthe (en haut) et Réal Collobrier (en bas)

Le paramètre $S0/A$ compris entre 0 et 1 correspond au taux de remplissage initial (au début de l'événement pluvieux simulé) moyen du paramètre de production du modèle GR mis en œuvre pour transformer la pluie en débit. Ce taux de remplissage est affecté au modèle au début de chaque épisode pluvieux simulé par la méthode. Il traduit donc le rendement du « pixel » à la pluie qui l'affecte localement. Il permet ainsi de générer le ruissellement (ou écoulement sur le pixel) lié à une pluie donnée. Pour un même événement de pluie le ruissellement dépendra donc de la saison et de la localisation sur le bassin. Et pour une même saison et un même pixel du bassin versant, le ruissellement dépendra aussi de façon non linéaire de la pluie et de sa période de retour (grâce au fonctionnement des réservoirs du modèle hydrologique).

Les valeurs en bleu correspondent à une valeur forte du paramètre (zone très productive comme les zones urbaines). Pour le bassin du Réal Collobrier et la saison « Hiver », le paramètre de production est aussi très élevé sur des zones non urbaines. Cette valeur est en lien avec les débits observés sur le bassin. En effet, on rappelle que cette cartographie est obtenue par régionalisation du paramètre de la méthode calée sur les stations jaugées et sur des considérations hydrologiques.

On observe ainsi que la saison « Été » le rendement est plus faible que la saison « Hiver ». Cet écart entre les deux saisons est plus marqué pour le bassin du Réal Collobrier (situé en climat méditerranéen)

que pour le bassin de l'Austreberthe (situé en climat océanique). On observe donc sur les cartes de la Figure 9 et de la Figure 10, la variabilité spatiale des paramètres de production de la méthode SHYREG, à des résolutions spatiales différentes.

Les valeurs moyennes des paramètres à l'échelle kilométrique sur les bassins versants sont obtenues de façon à minimiser les écarts entre les quantiles des crues courants (au pas de temps instantané et journalier pour $T = 2, 5$ et 10 ans) dits observés (ajustés par une loi GEV régionale) et les mêmes quantiles fournis par la méthode. Avec la présence de plusieurs sous-bassins versants jaugés, une variabilité peut être obtenue lors de l'application de la méthode de calage régional (c'est le cas pour le Réal Collobrier). La variabilité supplémentaire proposée à une échelle plus fine (50 m) est issue d'un *a priori* que l'on se donne sur le rôle de l'occupation du sol. Par exemple, on voit très bien sur les cartes de la Figure 10 que la présence des zones urbaines et péri-urbaines impose de fortes valeurs au paramètre de production, valeurs qui sont identiques pour les deux bassins étudiés. Les différences de couvert végétal sur un même bassin ont aussi créé de la variabilité spatiale. Cependant une même classe de végétation ne conduira pas au même paramètre selon le bassin considéré. En effet, les classes de végétation vont être associées à des coefficients pondérateurs du paramètre régionalisé au préalable. Ils permettent donc de créer une variabilité imposée à partir d'un *a priori*, sans modifier le paramètre moyen déterminé sur les bassins lors de l'étape de calage régional réalisé à la résolution de 1 km^2 .

Valeurs des débits

La méthode SHYREG mise en œuvre permet le calcul de quantiles de crue à une résolution liée à celle du modèle numérique de terrain. Ici, le calcul est fait à la maille de 50 m. Pour autant, les résultats présentent des degrés de validité variables en fonction de l'échelle du bassin versant. Généralement on considère la validité de la méthode pour une gamme d'échelle entre 5 et $5\,000 \text{ km}^2$. En deçà de quelques km^2 , les hypothèses sur la variabilité des écoulements sont difficilement validables par une information hydrométrique (on fait alors une hypothèse d'homogénéité spatiale ou une hypothèse de variabilité forcée par un *a priori*). Au-delà de la borne haute, la variabilité spatiale de la pluie, la concomitance des crues et l'anthropisation des bassins versants ne sont pas explicitement pris en compte par la méthode.

Les cartes de la Figure 11 montrent la variabilité des débits générés par la méthode SHYREG. Ces débits sont issus de la transformation des pluies simulées ponctuellement par le générateur de pluie sur chacun des pixels. Ce sont des débits dits « élémentaires » en $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ associés à la maille de calcul.

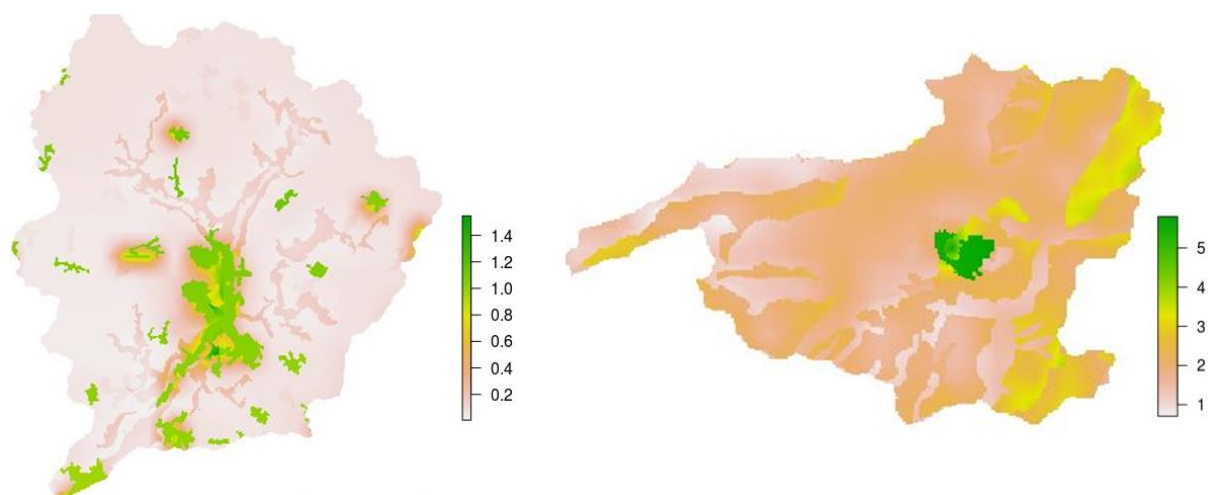


Figure 11 : Cartographie du débit élémentaire de pointe décennal QIXA10 calculé sur chaque maille de 50 m sur les bassins versants ($m^3/s/km^2$) : Austreberthe (à gauche) et Réal Collobrier (à droite)

Les débits élémentaires sont donc cumulés le long du réseau hydrographique à partir des directions d'écoulement. La méthode applique alors une « règle d'abattement » empirique sur les débits cumulés pour prendre en compte les effets d'abattement surfacique des pluies et les effets d'abattement hydraulique. On obtient alors les débits calculés sur le réseau de drainage, représentés sur les cartes de la Figure 12.

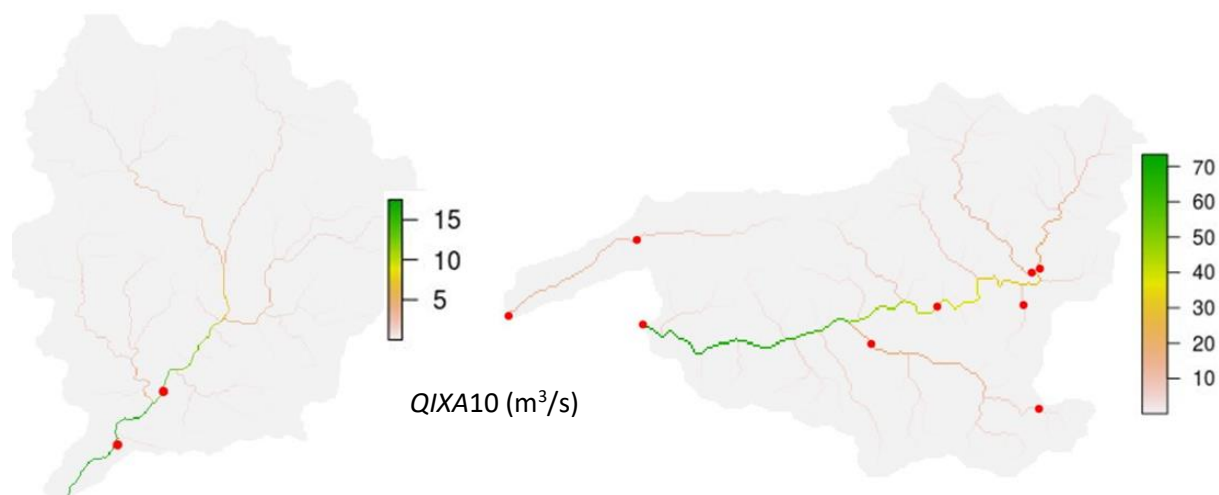


Figure 12 : Cartographie du débit de pointe décennal agrégé avec les directions d'écoulement (m^3/s) : Austreberthe (à gauche) et Réal Collobrier (à droite)

Sur les cartes de la Figure 12, on peut observer les gammes des échelles différentes. Sur le bassin de l'Austreberthe, les débits calculés sont nettement moins importants que sur le bassin du Réal Collobrier, malgré une surface plus grande. Ces forts écarts sont dus en partie à la climatologie (aléa pluviométrique nettement plus fort sur le Réal Collobrier soumis au climat méditerranéen), mais aussi à l'hydrologie propre des deux bassins versants, représentée par les cartes du paramètre de production S0/A (Figure 9, Figure 10)

Sur la Figure 13, on vérifie que les débits trouvés aux exutoires jaugés correspondent aux valeurs que l'on peut estimer à partir des observations. Sur cette figure on présente en exemple, les débits de pointe décennaux obtenus par l'ajustement d'une loi GEV régionale sur les débits observés (qobs) et ceux obtenus par l'application de la méthode SHYREG, sur le bassin du Réal Collobrier et les huit sous-bassins de 1,5 à 29 km² inclus dans le bassin de 70 km².

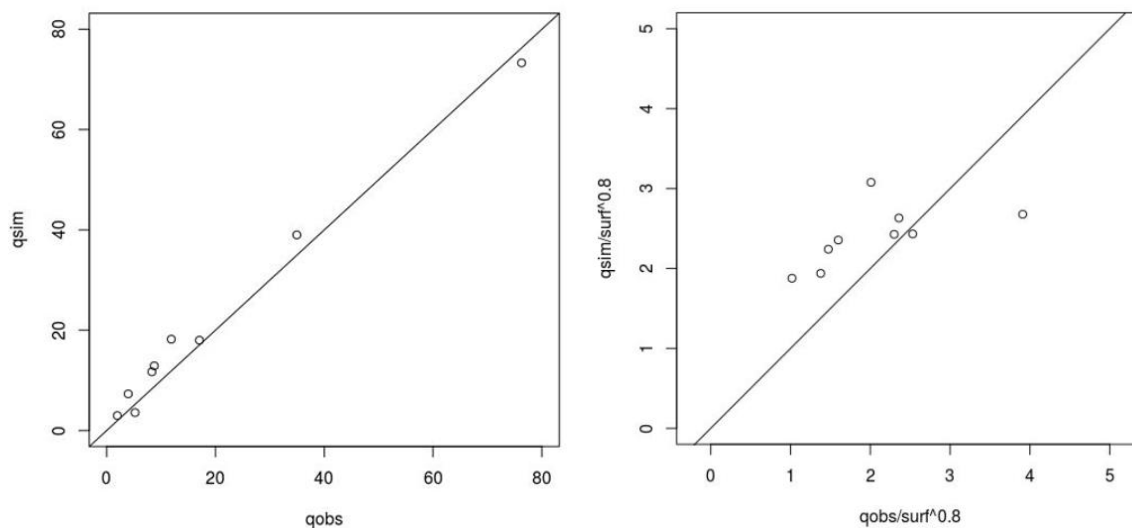


Figure 13 : Comparaison des débits de pointe décennaux (m³/s) et des débits pseudo-spécifiques (m³/s/km²) aux stations jaugées sur le bassin du Réal Collobrier

La méthode SHYREG permet de retrouver les débits observés sur les stations jaugées. Ces valeurs sont des valeurs régionales qui sont cohérentes spatialement, en lien avec la pluviométrie et assurant une croissance des débits de l'amont vers l'aval (ce qui n'est pas forcément le cas sur les observations du fait des incertitudes météorologiques et des ajustements statistiques locaux liées à l'échantillonnage des valeurs extrêmes).

A titre d'information, sur le bassin de l'Austreberthe, les valeurs obtenues sont en cohérence avec les valeurs de la station « amont » (Saint Paer) qui est la seule station retenue lors du calage, comme le montre le tableau suivant.

Station du bassin de l'Austreberthe	Surface (km ²)	Débit décennal observé (ajustement Gumbel)	Débit décennal SHYREG (m ³ /s)
Saint-Paer	157	14,3	14
Duclair <i>(station douteuse)</i>	209	8,7 <i>(douteux)</i>	17

6 Mise en œuvre de la méthode IRIP

Les paramètres sont déclinés dans le schéma suivant (Figure 14) avec la nature des données et le principe d'élaboration des facteurs favorable aux différents processus du ruissellement intense.

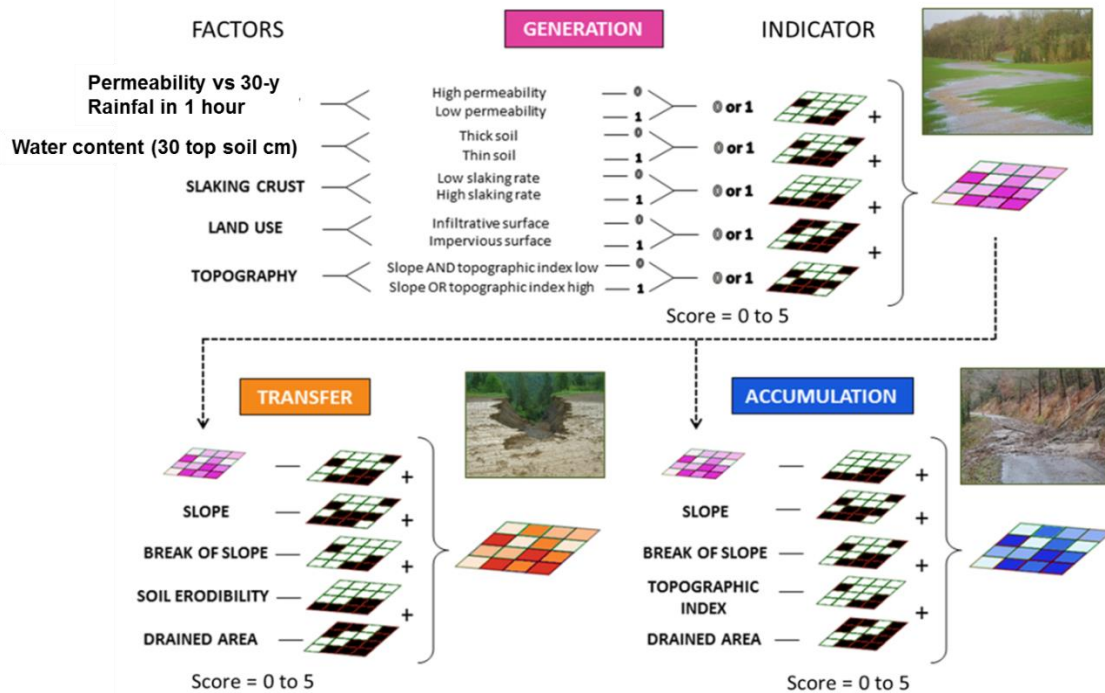


Figure 14 : Schéma de principe de la méthode IRIP

Pour le modèle IRIP, la production résulte de cinq facteurs qui sont :

- La capacité de la pluie de période de retour $T = 30$ ans (lame d'eau radar, fournie par Météo-France et traitée sur le plan statistique par Irstea) sur une heure à dépasser la capacité d'infiltration I à saturation du sol sur 1 heure. Si $P(1\text{ h}, 30\text{ ans}) > I$, la maille est déclarée favorable au ruissellement. I est la quantité de pluie qui peut s'infiltrer pendant 1 heure connaissant la conductivité hydraulique à saturation dans les 30 premiers centimètres du sol. Les caractéristiques hydrodynamiques du sol supérieur sont connues à l'échelle de mailles de 250 m sur l'Europe via la base de données de l'ESDAC.
- La réserve en eau utile des 30 premiers cm de sol, est classée de 1 à 5 pour la France entière. Les classes 1 et 2 sont définies comme favorables au ruissellement car elles présentent les plus faibles capacités.
- La battance, tirée des fonctions de pédo-transfert, dont les trois classes supérieures sur cinq au niveau France entière, sont déclarées favorables au ruissellement.
- L'occupation du sol dont les sols agricoles et urbains sont déclarés favorables au ruissellement.
- Les pentes fortes (supérieures au mode des pentes du bassin versant global ou à un seuil défini par expertise locale) ou les indices topographiques forts (supérieurs au mode des indices topographiques de l'aire drainée au niveau de la maille de calcul) sont également déclarés favorables au ruissellement.

La maille raster de restitution (ou de calcul) est celle du MNT. La maille des propriétés hydrodynamiques du sol est à 250 m (source : ESDAC). La maille d'occupation du sol est à 20 m (source : CESBIO).

La méthode IRIP permet de construire trois cartes synthétisant chacune trois processus liés au ruissellement : la production (PRO+), le transfert (TRA+) et l'accumulation (ACC+). Ce sont des successions de processus. Les processus ne sont justement pas indépendants car la carte de production pèse pour 1/5 sur celle de transfert et celle d'accumulation. Ces cartes sont représentées sur la Figure 14. Ne sont représentés que les niveaux de susceptibilité supérieurs ou égaux à 3 caractérisant *a priori* un aléa ruissellement fort. Le choix de ce seuil (donc ici 3) s'est appuyé sur une métrique globale - appelée « rapport d'efficacité » examinée sur différents secteurs en France. Cette variable est définie comme le rapport entre le taux de détection des incidents et le pourcentage de bassin versant classé en aléas forts. Elle traduit le souci d'un taux de détection aussi grand que possible avec un minimum de surface du territoire déclarée en aléas forts. Cela permet de juger de la portée opérationnelle des cartes (on trouverait 100% des incidents en déclarant l'ensemble du territoire en aléa fort mais cela n'aurait aucun intérêt opérationnel pour localiser des mesures de prévention). Il a semblé raisonnable de rechercher un rapport de 4, soit de détecter au minimum 80% des incidents relevés avec moins de 20% du territoire prédit en aléas forts.

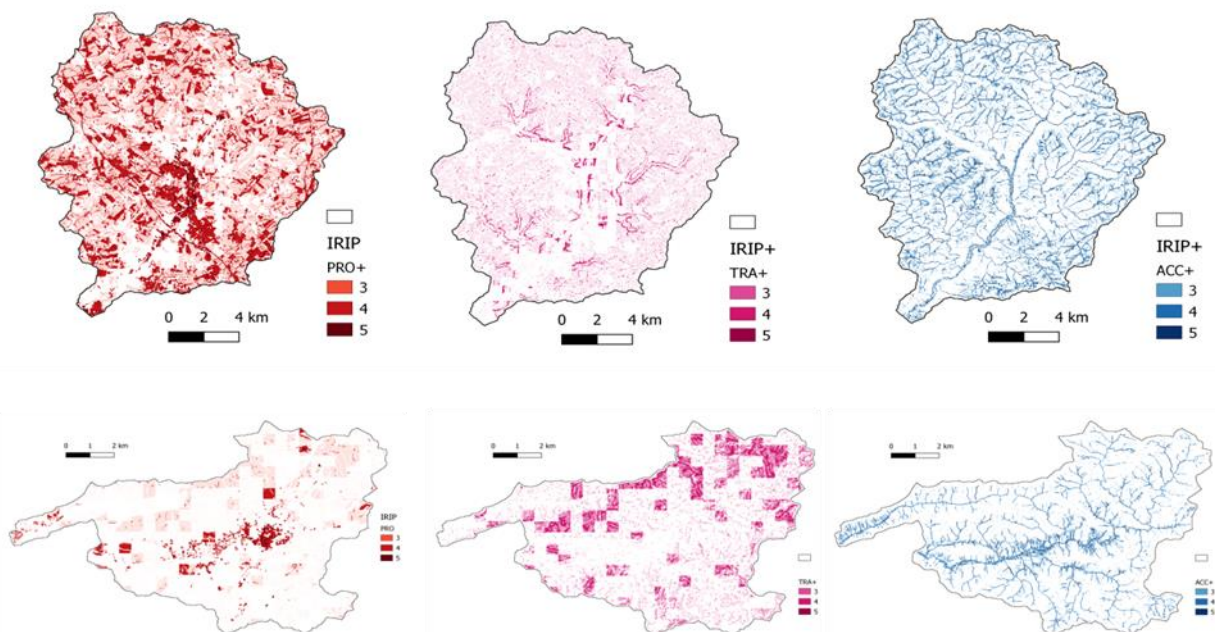


Figure 15 : Répartition spatiale des niveaux 3, 4 et 5 de susceptibilité au ruissellement de la méthode IRIP sur les deux bassins examinés

Des études antérieures ont montré que la valeur du seuil choisie entre 0 et 5 pour caractériser l'aléa fort induit des rapports d'efficacité variables d'un territoire à un autre (cf. étude sur les aléas transfert et accumulation sur huit HydroEcoRégions, Figure 16). Les HydroEcoRégions (HER) sont des ensembles caractérisés par leurs caractéristiques climatiques et géologiques qui font sens comme facteurs explicatifs du ruissellement. Ces résultats n'ont malgré tout pas valeur de statistique car il faudrait tester plusieurs territoires au sein d'une même HER. Cela permet cependant de juger de niveaux d'aléas différents à considérer entre les HERs (Figure 16, gauche) pour atteindre ou dépasser un rapport d'efficacité de 4 (Figure 16, droite). Néanmoins on retient pour les deux bassins tests, en l'absence d'archives de dégâts constatés, que les niveaux 3, 4 et 5 garantissent un rapport d'efficacité supérieur à 4 et qu'ils permettent d'isoler les secteurs à risque.

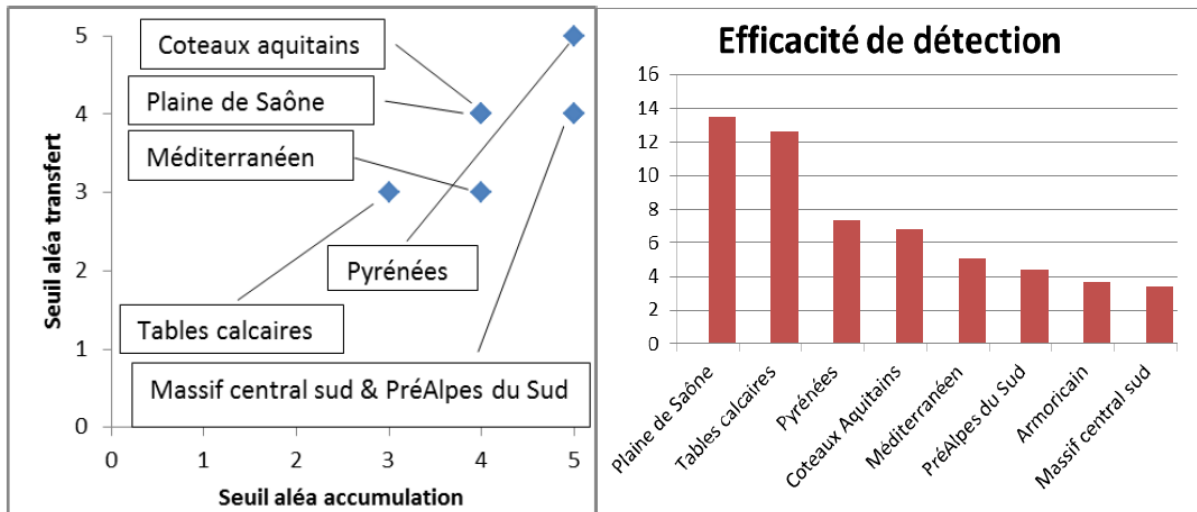


Figure 16 : Evaluation de la capacité de détection des vérités terrain par la méthode IRIP dans huit HydroEcoRégions (rapport de l'action SNRH 414, 2018)

7 Comparaison des approches SHYREG et IRIP

Les deux méthodes présentées sont basées sur des principes totalement différents. Si l'on veut résumer, la méthode SHYREG part des débits observés pour fournir une information spatiale après régionalisation (obtenue en partie à l'aide de variables environnementales) et la méthode IRIP part de variables environnementales pour estimer les facteurs propices à l'écoulement.

Les deux méthodes se rejoignent pour l'instant dans l'estimation de zones productives :

- obtenues à partir des débits pour SHYREG,
- obtenues à partir de caractéristiques morphométriques des bassins pour IRIP.

Les deux approches partagent le caractère relatif du ruissellement : distribution interne des zones propices au ruissellement axé conditionnellement à l'aléa (SHYREG) et aux impacts constatés et à la vulnérabilité/ au danger (IRIP). Les scores sont conditionnés à l'échelle de travail. Elles sont comparées sur la notion de production qu'elles partagent.

Pour le modèle SHYREG, le paramètre S_0/A représente le mieux cette production. Il définit le taux de remplissage initial du réservoir de production au début d'un événement pluvieux significatif (plus de 20 mm journalier). Une valeur moyenne, basée sur des statistiques de réalisations interannuelles, est proposée selon les deux saisons. Ce paramètre évolue au cours du temps lorsque le réservoir se remplit avec la pluie. Il varie entre 0 et 1 et informe à chaque pas de temps la part de la pluie participant au ruissellement. Cette partie est donnée par le carré de la valeur de $S(t)/A$ (p.m. Figure 8, page 15). Par exemple, avec une valeur initiale du paramètre de $S(t=0)/A = S_0/A = 0,5$, une pluie de 10 mm provoquera un ruissellement de 2,5 mm. Les 7,5 mm complémentaires ne participant pas au ruissellement vont remplir le réservoir A dont le taux de remplissage passera de $S(0)/A$ à $S(1)/A$. Au deuxième pas de temps le coefficient de ruissellement sera alors un peu plus fort.

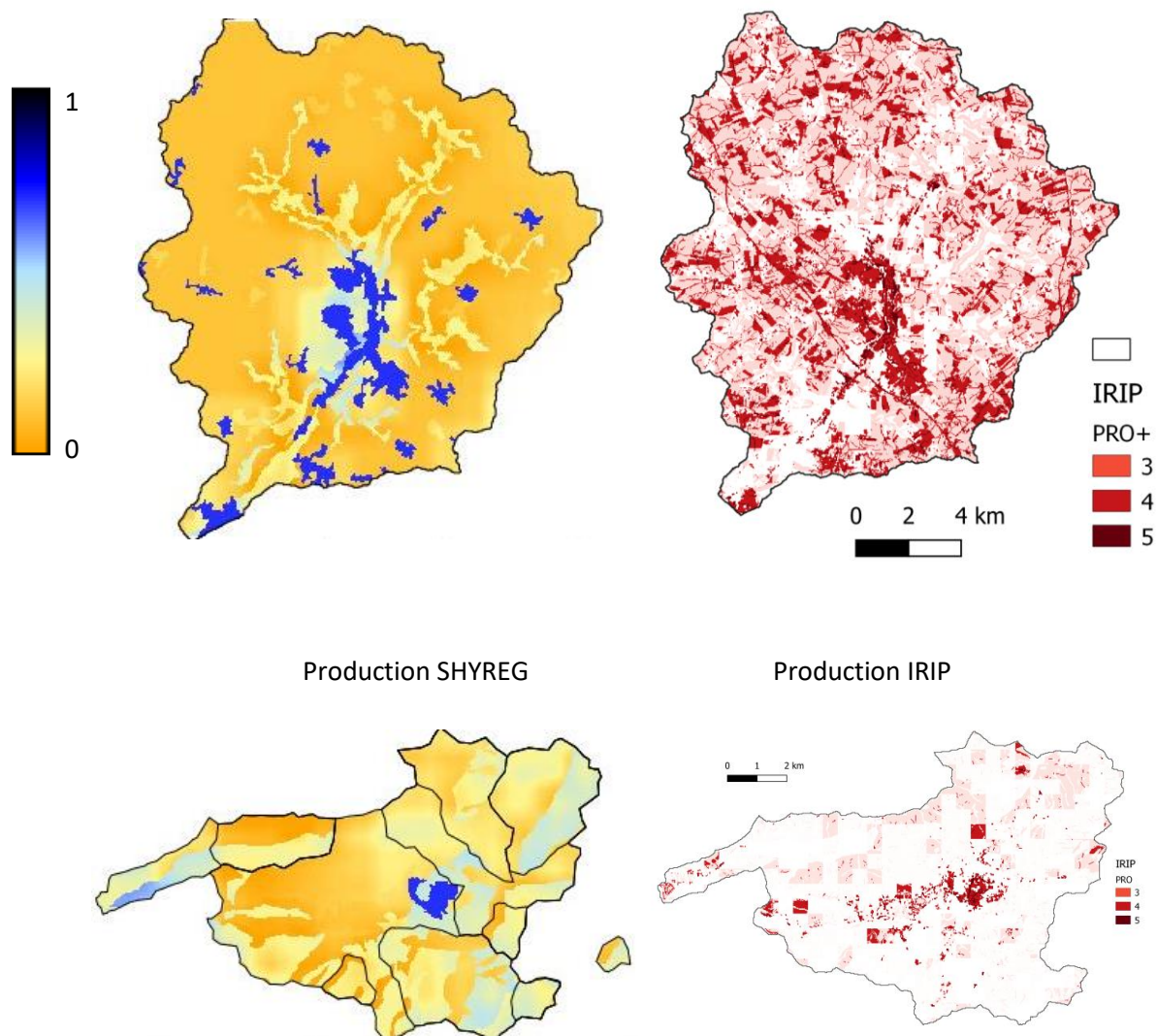


Figure 17 : « Production » : à gauche la carte du paramètre de production de SHYREG (S0/A) à la résolution 50 m et à droite la carte de l'indice « Production » de la méthode IRIP à la résolution 25 m

La comparaison des cartes (Figure 17) n'a pas de sens à l'échelle des pixels car chaque méthode propose une variabilité fine de leurs paramètres, imposée par un *a priori* de facteurs liés à la production. On peut cependant comparer les tendances proposées par les deux méthodes à travers le calcul de paramètres moyens.

On observe que pour la méthode SHYREG, le bassin versant du Réal Collobrier est plus productif que le bassin versant de l'Austreberthe (valeurs du paramètre S0/A plus fortes). Cela est d'ailleurs encore plus marqué si l'on regarde le paramètre de la saison « Hiver » (Figure 10).

La méthode IRIP présente en moyenne des indices de production plus faibles pour le bassin du Réal Collobrier que sur le bassin de l'Austreberthe. La méthode IRIP révèle cependant d'autres zones à fort potentiel de production (niveaux 4 et 5) qui prennent en compte les caractéristiques de battance, réserve utile et capacité d'infiltration comparée à la pluie de période de retour 30 ans sur 1 heure. La différence entre les deux bassins tient à la proportion de terre arables et 77% de sol battants de

l'Austreberthe alors que les forêts et végétation arides dominant dans le Réal Collobrier avec seulement 29% de sol battant.

La divergence entre les deux méthodes, et pour ces deux bassins versants aux climats et aux occupations des sols contrastés, vient sûrement de ce que représente l'information « production » dans chacune des deux méthodes. Pour la méthode SHYREG, le paramètre de production peut être assimilé à un coefficient de ruissellement (non linéaire) à appliquer à la pluie pour produire des débits. Les valeurs de ces paramètres sont liées à un calage spécifique à chaque bassin versant jaugé pour respecter la relation pluie-débit générale du bassin versant qui met en relation les pluies et les débits résultant. Pour la méthode IRIP, la relation pluie-débit n'est pas étudiée car il n'y a pas de débits mesurés en versant. La cartographie du paramètre de production en cinq niveaux de potentiel nul à très fort est obtenue par un score équi-pondéré entre des caractéristiques spatialisées du sol et de son occupation. Le choix du niveau de potentiel peut être réalisé à partir de la détection des dommages liés aux phénomènes provoqués par le ruissellement, quand cette information est disponible. Il ne s'agit pas d'un calage au sens d'une optimisation de paramètres à la différence de la méthode SHYREG.

Les deux méthodes sont très différentes et visent à répondre à des questions différentes. Il est donc compréhensible que les cartographies ne soient pas directement comparables.

Enfin, on retrouve sur les deux méthodes la présence des zones urbaines comme étant des zones de forte production. Cette information est imposée dans les deux méthodes, il est donc normal de la retrouver dans la cartographie.

8 Conclusion

Des représentations et des méthodes de validation différenciées du ruissellement intense

L'étude présentée ici, menant en parallèle la mise en œuvre des méthodes SHYREG et IRIP sur deux bassins particuliers, montre les différences entre les deux méthodes. Ces différences proviennent des objectifs différents que visent les deux méthodes :

- Dans la méthode SHYREG, la cartographie proposée est liée à une représentation de la capacité des versants à produire un ruissellement d'eau qui va ensuite alimenter le réseau hydrographique par accumulation le long du réseau de drainage. On estime donc une contribution quantitative (valeur et période de retour) du versant (représentée par un pixel) à produire un flux d'eau relativement à la pluie qu'il peut recevoir. La spatialisation du ruissellement dans les versants résulte ici d'une hypothèse de redistribution des débits de crue mesurés dans le cours d'eau.
- Dans la méthode IRIP, la cartographie proposée est liée à une représentation des zones propices à engendrer des phénomènes liés au ruissellement (érosion, coulée de boue, inondation, etc.). Cette information n'est pas quantitative mais ordinale, l'objectif étant de mettre en évidence les situations à risques où des études hydrologiques plus fines seraient à développer. La spatialisation du ruissellement repose d'abord sur la contingence de facteurs propices à ce processus puis sur l'évaluation de la contingence entre des dégâts observés hors débordement de cours d'eau et les mailles (pixels) à fort potentiel de ruissellement. La

validation repose sur des observations faites en versant. La méthode IRIP ne se limite pas à la carte de production mais apporte aussi une information qualitative sur les aléas associés aux processus de transfert, érosion, et accumulations liquide et solide.

Entre les deux méthodes, peu de similitudes permettent la comparaison, leurs objectifs, hypothèses, principes et données d'évaluation en particulier n'étant pas les mêmes. Cependant la spatialisation de la métrique de production peut être un point de comparaison possible des deux méthodes. La distribution spatiale du paramètre de production SO/A de la méthode SHYREG est alors mis en regard du paramètre de production de la méthode IRIP. On représente alors sur les cartes de la Figure 17 le paramètre de production de SHYREG (SO/A Été) et l'indice de production d'IRIP.

Ces méthodes sont donc différentes sur le plan des hypothèses, leurs principes d'évaluation, le type d'information produite **et par là-même complémentaires**.

Précautions d'usage

Dans la méthode SHYREG, on garantit une cohérence entre la modélisation réalisée sur l'ensemble des pixels contenus dans un bassin versant jaugé et l'observation des débits que ce bassin produit. Cela veut dire qu'à partir de l'information des pluies, le ruissellement généré sur les pixels puis son agrégation (transfert) jusqu'aux exutoires jaugés permet de retrouver les quantiles observés. Cela est-il suffisant pour garantir que la modélisation du ruissellement aux pixels kilométriques est pertinente ?

- Oui de façon moyenne : les pixels de deux bassins ayant des comportements hydrologiques différents sont en moyenne représentatifs du fonctionnement de ces deux bassins.
- Et non de façon précise : on ne sait pas comment les débits varient réellement entre deux pixels car cette information n'existe pas. L'exemple donné par des observations sur de très petits bassins versants voisins comme ceux du Réal Collobrier (1 km²), montre des variations d'écoulement de 1 à 4 inexplicables par des caractéristiques géomorphologiques classiques.

On essaye généralement au moins d'expliquer la variabilité des paramètres hydrologiques globaux avec des variables environnementales moyennées sur le bassin. Là encore les travaux sur la régionalisation montrent qu'il est très difficile de trouver une corrélation entre les paramètres hydrologiques et les variables environnementales.

Dans la méthode IRIP, le ruissellement est induit par des pluies locales intenses et la méthode ne se préoccupe pas si la résultante en débit est une crue notable plus en aval.

Dans ce cas il est très difficile de pouvoir expliquer la variabilité spatiale des zones de production et donc de ruissellement à l'intérieur des bassins versants. La seule information disponible reste celle du comportement moyen sur le bassin versant, permettant d'expliquer l'observation hydrologique mesurée sur le réseau des stations hydrométriques. La prise en compte de la variabilité spatiale de la pluie est déjà une réponse prise en compte par les approches distribuées comme SHYREG.

Les cartes produites par la méthode IRIP sont validées dans le contexte de huit HydroEcoRégions (HER) sur 22 (Figure 16, page 23). Il est observé des taux d'efficacité de la détection des incidents géo-localisés qui varie de 4 à 14, et des seuils d'aléas en transfert et en accumulation qui diffèrent aussi

selon les HER testées. Cela montre un caractère régional des déterminants du ruissellement intense qui peut dépendre des caractéristiques au sol mais aussi des caractéristiques des pluies intenses de ces régions. Enfin, la nature des données d'incidents utilisées selon les régions peut influencer ce caractère régional. Il faut garder à l'esprit que l'évaluation et la validation des cartes s'est faite avec le MNT 25 m de l'IGN et une zone buffer de 50 m autour des zones ou points traduisant un impact du ruissellement. L'usage des cartes IRIP en transfert et accumulation doit d'une manière générale faire l'objet d'un « calage » local pour choisir les seuils significatifs à partir de données d'incidents autant sur les infrastructures et habitations que les zones agricoles.

Avec un MNT de 25m, la méthode IRIP ne prend pas en compte les petits ouvrages (terrassement et hydraulique). Hors la présence de ces ouvrages peut expliquer la redirection ou le stockage du ruissellement. Il faut donc regarder l'information IRIP en fonction de ces éléments qui peuvent être des traitements géomatiques à compléter par des contrôles terrain.

On peut imaginer que si la caractérisation des situations à risque est possible avec le MNT 25m, des données lidar d'ordre métrique, acquises sur ces zones à risque, permettront d'intégrer directement les ouvrages dans le schéma de drainage de IRIP. Une évaluation avec un MNT de 5 m a donné de bons résultats (Lagadec, 2017) mais rien n'a été testé pour l'instant avec un MNT plus fin de 1 m, sachant que la précision sur l'altitude s'améliore avec la finesse de la maille du MNT.

Perspectives de recherche

Dans la méthode IRIP, la manifestation du ruissellement intense est traduite par les cartes de transfert et d'accumulation. La comparaison des cartes IRIP avec les cartes de flux d'eau de SHYREG (vitesse et hauteur) serait intéressante à conduire.

Dans les deux méthodes, ce sont les *a priori* dans la désagrégation à fine échelle qui les distinguent (phénomène de battance prise en compte ou non, niveau d'expertise injectée, hypothèses, etc.). Cette désagrégation est un enjeu partagé par les deux méthodes.

Pour la méthode SHYREG, un travail de thèse débutant en octobre 2019 va s'atteler à cette question pour affiner la résolution spatiale de la méthode SHYREG. Ce travail portera essentiellement sur trois axes:

- La recherche de nouvelles observations exploitables (quantitatives mais aussi qualitatives) pour étudier la variabilité des écoulements. L'objectif est d'avoir des indicateurs supplémentaires qui permettent de contraindre l'optimisation de façon locale ou régionale. Ces informations doivent aussi permettre la validation à petites échelles des hypothèses de modélisation proposées, en particulier en jouant sur les échantillonnages des bassins de calage et de validation.
- La recherche de relations significatives entre les paramètres de la méthode et les caractéristiques physiographiques des bassins. C'est un point important pour espérer créer une variabilité des paramètres qui ait un sens « physique ». Ce point sera abordé par le calage de la méthode sur des bassins homogènes et de tailles réduites, ainsi que par la recherche d'un paramétrage *a priori* pertinent de certains paramètres fixés et de certaines zones. Une

typologie des classes d'occupation du sol en lien avec leur influence sur les écoulements sera recherchée de façon la plus objective possible par des méthodes de classification.

- La réalisation d'un calage régional de la méthode permettra d'optimiser la désagrégation spatiale en l'incluant dans la phase de calage de la méthode. Le choix de l'optimisation sera guidé par l'objectif de « descente d'échelle », avec des critères basés sur la cohérence « amont-aval » des débits modélisés. La prise en compte des incertitudes sur les données de calage sera aussi étudiée pour intégrer des données plus ou moins « certaines ».

Parmi les pistes de recherche et de collaboration envisagés, des tests l'utilisation des cartographies proposées par IRIP seront menés pour caractériser *l'a priori* nécessaire à la désagrégation spatiale de la méthode SHYREG.

Pour la méthode IRIP, l'amélioration des cartes et de leur valeur opérationnelle repose sur une plus grande exhaustivité des données d'incidents liées au ruissellement intense. Un projet de thèse en partenariat avec le CNES et l'ONERA est en cours de montage pour étudier la possibilité de détecter les traces du ruissellement juste après un événement et son effet long terme sur les biomasses végétales, cela du fait d'un transfert important de sol et d'éléments associés lors de ces phases de ruissellement intense. Une autre dimension de l'évaluation et de la caractérisation fréquentielle des aléas est celle de la répartition spatiale des pluies lors d'événements pluvieux intenses que l'on peut connaître via les lames d'eau radar produites par Météo-France. Cette donnée permet de revisiter des événements passés et d'évaluer les intensités-durées- fréquences (IdF) des pluies nécessaires au déclenchement des incidents au sol. Cela permet alors de restreindre l'aire d'évaluation des cartes IRIP aux zones ayant reçu une quantité de pluie nécessaire au déclenchement. Par ailleurs, la connaissance des IdF par maille kilométrique sur le territoire français permet d'intégrer la pluie d'une période de retour donnée dans la carte de production IRIP, ce qui relie la carte à une fréquence. Les IdF utilisés dans la méthode SHYREG, et qui reposent sur les observations des postes pluviométriques seront à comparer utilement aux IdF des données lames d'eau radar qui disposent d'une profondeur historique limitée à une dizaine d'années pour l'instant, mais offre l'avantage d'un pas minimal temporel de 5 minutes qui peut s'avérer intéressant pour des pluies orageuses.

9 Références bibliographiques

IRIP	SHYREG
Breil, P., 2018. Intérêt des zones humides pour la prévention des inondations par ruissellement. <i>Revue Science Eaux & Territoires</i> , GEMAPI : vers une gestion plus intégrée de l'eau et des territoires, 26, 62-65, 09/11/2018. Disponible en ligne sur <URL : http://www.set-revue.fr/interet-des-zones-humides-pour-la-prevention-des-inondations-par-ruissellement > (consulté le 06/07/2019), doi : 10.14758/SET-REVUE.2018.26.12	Arnaud, P., 2017. SHYREG : descente d'échelle et ruissellement. Rapport d'étude Irstea - DGPR: 25 pages.
Dali, N., Derradji, Z., Breil, P., 2018. Contribution to flood risk management by the IRIP method at the level of Gareat El Taref catchment, Constantine's highlands, North-East of Algeria. <i>Journal of Water & Land development</i> , 38 (7-9): 95–104.	Arnaud, P., Cantet, P., Aubert, Y., 2016. Relevance of an at-site flood frequency analysis method for extreme events based on stochastic simulation of hourly rainfall. <i>Hydrological Sciences Journal</i> , 61(1): 36-49.
Dehotin, J., Breil, P., 2011. Rapport technique du projet IRIP: Cartographie de l'aléa inondation par ruissellement. Irstea.	Arnaud, P., Dehotin, J., 2011. Méthodes d'estimation de l'aléa "ruissellement" - Comparaison des méthodes SHYREG et IRIP. IRSTEA.
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. <i>Journal of Hydrology</i> , 525: 113–129.	Arnaud, P., Lavabre, J., 2002. Coupled rainfall model and discharge model for flood frequency estimation. <i>Water Resour. Res.</i> , 38(6): 1075-1085.
Dehotin, J., Chazelle, B., Laverne, G., Hasnaoui, A., Lambert, L., Breil, P., Braud, I., 2015. Mise en œuvre de la méthode de cartographie du ruissellement IRIP pour l'analyse des risques liés aux écoulements sur l'infrastructure ferroviaire. <i>La Houille Blanche</i> , 6: 56-64.	Arnaud, P., Lavabre, J., 2010. Estimation de l'aléa pluvial en France métropolitaine. QUAE, Paris. Update Sciences & Technologies, 158 pages.
Fressignac, C., Breil, P., Matillon, Y., Nullans, A., Chazelle, B., Sarrazin, B., Vallod, D., 2016. Assurer la maîtrise du ruissellement grâce aux zones humides au voisinage des infrastructures de transport dans une perspective de conservation de la biodiversité. <i>VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement</i> [En ligne], Hors-série 24 juin 2016, mis en ligne le 10 juin 2016. URL : http://journals.openedition.org/vertigo/17406 ; DOI : 10.4000/vertigo.17406	Aubert, Y., Arnaud, P., Ribstein, P., Fine, J.-A., 2014. The SHYREG flow method—application to 1605 basins in metropolitan France. <i>Hydrological Sciences Journal</i> , 59(5): 993-1005.
Hasnaoui, A., 2013. Utilisation de la méthode Irip pour l'estimation des débits des petits bassins versants non jaugés (rapport de stage de fin d'étude), SNCF, Projets Systèmes Ingénierie.	Cantet, P., Arnaud, P., 2014. Extreme rainfall analysis by a stochastic model: impact of the copula choice on the sub-daily rainfall generation. <i>Stochastic Environmental Research and Risk Assessment</i> , 28(6): 1479-1492.
Lagadec, L.-R., 2017. Evaluation et développement de la méthode IRIP de cartographie du ruissellement. Application au contexte ferroviaire. Thèse Univ. Grenoble Alpes.	Kochanek, K. <i>et al.</i> , 2014. A data-based comparison of flood frequency analysis methods used in France. <i>Natural Hazards and Earth System Sciences</i> , 14: 295-308, doi:10.5194/nhess-14-295-2014
Lagadec, L.-R., Braud, I., Breil, P., Chazelle, B., Moulin, L., accepté. Présentation et évaluation d'une méthode de cartographie du ruissellement pour améliorer la gestion des risques liés à l'eau sur les voies ferrées. Article du Congrès Lambda Mu 19 de Maîtrise des Risques et Sécurité de Fonctionnement. Dijon 21-23 oct. 2018, France https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02072678	Lang, M. <i>et al.</i> , 2014. Résultats du projet ExtraFlo (ANR 2009-2013) sur l'estimation des pluies et crues extrêmes. <i>La Houille Blanche</i> , 2(2014): 5-13.
Lagadec, L.R., Breil, P., Chazelle, B., Braud, I., Moulin, L., 2016. Use of post-event surveys of impacts on railways for the evaluation of the IRIP method for surface runoff mapping, FLOODRisk, E3S Web Conf. 7 10005, 17-21 October 2016, doi: 10.1051/e3sconf/20160710005.	Odry, J., 2017. Prédétermination des débits de crues extrêmes en sites non-jaugés - Régionalisation de la méthode par simulation SHYREG. Thèse, Aix-Marseille-Université.
Lagadec, L.-R., Moulin, L., Braud, I., Chazelle, B., Breil, P., 2018. A surface runoff mapping method for optimizing risk analysis on railways. <i>Safety Science - Special issue: Railway Safety</i> , https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01549762/document , doi: 10.1016/j.ssci.2018.05.014	Organde, D. <i>et al.</i> , 2013. Régionalisation d'une méthode de prédétermination de crue sur l'ensemble du territoire français : la méthode SHYREG. <i>Revue des sciences de l'eau</i> , 26(1): 65-78.

<p>Lagadec, L.-R., Patrice, P., Chazelle, B., Braud, I., Dehotin, J., Hauchard, E., Breil, P., 2016. Description and evaluation of an intense surface runoff susceptibility mapping method. <i>Journal of Hydrology</i>, 541, doi: 10.1016/j.jhydrol.2016.05.049</p> <p>Poulard, C., Royet, P., Leblois, E., Faure, J.-B., Breil, P., Proust, S., Deroo, L. (2017). Gérer des inondations par des ouvrages dispersés sur le bassin versant : principes et méthodes de diagnostic d'efficacité probabiliste. <i>Sciences Eaux & Territoires</i>, 23(2): 34-41.</p>	
---	--

10 Annexes



Groupe de travail ruissellement

Fiche de renseignement modèle

Cette fiche est destinée à synthétiser les principales caractéristiques d'un modèle, avec notamment son utilisation potentielle, ses avantages et ses inconvénients. En principe, une fiche doit être consacrée à un seul modèle. Cependant, si une famille de modèles peut être décrite plus facilement dans une seule fiche, en présentant les caractéristiques communes (très majoritaires) et les nuances (légères) qui différencient les membres de la famille, une seule fiche peut être utilisée. L'ensemble de la fiche restera de préférence dans la limite de quatre pages.

Dénomination	Méthode SHYREG
Auteur/propriétaire / porteur	Irstea Centre d'Aix-en-Provence / Patrick Arnaud
Distribution (gratuit, payant, open-source, limitations d'utilisations éventuelles...)	<ul style="list-style-type: none"> • Gratuit pour les services de l'état • Licence gratuite sous condition pour les bureaux d'étude • Distribution des résultats nationaux sur site web • Notice utilisateur + code de confiance
Langage de programmation et type de plate-forme	<ul style="list-style-type: none"> • Développement : Fortran, R • Diffusion des résultats : site web
Temps de calcul (donner une information sur le calculateur utilisé)	Résultats pré-calculés
Type (pluie-débit uniquement, hydraulique, couplé, autre)	<ul style="list-style-type: none"> • Pluie (simulateur d'événements) • Pluie-débit (pour la génération de crues et statistiques associées)
Résolution (global, semi-distribué, distribué, point de grille...)	Distribué <ul style="list-style-type: none"> • Calage : 1 km² • Simulation : 50 m voire inférieur
Données en entrée	<ul style="list-style-type: none"> • Pluies : 3000 postes MF pour le calage, puis simulation de pluie à l'échelle de 1 km² • Débits : 1900 stations de la Banque Hydro pour le calage • Couches SIG d'occupation du sol (cartographie du paramètre hydrologique) • Directions d'écoulement (pour l'agrégation sur le réseau hydrographique) à différentes résolutions
Processus physiques pris en compte dans le modèle (i.e. réalisme physique du modèle)	<ul style="list-style-type: none"> • La pluie dans son aspect temporel • Le ruissellement (partie de la pluie faisant le débit d'un cours d'eau) • L'accumulation sur le réseau hydrographique et l'abatement spatial
Paramètres en sortie (hauteurs, débits, périmètres inondés...)	<ul style="list-style-type: none"> • Débits sur la maille de calcul (débits spécifiques) • Débits cumulés sur le réseau de drainage. • Incertitudes associées • Domaine national
Potentiel d'utilisation pour des applications opérationnelles	<ul style="list-style-type: none"> • CATNAT, PPRi, TRI, dimensionnement d'ouvrages hydrauliques (barrages) • Information hydrologique en sites non jaugés.
Exemples d'utilisation opérationnelle ou, à défaut, R&D (service, type d'usage...)	La base SHYREG est diffusée sur un site web pour fournir des informations hydrologiques aux services déconcentrés du MTES. A été couplé avec Cartino
Évaluations réalisées (protocoles, conclusions)	Méthode a été validée lors du projet ANR Extraflo pour l'estimation des pluies et des crues courantes à extrêmes, en sites jaugés et non jaugés.
Types de bassins modélisés de manière satisfaisante	<ul style="list-style-type: none"> • Bassins naturels de tailles petites à moyenne (moins de 5000 km²) • Domaine : France métropolitaine, Corse, DOM

Types de bassins plus difficilement modélisés	Bassins karstiques, bassins influencés (barrages), forte composante nivale, bassins avec de larges champs d'expansion des crues (fort laminage)
Améliorations prévues	<ul style="list-style-type: none"> • Descente d'échelle • Bassins à hydrologie particulière (voir ci-dessus)
Principaux articles publiés	<ul style="list-style-type: none"> • Arnaud, P., Cantet, P., Odry, J. (2017) Uncertainties of flood frequency estimation approaches based on continuous simulation using data resampling, <i>Journal of Hydrology</i> 554(2017) 360-369, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.01 (<i>incertitudes</i>) • Arnaud P., Cantet P., Aubert Y. (2016) Relevance of an at-site flood frequency analysis method for extreme events based on stochastic simulation of hourly rainfall. <i>Hydrological Sciences Journal</i> DOI:10.1080/02626667.2014.965174 (<i>performances</i>) • Kochanek K., Renard B., Arnaud P., Aubert Y.(*), Lang M., Cipriani T., Sauquet E. (2014) A data-based comparison of flood frequency analysis methods used in France. <i>Natural Hazards and Earth System Sciences</i>, 14, 295-308. DOI: 10.5194/nhess-14-295-2014. (<i>performances</i>) • Odry J., Arnaud P. (2017) Comparison of flood frequency analysis methods for ungauged catchments in France. <i>Geosciences</i> 2017, 7, 88; doi:10.3390/geosciences7030088 (<i>mise en oeuvre régionale</i>) • Aubert Y, Arnaud P., Ribstein P., Fine J.-A. (2014) La méthode SHYREG débit - application sur 1605 bassins versants en France Métropolitaine. <i>Hydrological Sciences Journal</i>, 59 (5) 2014, 993-1005. DOI: 10.1080/02626667.2014.902061 (<i>mise en oeuvre régionale</i>) • Cantet P., Arnaud P. (2014) Extreme rainfall analysis by a stochastic model : impact of the copula choice on the sub-daily rainfall generation. <i>Stochastic Environmental Research and Risk Assessment</i>. 28 (6) 1479-1492. DOI 10.1007/s00477-014-0852-0 (<i>générateur de pluie</i>) • Arnaud P., Fine J.A. and Lavabre J., 2007. An hourly rainfall generation model adapted to all types of climate. <i>Atmospheric Research</i>, 85 (2) 230-242 (<i>générateur de pluie</i>) • Arnaud P., Lavabre J., Sol B. et Desouches Ch. (2008) Regionalization of an hourly rainfall generating model over metropolitan France for flood hazard estimation. <i>Hydrological Sciences Journal</i>, 53 (1) 34-47 (<i>générateur de pluie</i>)
Autres informations	

Groupe de travail ruissellement

Fiche de renseignement modèle

Cette fiche est destinée à synthétiser les principales caractéristiques d'un modèle, avec notamment son utilisation potentielle, ses avantages et ses inconvénients. En principe, une fiche doit être consacrée à un seul modèle. Cependant, si une famille de modèles peut être décrite plus facilement dans une seule fiche, en présentant les caractéristiques communes (très majoritaires) et les nuances (légères) qui différencient les membres de la famille, une seule fiche peut être utilisée. L'ensemble de la fiche restera de préférence dans la limite de quatre pages.

Dénomination	<p>IRIP : Indicateur du ruissellement Intense Pluvial</p> <p>Vocation : mettre en relief de manière rapide dans un territoire les zones les plus susceptibles de provoquer des aléas liés au ruissellement intense dans les versants et les talwegs. Concerne les événements de ruissellement liés à des pluies intenses de quelques kilomètres carrés et sans connexion systématique avec les cours d'eau.</p>
Auteur/ propriétaire / porteur	<ul style="list-style-type: none"> - Auteurs : Dehotin et Breil (2011) - Propriété intellectuelle de la méthode : Irstea - Propriétaire du logiciel IRIP avec interface utilisateur : SNCF - Porteurs : Irstea pour la recherche et SNCF pour ses besoins propres.
Distribution (gratuit, payant, open- source, limitations d'utilisations éventuelles...)	<p>Actuellement en usage limité aux applications recherche et développement et missions d'appui aux services de l'État.</p> <p>En étude une version libre fonctionnant en ligne sur internet, permettant d'extraire sa zone d'étude à partir des couches d'entrée générales (MNT, infosol, CLC) ou de données plus précises ainsi que les données d'évaluation-calage à déposer dans une base Irstea et servant de ressource pour continuer l'amélioration d'IRIP.</p>
Langage de programmation et type de plate-forme	<ul style="list-style-type: none"> - Développement : Python - Résultats : cartes au format raster exploitables par tout SIG pour post-traitements.
Temps de calcul (donner une information sur le calculateur utilisé)	<p>Dans la version actuelle, le calcul est réalisé sur PC en 32 bits. Le temps de calcul dépend de la quantité de mailles (surface territoire / résolution du raster). A titre indicatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - MNT 10Mo, 50Mo, 130 Mo -> Temps de calcul : env.10min, 45mn, 120mn. - La France entière a été traitée à la maille de 25m en 244 sous bassins et environ 180 min chacune.
Type (pluie- débit uniquement, hydraulique, couplé, autre)	<p>La donnée pluie-radar de Météo-France (maille kilométrique) a été caractérisée en PdF (Pluies-durées-Fréquences) par régionalisation géostatistique en 2017. La méthode IRIP utilise cette donnée dans les couches d'entrée en comparant par exemple la quantité de pluie sur une 1 heure pour T=30 ans à celle de la capacité . La comparaison des avec qui permet de filtrer les mailles de la carte de production qui ruissellent pour cette période de retour. On obtient alors des cartes de ruissellement intense qualifiées en période de retour. A l'expérience des cas de terrain étudiés, une période de retour \geq à 30 ans est nécessaire pour générer des dégâts liés au ruissellement intense.</p>

Résolution (global, semi-distribué, distribué, point de grille...)	Modèle distribué - La résolution est similaire à la maille du MNT en donnée d'entrée (métrique avec lidar , 5, 25 ou 30 m selon source IGN, Aster,...).	
Données en entrée	<ul style="list-style-type: none"> - MNT - Données pédologiques ou/et géologiques - Occupation des sols - Réseaux linéaires : routes, voies ferrées, fossés, (optionnel) 	
Processus physiques pris en compte dans le modèle (i.e. réalisme physique du modèle)	Le modèle Irip utilise une logique hydrologique des écoulements selon un plan de drainage 8 directions calculé à partir du MNT. Les processus physiques sont résumés par 3 cartes qui expriment le potentiel à produire du ruissellement, le potentiel à transférer et le potentiel à accumuler, cela à partir de 5 facteurs favorables calculés sur le territoire d'étude pour chaque carte. Les potentiels transfert et accumulation dépendent de celui de la production.	
Paramètres en sortie (hauteurs, débits, périmètres inondés...)	Les potentiels sont exprimés par des scores de 0 à 5 car un calcul numérique n'aurait pas de sens étant considéré les natures et les incertitudes en valeurs des différentes couches d'entrée du modèle (MNT, pédologie/géologie, OS avec effets saisonniers des cultures). Les combinaisons des trois cartes permettent de chaîner les trajectoires du ruissellement et selon les potentiels traversés, de cartographier les types d'aléas associés.	
Potentiel d'utilisation pour des applications opérationnelles	<ul style="list-style-type: none"> -Diagnostic de territoire pour pré-ciblage rapide des zones les plus sensibles au ruissellement intense et cartographie du risque; permet de cibler des études plus fines avec données plus précises et modèles de simulation plus physiques pour dimensionner des ouvrages. -Priorisation des zones d'action de lutte contre l'érosivité et l'accumulation du ruissellement mais aussi pour la réduction de la production du ruissellement intense ; -Identification des zones pour la redirection des axes de transfert créant une situation de risque pour l'aval (coulée de boue, submersion, dépôt en masse) -Délimitation des zones humides potentielles pouvant servir de protection contre les aléas du ruissellement intense (démarche GEMAPI) à même d'impacter des des éléments vulnérables en aval (routes, bâti,..). 	
Exemples d'utilisation opérationnelle ou, à défaut, R&D (service, type d'usage)	<ul style="list-style-type: none"> - CATNAT (ex : Lucheux, Costaros-Goudet, Biot-Valauris) - PPRi (Lézarde, Grand Chalon) - TRI (Le Havre, Nantes) - Gestionnaires d'infrastructures linéaires (SNCF, routes) 	
Évaluations réalisées (protocole, conclusions)	<p>Le ruissellement intense se manifeste dans les versants et les talwegs où aucune mesure directe des flux d'eau et de matières ne peut être exploitée de manière statistique sur de grand territoire faute de données. C'est la raison de la « méconnaissance » des modèles hydrologiques sur ces processus de versant.</p> <p>Un dispositif de mesures dédiées a été réalisé pour évaluer IRIP sur un bassin expérimental de 8 km² (Dehotin et al., 2015) . Il a confirmé les processus physiques de ruissellement (zones de production, zone de transfert, zone d'accumulation) localisés par IRIP dans le bassin expérimental.</p> <p>En dehors de mesures directes, l'évaluation porte sur des données liées aux conséquences (coulées de boue, coupures d'axes de circulation), à des résultats d'observation et de modélisation de l'érosion (WaterSed, Rusl, Stream, Lisem), ou</p>	
-	Page 2 sur 5	GT ruissellement : fiche modèle

	<p>des vidéo prises durant les événements. Ces différentes possibilités ont été utilisées pour évaluer les cartes produites par la méthode IRIP depuis 2009 en différents points du territoire de la France métropolitaine. Les vidéos donnent accès à la dynamique du processus et confirment la succession des étapes production-transfert-accumulation (Biot, Vallauris, Lucheux).</p> <p>Le principe de l'évaluation repose sur la coïncidence géographique entre les mailles à fort potentiel de ruissellement (aléa fort) et les données liées aux manifestations du ruissellement (érosion coulée de boue, inondation, dépôts solides, impacts sur ouvrages,...). L'évaluation peut-être qualitative « par comparaison d'un phénomène observé à un type d'aléa prédit » - c'est alors une méthode de diagnostic a posteriori. L'évaluation peut être quantitative quand le nombre de données liées est suffisant pour développer des analyses basées sur des statistiques de contingence (bassin de l'Austreberthe, ligne SNCF) comme le Khi-2, le Phi et les métriques des matrices basées sur les vrais-faux positifs et les vrais-faux négatifs.</p> <p>En conclusion : Les résultats obtenus au travers des différentes approches menées sur différents bassins versants en France (Nord, Sud, Centre, Ouest) ont montré une réelle capacité de la méthode IRIP à prédire des contextes favorables aux impacts des aléas liés au ruissellement intense pluvial. Les prédictions sont d'autant meilleures que la vulnérabilité des éléments exposés est prise en compte (Thèse Lagadec, 2017). Le modèle IRIP et ses métriques d'efficacité sont adaptés à la nature des données d'entrées et des données d'évaluation.</p>
Types de bassins modélisés de manière satisfaisante	<p>Bassin périurbain de Biot – 10 km² - où les anciens villages construits sur les crêtes amplifient la production et déclenchent des coulées boueuses qui impactent les activités en vallée. Pluies intenses du 3 octobre 2015 – 109 mm en 2 h - bons recouvrements avec les coulées de boue recensées et avec les zones d'accumulation d'eau vues dans une vidéo tournée durant l'événement ;</p> <p>Bassin agricole de l'Austreberthe - 230 km² - (76) : 1376 incidents recensés par le syndicat de bassin dont 615 hors EAIP-CE. IRIP prédit 95% des incidents hors EAIP pour 21% de surface du bassin classé en fort potentiel de ruissellement . La combinaison IRIP-WaterSed prédit 88 % d'incidents pour 15 % du bassin. La zone EAIP couvre 11.8 % du bassin ;</p> <p>Versants essentiellement ruraux interceptés par ligne train Rouen-Le Havre sur 80 km (# 450 km²) (Thèse Irstea-SNCF de LR Lagadec, 2017) : 100 % de prédiction des 62 incidents sur 183 tronçons découpés selon leur vulnérabilité. La méthode prédit 30 % de faux positifs en plus (=risques prédits non observés).</p> <p>Bassin forêts-cultures de Lucheux (80) – Orage stationnaire du 7 juin 2016 – 92.6 mm en 1h15 - Saisine du préfet de la Somme pour évaluation de Lucheux en CatNat – Cartes IRIP en accord avec localisation des zones de production, genèse de la coulée de boue et nombreuse données terrain ainsi que vidéo tournée durant l'événement. (Breil et al., 2016).</p> <p>Bassin avec gradient rural à urbain de Vallauris (06) – Avec l'événement pluvieux intense du 3 octobre 2015 – 109 mm en 2 h – Interprétation des cartes IRIP colle avec données terrains et vidéo tournée durant événement, ce qui permet de comprendre l'enchaînement ruissellement d'origine urbaine puis rurale;</p> <p>Bassin agricole de la Lézarde (76) – recouvrement entre zonage érosion et aléa de transfert fort IRIP – recouvrement entre routes coupées lors d'un orage violent et les aléas forts de transfert et d'accumulation de IRIP. (Lagadec et al., 2015).</p> <p>Bassin forêts-prairies du Mercier (69) - dispositif métrologique expérimental d'évaluation des processus physiques mis à l'œuvre lors du ruissellement intense dans les différentes étapes (production, transfert, accumulation) vues par IRIP. Confirmation statistique. (Dehotin et al., 2015)</p>

Types de bassins plus difficilement modélisés	Sol et géologie très perméable dans bassin en forêt et prairies. Cas de Costeros et Goudet (Haute Loire, 43) – orage du 13 juin 2017 – 193 mm en 2h (« 3em record de France »)- communes passées en CatNat; La visite de terrain réalisée montre peu d'effet érosif en versants alors que les sols sont de faible épaisseur et vus par IRIP comme favorables au ruissellement. L'analyse de la géologie révèle des coulées de laves fissurées qui marquent le paysage par des « marches ». Une recherche bibliographique indique que les coulées de lave peuvent présenter une macro-porosité de fissure qui confère une perméabilité importante. Cela a favorisé le transfert rapide vertical puis latéral du ruissellement au contact de sous-couches, puis le drainage vers les talwegs qui ont eux fortement réagi. Cette information a permis d'améliorer les indicateurs à prendre en compte dans IRIP au niveau de la production. On peut maintenant dire que des pluies exceptionnelles n'impliquent pas systématiquement un ruissellement intense en versant, d'où l'intérêt d'une cartographie basée sur les caractéristiques au sol.	
Améliorations prévues	<ul style="list-style-type: none"> - Version en ligne en usage libre associée à base de données incidents - Amélioration de la vitesse de calcul - Utilisable avec projection WGS 84 pour collaborations internationales 	
Principaux articles publiés	<p>- Dehotin J., Chazelle B., Laverne G., Hasnaoui A., Lambert L., Breil P., Braud I. (2015) Mise en oeuvre de la méthode de cartographie du ruissellement IRIP pour l'analyse des risques liés aux écoulements sur l'infrastructure ferroviaire. La Houille Blanche, n° 6, 2015, p. 56-64. https://www.shf-lhb.org/articles/lhb/abs/2015/06/lhb20150069/lhb20150069.html</p> <p>- 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</p> <p>- Fressignac C., Breil P., Matillon Y., Nullans A., Chazelle B., Sarrazin B., Vallod D. (2016). Assurer la maîtrise du ruissellement grâce aux zones humides au voisinage des infrastructures de transport dans une perspective de conservation de la biodiversité. La revue électronique en sciences de l'environnement. http://vertigo.revues.org/17406</p> <p>- Lagadec L.R., Patrice P., Braud I., Chazelle C., Moulin L., Dehotin J., Hauchard E., Breil P. (2016). Description and evaluation of a surface runoff susceptibility mapping method. Journal of Hydrology, Volume 541, Part A, October 2016, Pages 495–509 ; http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216941630316X</p>	
Autres informations	<p>Fin 2016 et durant 2017 un travail de test de complémentarité des modèles IRIP(Irstea) et WaterSed (BRGM) a été réalisé. Ce test a mis en évidence sur 3 bassins versants différents la convergence des cartographies au sens de la production du ruissellement, des zones d'érosion en versant et en ravine et des zones d'accumulation d'eau et de sédiment. Une proposition d'avenir consiste à utiliser WaterSed sur les secteurs identifiés à risque par IRIP (aléas ruissellement intense IRIP X vulnérabilités) pour développer des études de faisabilité d'aménagements et d'ouvrages.</p> <p>Par ailleurs il est vérifié sur le bassin de l'Austreberthe que les combinaisons des cartes IRIP-WS permettent d'atteindre de très bon niveaux de détection, cela avec des surfaces contributives au ruissellement proches de celle de l'EAIP-CE.</p> <p>L'utilisation de données sols plus appropriées (European Soil Data Center) et le calcul de facteurs dérivés de ruissellement plus stables ont aussi permis d'améliorer les cartographies et les taux de détection. La prise en compte de la vulnérabilité a permis d'atteindre des taux de détection des impacts très performants sur le réseau ferré.</p> <p>On peut aujourd'hui conclure qu'IRIP peut servir à mettre en relief les zones à forts aléas de ruissellement intense dans un territoire. Les niveaux de potentiel à conserver doivent s'appuyer sur différentes sources d'informations locales déjà utilisées en évaluation avec IRIP, comme les zonages érosion, les fréquences des déclarations CatNat, les bases de données incidents (coupures de routes,..). De là, il est possible de développer l'étude de risques.</p>	
-	Page 4 sur 5	GT ruissellement : fiche modèle



Irstea

1, rue Pierre-Gilles de Gennes - CS 10030
92761 Antony Cedex
tél. +33 (0)140966121
fax +33 (0)140966225
www.irstea.fr