



**PRÉFET
COORDONNATEUR
DU BASSIN
SEINE-NORMANDIE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ALÉA RUISSELLEMENT

Guide méthodologique des outils existants d'évaluation

Bassin Seine-Normandie



Composition du groupe de travail

Marjorie ANDRE (EPTB Entente Oise-Aisne), Pierre BRETAUDEAU (Métropole du Grand Paris), Léa MENARD (Métropole du Grand Paris), Sandrine CRISCIONE (SyAGE), Jean-Michel HELMER (DRIEAT), Emmanuel FERREY (DDT 95), Daniela CALVAR (SMSO), Philippe SMELA (DDTM 27), Benoît GAUTHIER (Syndicat du Bassin du Serein), Delphine CLEMENT (Le Havre Seine Métropole), Wendy GUILBAUD (EPTB Seine Grands Lacs), Guillaume HAMON-MARIE (EPTB Seine Grands Lacs), Frédéric GACHE (EPTB Seine Grands Lacs), Claire BEYELER (Métropole du Grand Paris), Sandrine BENEZET (CD 94), Léa BOUGUYON (CD 94), Rémi SOAVE (CD 94), Nicolas Gérard CAMPHUIS (CEPRI), Olivier CHARDAIRE (DRIEAT), Stéphane CHEDEVILLE (Le Havre Seine Métropole), Clémence HOUZÉ (SIARCE), Joseph NICOLAS (SMBVA), Jacques BOUFFIER (MTE/DGPR), Jean-Baptiste REVILLON (AESN), Aurélie GARRIGUES (SM Yonne Médian), Isabelle VIGNASSE (DRIEAT), Ludovic FAYTRE (L'Institut Paris Region), Rémy FARCY (DRIEAT).

Y ont également contribué

Pascal BREIL (INRAE), Paul VAN DIJK (Chambre régionale d'Agriculture de la région Grand Est), Gabriel BEDUNEAU (EPTB Vilaine), Hyacinthe PHILIPPO (LIOSE), Blandine LEMERCIER (INRAE), Olivier CERDAN (BRGM), Valentin LANDEMAINE (BRGM), Vincent REMY (CEREMA), Véronique SOUCHÈRE (INRAE), Frédéric PONS (CEREMA), David MONCOULON (CCR), Jean-Philippe NAU-LIN (CCR), Guillaume BARJOT (Artélia), Jean-Baptiste RICHET (EPTB Entente Oise-Aisne).

Editorial

Sur le territoire du bassin Seine-Normandie 5 millions de personnes vivent en zone inondable et 4 millions d'emplois sont concernés. Ces chiffres appellent à l'action.

Les inondations de juin 2022 sont là pour nous rappeler l'actualité des risques. Le bassin Seine-Normandie est soumis à différents phénomènes d'inondation qui peuvent se cumuler : les débordements de cours d'eau, les remontées de nappe, les ruissellements et submersions marines.

Ces risques sont d'autant plus menaçants qu'ils se sont accrus avec l'augmentation de l'artificialisation des sols, et qu'ils pourraient encore être aggravés par les effets du changement climatique, notamment en ce qui concerne l'aléa ruissellement.

Ainsi, réduire les impacts négatifs des inondations sur la santé et la vie humaine, l'environnement, le patrimoine culturel, l'activité économique et les infrastructures est une priorité de l'État.

C'est dans cette perspective qu'a été établi le Plan de Gestion des Risques d'Inondation (PGRI) 2022-2027 du bassin, en association avec les parties prenantes, que j'ai approuvé en mars 2022. Il est mis en œuvre localement au travers de stratégies traitant de l'aménagement et de la planification du territoire, pour réduire sa vulnérabilité aux inondations, ou pour agir sur l'aléa.

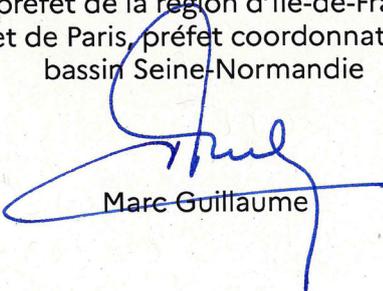
La prise en compte du risque d'inondation par ruissellement se heurte encore souvent à la méconnaissance de cet aléa. C'est pour cette raison que le PGRI a prévu l'élaboration d'un guide méthodologique des outils existants d'évaluation de l'aléa ruissellement dans sa disposition 4.A.3.

Réalisé par un groupe de travail mis en place à cet effet fin 2022, ce guide a pour but d'aider les collectivités concernées et les services de l'État à établir un diagnostic de l'aléa ruissellement à l'échelle d'un bassin versant.

Ont été associés à sa rédaction les opérateurs de l'État, des sociétés privées ayant élaboré des méthodes et des modèles de caractérisation de l'aléa ruissellement, ainsi que certains utilisateurs de ces méthodes et modèles, afin de présenter un panorama complet des outils existants, de leurs intérêts et de leurs spécificités. Destiné avant tout aux techniciens, ce guide doit permettre notamment aux collectivités concernées de mieux se saisir du sujet.

Je sais pouvoir compter sur vous tous pour vous emparer du sujet et agir en faveur de la prévention et de la gestion des inondations sur notre territoire afin de mieux vivre avec ces phénomènes.

Le préfet de la région d'Île-de-France,
préfet de Paris, préfet coordonnateur du
bassin Seine-Normandie


Marc Guillaume





Éditorial.....	3
Introduction.....	6
Partie 1 – Définitions.....	7
Le ruissellement.....	7
Définition du ministère en charge de la prévention des risques et des opérateurs de l'État.....	7
Définition du CEPRI.....	7
Définition du CGEDD.....	7
Conclusion sur le ruissellement.....	8
Inondation et risque d'inondation.....	8
Partie 2 – Compétences – Procédures associées.....	12
Compétences.....	12
Compétence en matière de « ruissellement ».....	12
Compétence en matière de GEMAPI.....	12
Compétence en matière de gestion des eaux pluviales urbaines.....	12
Procédures et outils particuliers.....	13
L'étude ou diagnostic de l'aléa ruissellement.....	13
Le zonage pluvial.....	13
Le schéma directeur de gestion des eaux pluviales.....	14
Plan de prévention des risques naturels.....	15
Le programme d'actions de prévention des inondations.....	15
Le schéma d'aménagement et de gestion de l'eau.....	16
Plan local d'urbanisme communal ou intercommunal.....	16
Partie 3 - Méthodes pour caractériser l'aléa ruissellement.....	16
Les connaissances existantes.....	17
L'EAIP.....	17
PPRi ruissellement.....	18
Porter à connaissance.....	18
Modèle probabiliste de la CCR.....	18
Autres études.....	18
Repères de crue.....	18
Approche historique.....	18
Modélisation de la sinistralité (CCR).....	18
CatNat.....	18
Approche hydro-géomorphologique.....	19
Approches par modélisation.....	19
Méthodes dites de type « sèches ».....	19
Méthodes dites de type « humides ».....	31
Synthèse.....	44
Conclusions.....	46
Annexe 1 : dispositions du PGRI 2022-2027.....	47
1E1 « Gérer les eaux pluviales le plus en amont possible ».....	47
1E2 « Définir une stratégie d'aménagement du territoire qui prenne en compte tous les types d'événements pluvieux ».....	47
2E1 « Réaliser un diagnostic de l'aléa ruissellement à l'échelle du bassin versant ».....	48
2E2 « Élaborer une stratégie et un programme d'actions de prévention et de lutte contre les ruissellements à l'échelle du bassin versant ».....	48
4A3 « Approfondir la connaissance de l'aléa ruissellement ».....	49
Annexe 2 : lexique.....	50
Annexe 3 : glossaire.....	51
Annexe 4 : bibliographie.....	54





Le plan de gestion des risques d'inondation (PGRI) pour la période 2022-2027, approuvé en mars 2022, fixe à l'échelle du bassin Seine-Normandie des objectifs et des dispositions pour réduire les conséquences négatives des inondations sur la santé humaine, l'activité économique, l'environnement et le patrimoine. Il est mis en œuvre localement en particulier au travers de stratégies traitant de l'aménagement et de planification du territoire, pour réduire sa vulnérabilité aux inondations, ou pour agir sur l'aléa.

Si les phénomènes de ruissellement ont toujours été constatés, ils donnent lieu déjà aujourd'hui à des inondations plus fréquentes et des dommages importants. Ce sujet pourrait être beaucoup plus prégnant à l'avenir dans le contexte de dérèglement climatique en aggravant encore l'aléa ruissellement sous l'effet d'évènements pluvieux plus fréquents et plus intenses.

Il suscite de nombreuses interrogations des acteurs du territoire. En effet, la prise en compte du risque d'inondation par ruissellement se heurte encore souvent à la méconnaissance de cet aléa (contrairement à l'aléa débordement de cours d'eau qui maintenant est bien cerné).

C'est pour cette raison que le PGRI pour la période 2022-2027 dans sa nouvelle disposition 4A3, prévoit l'élaboration de ce guide méthodologique des outils existants d'évaluation de l'aléa ruissellement.

Il a pour but d'aider les structures porteuses de programmes d'actions (programme d'actions de prévention des inondations, schéma d'aménagement et de gestion des eaux, etc.) et les maîtres d'ouvrage concernés, mais aussi l'État à établir un diagnostic de l'aléa ruissellement à l'échelle d'un bassin versant.

Au préalable il convient de préciser :

- les notions de ruissellement ;
- les notions d'inondation et de risque d'inondation par ruissellement ;
- les compétences permettant de traiter l'aléa ruissellement ;
- les procédures associées nécessitant l'utilisation d'outils d'évaluation de l'aléa ruissellement.

Le présent document est par conséquent scindé en trois parties :

- Partie 1 – Définitions (ruissellement, inondation, risque d'inondation) ;
- Partie 2 – Compétences et procédures associées ;
- Partie 3 – Présentation d'outils d'évaluation de l'aléa ruissellement.

En annexe 1, sont reprises les dispositions du PGRI 2022-2027 du bassin Seine-Normandie qui abordent directement ou indirectement la thématique du ruissellement.

En annexe 2, figure un lexique des sigles.

En annexe 3 un glossaire.

En annexe 4 les références bibliographiques.



Le ruissellement

Le ruissellement est un phénomène complexe, d'où de nombreuses définitions. La législation n'a pas défini le ruissellement même si ce terme est explicitement cité dans certains articles (par exemple dans l'article L. 211-7 du Code de l'environnement). Parmi les nombreuses définitions disponibles trois définitions « techniques » du ruissellement sont proposées ci-après. Elles ne sont pas antinomiques et leur juxtaposition permet de décrire le phénomène en adéquation avec les objectifs du PGRI.

Définition du ministère en charge de la prévention des risques et des opérateurs de l'État

La feuille de route « risques liés aux ruissellements » des opérateurs du ministère en charge de la prévention des risques définit ainsi le ruissellement :

« Le phénomène de ruissellement désigne tout écoulement, surfacique (diffus) ou linéaire (concentré), se produisant sur un territoire dont le bassin versant amont a un temps de réaction de quelques heures. »¹

Définition du CEPRI

Le Centre européen de prévention du risque d'inondations (CEPRI), dans son guide pratique « les inondations par ruissellement – Suivez le guide » - CEPRI – 2021², a aussi apporté une définition au ruissellement.

Tout d'abord est précisé que le « ruissellement » désigne un ensemble de phénomènes aux contours flous. Si une part de l'eau de pluie qui tombe au sol s'infiltré dans le sol, une partie peut rester en surface si la capacité du sol à infiltrer est dépassée. La répartition entre ces deux devenir de l'eau (infiltrée, ruisselée) sur les territoires dépend de la nature des sols et de la pluie (durée, intensité).

Le guide fait aussi référence à la définition du ministère.

Afin de rattacher ces phénomènes aux compétences et missions des collectivités territoriales, les deux notions suivantes sont retenues dans cet ouvrage :

- les « eaux pluviales » sont les eaux de pluie tombées au sol et qui sont infiltrées dans le sol ou « prises en charge » par un dispositif dédié, structurel ou organisationnel, avant que ces eaux ne présentent des risques pour les humains et les milieux naturels ;
- le « ruissellement pluvial » est constitué de l'eau de pluie qui s'écoule de façon diffuse ou concentrée, sans être prise en charge et maîtrisée par un dispositif dédié. En circulant et en s'accumulant dans des points bas (rivière, zone d'accumulation), elle peut donc constituer un risque majeur pour les personnes, les biens, et l'environnement.

Définition du CGEDD³

Dans son rapport n° 010159-01 « Gestion des eaux pluviales : Dix ans pour relever le défi - Tome 1 : synthèse du diagnostic et propositions » publié en 2017⁴ dans le sous-chapitre 1.1.1 « Eaux pluviales et de ruissellement : clarifier les définitions » le Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) a défini également deux notions :

- les eaux dites « pluviales » sont définies ici comme la partie de l'écoulement qui est « gérée » par des dispositifs dédiés (infiltration, stockage, collecte, transport, traitement éventuel) ; elles interagissent en permanence avec les eaux souterraines et les autres réseaux ;
- les eaux dites « de ruissellement » sont définies ici non pas à partir d'un processus physique d'écoulement sur une surface, mais comme la partie de l'écoulement qui n'est pas « gérée » par des dispositifs dédiés.

Le CGEDD ajoute :

Ainsi définies, les eaux de ruissellement s'écoulent pour partie en surface et empruntent en particulier les rues. Elles transportent de nombreux macro-déchets et sont parfois d'une forte turbidité, jusqu'à constituer des laves torrentielles. Une part chemine dans le sous-sol (zone dite non saturée, tranchées et conduites, voire réseaux du métro ou RER). Elles se stockent et se déstockent, en situation de fortes pluies, non seulement dans le sol, mais aussi en surface (zones inondées) et dans le sous-sol (parkings, caves). Eaux pluviales et eaux de ruissellement sont les deux facettes d'une même et seule eau qui circule sous, sur et à travers la ville.

1 Le ministère a retenu temps de réaction à 2 heures. A été préféré dans le guide un temps de réaction plus souple

2 https://www.cepri.net/tl_files/Guides%20CEPRI/guide-pratique%20ruissellement%20CEPRI.pdf

3 Depuis le 01/09/2022, le CGEDD est devenu l'IGEDD (inspection générale de l'environnement et du développement durable)

4 http://www.eauxglacees.com/IMG/pdf/010159-01_rapport_tome1_synthese_propositions.pdf



La gestion des eaux pluviales et de ruissellement, telle qu'elle est abordée dans ce rapport, concerne :

- les territoires impliqués dans la formation d'écoulements suffisamment brefs après les épisodes pluvieux pour ne pas considérer que leur lieu de propagation occasionnelle (fossés, vallons secs, voirie ou autres) constitue un cours d'eau ;
- par souci de cohérence spatiale, les territoires drainés par des ruisseaux et petits cours d'eau contigus dont les bassins versants sont de même échelle que ces territoires et qui réagissent aux précipitations dans des délais similaires. Les parties rurales de ces territoires sont concernées au même titre que les parties urbanisées ou de périurbanisation, même si la réflexion est principalement dédiée aux territoires comportant une partie urbanisée significative.

En revanche, elle ne concerne pas les bassins versants d'une taille significativement supérieure à ces territoires dont les cours d'eau peuvent être considérés comme les « traversant ».

Conclusion sur le ruissellement

L'existence de plusieurs définitions montre la complexité du phénomène.

La première définition est très générale, l'écoulement peut être de plusieurs natures (diffus, concentré). Le ruissellement se limite cependant aux bassins versants de petite taille.

Les définitions du CEPRI et du CGEDD même si elles n'excluent pas le ruissellement rural se focalisent plutôt sur les parties urbanisées. Elles limitent toutefois le ruissellement aux écoulements qui ne sont pas pris en charge par un dispositif dédié.

Inondation et risque d'inondation

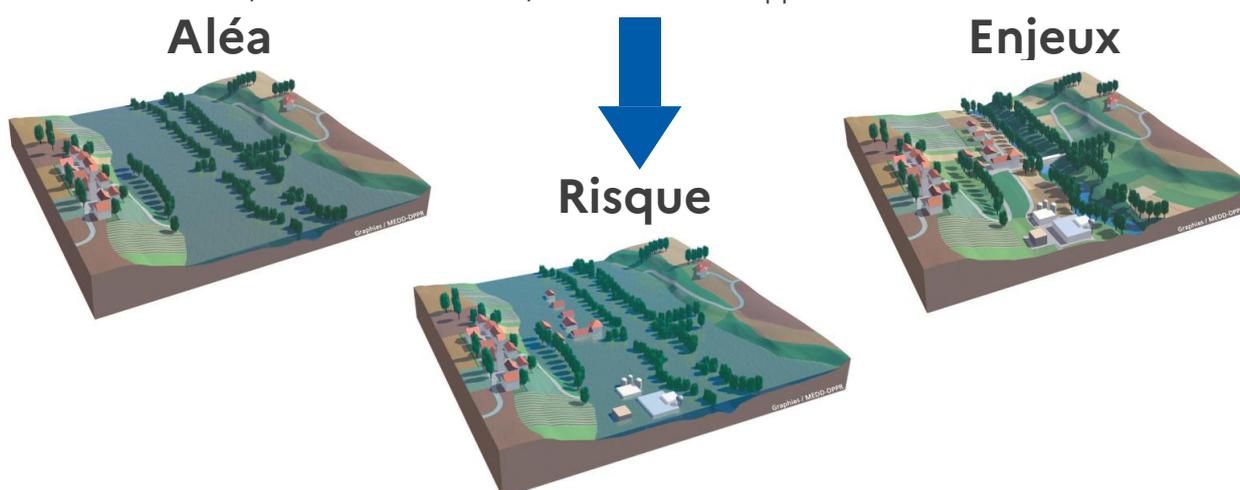
La législation au travers de l'article **L. 566-1** du Code de l'environnement a défini les termes d'inondation et de risque d'inondation. Elle a d'ailleurs repris quasiment ceux de la directive inondation.

Une inondation est une submersion temporaire par l'eau de terres émergées, quelle qu'en soit l'origine, à l'exclusion des inondations dues aux réseaux de collecte des eaux usées, y compris les réseaux unitaires.

Le risque d'inondation est la combinaison de la probabilité de survenue d'une inondation et de ses conséquences négatives potentielles pour la santé humaine, l'environnement, les biens, dont le patrimoine culturel, et l'activité économique.

D'un point de vue technique, on parle d'aléa (inondation) et d'enjeux. Le risque est donc le croisement d'un aléa avec des enjeux. La vulnérabilité des enjeux est leur sensibilité face à l'aléa.

La définition de l'inondation laisse la porte ouverte à plusieurs origines, le ruissellement pouvant être une des causes. Elle exclut toutefois celle causée par les eaux usées. Le PGRI 2022-2027 du bassin Seine-Normandie a retenu 4 aléas d'inondation : le **ruissellement** en fait partie au même titre que les débordements de cours d'eau, la submersion marine, la remontée de nappe.



Les **inondations par ruissellement** touchent tout le bassin Seine-Normandie de façon de plus en plus prégnante. Elles font généralement suite à un événement pluvieux de forte intensité ou à un cumul de pluie important pendant plusieurs jours, saturant les sols, les réseaux et les ouvrages de rétention et de gestion des eaux pluviales (PGRI 2022-2027 du bassin Seine-Normandie).

Les **facteurs aggravants** sont l'imperméabilisation des sols, certaines pratiques agricoles (drainage, travail du sol dans le sens de la pente) et le changement d'occupation du sol (défrichement pour plantation de vigne, la mise en culture de prairie, les coupes rases en zone forestière...).

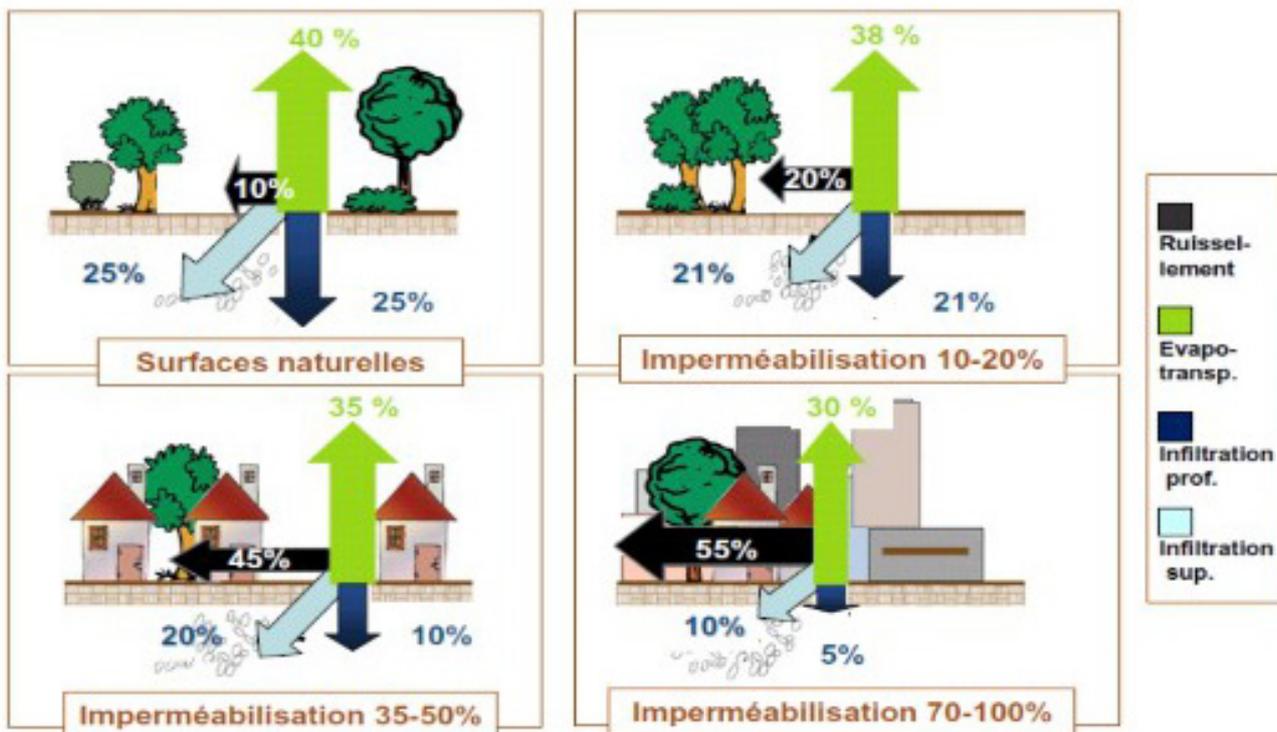
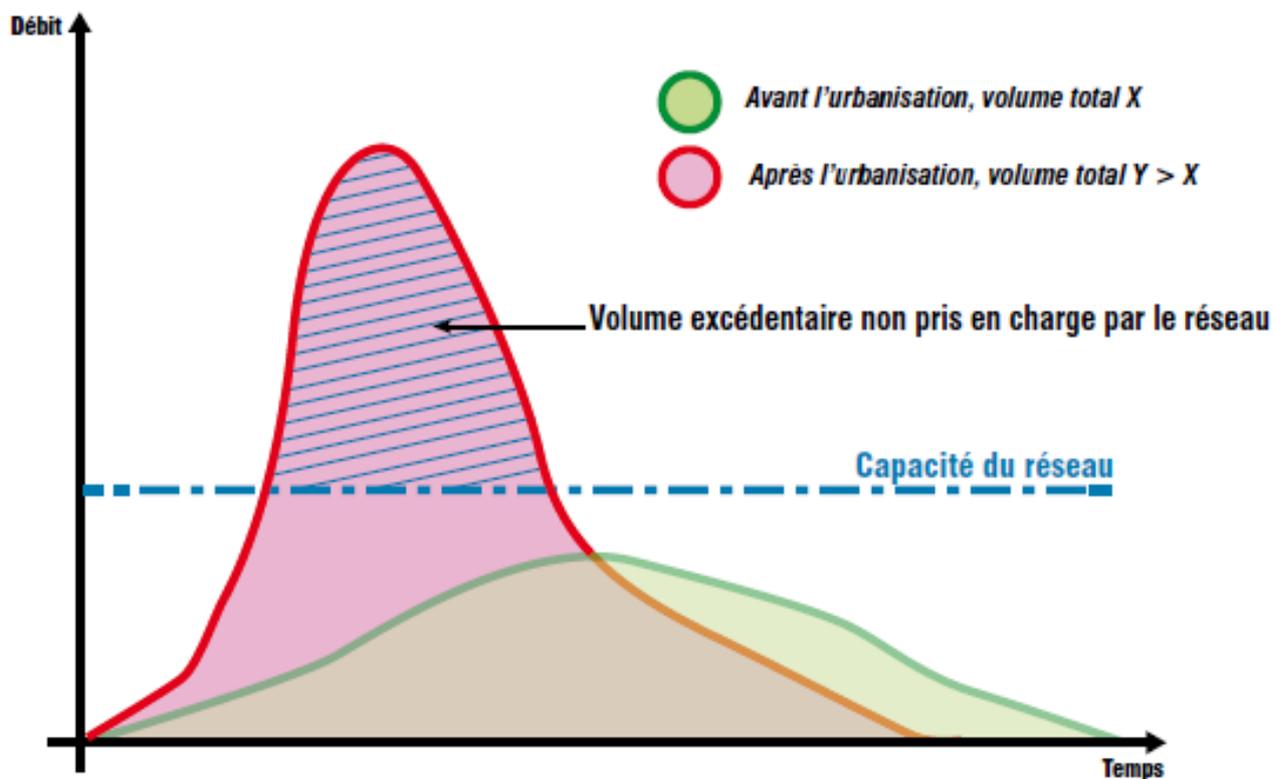


Figure 1 : importance relative de l'infiltration, du ruissellement et de l'évapotranspiration selon l'occupation des sols : exemples schématiques pour différents taux d'imperméabilisation ([3])

Influence de l'urbanisation sur la cinétique et les volumes de ruissellement des eaux sur un bassin versant, après un événement pluvieux



Source : guide CEPRI Gérer les inondations par ruissellement pluvial

Différents phénomènes peuvent ainsi provoquer des inondations par ruissellement.

Premier exemple : le ruissellement apparaît en amont du bassin versant dans un espace agricole voire forestier, s'accroît au fur et à mesure de son écoulement vers l'aval et génère du transport solide (érosion) et enfin provoque des dommages aux biens et aux personnes (inondations, coulées boueuses) en empruntant les chemins les plus diversifiés en zone urbaine.

Second exemple : en zone urbaine, les eaux de pluies dépassent les capacités du réseau d'eaux pluviales. Les eaux excédentaires empruntent alors les rues, en provoquant dommages aux biens et personnes.

Troisième exemple : dans un cours d'eau la crue dépasse les capacités de l'ouvrage. L'eau excédentaire ne peut retourner dans son lit et emprunte d'autres chemins provoquant également des dommages aux biens et aux personnes.

Les photographies suivantes illustrent quelques cas de figure :

Ruissellement à Milly dans le Chablisien
Source : EPRI 2011



Ruissellement rural - La Vaupalière (76)
Source : commune



Inondation du centre-ville de Sap-en-Auge (61) pendant
Source : copyright SDIS 61



Inondation du centre-ville de Sap-en-Auge (61) après
Source : copyright SDIS 61

Toutefois, les débordements des réseaux d'assainissement d'eaux usées y compris unitaires par définition législative (cf. article L.566-1 du Code de l'environnement) ne rentrent pas dans le champ des inondations et des risques associés.

Le phénomène de ruissellement peut aussi avoir des impacts en aval : pollution des milieux aquatiques, inondation par débordement du cours d'eau à l'aval.





Les collectivités peuvent mobiliser des compétences diversifiées (Ruissellement, GEstion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations (GEMAPI), Gestion des eaux pluviales urbaines (GEPU)) pour aborder l'aléa ruissellement et les risques d'inondation qui en découlent. Leur prise en compte que cela soit en termes d'amélioration des connaissances, d'actions de réduction de l'aléa, et de réduction de la vulnérabilité des territoires peut faire appel à un nombre non négligeable d'outils et de procédures portées par les collectivités ou l'État (étude ou diagnostic de l'aléa ruissellement, zonage pluvial, schéma directeur de gestion des eaux pluviales, plan de prévention des risques naturels, programme d'actions de prévention des inondations, schéma d'aménagement et de gestion de l'eau, plan local d'urbanisme communal ou intercommunal).

Compétences

Comme la loi exclut du champ des inondations celles causées par les débordements des réseaux de collecte des eaux usées, y compris les réseaux unitaires, la compétence « assainissement » n'est pas traitée ci-après.

Compétence en matière de « ruissellement »

Cette compétence est définie par l'article **L. 211-7** du Code de l'environnement (CE).

Les collectivités territoriales et leurs groupements, ainsi que les établissements publics territoriaux de bassin, peuvent mettre en œuvre les articles L. 151-36 à L. 151-40 du Code rural et de la pêche maritime pour entreprendre l'étude, l'exécution et l'exploitation de tous travaux, actions, ouvrages ou installations présentant un caractère d'intérêt général ou d'urgence, dans le cadre du schéma d'aménagement et de gestion des eaux, s'il existe, et visant :

4° La maîtrise des eaux pluviales et de ruissellement ou la lutte contre l'érosion des sols ;

Cette compétence n'est pas attribuée par défaut à une catégorie de collectivités.

Compétence en matière de GEMAPI

Cette compétence est aussi définie par l'article **L. 211-7** du CE.

Les communes sont compétentes en matière de GEMAPI. Cette compétence comprend les missions définies aux 1°, 2°, 5° et 8° à savoir :

- 1° **L'aménagement d'un bassin ou d'une fraction de bassin hydrographique ;**
- 2° **L'entretien et l'aménagement d'un cours d'eau, canal, lac ou plan d'eau, y compris les accès à ce cours d'eau, à ce canal, à ce lac ou à ce plan d'eau ;**
- 5° **La défense contre les inondations et contre la mer ;**
- 8° **La protection et la restauration des sites, des écosystèmes aquatiques et des zones humides ainsi que des formations boisées riveraines.**

Depuis le 01/01/2018, la compétence GEMAPI est obligatoire. Elle a été transférée à l'EPCI-FP à laquelle la commune adhère. Elle peut être déléguée ou transférée à un syndicat.

La compétence GEMAPI peut s'exercer si le ruissellement provoque des inondations ou des atteintes au bon fonctionnement des cours d'eau.

Compétence en matière de gestion des eaux pluviales urbaines

La compétence « gestion des eaux pluviales urbaines (GEPU) » est défini par l'article **L. 2226-1 du Code général des collectivités territoriales (CGCT)** :

« La gestion des eaux pluviales urbaines correspond à la collecte, au transport, au stockage et au traitement des eaux pluviales des aires urbaines. Elle constitue un service public administratif relevant des communes, dénommé service public de gestion des eaux pluviales urbaines. »¹

L'aire urbaine n'a pas de définition juridique. C'est un espace continu qui se compose d'une ville-centre, de ses banlieues immédiates (formant le pôle urbain) et d'une couronne périurbaine.

La GEPU est une compétence obligatoire :

- depuis leur création, des métropoles (article **L. 5217-2 5°a** du CGCT) et des communautés urbaines (article **L. 5215-20 5° a** du CGCT) ;

¹ Pour en savoir plus : <https://www.drieat.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/gestion-des-eaux-pluviales-les-collectivites-a3484.html>

NB : cet alinéa comprend aussi la compétence assainissement des eaux usées.

- depuis le 1^{er} janvier 2020, des communautés d'agglomération (article **L. 5216-5 I-10°** du CGCT).

NB : la compétence « gestion des eaux pluviales urbaines » et la compétence « assainissement » ne sont pas dans le même alinéa.

Pour les communautés de communes, l'exercice de la compétence « eaux pluviales » demeure facultatif (article **L. 5214-16** du CGCT).

La communauté de communes peut déléguer, par convention, tout ou partie de la compétence relative à la gestion des eaux pluviales urbaines définie à l'article **L. 2226-1** CGCT à l'une de ses communes membres.

Procédures et outils particuliers

L'étude ou diagnostic de l'aléa ruissellement

Pour les territoires concernés par l'aléa ruissellement, le PGRI 2022-2027 du bassin Seine-Normandie encourage l'établissement d'un diagnostic de l'aléa ruissellement à l'échelle du bassin versant (Disposition 2E1) intégrant en particulier :

- la typologie des événements pluvieux à l'origine des désordres hydrauliques et d'inondations (inondations par ruissellement ou par débordement de cours d'eau suite à un phénomène de ruissellement) ;
- les zones contributrices à l'aléa ruissellement ;
- les axes d'écoulement préférentiels à travers le territoire ;
- les zones d'accumulation des eaux de ruissellement ;
- les éléments du paysage contribuant à limiter le phénomène de ruissellement (haies, talus, fossés, mares, etc.) ;
- les facteurs aggravant le phénomène de ruissellement liés à l'aménagement du territoire et l'usage des sols ;
- les enjeux exposés à l'aléa de ruissellement y compris pour des événements majeurs de précipitations (par exemple 100 mm/j) ;
- les enjeux exposés à l'aléa de débordement de cours d'eau suite à un phénomène de ruissellement.

Ce diagnostic de l'aléa ruissellement à l'échelle du bassin versant peut être réalisé par une collectivité concernée par le phénomène, qui possède la compétence définie soit par l'article « **L. 211-7 4°** du CE (La maîtrise des eaux pluviales et de ruissellement ou la lutte contre l'érosion des sols), soit par l'article **L. 211-7 5°** (La défense contre les inondations) ou **8°** (La protection et la restauration des sites, des écosystèmes aquatiques et des zones humides) du CE, soit par l'article **L. 2226-1** du CGCT (gestion des eaux pluviales urbaines). Une adéquation entre son périmètre d'action et le bassin versant est souhaitable. Ajoutons qu'au-delà du rappel de la compétence, une meilleure précision du champ d'action au sein des statuts permet de clarifier l'exercice de la compétence.

Dans les territoires concernés par l'aléa ruissellement, le PGRI du bassin Seine-Normandie (Disposition 2E1) invite les structures porteuses de programmes d'actions (programme d'actions de prévention des inondations (PAPI)¹, schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), etc.) et les maîtres d'ouvrage associés et même les services de l'État à réaliser cette étude.

Elle doit, dans la mesure du possible, être menée en concertation avec les acteurs concernés du territoire (collectivités territoriales et/ou leurs groupements compétents, professionnels agricoles, etc.).

Le PGRI invite les mêmes collectivités (Disposition 2E2) à définir sur la base de cette étude une stratégie à l'échelle du bassin versant et un programme d'actions de lutte contre le ruissellement. Il fait le lien au travers de cette disposition avec le zonage pluvial, puisqu'il les invite à transmettre ces éléments aux collectivités compétentes notamment en matière de gestion des eaux pluviales urbaines pour l'élaboration de leur zonage pluvial.

L'objectif de la stratégie est de pouvoir limiter les effets néfastes du ruissellement en favorisant l'infiltration de l'eau de pluie (sous réserve d'autres risques, par exemple mouvements de terrains liés à la dissolution du gypse ou pollution de nappe destinée à l'eau potable dans les aires d'alimentation des captages en système karstique), en ralentissant les écoulements lorsque les sols sont saturés, tout en s'appuyant au maximum sur les solutions d'adaptation fondées sur la nature.

Le zonage pluvial

Introduit dans la loi sur l'eau de 1992 pour répondre aux enjeux de prévention des inondations et de

¹ Le cahier des charges PAPI 2021 prévoit dorénavant un programme d'études préalable (PEP) au PAPI



restauration ou de préservation de la qualité des milieux aquatiques, le zonage pluvial est défini par l'article **L. 2224-10** du CGCT.

Cet article compte quatre alinéas :

- les alinéas 1° et 2° comptent au titre du « zonage d'assainissement » ;
- les alinéas 3° et 4° comptent au titre du « zonage pluvial ». Ils encadrent le périmètre d'actions sur les eaux pluviales via deux approches : l'alinéa 3° va dans le sens d'une intervention préventive, à la source, dans le but de lutter contre les effets du ruissellement dont les inondations tandis que l'alinéa 4° va dans le sens d'une intervention, curative, sur le réseau de collecte et sur les infrastructures de traitement des eaux. En général, il existe des interactions entre les zones concernées par les alinéas 3° et 4°.

Le zonage pluvial est un outil de planification formalisant de manière spatialisée les orientations politiques en matière de maîtrise de l'imperméabilisation des sols et de gestion des eaux pluviales et de ruissellement et des pollutions associées. Le zonage pluvial contient ainsi une cartographie (documents graphiques) et des prescriptions sur :

- les zones où des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols et pour assurer la maîtrise du débit et de l'écoulement des eaux pluviales et de ruissellement ;
- les zones où il est nécessaire de prévoir des installations pour assurer la collecte, le stockage éventuel et, en tant que de besoin, le traitement des eaux pluviales et de ruissellement lorsque la pollution qu'elles apportent au milieu aquatique risque de nuire gravement à l'efficacité des dispositifs d'assainissement.

Le zonage pluvial est obligatoire dans les zones à enjeux (zones où « des mesures doivent être prises pour maîtriser le ruissellement » ou celles où « il est nécessaire de prévoir des installations pour assurer la collecte et le stockage des eaux pluviales et pour lutter contre des pollutions engendrées par les dysfonctionnements des systèmes d'assainissement »).

Il relève de la responsabilité de la collectivité ou de son groupement compétent en matière de gestion des eaux pluviales urbaines. Il est élaboré sur le périmètre administratif de l'autorité compétente.

Le zonage pluvial peut être réalisé seul ou dans le cadre de l'élaboration d'un schéma directeur de gestion des eaux pluviales ou d'un schéma directeur d'assainissement.

Le zonage pluvial peut être soumis à évaluation environnementale. Cette procédure est décidée au cas par cas par le préfet compétent en matière d'environnement conformément à l'article **R. 122-2** du CE. Les formulaires reçus dans ce cadre et les décisions rendues sont disponibles sur les sites internet des missions régionales d'autorité environnementale¹.

Une fois élaboré, le zonage pluvial est soumis à enquête publique. Après examen et modifications éventuelles des conclusions du commissaire enquêteur, le zonage est soumis à l'approbation de l'assemblée délibérante. Le zonage pluvial fait ensuite l'objet d'un contrôle de légalité par le préfet de département avant son approbation définitive par ce dernier. La publication de l'acte confère au document son caractère opposable aux tiers.

Le zonage pluvial est également intégrable dans les documents d'urbanisme. L'article **L. 151-24** du Code de l'Urbanisme offre en effet la possibilité, sans l'imposer, d'intégrer les zones mentionnées dans l'article **L. 2224-10** du CGCT au règlement d'urbanisme.

Le zonage pluvial n'étant pas lui-même soumis à un règlement, la bonne information des pétitionnaires sur les prescriptions à prendre dans le cadre des demandes d'urbanisme est grandement facilitée par l'intégration du zonage pluvial au PLU. Dans la pratique, une gradation de cette « intégration » est observable : mention du zonage pluvial dans le document, annexion du zonage pluvial au document, retranscription/traduction du zonage pluvial dans le document.

Bien que le zonage pluvial soit obligatoire pour toutes les communes sur lesquelles des enjeux sont identifiés, la loi ne fixe aucun délai pour sa réalisation et sa mise en place. Cette absence de délai formel fixé par la loi rend les dispositions des alinéas 3° et 4° applicables immédiatement. Le législateur n'a pas prévu de sanction en cas de carence.

Le schéma directeur de gestion des eaux pluviales

Le schéma directeur de gestion des eaux pluviales (SDGEP) n'est pas encadré par le droit.

Dans la pratique, le SDGEP est un outil de programmation du système de gestion des eaux pluviales. Il permet de fixer les orientations fondatrices d'investissement et de fonctionnement, à moyen et à long terme, d'un système de gestion des eaux pluviales en vue de répondre au mieux aux objectifs de gestion de temps de pluie de la collectivité. Ainsi, s'il peut comprendre un volet « élaboration du zonage pluvial » tel que décrit précédemment, le SDGEP a une vocation plus globale en apportant des connaissances quant

¹ <http://www.mrae.developpement-durable.gouv.fr/>

aux écoulements gérés et non gérés (ruissellement) (diagnostic), ainsi que des réponses concrètes aux dysfonctionnements observés via un programme d'actions. Le programme d'actions est souvent assorti d'un calendrier et d'un chiffrage des investissements et des travaux envisagés.

La responsabilité et le périmètre de réalisation du SDGEP ne sont pas non plus encadrés par le droit.

Néanmoins, le PGRI 2022-2027 du bassin Seine-Normandie encourage les collectivités territoriales et/ou leurs groupements compétents en matière d'assainissement et/ou de gestion des eaux pluviales urbaines à se saisir de cet outil (Disposition 1E1 du PGRI). La synergie avec les acteurs de la gestion du ruissellement est bien sûr à rechercher.

Le PGRI du bassin Seine-Normandie suggère sa réalisation à l'échelle du bassin hydrographique qui constitue une échelle pertinente pour l'analyse des ruissellements, du fonctionnement du réseau hydrographique et pour la prise en compte des enjeux amont/aval (Disposition 1.E.1).

Le SDGEP en soi n'a pas de portée juridique. Une portée juridique peut néanmoins être conférée aux éléments y figurant dès lors que les règles inscrites sont intégrées dans des documents opposables :

- dans un règlement d'assainissement, pour ce qui est des règles de prise en charge des eaux pluviales par le service collectif ;
- dans les documents d'urbanisme, après enquête publique, pour ce qui concerne les règles de gestion privative des eaux pluviales.

Le SDGEP n'est assorti d'aucune échéance. Néanmoins, à l'issue des assises de l'eau (juillet 2019)¹, l'ambition nationale affichée est la généralisation des schémas directeurs de gestion des eaux pluviales d'ici 2026.

Le PGRI fait le lien entre le SDGEP et le zonage pluvial, le premier a vocation à permettre de sélectionner les secteurs à enjeux nécessitant la réalisation d'un zonage pluvial.

Plan de prévention des risques naturels

Le plan de prévention des risques naturels (PPRN) est un document de référence pour la prise en compte des risques naturels dans l'aménagement des territoires. Élaboré par les services de l'État, en association avec les collectivités concernées, il réglemente l'utilisation des sols sur les territoires exposés à un ou plusieurs risques naturels. Il est codifié par les articles **L. 562-1 à L. 562-9** et **R. 562-1 à R. 562-11-9** du CE.

Le PPRN est, après approbation par le préfet, une servitude d'utilité publique applicable de plein droit, qu'il y ait ou non un document d'urbanisme. Ses dispositions doivent être respectées dans le cadre de l'instruction des demandes d'autorisation du droit des sols (permis de construire notamment). Après un délai d'un an, son opposabilité est assurée soit par son annexion au PLU(i), soit par sa publication sur le portail national de l'urbanisme (article **L. 152-7** du Code de l'urbanisme).

Le PPRi traite uniquement des risques d'inondation. Il délimite les zones exposées aux aléas, et interdit ou soumet à prescriptions tout type de projets (construction, ouvrage, aménagements, etc.) dans les zones le nécessitant, et notamment celles où la sécurité des personnes et des biens n'est pas garantie.

Sur les 12 000 PPRN approuvés au niveau national, 2 000 traitent de l'aléa ruissellement dont certains en zone viticole ou en zone agricole cultivée en forte pente. Ils sont souvent réalisés en prenant aussi en compte l'aléa débordement de cours d'eau.

Le PGRI 2022-2027 du bassin Seine-Normandie dans sa disposition 2E1 invite aussi les services de l'État à réaliser un diagnostic de l'aléa ruissellement. Sur la base de cette démarche, ils pourront être amenés à examiner l'opportunité d'établir, pour les territoires les plus exposés, un PPRi ruissellement.

Le programme d'actions de prévention des inondations

Le programme d'actions de prévention des inondations (PAPI) est un outil de contractualisation entre des collectivités qui le portent et l'État pour la mise en œuvre d'une gestion globale de prévention des inondations sur un territoire afin de réduire leurs conséquences dommageables sur la santé humaine, les biens, les activités économiques et l'environnement. Le dispositif PAPI permet aux collectivités de bénéficier d'un soutien financier conséquent de la part de l'État pour mettre en œuvre leur stratégie.

À partir d'un diagnostic (programme d'études préalable au PAPI ou PEP) permettant de caractériser la vulnérabilité du territoire aux inondations, une stratégie globale d'intervention partagée entre acteurs du territoire est établie à l'échelle du bassin de risque et déclinée dans un programme d'actions mobilisant l'ensemble des axes de la prévention des risques d'inondation :

- axe 1 : amélioration de la connaissance et de la conscience du risque ;
- axe 2 : surveillance, prévision des crues et des inondations ;
- axe 3 : alerte et gestion de crise ;

¹ [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20210126_Assises-Eau_MTE_Feuille de route.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20210126_Assises-Eau_MTE_Feuille%20de%20route.pdf). Voir action 20.a



- axe 4 : prise en compte du risque inondation dans l'urbanisme ;
- axe 5 : réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens ;
- axe 6 : gestion des écoulements ;
- axe 7 : gestion des ouvrages de protection hydraulique.

Des études et actions de prévention des inondations par ruissellement inscrites dans les PEP et PAPI peuvent être éligibles à un co-financement au titre du Fonds de prévention des risques naturels.

Fonds de prévention des risques naturels (FPRNM)

Les règles d'éligibilité distinguent la gestion courante des eaux pluviales (réseaux, etc.) de la lutte contre les inondations « exceptionnelles » présentant un risque majeur.

Dans le cadre de la mesure EAPCT (études et actions de prévention ou de protection contre les risques naturels des collectivités territoriales), les ouvrages éligibles sont ceux conçus pour ralentir, ou stocker provisoirement en amont des secteurs à enjeux, les ruissellements correspondant à une période de retour supérieure à 30 ans pour la pluviométrie.¹

Le schéma d'aménagement et de gestion de l'eau

Le schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) est un outil de planification, institué par la loi sur l'eau de 1992, visant la gestion équilibrée et durable de la ressource en eau.

Déclinaison du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) à une échelle plus locale, il vise à concilier la satisfaction et le développement des différents usages (eau potable, industrie, agriculture, ...) et la protection des milieux aquatiques, en tenant compte des spécificités d'un territoire. Délimité selon des critères naturels, il concerne un bassin versant hydrographique ou une nappe. Il repose sur une démarche volontaire de concertation avec les acteurs locaux.

Il est un instrument essentiel de la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau (DCE).

Le SAGE fixe, coordonne et hiérarchise des objectifs généraux d'utilisation, de valorisation et de protection quantitative et qualitative des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques, ainsi que de préservation des zones humides. Il identifie les conditions de réalisation et les moyens pour atteindre ces objectifs :

- il précise les objectifs de qualité et quantité du SDAGE, en tenant compte des spécificités du territoire ;
- il énonce des priorités d'actions ;
- il édicte des règles particulières d'usage.

Plan local d'urbanisme communal ou intercommunal

Outil de planification du territoire à l'échelle communale voire intercommunale, le PLU(i) vise notamment à atteindre l'objectif de prévention des risques naturels prévisibles (article L. 101-2-6° du Code de l'urbanisme). Le PLU(i) doit être compatible avec le SCOT, et à défaut de SCOT avec le PGRI. A ces titres, les structures porteuses de PLU(i) ou les communes pour les PLU sont invitées à intégrer dans leur document un diagnostic de vulnérabilité de territoire aux inondations, et évaluer les incidences de sa mise œuvre (disposition 1.A.3 du PGRI). Elles peuvent solliciter l'appui de l'EPTB, de l'EPAGE ou du groupement compétent en matière de GEMAPI.

Le PPRi s'il existe est annexé au PLU(i) (cf. supra). Le zonage pluvial est intégrable dans le PLU ou PLU(i) (cf. supra). Les règles de gestion privative des eaux pluviales d'un SDGEP peuvent également être intégrées dans le PLU(i) (cf. supra).

Partie 3 - Méthodes pour caractériser l'aléa ruissellement



Les études de l'aléa ruissellement telles qu'elles sont préconisées dans le PGRI - Diagnostic de l'aléa ruissellement (Disposition 2E1) – Schéma Directeur de Gestion des Eaux Pluviales (Disposition 1E1) - nécessitent de cartographier cet aléa. Il s'agit d'intégrer a minima : les zones contributrices à l'aléa ruissellement, les axes d'écoulement préférentiels à travers le territoire, les zones d'accumulation des eaux de ruissellement. Cela peut être complété par les éléments du paysage contribuant à limiter le phénomène de ruissellement (talwegs, haies, talus, fossés, mares, etc.), les facteurs aggravant le phénomène de ruissellement liés à l'aménagement du territoire et l'usage des sols. Enfin, la typologie des événements pluvieux à l'origine des désordres hydrauliques et d'inondations (inondations par ruissellement ou par débordement de cours d'eau suite à un phénomène de ruissellement) peut être étudiée, ainsi que la caractérisation de l'aléa traduite en termes de vitesse et de hauteur d'eau.

¹ Guide relatif à la mobilisation du FPRNM (Voir mesure EAPCT) : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide%20FPRNM%202021.pdf>

Différentes approches permettent de le cartographier :

- les connaissances existantes à disposition ;
- l'approche historique ;
- l'approche hydro-géomorphologique ;
- des modélisations hydrologiques ou hydrauliques (éventuellement couplées à des mesures/investigations de terrain).

Ces approches peuvent être complémentaires, et leur articulation est à valider par le maître d'ouvrage de l'étude (État, collectivités), en fonction du but de l'étude et des moyens disponibles.

Le ruissellement est le résultat d'interactions complexes entre l'eau précipitée, le sol et le sous-sol. La description exhaustive de ces mécanismes est impossible, quelle que soit la sophistication de la méthode utilisée, en raison de leur extrême variabilité spatiale et temporelle.

Les connaissances existantes

Cette démarche de recensement est la première à mener. Elle doit être systématique. Il est donc indispensable avant d'aborder les autres démarches de recenser les connaissances existantes sur l'aléa ruissellement.

L'EAIP

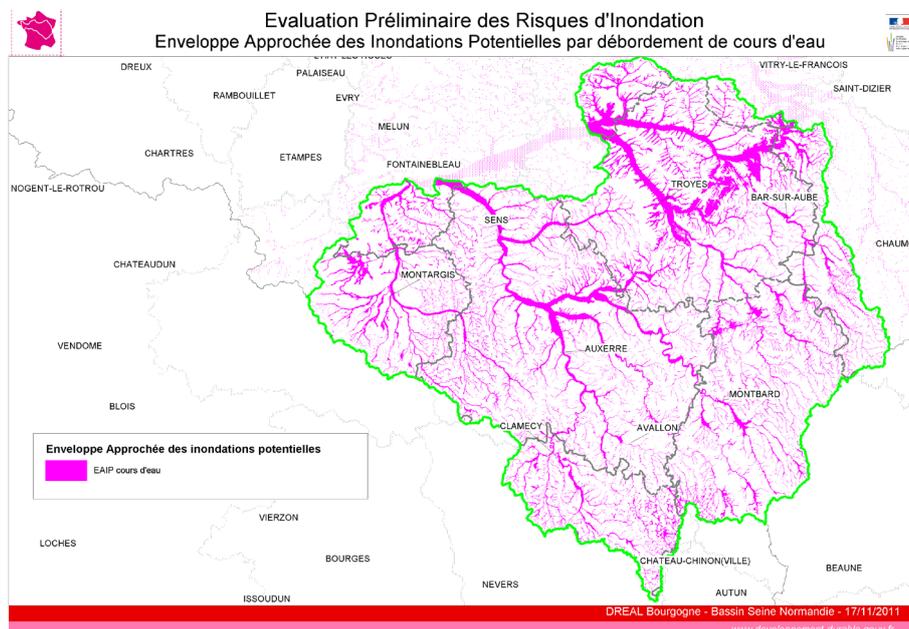
L'enveloppe approchée des inondations potentielles (EAIP) a été produite en 2011 par l'État pour nourrir la mise en œuvre sur le territoire français de la première étape de la Directive inondation (DI) : l'évaluation préliminaire des risques d'inondation. Ont été prises en compte les inondations par débordement de cours d'eau y compris les débordements des petits cours d'eau à réaction rapide, les cours d'eau intermittents (talwegs secs), et par submersion marine.

Ont donc été considérés dans l'EAIP cours d'eau (EAIPce) l'ensemble des phénomènes associés au remplissage de talwegs par des écoulements, ces écoulements pouvant dans certains cas ne pas être permanents. N'ont pas été considérés les ruissellements en versant (coulées de boue et ruissellement localisé en dehors des talwegs). La méthodologie proposée permet aussi de tenir compte de certaines des inondations urbaines, dès lors qu'elles peuvent être associées à des talwegs fortement urbanisés, qu'ils soient ou non drainés par des réseaux d'égouts.

Les informations qui constituent l'EAIPce correspondent à l'ensemble de la connaissance cartographique disponible concernant les zones inondables (AZI, cartes d'aléas PPRi...). Elles ont été complétées par des informations sur la géologie pour les cours d'eau importants, et par les résultats de la méthode ExZEco (cf. infra) principalement pour les têtes de bassin non couvertes. Les données sont disponibles sur le site Géorisques.

Limites : l'EAIP n'a pas été réactualisée depuis 2011. En revanche, elle devrait être revue en 2028 suite à la production par l'IGN d'un nouveau MNT de grande précision (projet LIDAR HD) prévu pour 2026. Concernant le ruissellement, la couverture territoriale n'est pas exhaustive, et l'enveloppe est maximaliste. L'échelle d'utilisation est le 1/100 000^e.

Exemple de carte d'EAIP
(extrait sur l'Yonne, l'Aube, la Seine amont) :



PPRi ruissellement

Après l'approbation du PPRi, les cartes d'aléas et de risques sont publiées et accessibles sur le site Géorisques¹ et sur le site internet de la préfecture concernée. Les servitudes qui en résultent sont aussi disponibles sur le Géoportail de l'urbanisme². L'échelle d'utilisation est à la parcelle soit le 1/5 000^e.

Limites : il n'y a que 2 000 communes en France couvertes par un PPRi ruissellement.

Porter à connaissance

L'État doit porter à connaissance (PAC) les éléments de connaissance dont il dispose sur les risques. C'est généralement le cas des études réalisées dans le cadre de l'élaboration d'un PPRi ruissellement avant la fin de sa procédure d'élaboration ou de révision.

Modèle probabiliste de la CCR

La Caisse Centrale de Réassurance (CCR) dispose d'un catalogue d'un millier d'événements fictifs sur 400 années de précipitations couvrant l'ensemble du territoire français. Les résultats peuvent être disponibles pour cinq périodes de retour comprises entre inférieure à 10 ans jusqu'à supérieure à 200 ans, sur demande auprès de la CCR et après signature d'une convention de mise à disposition (voir la fiche du modèle CCR).

Limites : liées à celles du MNT de l'IGN (l'échelle d'utilisation est le 1/100 000^e) et du Mode d'occupation des sols CORINE Land Cover (l'échelle d'utilisation est le 1/100 000^e).

Autres études

L'institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement a produit des données de débits de crues estimés pour différentes durées et pour différentes périodes comprises entre 2 et 1 000 ans sur l'ensemble du territoire national (Bases de données et **cartographies (pluies, débits) issues de la méthode SHYREG³**). 140 000 fiches d'exutoires non jaugés ($5 < S \text{ (km}^2) < 5\,000$) et 1 935 fiches d'exutoires jaugés, ont été produites. Ces cartes permettent d'estimer les débits pouvant transiter dans des talwegs non jaugés et permettent d'implémenter les modèles hydrauliques de caractérisation de l'aléa ruissellement s'ils nécessitent des données de pluie ou de débit lorsque les données ne sont pas disponibles localement.

Il s'agit aussi de recenser les études réalisées relatives à l'aléa ruissellement sur le territoire mais à une autre échelle.

Repères de crue

Afin de sensibiliser la population, des repères de crue pour les inondations les plus significatives peuvent avoir été posés par les collectivités ou par les services de l'État. Sur un support fixe sont indiqués la date de la crue et le niveau atteint. La base nationale des repères de crue les répertorie⁴.

Approche historique

Elle est basée sur l'analyse des événements passés.

Modélisation de la sinistralité (CCR)

La CCR dispose d'un modèle déterministe permettant de simuler les événements réels de type catastrophe naturelle. Les précipitations sont acquises depuis la bibliothèque de Météo-France pour toutes les stations pluviométriques de la région étudiée selon les données disponibles au lendemain de l'événement (pluies journalières, horaires et évapotranspiration potentielle). Il a pour but d'estimer les impacts économiques des inondations. La synthèse de chaque événement est disponible (<https://catastrophes-naturelles.ccr.fr/les-evenements>) (voir la fiche du modèle CCR).

Limites : liées à celles du MNT de l'IGN (l'échelle d'utilisation est le 1/100 000^e) et du Mode d'occupation des sols CORINE Land Cover (l'échelle d'utilisation est le 1/100 000^e).

CatNat

Les événements liés à une certaine période de retour d'intensité de pluie ayant été à l'origine de dégâts peuvent donner lieu à un arrêté interministériel de catastrophe naturelle (dit arrêté CatNat). Plusieurs arrêtés

1 <https://www.georisques.gouv.fr/>

2 <https://www.geoportail-urbanisme.gouv.fr/>

3 <https://shyreg.inrae.fr/>

4 <https://www.reperesdecruces.developpement-durable.gouv.fr/>

peuvent concerner le même territoire. La base de données nationale est disponible sur le site Géorisques¹.

Elle détaille la fréquence et les coûts des événements par commune depuis 1995.

Limites : cette base ne distingue pas toujours précisément ce qui relève de l'inondation par débordement de cours d'eau et par ruissellement². Par ailleurs, la précision à la maille de la commune est généralement insuffisante pour déterminer les axes d'écoulements ou d'accumulation.

De plus les règles pour obtenir la reconnaissance CatNat ont évolué dans le temps, ce qui peut être gênant pour une analyse historique ou spatiale. Pour le ruissellement, justifier d'une pluie de fréquence de retour décennale de 24 h est un problème dans certaines zones, parce qu'il n'y a pas de lien direct entre la période de retour de la pluie et celle du ruissellement³.

Approche hydro-géomorphologique⁴

Cette démarche s'appuie principalement sur la lecture du terrain et l'analyse. Seul un expert (ou un bureau d'études spécialisé en hydrologie et hydrogéologie) est à même de comprendre les phénomènes de ruissellement et d'érosion en s'appuyant sur sa perception de la topographie et de l'évolution géomorphologique du site, mais aussi sur une analyse historique. Comme pour d'autres méthodes, le résultat de ce travail est la production de cartes indiquant les zones de production du ruissellement, les axes de transfert, et les zones d'accumulation, et d'un rapport de présentation.

Limites :

- l'expert lui-même, et en particulier sa connaissance de phénomènes comparables de ruissellement ;
- le temps passé sur le terrain, ce qui limite la démarche à des territoires plutôt restreints ;
- la qualité des données historiques et des témoignages qui auront pu être recueillis.

Approches par modélisation

Deux types de famille d'outils co-existent :

- Méthodes dites de type « sèches » ;
- Méthode dites de type « humides ».

Méthodes dites de type « sèches »

Ces méthodes ne sont pas directement associées à la notion de période de retour, et ne fournissent pas de valeurs quantitatives de hauteurs d'eau ou de vitesses d'écoulement.

- **La méthode IRIP** (Indicateur de Ruissellement Intense Pluvial)
- **La méthode MESALES** (Modèle d'Évaluation Spatiale de l'Aléa Érosion des Sols)
- **La méthode MESALES** adaptée localement

Des adaptations locales de la méthode ont pu voir le jour, notamment en Seine-Maritime (SAGE Yères et côte, SAGE des six vallées), qui ont permis d'intégrer l'aléa érosion concentrée à la méthode. Notamment le travail réalisé par l'AREAS pour le SAGE des six vallées⁵ a permis de déterminer un zonage stratégique ayant guidé les actions du premier SAGE. Les syndicats mixtes du bassin versant de l'Armançon puis du Bassin du Serein ont également adapté la méthode MESALES dans le cadre de leur étude menée en régie sur l'aléa ruissellement et l'érosion⁶. Ce dernier a également mené une étude prospective dans le cadre de la révision de PPRi ruissellement, prenant en compte le zonage AOC viticole (Chablis).

- **La méthode CRUS** (Cartographie du Ruissellement de Surface)
- **La méthode ORUS** (Organisation du Ruissellement)
- **La méthode ExZEco** (Extraction des Zones d'Écoulement)

1 <https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/onrn/acceder-aux-indicateurs-sinistralite#summary-target-1>

2 L'Institut Paris Region a cependant développé une méthode pour classer les arrêtés CatNat en Île-de-France entre débordement et ruissellement, sur la base de différents critères : durée et période de l'évènement, extension spatiale (nombre de communes), présence ou non d'éléments du réseau hydrographique. Il ressort de l'analyse que 88 % des événements enregistrés en Île-de-France entre 1982 et 2021 (619 pour 715) peuvent être rattachés à des phénomènes de ruissellement.

3 cf. RICHEL, Jean-Baptiste et HELLOCO, François, 2009. Anticipation des désordres hydrologiques majeurs en hiver sous pluie peu intense en Seine-Maritime. In : La Houille Blanche. décembre 2009. n° 6, pp. 52-55. DOI 10.1051/lhb/2009077.

4 Partie inspirée de l'article publié dans Hydroscience journal - 2021 « Cartographie de l'aléa ruissellement : la modélisation va-t-elle remplacer l'expertise de terrain » pages 5 et 6.

5 AREAS, Territoire du SAGE des six vallées – cartographie de l'aléa érosion des sols & cartographie des zones prioritaires du premier programme du SAGE vis-à-vis de l'érosion – rapport méthodologique, 2019.

6 <https://bassin-serein.fr/erosion-et-ruissellement>



IRIP (indicateur de ruissellement intense pluvial)

TYPE

La méthode IRIP a été développée par l'**INRAE**
 Contact : pascal.breil@inrae.fr

Résumé

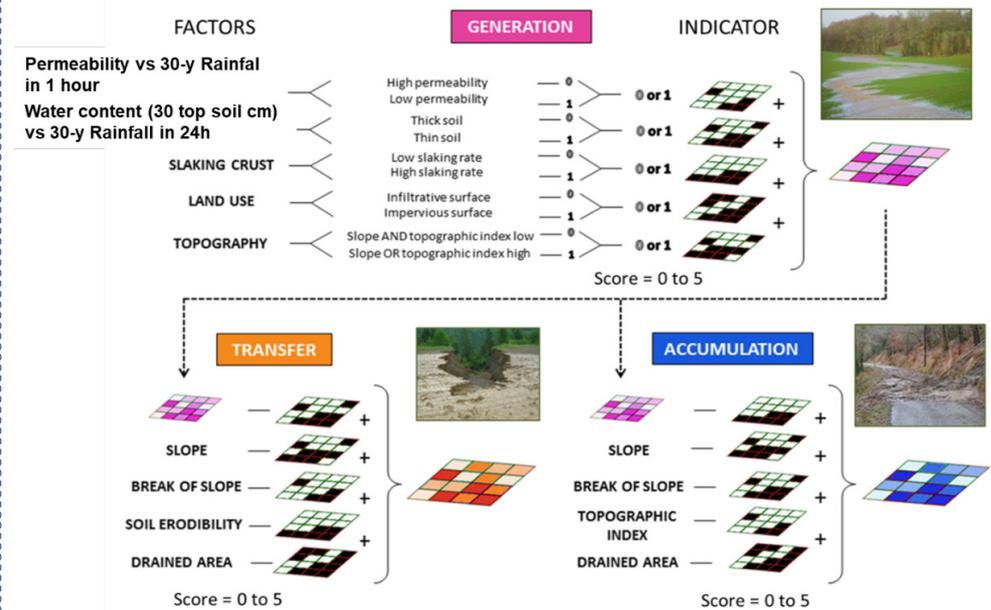
C'est un modèle de diagnostic de territoire dont l'objectif est d'indiquer là où des risques liés au ruissellement intense sont les plus probables. IRIP permet aussi d'étudier des types de solutions à mettre en œuvre.

Description

Les **trois cartes** produites indiquent les **zones de production** du ruissellement intense, les **axes de transfert érosif**, et les **zones d'accumulation** liquide et solide.

IRIP est une méthode à base de scores, calculés à partir de différentes couches d'informations géographiques utiles pour exprimer les facteurs du ruissellement intense.

Les 5 facteurs qui déterminent chaque carte sont codés 0 ou 1 selon une analyse statistique de leurs valeurs dans l'aire drainée par chaque maille qui découpe l'espace du bassin versant. Chaque maille reçoit en conséquence un score entre 0 et 5, résultat de la sommation des scores binaires des facteurs associés. La maille de calcul du modèle utilisée est celle du MNT de travail. Par construction les cartes des aléas transfert et accumulation dépendent de la carte de production. La logique amont-aval est aussi présente dans les descripteurs de ces aléas.

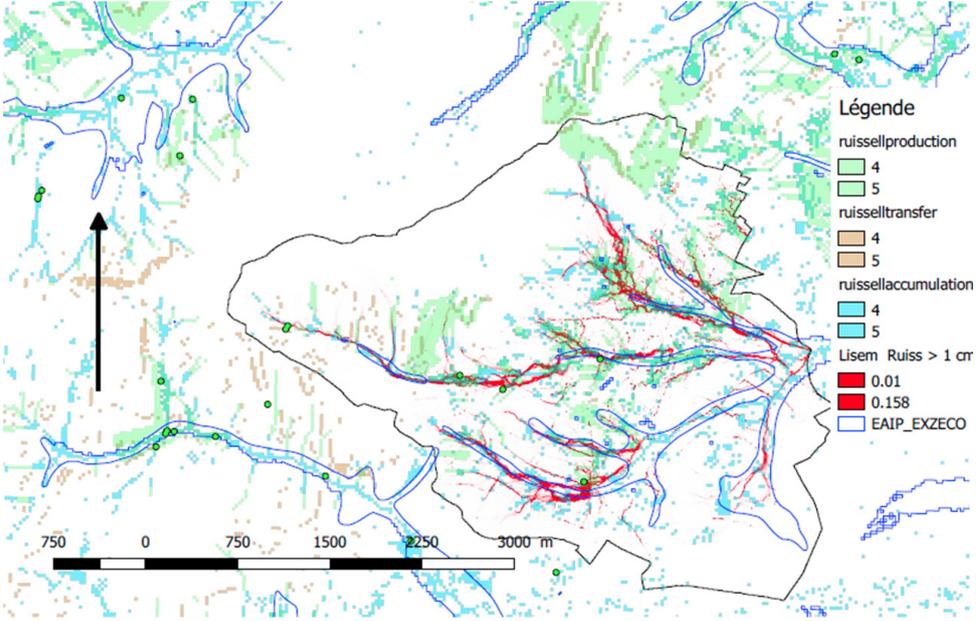


IRIP permet une analyse spatiale et le test de scénarios en modifiant l'occupation du sol, la topographie (terrasses agricoles), la restauration de zones humides (souvent en coïncidence avec des zones d'accumulation).

Ses domaines d'application sont le zonage pluvial, la GEMAPI, la cartographie des risques liés au ruissellement intense, la lutte contre les pertes en sol, le ralentissement et la captation du ruissellement intense avant qu'il ne s'évacue par les talwegs. Le croisement des aléas IRIP avec une carte de vulnérabilité permet de créer une carte de risque.

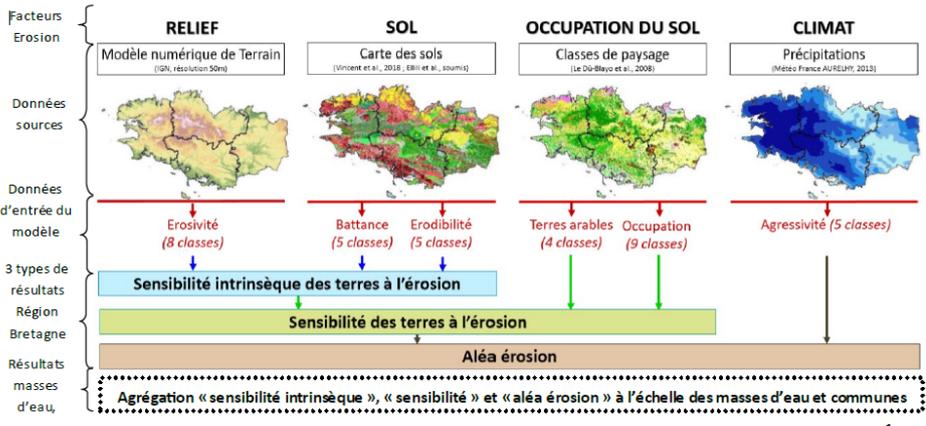
Pour en savoir plus, lien sur :

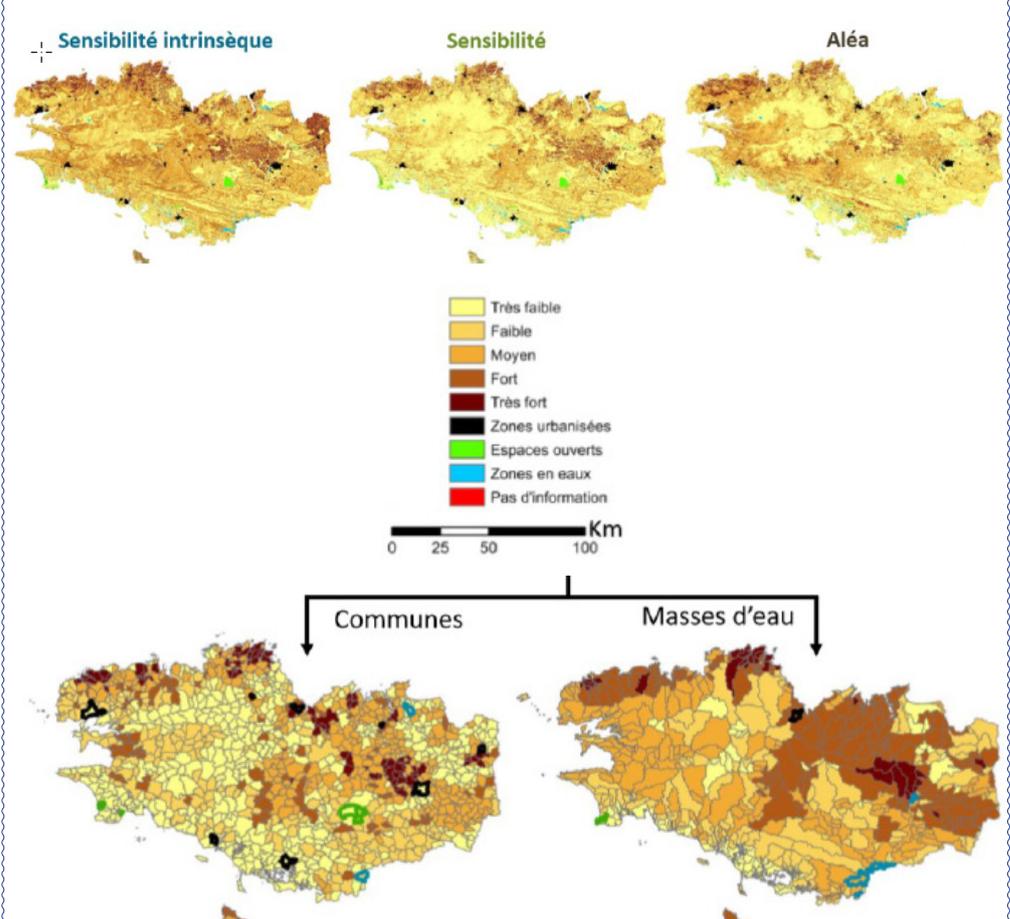
- IRIP sous Wikipedia : <https://fr.wikipedia.org/wiki/IRIP>
- Rapport technique initial IRIP : <https://hal.inrae.fr/hal-02595951>

Données d'entrée nécessaires	Nature couche	Accès libre	Source	Remarque
	MNT	oui	IGN	25m, 5m, 1m
	Rés. Trans.	oui	IGN	Une carte MixMap France entière est fournie aux utilisateurs IRIP. Elle combine ces 3 couches (4 si pluie stat) pour simplifier l'usage du modèle IRIP.
	Occ.Sol	oui	Theia	
	Carac.Sol	oui	ESDAC	
	Pluie Stat	non	METEOFR	
<p>IGN https://geoservices.ign.fr/catalogue</p> <p>Theia https://theia.cnes.fr/atdistrib/rocket/#/search?collection=OSO</p> <p>ESDAC https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/maps-indicators-soil-hydraulic-properties-europe</p>				
Résultats cartographiques	 <p>Cette figure illustre des cartes du modèle IRIP (raster 25m) de scores 4 et 5, la comparaison avec les Enveloppes Approchées d'Inondations Potentielles (EAIP) et le modèle mécaniste LISEM (1m).</p> <p>Les résultats se recoupent dans les zones d'accumulation hors ou dans les talweg. IRIP apporte en complément les zones de production et de transferts érosifs. Ici, les dommages géolocalisés (petits cercles verts) consécutifs à du ruissellement intense sont à 81 % dans des zones d'aléas IRIP Transfert et Accumulation qui représentent 6 % du bassin versant dans ce cas.</p>			
Limites techniques d'utilisation	<p>IRIP ne permet pas de dimensionner des ouvrages de ralentissement ou de stockage car ce n'est pas une méthode quantitative (pas de calcul de débits, vitesses, hauteurs). Il est cependant possible de calculer un facteur de charge en divisant la surface de production amont par la surface d'accumulation aval pour évaluer la faisabilité d'un stockage.</p>			
Conditions d'utilisation	<p>Une version libre de droit est disponible depuis 2020 sous la forme d'un plugin QGIS®. Elle est diffusée moyennant une formation gratuite, un tutoriel et la participation sous la forme de retour d'expérience à l'action IRIP-USERS de l'accord cadre DGPR/SRNH – INRAE. Une « hot-line » permet d'accompagner les utilisateurs.</p>			
Quelques utilisateurs				



MESALES (Modèle expert d'Évaluation Spatiale de l'Aléa Érosion des Sols)

<p>TYPE</p>	<p>Modèle développé par Le Bissonnais et al. (2002), actualisé par l'INRAE en 2018</p> <p>Contact : blandine.lemercier@institut-agro.fr</p>
<p>Résumé</p>	<p>MESALES est un modèle expert d'estimation de l'aléa érosif, c'est-à-dire la probabilité que des particules de terre se détachent sous l'action de la pluie. Les objectifs sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • d'estimer la sensibilité des terrains à l'érosion ; • d'estimer l'aléa érosion, en combinant la sensibilité des sols avec les précipitations ; • localiser les zones de « sensibilité » et « d'aléa » érosif ; • prioriser les zones d'actions de lutte contre l'érosion. <p>MESALES fournit in fine des cartes de sensibilité à l'érosion, notamment sur les versants cultivés, en fonction de la saison.</p>
<p>Description</p>	<p>Le principe général est le suivant :</p>  <p style="text-align: center;">Schéma du principe général (Lemerrier et al., 2019)</p> <p>La sensibilité intrinsèque des terrains à l'érosion dépend des facteurs naturels que sont le sol et le relief. La sensibilité des terrains à l'érosion considère également le rôle protecteur de la végétation à travers la prise en compte de l'occupation du sol en plus du sol et du relief.</p> <p>1 - Traitement des données sources :</p> <p>MNT → Erosivité : degré d'érosion des pentes sous l'action de la pluie. 8 classes d'érosivité définies en fonction du % de pente et modulées par la capacité d'accumulation du ruissellement : 0-1 %, 1-2 %, 2-5 %, 5-10 %, 10-15 %, 15-30 %, 30-75 %, > 75 %.</p> <p>Carte des sols (classes définies en fonction de la texture, du matériau parental, du type de sol) :</p> <p>a → Battance : tendance naturelle des sols à former en surface une couche peu perméable plus ou moins épaisse, sur laquelle une lame d'eau peut ruisseler. Cette formation se produit pour des sols particulièrement mal structurés. 5 classes de battance : Très faible, Faible, Moyen, Fort, Très fort, Pas d'information.</p> <p>b → Erodibilité : entraînement des particules du sol suite à la désagrégation des agrégats. 5 classes d'érodibilité : Très faible, Faible, Moyen, Fort, Très fort, Pas d'information.</p> <p>Classe des paysages → 9 classes d'occupation des sols : Territoire artificialisé, Terres arables, Cultures permanente, Prairies et pâturages, Zones agricoles hétérogènes, Forêt et végétation arbustive, Zones naturelles dégradées, Espaces ouverts, Zones humides et surfaces en eau.</p> <p>Pluviométrie : l'intensité des précipitations définit l'agressivité. 5 classes tirées des hauteurs moyennes mensuelles des précipitations (quintiles).</p> <p>2 – Application d'un arbre de décisions pour produire les cartes de sensibilité intrinsèque, de sensibilité et d'aléa faisant appel à l'expertise pour hiérarchiser et pondérer les critères.</p>

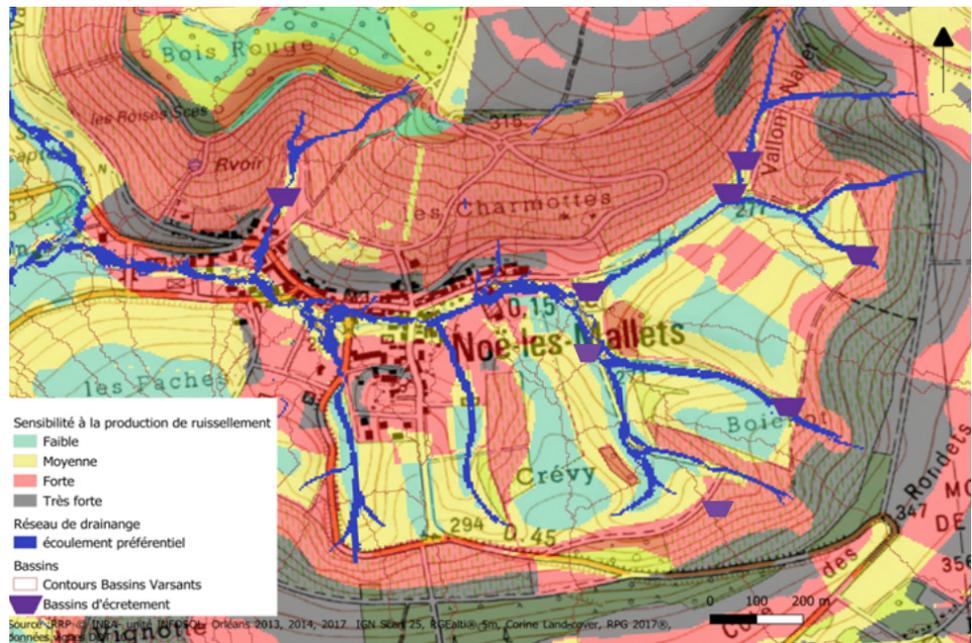
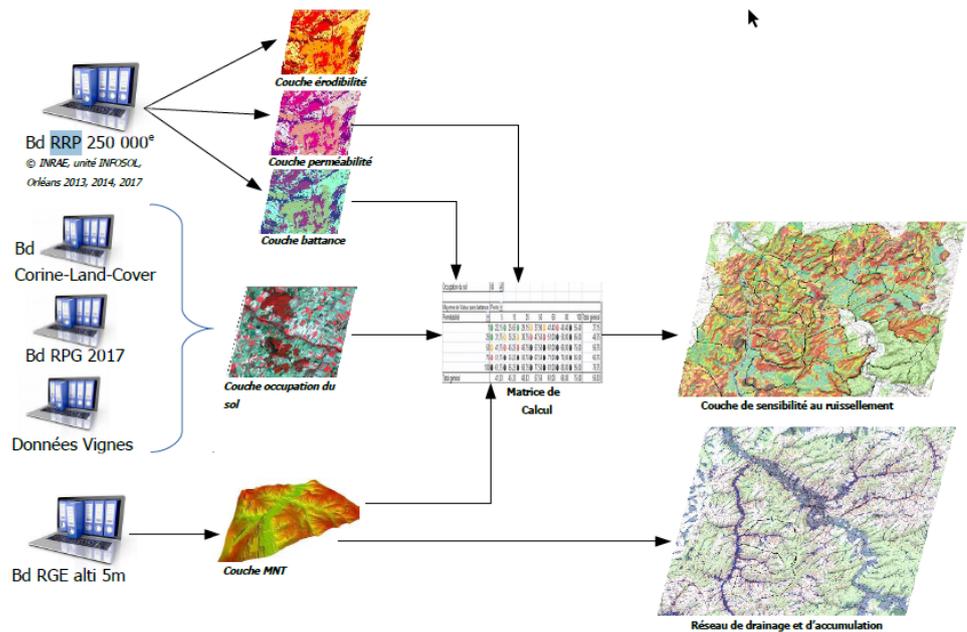
<p>Données d'entrée nécessaires</p>	<p>MNT, Carte des sols, Classes de paysage, Précipitations.</p>
<p>Résultats cartographiques</p>	<p>Exemple appliqué à l'échelle de la Bretagne (raster de 50m de résolution).</p>  <p><i>Exemples des sorties de MESALES (Lemerrier et al., 2019)</i></p>
<p>Limites techniques d'utilisation</p>	<p>La méthodologie permet d'estimer l'aléa érosif. Elle aborde l'aléa ruissellement de façon indirecte. Ne sont pas pris en compte la concentration des écoulements.</p> <p>Cette méthodologie doit être utilisée comme un état des lieux à une échelle « large » (bassins versants de taille importante, masses d'eau) avant d'affiner par des diagnostics locaux.</p>
<p>Conditions d'utilisation</p>	<p>Aucune condition particulière n'est imposée.</p> <p>Il n'y a pas de formation disponible mais des tutoriels ont été produits localement (cf. utilisateurs).</p> <p>La méthode mobilise des compétences en SIG voire en informatique (langage python), en agronomie et pédologie.</p>
<p>Quelques utilisateurs</p>	<p>LIOSE – BRGM – SM Yonne Médian – SM du bassin versant de l'Armançon – SI du bassin du Serein.</p>



CRUS (cartographie du ruissellement de surface)

TYPE	La méthode CRUS a été développée par le Contact : Vincent.remy@cerema.fr
Résumé	La méthode CRUS permet de cartographier la sensibilité des sols à générer du ruissellement à partir de données publiques sur la pédologie, l'occupation des sols et la topographie. Elle peut aller jusqu'à la proposition d'un zonage d'aléa.
Description	<p>La méthode CRUS intègre à la fois des données sur la perméabilité et la battance des sols, sur l'occupation de ces derniers, et sur les pentes ce qui permet de déterminer des zones de sensibilités préférentielles au ruissellement. Pour chaque paramètre sont définis des classes et un coefficient, et enfin des notes pour chaque classe.</p> <p>La détermination de la perméabilité et de la battance s'appuie sur les teneurs en sable (S), argile (A) et limon (L) des sols comme suit :</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>▲</p> <p>Diagramme ternaire/perméabilité</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Diagramme battance</p> </div> </div> <p>L'occupation des sols est regroupée en plusieurs catégories : forêt, prairies/vergers, cultures fermées (qui protègent en partie le sol de la formation d'une croûte de battance : blé, orge, colza...), cultures ouvertes (vigne, houblon, maïs...), sols nus/zones urbaines.</p> <p>La détermination des pentes est définie grâce au MNT.</p> <p>Un logiciel SIG combine les différentes couches résultant de la classification et de la notation des paramètres. CRUS produit une cartographie des sols à générer du ruissellement.</p> <p>Les coefficients de chacune des classes permettent de faire varier l'influence des paramètres pour correspondre au mieux à la réalité du terrain.</p> <p>CRUS peut être couplé avec la méthode ExZEco pour déterminer les axes de transferts et les zones d'accumulation. Divers impacts peuvent être déduits (coulées de boues, écoulements concentrés, « crues flash »).</p> <p>Peuvent être aussi testées des modifications de l'occupation des sols (ex : création d'un lotissement) et des évaluations d'érosion des sols.</p>
Données d'entrée nécessaires	Pédologie (Référentiel Régional Pédologique au 1/250 000 ^e) - Occupation des sols (CORINE Land Cover, Registre Parcellaire Graphique (RPG), données locales) - MNT de l'IGN (Bd alti à 25 m, RGE alti 5 m et 1 m).

Résultats cartographiques



Limites techniques d'utilisation

CRUS a pour but d'apporter une petite échelle (département, EPCI) aux acteurs du territoire une vision sur l'opportunité de leurs opérations de planification et des pistes d'action de réduction de la vulnérabilité, en identifiant notamment les secteurs de sensibilité préférentielle sur lesquels des études plus fines méritent d'être engagées. Un couplage avec des données hydrologiques est à l'étude, afin d'évaluer les ordres de grandeur des volumes d'eau potentiellement générés pour différentes périodes de retour.

Conditions d'utilisation

CRUS n'est pas disponible. La méthode est appliquée par le CEREMA en accompagnement de collectivités et de l'État. En effet, CRUS nécessite de l'expertise. CRUS est aussi en évolution permanente.

Quelques utilisateurs

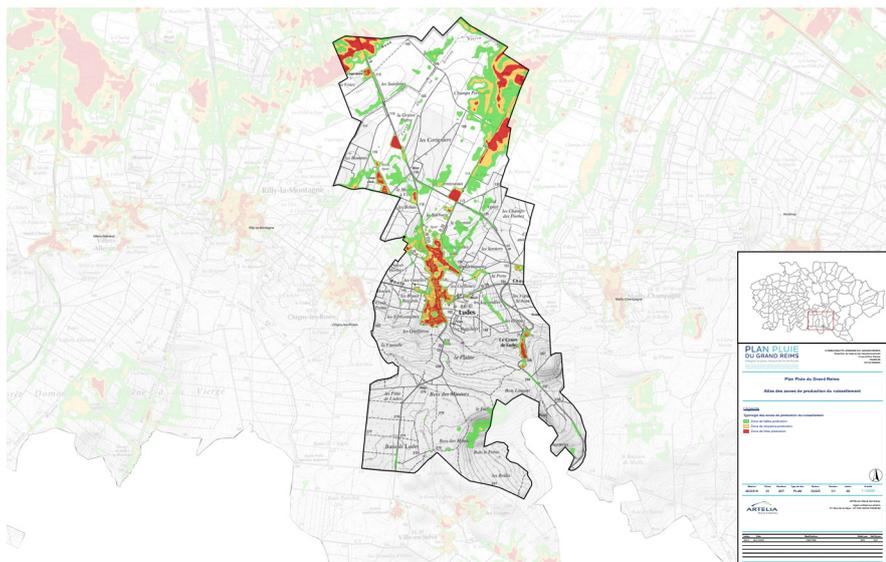
CEREMA



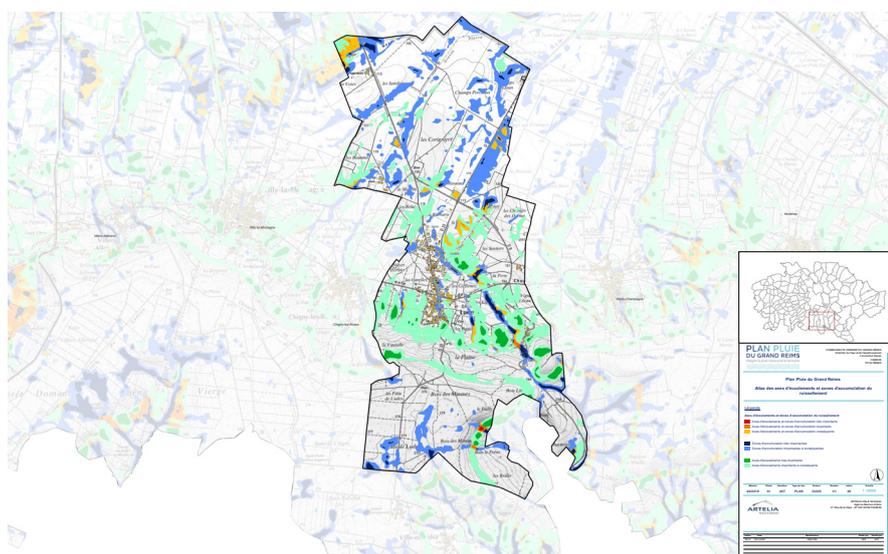
ORUS (Organisation du RUIssellement)	
TYPE	<p>ORUS est une méthode développée par ARTELIA, en partenariat de recherche avec l'INRAE</p> <p>Contact : Guillaume.BARJOT@arteliagroup.com</p>
Résumé	<p>ORUS permet d'identifier les zones de production et d'accumulation du ruissellement de bassins versants, y compris urbains, d'adapter les solutions de prévention et concevoir des plans d'actions et d'aménagement du territoire pour réduire sa vulnérabilité.</p>
Description	<p>Le potentiel de ruissellement dépend des caractéristiques topographiques, pédologiques et d'usage des sols, dans une logique hydrologique amont aval.</p> <p>ORUS est une méthode développée en préservant le socle méthodologique de la méthode IRIP de l'INRAE.</p> <p>Il s'agit plus particulièrement, en respectant le principe de la somme d'indicateurs non hiérarchisés de changer la description et les modalités de calcul des indicateurs pour rendre la méthode utilisable quel que soit le territoire (urbain ou rural) et quelle que soit la pluie. Cela a pour intérêt d'élargir les résultats à tous les phénomènes de ruissellement et pas uniquement au ruissellement intense.</p> <p>Le calcul des indicateurs prend en compte les ouvrages et aménagements de gestion des eaux pluviales ainsi que les effets de seuils liés à la présence de réseaux.</p> <p>ORUS produit des cartes de potentiel (sous forme de scores) de production, d'accumulation liquides.</p> <p>Ces scores s'appuient sur différents indicateurs basés sur l'analyse de la topographie (pente, aire drainée, géomorphon, etc.), sur l'occupation du sol (inventaire des zones humides, occupation du sol, etc.) et son usage (qualité, étalement urbain, vulnérabilité, pratiques agricoles, etc.).</p> <p>La méthode ORUS permet d'envisager une action de réduction du potentiel de production via un aménagement distribué sur le bassin versant, non centré sur une collection d'ouvrages prédéfinie, dans un objectif de gestion de l'eau à la source.</p> <p>Pour en savoir plus : https://hal.inrae.fr/hal-03793168, https://www.grandreims.fr/fileadmin/grandreims/MEDIA/15_publications_legales/2022_enquete_plan_pluie_GR/Le_Plan_Pluie_du_Grand_Reims_AZR-V3-Enq.pdf</p>
Données d'entrée nécessaires	<p>Topographie : MNT LIDAR 1 m, piézométrie, Mode d'occupation et d'usages des sols (par recoupement de bases, y compris agriculture).</p>

Résultats cartographiques

Plan pluie Grand Reims – zones de production – Commune de Ludes :



Plan pluie Grand Reims – axes d'écoulement et zone d'accumulation du ruissellement – Commune de Ludes :



Limites techniques d'utilisation

ORUS fournit un potentiel.

Mais ORUS ne donne aucun résultat quantitatif de débit, vitesse et hauteur d'eau. En effet, il n'y a ni calculs hydrauliques, ni prise en compte de la pluie.

Le rendu est fonction de la qualité du MNT et du mode d'occupation des sols. ORUS est à utiliser de façon préférentielle pour les bassins versants topographiques compris entre 2-3 ha et 150 km².

Conditions d'utilisation

ORUS a été expertisé. Le temps de calcul est d'une heure pour 500 km².

La conception d'ORUS fait partie d'un travail de doctorat encore en cours. La méthode peut encore évoluer.

ORUS sera accessible gratuitement, sous réserve de citation, une fois le mémoire de thèse publié (prévue en 2023).

L'utilisation d'ORUS nécessite une bonne expertise dans le domaine agronomique et pédologique. Un Plugin QGIS est disponible sur demande.

Quelques utilisateurs

Artélia (notamment pour le compte de la Communauté urbaine du Grand Reims dans le cadre de son plan pluie...).



ExZEco « Extraction des ZONES d'Écoulement »

TYPE	La méthode ExZEco a été développée par le   Contact : Communauté https://www.expertises-territoires.fr/jcms/pl1_106627/fr/exze-co-methode-d-extraction-des-zones-d-ecoulements
Résumé	ExZEco est une méthode SIG permettant de déterminer automatiquement à partir de la topographie, sur des bassins versants, les emprises potentiellement inondables. Elle équivaut à remplir le fonds des talwegs avec une certaine hauteur d'eau. ExZEco, ce sont aussi des résultats.
Description	<p>ExZEco utilise un Modèle Numérique de Terrain (MNT).</p> <p>1- Cette représentation de la topographie permet grâce à un algorithme d'identifier les talwegs, par identification des pixels « bas » du MNT. Dans le détail, l'algorithme compare l'altitude de chaque pixel avec ses 8 voisins. Il calcule ensuite le sens de circulation de l'eau de ruissellement entre chaque pixel puis identifie les pixels qui drainent la plus grande surface, qui sont les pixels « bas » (figure 1).</p> <p>2- La topographie est modifiée de manière aléatoire (bruitage). Dans la pratique certains pixels choisis au hasard sont modifiés en ajoutant un ΔH (premier paramètre de calcul) (figure 2).</p> <p>3- Cette opération est répétée N (second paramètre de calcul) fois (itération) (figure 3).</p> <div data-bbox="454 878 933 1164"></div> <p data-bbox="454 1169 734 1191">Figure 1: Résultat d'un calcul de thalweg</p> <div data-bbox="957 878 1436 1164"></div> <p data-bbox="957 1169 1412 1191">Figure 2: Le calcul de thalweg est un peu différent car le MNT a été bruité</p> <div data-bbox="702 1198 1189 1489"></div> <p data-bbox="702 1494 1093 1516">Figure 3: De nombreuses itérations forment une surface</p> <p>Pour en savoir plus, lien sur : ExZEco : https://www.cerema.fr/fr/actualites/modelisation-du-ruissellement-bassins-versants-methode</p>
Données d'entrée nécessaires	MNT : précision variable selon les études et sa disponibilité : de 1 m à 25 m (BD Topo de l'IGN pour l'EAIP) en France.

Résultats cartographiques

ExZEco a été testé notamment sur le bassin versant de la Torse (22 km²) qui est situé sur la partie Est du centre-ville d'Aix en Provence. Il existe un atlas de zones inondables (AZI) réalisé par approche hydrogéomorphologique sur cette vallée qui constitue une base de comparaison.

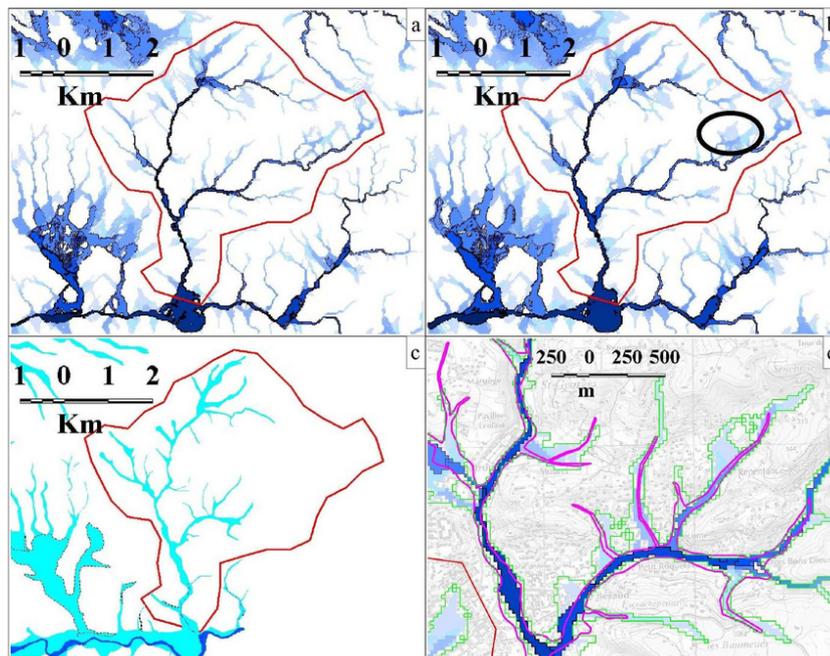


Figure 3 : comparaison de différentes approches de délimitation de zones inondables sur la Torse (a) EXZEco $\Delta H=1m$ (b), EXZEco $\Delta H=2m$, (c) comparaison EXZEco $\Delta H=1m$ $N=1\ 000$, EXZEco $\Delta H=2m$ $N=1\ 000$ (contour fin en escalier) et AZI (contour épais) sur un secteur limité.

Limites techniques d'utilisation

ExZEco a été utilisée dans la production de l'enveloppe approchée des inondations cours d'eau pour les têtes de bassin versant pour la mise en œuvre de la Directive inondation en 2011.

Les données ExZEco peuvent être utilisées pour certaines zones de PPRI, des diagnostics territoriaux.

Pour évaluer l'aléa ruissellement potentiel, il faut se limiter à des bassins drainés compris entre 0,01 et quelques km².

Par contre, ExZEco ne fournit aucune information pour quantifier l'aléa (hauteur d'eau, vitesse d'écoulement, débits, périodes de retour).

Il n'y a pas non plus de prise en compte des réseaux d'assainissement, des ouvrages hydrauliques et de tous les éléments de taille inférieure à la taille de la grille du MNT (mobilier urbain, trottoirs, mur de clôture, mur, digue...). La qualité du MNT (fausses cuvettes) joue aussi un rôle majeur. Ces limites peuvent par exemple conduire à très mal représenter des écoulements en milieu urbain suivant certaines voiries routières, ou bâtiments.

Conditions d'utilisation

Les données sont fournies **au format universel « shape »** compatible Arcgis/Qgis et sont **librement utilisables**. Les tables fournies pour les zones traitées avec le pas de 5 m sont les suivantes :

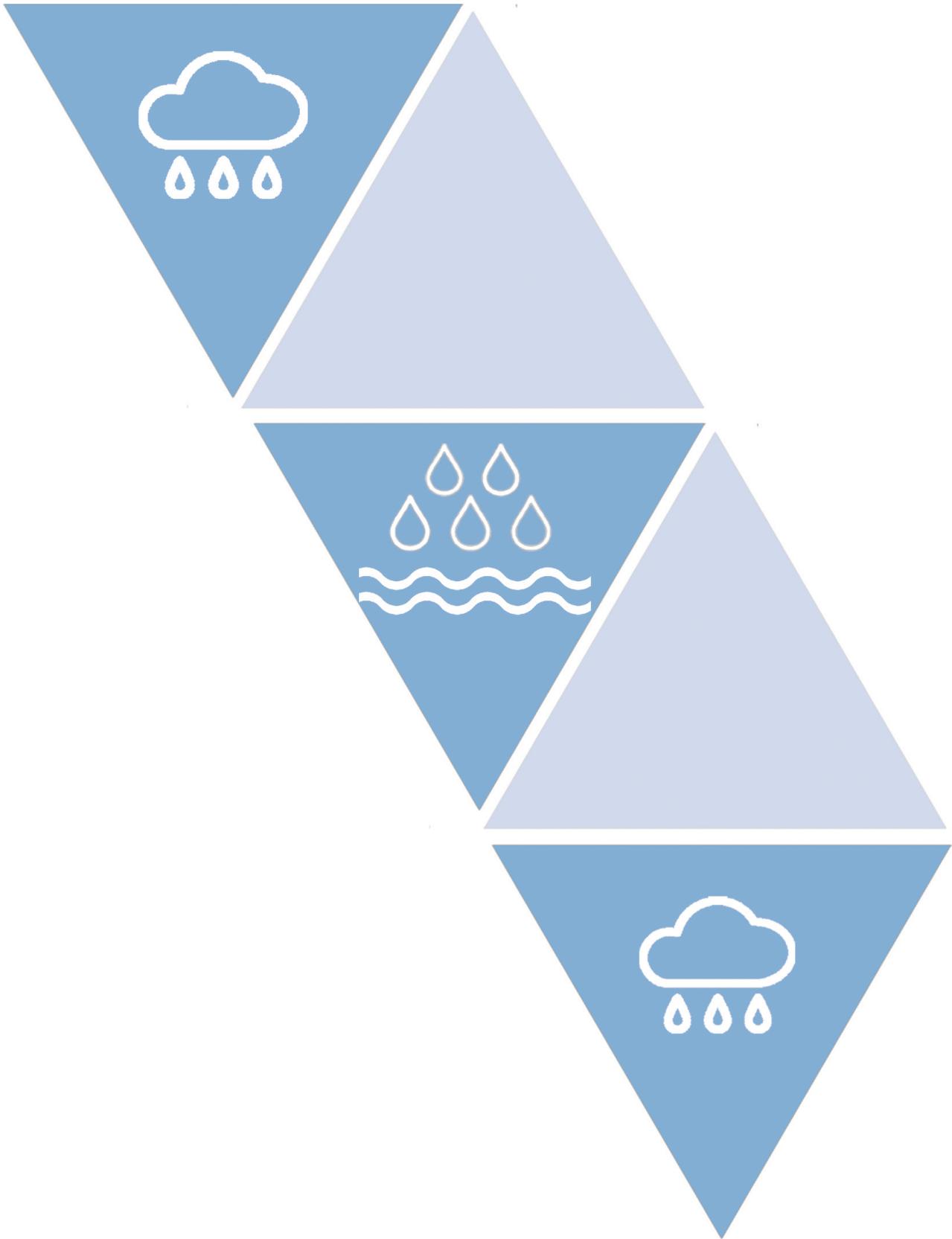
- **Emprise** (zone de calcul) ;
- **Cuvette** (avec les classes de hauteurs) ;
- **Endoréisme** ;
- **ExZEco** 100 cm, produit principal pour les services mais également 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm (avec les classes de superficies drainés 0,01 / 0,05 / 0,1 / 0,5 / 1 / 5 / 10 / 50 km²) pour des usages plus spécifiques.

Quelques utilisateurs

CEREMA, bureaux d'études, DDT(M),...

Communauté https://www.expertises-territoires.fr/jcms/pl1_106627/fr/exzeco-methode-d-extraction-des-zones-d-ecoulements





Méthodes dites de type « humides »

Cette seconde famille d'outils de modélisation repose sur des méthodes dites de type « humides », c'est-à-dire utilisant des données hydrologiques et/ou hydrauliques, généralement associées à une période de retour.

- **Modèle STREAM** (Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management)
- **Modèle Watersed.** D'un point de vue conceptuel, WaterSed est une évolution de STREAM.
- **Modèle CCR**
- **Modèle openLISEM**
- **Modèle HEC-HMS**

Certains outils de modélisation peuvent être intégrés dans des chaînes de traitement automatisées afin de faciliter l'élaboration de cartographies de ruissellement sur de grands territoires et/ou pour de nombreux évènements, à l'image de la méthode Cartino2D.

- **Méthode Cartino2D**

A été confiée au CEREMA une étude de faisabilité d'utilisation des modèles TELEMAC 2D, Cartino2D pour traiter le ruissellement à l'échelle de grands bassins versants.

- **Autres méthodes**

Il existe d'autres méthodes et modèles pouvant être proposés.

Par exemple, le modèle LASCAR permet de visualiser le parcours d'une goutte d'eau. Il prend en compte les haies avec ou sans talus. Il n'est pas disponible pour l'instant mais devrait l'être pour le second semestre 2023. Il permet également de simuler l'implantation ou le retrait d'une haie (avec ou sans talus) et l'impact généré. Ce modèle n'est donc pas complet mais nécessite peu de données en entrée et permet d'aborder le sujet.

Le plus souvent ce sont des modélisations hydrauliques locales proposées par des bureaux d'études sur un secteur particulier avec analyse préalable des conditions d'écoulements et des différentes contraintes¹.

Les modèles les plus courants sont de types FD (Fully Distributed) ou mixte SD (Semi distributed)/FD, couplés avec ou sans réseaux (d'eaux pluviales).

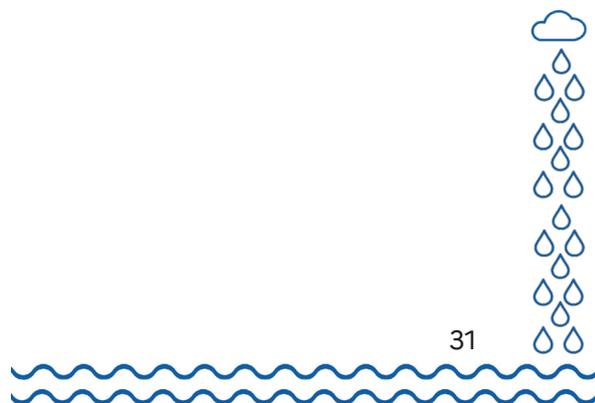
Ils nécessitent des données d'entrées précises parfois difficiles à acquérir : topographie (Lidar), bâti, obstacles (murets, ...), plans masse, réseaux (éventuellement), pluies statistiques ou réelle, ouvrages hydrauliques...

Ces modèles ont besoin aussi de données de calage souvent indisponibles.

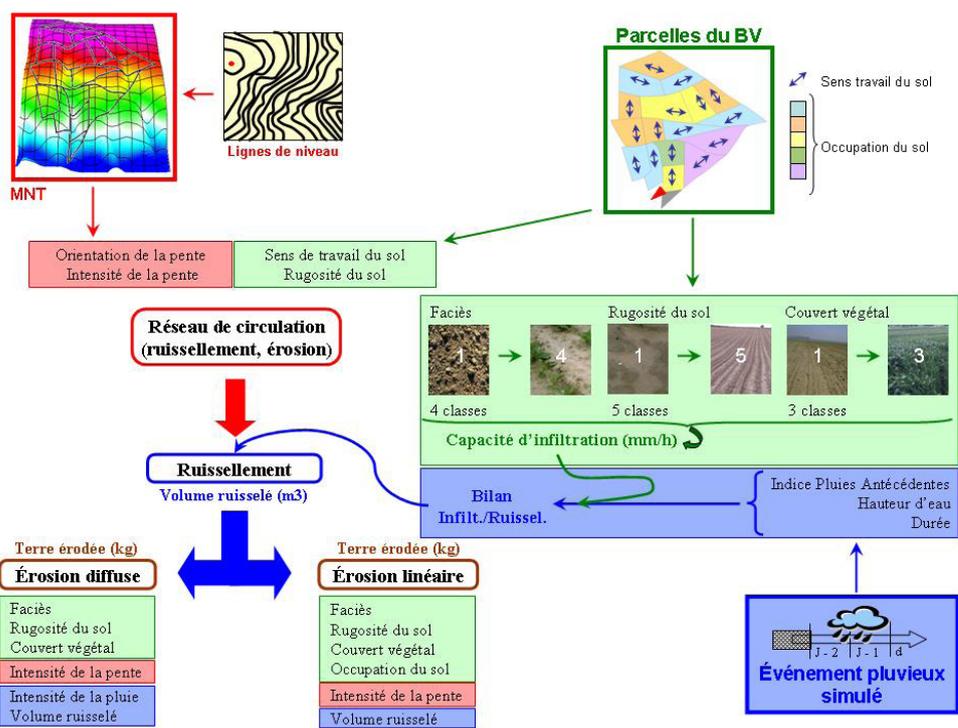
La taille du bassin versant dépend de la finesse attendue des résultats (possible sur de grandes surfaces avec un maillage grossier), mais généralement inférieur à 20 km² en FD.

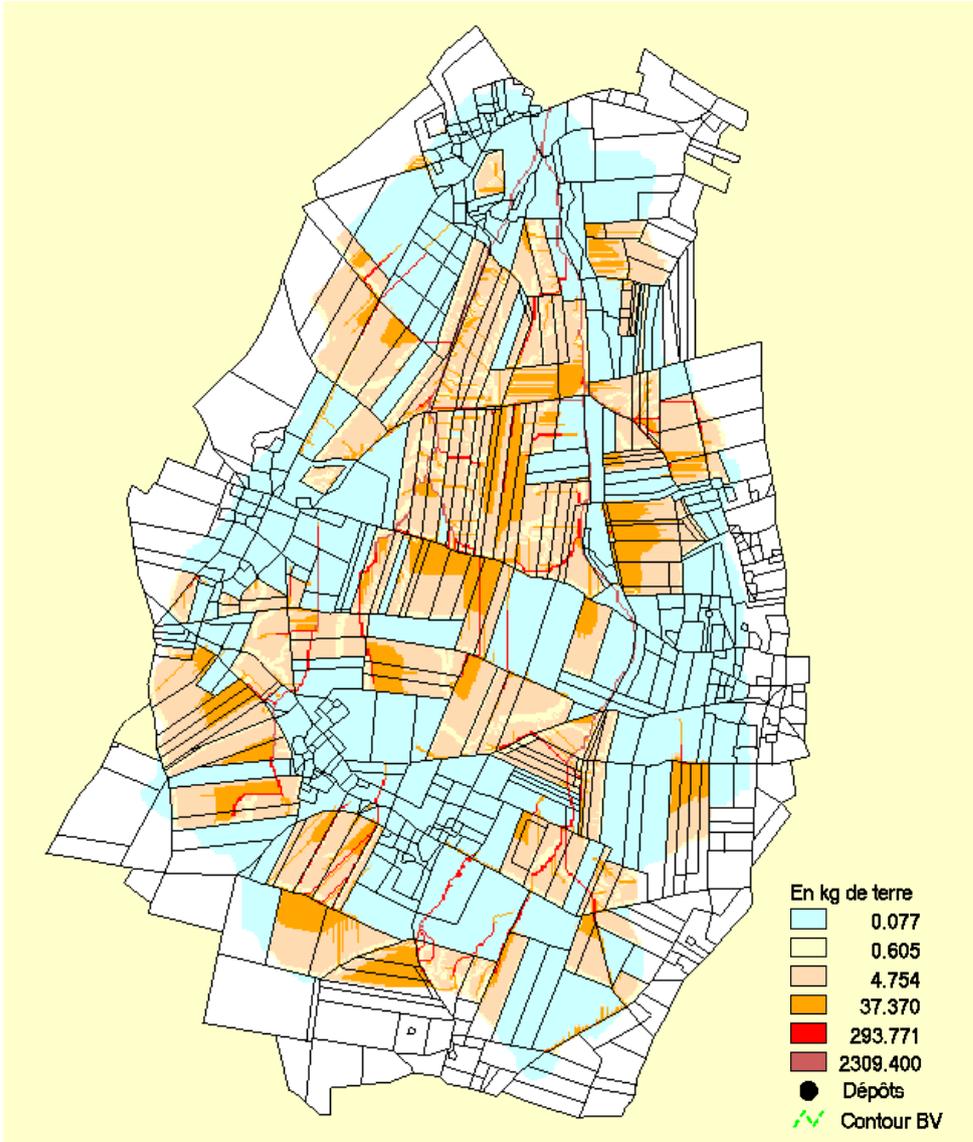
Les restitutions sont à des échelles comprises entre le 1/500^e et le 1/10 000^e.

¹ Source : Extrait de HAL Id:hal-03793168 <https://hal.inrae.fr/hal-03793168>



STREAM (Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management)

<p>TYPE</p>	<p>Logiciel développé par l'INRA (INRAE) Contacts : alain.couturier@inrae.fr, veronique.souchere@inrae.fr</p>
<p>Résumé</p>	<p>STREAM simule le ruissellement et l'érosion en contexte agricole pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • proposer des réaménagements au sein des bassins versants ; • conduire des recherches scientifiques.
<p>Description</p>	<p>STREAM est un modèle spatialisé permettant d'élaborer des cartes de zones préférentielles de ruissellement et d'érosion/dépôt. Il s'appuie sur un modèle numérique de terrain (MNT), la connaissance des éléments linéaires anthropiques (sens du travail du sol...), l'occupation des sols et les caractéristiques d'un événement pluvieux (cumuls de précipitation, durée, intensité, saturation des sols). Il est principalement utilisé dans le domaine agricole pour identifier et localiser les zones d'érosion, ainsi que pour évaluer l'impact sur le phénomène érosif de différents types de cultures. Il a pour autre originalité de simuler le réseau d'écoulement en prenant en compte les directions de travail du sol (et pas uniquement le MNT).</p>
<p>Description</p>	<p>Il se base sur des processus physiques connus (infiltration, ruissellement, transport de sédiments) desquels sont extraits des paramètres clés dans la représentation des mécanismes et utilisés ensuite dans des règles de décisions.</p> <p>L'architecture de STREAM est composée de quatre modules interdépendants décrivant respectivement le réseau d'écoulement, le ruissellement, l'érosion diffuse et l'érosion linéaire.</p>  <p>Pour en savoir plus : https://www6.inrae.fr/basc_eng/content/download/3408/34405/version/1/file/Fiche_modele_BASC_Stream.pdf https://www.areas-asso.fr/wp-content/uploads/2021/07/stream.pdf</p>

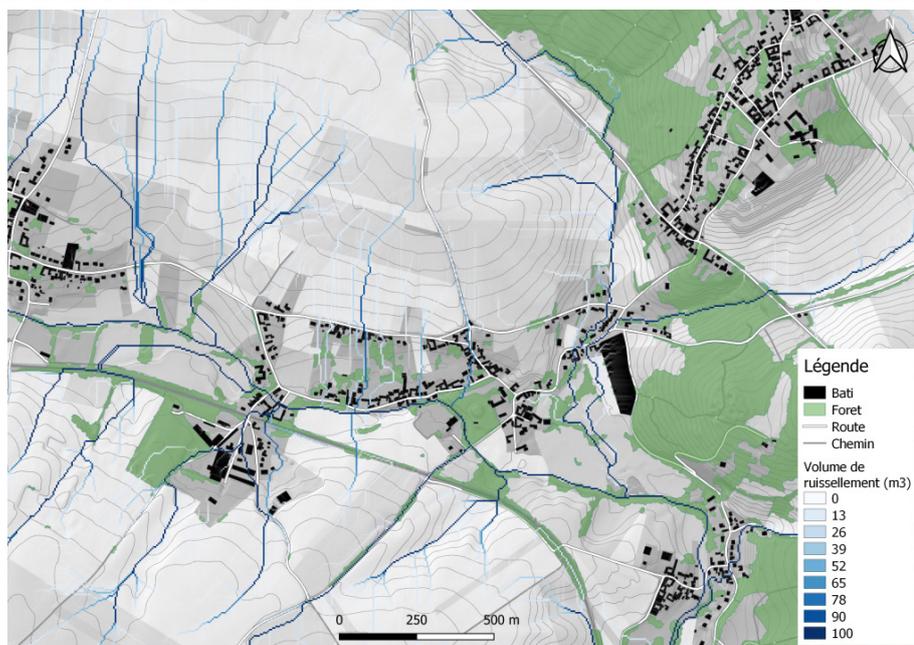
<p>Données d'entrée nécessaires</p>	<p>MNT, carte des sols, RPG, évènement pluvial (durée efficace, hauteur totale, intensité maximale, et hauteur des précipitations cumulées des 48 heures qui précèdent), éléments linéaires anthropiques (chemins, fossés, routes...).</p>
<p>Résultats cartographiques</p>	<p>Résultat d'une simulation d'un évènement pluvieux érosif avec STREAM (Auteur : V. Souchère) :</p> 
<p>Limites techniques d'utilisation</p>	<p>STREAM a été mis au point pour les sols limoneux et le climat de Haute Normandie. Son utilisation dans un autre contexte (climat, sols) nécessite un calage via des expérimentations de terrain. Il est exclusivement réservé aux secteurs agricoles.</p> <p>STREAM fonctionne sur ArcGIS Desktop, de la version 9.3 à la 10.3 avec son évolution LANDSOIL. Il ne fonctionne ni sur ArcGIS Pro ni sur Qgis.</p>
<p>Conditions d'utilisation</p>	<p>Le logiciel est gratuit. Pas de formation prévue.</p>
<p>Quelques utilisateurs</p>	<p>Laboratoires de recherche français et étrangers, agences de l'eau et chambres d'agriculture, bureaux d'étude.</p>



WATERSED

TYPE	<p>Le modèle WATERSED a été développé par le BRGM</p> <p>Contact : v.landemaine@brgm.fr ou BRGM – DRP/RIG - 3, Avenue Claude Guillemin 45100 Orléans</p>
Résumé	<p>Watersed est un outil de modélisation du ruissellement et de l'érosion des sols. Cet outil fonctionne depuis l'échelle de la parcelle à celle du bassin versant et réalise des bilans hydrologiques et sédimentaires pour un évènement de pluie donnée. Il permet de tester différents scénarios (aménagements, occupation des sols, changements climatiques).</p>
Description	<p>Watersed a besoin de données sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> la topographie et les éléments d'origine anthropique modifiant la direction du ruissellement (route, fossé...); l'occupation des sols et les pratiques culturales ; les propriétés des sols ; les pluies observées ou statistiques. <p>Le modèle intègre la sensibilité au ruissellement des sols sous l'action des pluies, à partir de l'usage et de la texture des sols. Le modèle simule le ruissellement hortonien (dépassement de la capacité d'infiltration du sol) et le ruissellement par saturation du sol, ainsi que l'érosion diffuse et concentrée.</p> <p>Pour une pluie donnée, le modèle restitue différentes cartographies à la résolution du MNT : volume de ruissellement, masse de terre érodée, hauteur de pluie nette, hauteur de pluie infiltrée...</p> <p>Peuvent être simulées des modifications (passées ou futures) de l'occupation des sols, ou des pluies (prise en compte du changement climatique par exemple).</p> <p>Un module permet aussi de tester des scénarios d'aménagement de nature à agir sur l'aléa pour remédier ou limiter les dommages. Quatre types d'aménagement sont prévus : fascine, haie, bande enherbée, mare/bassin tampon. Chaque aménagement doit être positionné et décrit par quatre paramètres (largeur, volume, capacité d'infiltration, coefficient de Manning).</p> <p>Pour en savoir plus : https://watersed.fr/</p>
Données d'entrée nécessaires	<p>MNT (BD ALTI IGN, LIDAR, etc.) et les modifications anthropiques des axes de ruissellement.</p> <p>Occupation des sols (RPG, BD TOPO, Corine Land Cover, etc.) et les pratiques culturales.</p> <p>Propriétés des sols (IGCS, BDAT, etc.).</p> <p>Pluies observées/statistiques ; pluies distribuées ou homogènes.</p>

Résultats cartographiques



1- Cartographie de volume de ruissellement



2- Cartographie de l'impact de plusieurs fascines sur la masse de terre transportée

Limites techniques d'utilisation

Watersed n'est pas un modèle hydraulique mais hydrologique.

Il est généralement appliqué sur des bassins versants de quelques dizaines de kilomètres carré au maximum, drainés par des cours d'eau ne disposant pas toujours de stations hydrométriques. En l'absence de données, le modèle Watersed nécessite une certaine expertise dans le calage des paramètres.

Conditions d'utilisation

Le modèle Watersed et les outils associés sont téléchargeables gratuitement après inscription (lien : <https://watersed.fr/inscription/>).

Des tutoriels permettent le téléchargement du modèle et de préparer les données d'entrée nécessaires au modèle.

Le BRGM dispense également des formations pour la prise en main du modèle (payantes) : <https://formation.brgm.fr/risques-naturels-et-resilience-des-territoires-impacts-du-changement-climatique-utilisation-du-modele-watersed-s138.html>

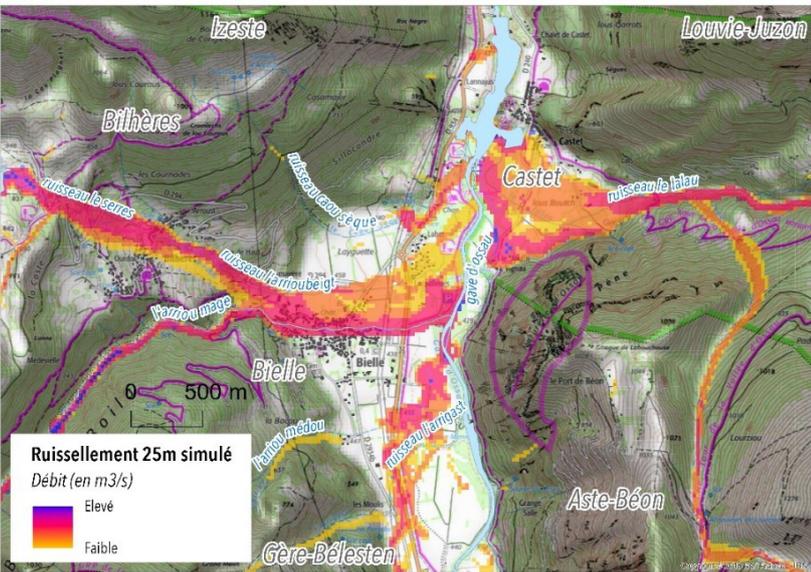
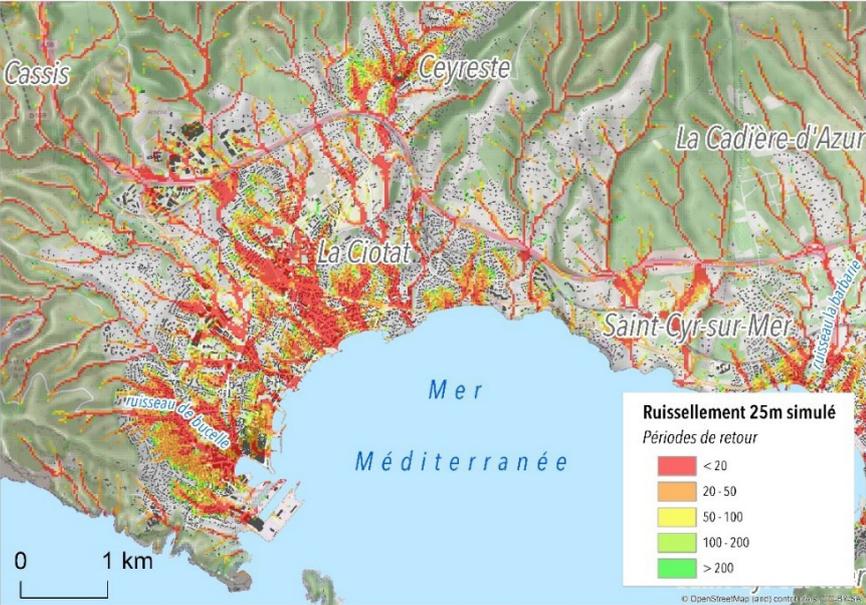
Quelques utilisateurs

SI du bassin du Serein, EPAGE SEQUANA.



Modèle de ruissellement pluvial de la CCR

TYPE	Le modèle a été développé par la Caisse Centrale de Réassurance Contact : dmoncoulon@ccr.fr
Résumé	Le modèle CCR permet de simuler les écoulements des eaux de surface en tout point du territoire lorsque l'intensité des précipitations dépasse l'infiltration et la capacité de rétention en eau des sols. Cela est effectué pour tous les cours d'eau non jaugés de France et les sous bassins versants, par des traitements géomatiques dédiés à l'hydrologie.
Description	<p>Le modèle ruissellement est alimenté par la pluie efficace. Les différents types d'occupation des sols permettent de spatialiser les coefficients de la fonction de production. Les écoulements de surface sont distribués sur le MNT dans 8 directions en fonction de la pente afin de retrouver les zones d'écoulements préférentiels. Ce routage des débits au sein de chaque bassin versant est facilité par un algorithme de direction des flux intégré dans le modèle. Ce modèle, régulièrement mis à jour, est calibré sur une sélection d'événements historiques survenus en France depuis 1999. Le modèle fournit un débit maximal en tout point.</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> <pre> graph LR subgraph Données P[Pluviomètres Météo France] E[ETP] D[Débits mesurés aux stations] M[MNT IGN 25m] C[CorineLandCover] end subgraph Modèle M1[Modèle ruissellement : Écoulement dans les talwegs Cours d'eau non jaugés] M2[Modèle débordement : Cours d'eau principaux jaugés Débordement dans le lit majeur] end subgraph Résultats R1[Débit maximal en tout point du territoire] R2[Hauteurs d'eau maximales] end P --> M1 E --> M1 D --> M2 M --> M1 C --> M1 M1 --> R1 M1 --> M2 M2 --> R2 </pre> </div> <p>Il permet à la CCR :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de simuler (modèle déterministe) des événements réels de type catastrophe naturelle. Pour ce faire, les précipitations sont acquises depuis la bibliothèque de Météo-France pour toutes les stations pluviométriques de la région étudiée selon les données disponibles au lendemain de l'événement (pluies journalières, horaires et évapotranspiration potentielle). L'aléa ruissellement simulé est combiné à l'aléa débordement pour estimer les impacts économiques de l'événement ; • de simuler des événements probables (modèle probabiliste). Il est constitué d'un catalogue d'un millier d'événements fictifs sur 400 années de précipitations du modèle ARPEGE-Climat de Météo-France (climat 2004) sur l'ensemble de la France. Il permet de produire les résultats pour 5 périodes de retour comprises entre inférieure à 10 ans jusqu'à supérieure à 200 ans ; • d'étudier les impacts du changement climatique telle que l'étude réalisée en partenariat avec Météo-France en 2018 pour la France (scénarios du GIEC RCP4.5 et RCP8.5) ; • de mener des études spécifiques plus fines de l'aléa ruissellement telle que l'étude réalisée sur le bassin versant de la Bièvre en partenariat avec l'Institut Paris Région, à condition de disposer d'un MOS plus précis, et de données complémentaires (réseaux d'assainissement). <p>Pour en savoir plus : T Onfroy, D Moncoulon, 2020 La modélisation du ruissellement pluvial : aléa CCR à 25 mètres de résolution, Colloque SHF : Ruissellement Lyon</p> <p>D. Moncoulon, A. Quantin, 2013 Modélisation des événements Extrêmes d'inondation en France métropolitaine, La Houille Blanche, Revue Internationale de l'eau 1, 22-26, 1.</p>

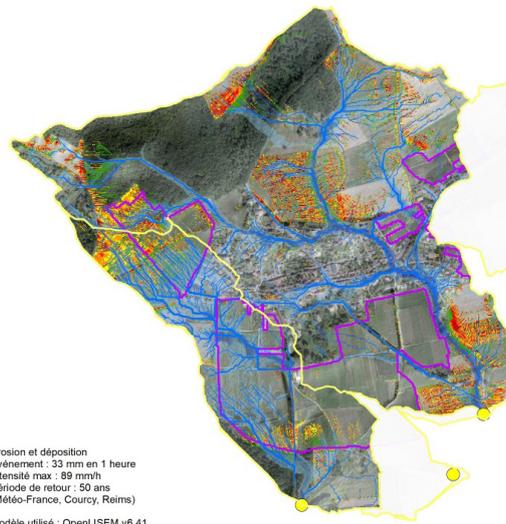
<p>Données d'entrée nécessaires</p>	<p>MNT de l'IGN (à 25 mètres de résolution), Pluviométrie (Météo-France) (modèle déterministe : publithèque ; modèle probabiliste : modèle ARPEGE-Climat), occupation des sols (CORINE LAND COVER ou MOS plus fin), données complémentaires pour étude particulière, BD Carthage.</p>
<p>Résultats cartographiques</p>	<p>Simulation d'une crue torrentielle - décembre 2019 - commune de Bielle (64) :</p>  <p>Aléa ruissellement probabiliste – secteur de la Ciotat (13) :</p> 
<p>Limites techniques d'utilisation</p>	<p>Les limites sont liées à la précision du MOS et du MNT ainsi qu'aux données pluviométriques en entrées. Le modèle a produit des simulations (déterministes et probabilistes) sur l'ensemble du territoire français (petite échelle). Des études plus fines nécessitent des données plus précises notamment sur l'occupation des sols. Le modèle fait l'objet d'une expertise du ministère en charge des risques.</p>
<p>Conditions d'utilisation</p>	<p>Le modèle n'est pas disponible. Il est utilisé par la CCR. Les synthèses issues du modèle déterministe sont accessibles (lien : https://catastrophes-naturelles.ccr.fr/les-evenements). Par convention et sur demande, les données issues du modèle probabiliste (climat actuel, climat 2050) peuvent être mises à la disposition des collectivités. Par convention R&D avec des collectivités, des études plus fines peuvent être menées.</p>
<p>Quelques utilisateurs</p>	<p>Caisse Centrale de Réassurance.</p>



openLISEM (Spatial Model)

TYPE	Modèle à base physique développé par ITC, Faculty of Géo-Information Science and Earth Observation, Twente University.
Résumé	OpenLISEM est un modèle hydrologique spatialisé qui simule le ruissellement, la dynamique des sédiments et les inondations dans les bassins versants ruraux et urbains. Il s'agit d'un modèle à base physique, qui peut être utilisé pour des bassins versants de 1 ha à plusieurs centaines de km ² . Il a pour but d'évaluer les impacts des changements d'occupation du sol, des aménagements hydrauliques et d'autres mesures de lutte contre l'érosion, tels que les techniques culturales sans labour. Il s'agit d'un modèle conçu pour être utilisé dans la gestion des risques liés à des événements pluvieux individuels, mais permet aussi une utilisation sur des périodes plus longues (plusieurs semaines ou mois).
Description	<p>La figure ci-dessous montre les processus simulés (eau en bleu ; sédiments en rouge) par openLISEM. Si le modèle est utilisé sur des périodes plus longues, l'évapotranspiration est également simulée. Ces processus sont simulés sur les mailles des rasters à résolution au choix en fonction de la taille du bassin versant, la période simulée, la précision spatiale recherchée et le temps de calcul acceptable. Typiquement les mailles varient entre 2 et 50 m. Les flux d'eau et de sédiment sont transférés sur la surface vers l'aval selon la topographie. Le ruissellement est transféré au choix par onde cinétique ou dynamique.</p> <p>Main processes and variable groups</p> <pre> graph TD Rainfall[Rainfall] --> Interception[INTERCEPTION] Interception --> Infiltration[INFILTRATION] Infiltration --> SurfaceStorage[SURFACE STORAGE] SurfaceStorage --> OverlandFlow[OVERLAND FLOW 1D/2D] OverlandFlow --> ChannelFlow[CHANNEL FLOW 1D] ChannelFlow --> Flooding[FLOODING 2D] Rainfall --> SplashDetachment[SPLASH DETACHMENT] SplashDetachment --> DetachmentDeposition1[DETACHMENT / DEPOSITION] DetachmentDeposition1 --> SedimentTransport1[SEDIMENT TRANSPORT] SedimentTransport1 --> DetachmentDeposition2[DETACHMENT / DEPOSITION] DetachmentDeposition2 --> SedimentTransport2[SEDIMENT TRANSPORT] SedimentTransport2 --> SedimentDischarge[Sediment Discharge] ChannelFlow --> ChannelDischarge[Channel Discharge] Flooding --> FloodDischarge[Flood Discharge] RainfallData[Rainfall data Gauge areas] --- Rainfall Vegetation[Vegetation Buildings Rain harvesting] --- Interception SoilProperties[Soil properties Land use Roads Buildings] --- Infiltration DEM[DEM Roughness Obstructions] --- OverlandFlow ChannelProperties[DEM Channel properties Culverts] --- ChannelFlow SoilCohesion[Soil cohesion Texture D50 Roads, Structures] --- DetachmentDeposition1 ChannelCohesion[Channel cohesion Texture D50] --- DetachmentDeposition2 </pre> <p>Toutes les cartes d'entrée et de sortie d'openLISEM sont au format PCRaster (un SIG raster opensource disponible sur https://pcraster.geo.uu.nl/). Ce format est reconnu par QGIS et ArcGIS. OpenLISEM demande un certain nombre de cartes à l'entrée. La manière la plus simple de créer la base de données de cartes est d'utiliser un script PCRaster. Celui-ci utilise quelques cartes de base et des tables de correspondance contenant les propriétés du sol et de la végétation pour créer la base de données complète.</p> <p>Le modèle produit des cartes de ruissellement, d'érosion, des dépôts de sédiments et des zones inondées. Il produit des hydrogrammes et sédigrammes pour les exutoires des bassins versants mais également pour tout point au choix de l'utilisateur à l'intérieur du bassin versant.</p>
Données d'entrée nécessaires	<p>Les données d'entrée d'openLISEM :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Précipitations (mesurées, 1 ou plusieurs stations ; ou des images radar en stack) à haute résolution temporelle (de l'ordre de quelques minutes à 30 minutes max) ; • Modèle numérique de terrain (MNT) ; • Carte des sols et leurs caractéristiques ; • Occupation des sols et assolement des cultures ; • Routes et chemins ; • Cours d'eau et fossés ; • Buses ; • Aménagements hydrauliques.

Résultats cartographiques



Carte d'érosion

Légende

zones de dépôts de sédiments

Erosion simulée

faible
modérée
forte
très forte

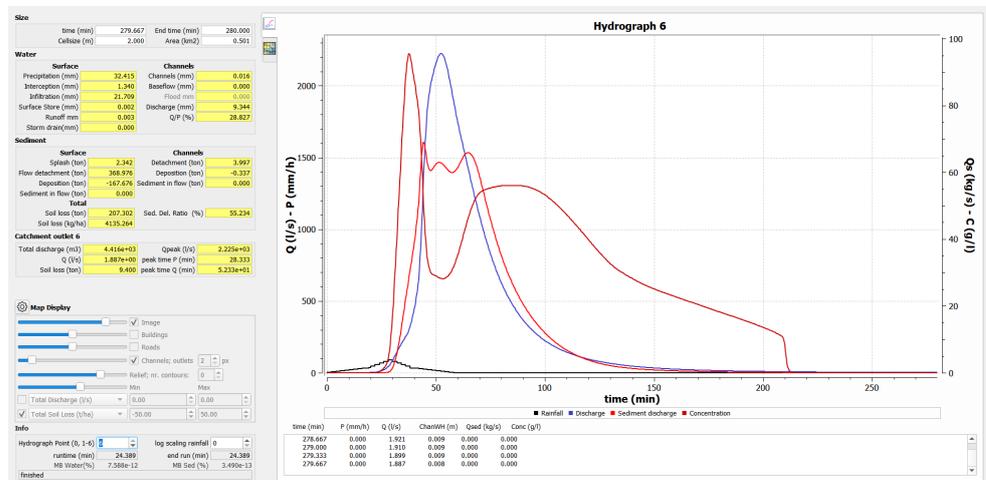


0 0.1 0.2 0.4 Kilomètres



Conception : Paul van Dijk (CRAGE/2023)
Données :
- RGE 1m : IGN
- BD-Topo V3 : IGN
- RRP (sols) : CRAGE
Fond de carte : Orthophoto (IGN)
Traitements : CRAGE

Erosion et dépôt
Événement : 33 mm en 1 heure
Intensité max : 89 mm/h
Période de retour : 50 ans
(Météo-France, Courcy, Reims)
Modèle utilisé : OpenLISEM v6.41



Limites techniques d'utilisation

L'évolution de la végétation et des états de surface ne sont pas simulés. En milieu agricole, le modèle est donc à utiliser à des échelles temporelles limitées.

Le modèle est moins adapté à une utilisation pour la gestion des eaux pluviales en zone urbaine.

L'utilisation d'OpenLISEM nécessite des compétences informatiques (langage C++).

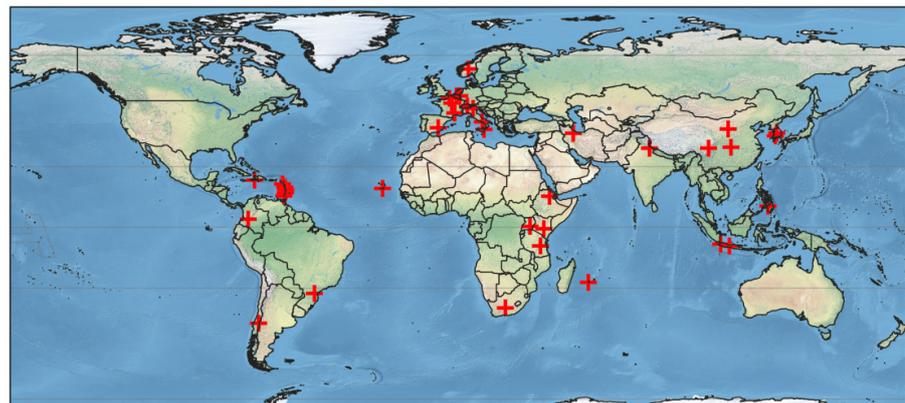
Conditions d'utilisation

OpenLISEM est opensource et téléchargeable sur <https://github.com/vjetten/openlsem/releases/tag/openLisem>

Pour plus d'information : <https://lisemmodel.com/docs/lisemclassic/> et <https://sourceforge.net/projects/lisem/files/Documentation%20and%20Manual/>

Quelques utilisateurs

En France, entre autre : Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est (CRAGE), Bureau d'Étude LIOSE. Le modèle est utilisé par des institutions de recherche partout dans le monde (carte ci-dessous).



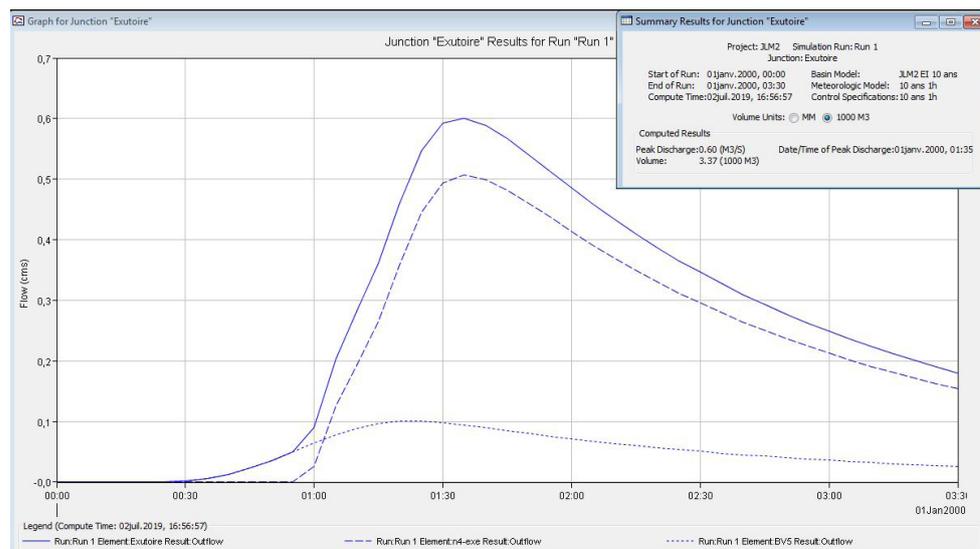
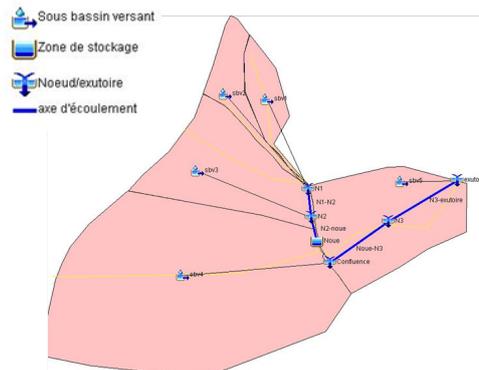
+ Study sites in research articles using OpenLISEM



HEC-HMS

TYPE	Modèle empirique semi-distribué développé par l'armée américaine (US Army Corps of Engineers).
Résumé	HEC-HMS pour Hydrologic Modeling System (ou système de modélisation hydrologique) a été conçu pour modéliser l'ensemble des processus hydrologiques de bassins versants complexes. Il est applicable dans un large éventail de zones géographiques et inclut un très grand nombre de paramètres permettant de résoudre de nombreux problèmes.
Description	<p>Le logiciel permet de simuler les eaux de ruissellement de grands bassins versant fluviaux ainsi que de petits centres urbains par exemple.</p> <p>Le logiciel inclut de nombreuses procédures d'analyses hydrologiques classiques à l'échelle de l'événement pluvieux, telles que l'infiltration, l'hydrogramme unitaire, sa transmission dans le bassin versant.</p> <p>Il inclut également des procédures permettant une modélisation en continu, telles que l'évapotranspiration, la fonte des neiges, ou la prise en compte de l'humidité du sol.</p> <p>La modélisation en mode raster est possible, grâce au recours à l'algorithme de transformation linéaire quasi-distribuée (ModClark).</p> <p>Des outils d'analyse supplémentaires sont fournis, tels que l'optimisation du modèle, la prévision, l'évaluation des incertitudes, l'optimisation de l'épicentrage des orages, l'érosion et le transport des sédiments, la qualité de l'eau.</p> <p>Le logiciel présente un environnement de travail complet, incluant une base de données, des utilitaires de saisie des données, le moteur de calcul, et des outils de visualisation des résultats.</p> <p>L'utilisateur navigue aisément entre les différentes parties du logiciel grâce à son interface graphique. Les résultats des simulations sont stockés au format HEC-DSS (data storage system), et peuvent être utilisés conjointement avec d'autres logiciels dans les domaines suivants : étude de la disponibilité des ressources en eau, des eaux pluviales urbaines, prévision des crues, impact de projets d'urbanisation, conception de surverses de réservoirs, réduction des inondations, gestion des zones d'expansions de crues, ou gestion opérationnelle.</p> <p>Le logiciel permet pour chaque processus de choisir parmi plusieurs choix de modèles mathématiques qui sont des formules empiriques, permettant de couvrir une vaste gamme de situations. Faire le bon choix nécessite la connaissance du bassin versant, des objectifs de l'étude hydrologique et une expertise.</p> <p>Sa capacité à décrire divers aménagements dans le bassin versant permet de quantifier leur effet sur le ruissellement.</p>
Données d'entrée nécessaires	<ul style="list-style-type: none"> • modèle d'écoulement (raster ou semi-distribué) ; • description des pluies ; • transformation pluie-débit pour chaque unité hydrographique ; • description des aménagements sur le bassin versant (fossés, noues, bassins, etc.) ; • description de la topographie et du sol si le module érosion/sédimentation est activé. <p>De nombreuses équations sont disponibles pour chaque étape clé (infiltration, transformation pluie-débit, propagation de l'onde de crue, circulation de sub-surface, érosion, etc.), et elles peuvent être différentes pour chaque unité hydrographique du modèle.</p>

Résultats cartographiques



Autres résultats :

https://www.hec.usace.army.mil/software/hech-hms/images/hech-hms_main1.png

Limites techniques d'utilisation

Absence de modélisation 2D des écoulements (divergences, étalement du flux dans les vallées plates, etc.)

Conditions d'utilisation

Logiciel gratuit

lien : <https://www.hec.usace.army.mil/software/hech-hms/>

Formations disponibles auprès de l'ENGEES.

Quelques utilisateurs

ENGEES, EPTB Entente Oise-Aisne, bureaux d'études.

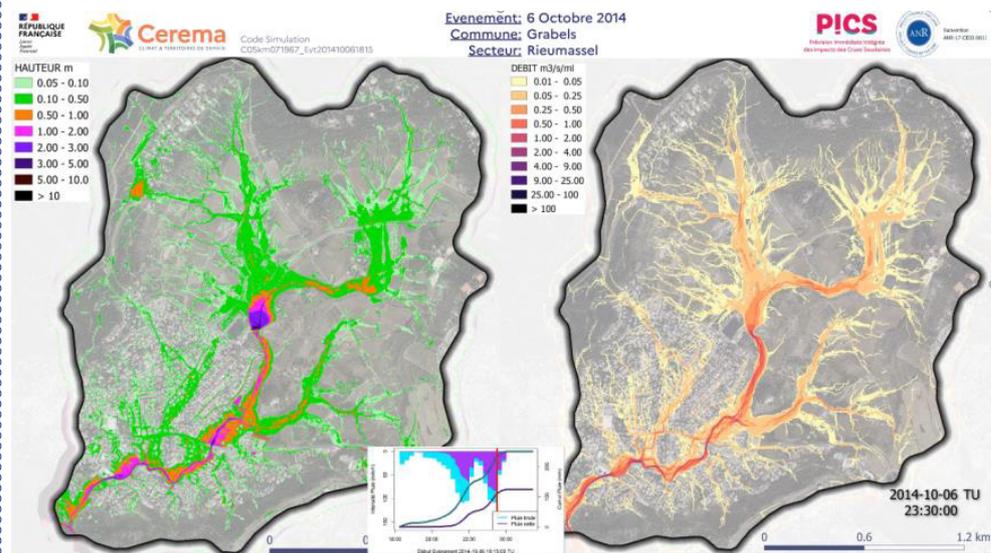
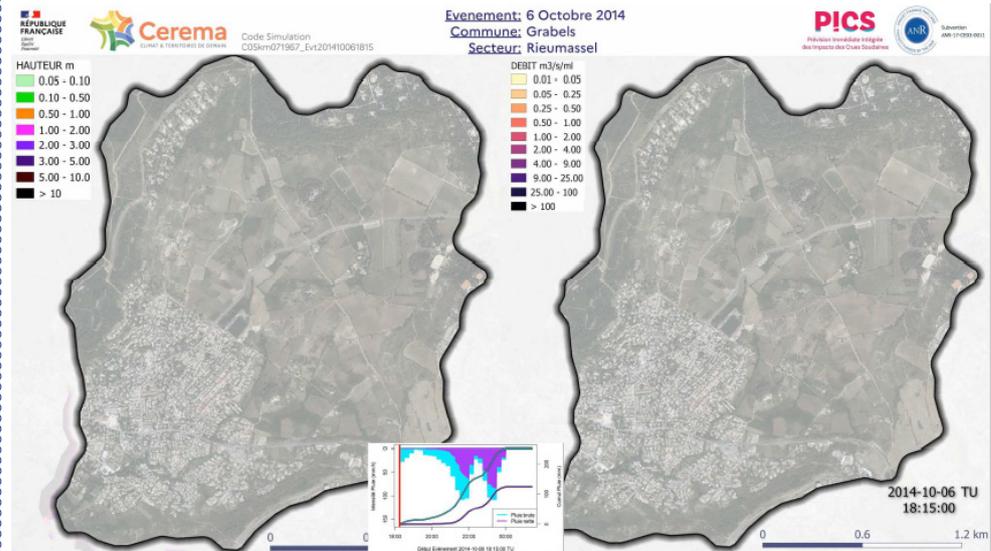


CARTINO2D

<p>TYPE</p>	<p>La méthode Cartino2D a été développée par le  </p> <p>Contact : Frederic.Pons@cerema.fr</p>
<p>Résumé</p>	<p>Cartino2D est actuellement une méthode de mise en œuvre automatisée du modèle hydraulique Telemac2D (Cartino2D pluie) (Cartino2D débit) pour décrire les phénomènes de ruissellement ou de crues soudaines. Elle permet de reproduire des évènements historiques et de tester de multiples scénarios.</p>
<p>Description</p>	<p>Par principe, Cartino2D se rapproche au maximum du travail réalisé dans le cadre de calcul d'ingénierie classique.</p> <p>Cartino2D pluie nécessite de nombreuses données d'entrée (topographie, pluie, occupation des sols, bases de données locales), le modèle hydraulique 2D Telemac2D, un logiciel SIG (cf. schéma suivant).</p> <div data-bbox="440 645 1420 1209" data-label="Diagram"> <p>Le diagramme illustre le processus automatisé de Cartino2D Pluie. Au centre se trouve un grand engrenage orange avec la lettre 'R'. Autour de lui sont disposés des engrenages plus petits et des cartes, chacun avec un logo ou un titre. Les 'ENTRANTS' (à gauche) incluent : 'IGN Topographie Lidar', 'Cerema Bassin versant (pour une altitude < 20km²)', et 'Occupation du sol (Croisement BDD)'. Les 'OUTILS' (à droite) incluent : 'python powered PPUTils', 'telemac Pluie', 'QGIS', 'GRASS', et 'Gmsh'. Des cartes de pluie (statistiques nationales, mesures locales) et des logos d'organismes (INRAE, METEO FRANCE) sont également représentés.</p> </div> <p>La méthode est la suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> • créer automatiquement le maillage avec une topographie basée sur le LIDAR ; • gérer automatiquement les conditions aux limites ; • exécuter le modèle en fonction des données d'entrée pluviométriques ; • post-traiter les résultats. <p>Le seul travail manuel consiste à vérifier ou modifier les limites des bassins versants hydrologiques.</p> <p>Cartino2D pluie peut aussi intégrer des ouvrages hydrauliques, point majeur pour des évènements fréquents.</p> <p>Cartino2D pluie fournit des cartographies (hauteurs d'eau, débit) sur la durée de l'évènement testé.</p> <p>Pour en savoir plus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • restitution du projet ANR PICS – 2022 : https://www.cerema.fr/fr/actualites/projet-recherche-anr-pics-prevision-immEDIATE-integree • article du 20/05/2021 dans la revue LHB - Hydrosience Journal : https://doi.org/10.1080/00186368.2021.1912968
<p>Données d'entrée nécessaires</p>	<p>MNT (LIDAR IGN), Pluviométrie (mesurées, statistiques, nationales, locales, par Météo France, SHYREG) a minima, Occupation du sol, base de données locales précises et à structurer (ouvrages enterrés, murs, digues, capteurs).</p>

Résultats cartographiques

Exemple de résultats sur les évènements du 6 octobre 2014 à Grabels (34) au début de l'évènement puis en cours :



Limites techniques d'utilisation

Cartino2D Pluie s'applique pour des petits bassins versants inférieurs à 20 km² pour des mailles de l'ordre de 3 m en zones pré-identifiées inondables.

Cartino2D Pluie nécessite de disposer de bases locales étayées surtout en milieu urbain.

Conditions d'utilisation

La méthode n'est pas encore disponible pour d'autres utilisateurs.

Cartino2D a été développée initialement dans le cadre d'une convention R&D avec Toulon Provence Métropole et du projet ANR PICS (2020-2022) (Prévision Immédiate Intégrée des Impacts des Crues Soudaine).

Cartino2D est toujours en constante amélioration en particulier dans le cadre de projets R&D avec des collectivités et du projet ANR MUFFINS (2022-2025) (Prévision multi-échelle des inondations avec des solutions innovantes). Une action est aussi menée pour le compte de la DGPR, sur 3 départements pour tester un évènement extrême.

Quelques utilisateurs

CEREMA



Tableau de synthèse des outils, méthodes, modèles présentés

Nom	Développeur	Type	Données d'entrée	Disponibilité
IRIP	INRAE	<ul style="list-style-type: none"> •Méthode de type « sèche » •Méthode à score de caractérisation du ruissellement intense 	<ul style="list-style-type: none"> •MNT •MOS •Caractérisation sols •Pluviométrie 	Gratuit
MESALES	INRAE	<ul style="list-style-type: none"> •Méthode de type « sèche » •Modèle d'évaluation de l'érosion 	<ul style="list-style-type: none"> •MNT •Cartes sols •Classes paysages •Pluviométrie 	Gratuit
CRUS	CEREMA	<ul style="list-style-type: none"> •Méthode de type « sèche » •Méthode de classification et de notation des paramètres du ruissellement intense 	<ul style="list-style-type: none"> •MNT •Carte des sols •MOS 	<ul style="list-style-type: none"> •Non disponible •Contractualisation avec CEREMA
ORUS	ARTELIA	<ul style="list-style-type: none"> •Méthode de type « sèche » •Méthode à score de caractérisation du ruissellement rural, urbain 	<ul style="list-style-type: none"> •MNT •MOS •Usage des sols 	Gratuit sous réserve de citation
ExZEco	CEREMA	<ul style="list-style-type: none"> •Méthode de type « sèche » •Méthode SIG automatisée 	MNT	Gratuit
STREAM	INRAE	<ul style="list-style-type: none"> •Méthode de type « humide » •Modèle hydrologique de détermination du ruissellement et de l'érosion en milieu rural 	<ul style="list-style-type: none"> •MNT •Carte des sols •RPG •Pluviométrie •Éléments linéaires anthropiques 	Gratuit
Watersed	BRGM	<ul style="list-style-type: none"> •Méthode de type « humide » •Modèle hydrologique de détermination du ruissellement et de l'érosion 	<ul style="list-style-type: none"> •MNT •Modifications anthropiques •Occupation des sols et pratiques culturales •Propriétés des sols •Pluviométrie 	Gratuit
Modèle CCR	CCR	<ul style="list-style-type: none"> •Méthode de type « humide » •Modèle hydrologique de détermination du ruissellement •Déterministe : événements réels •Probabiliste : 1 000 événements fictifs •Étude spécifique 	<ul style="list-style-type: none"> •MNT •MOS •Pluviométrie •BD Carthage •Éléments anthropiques 	<ul style="list-style-type: none"> •Non disponible sauf déterministe •Convention et demande pour probabiliste •Convention R&D avec CCR pour études particulière
openLISEM	ITC, Faculty of Géo-Information Science and Earth Observation, Twente University	<ul style="list-style-type: none"> •Méthode de type « humide » •Modèle hydrologique de détermination du ruissellement et de l'érosion rural et urbain 	<ul style="list-style-type: none"> •MNT •Modifications anthropiques (routes, chemins, fossés, ...) •Occupation des sols et pratiques culturales •Cartes des sols •Pluviométrie 	Gratuit
HEC-HMS	US Army Corps of Engineers	<ul style="list-style-type: none"> •Méthode de type « humide » •Modèle empirique semi-distribué de détermination du ruissellement et de l'érosion 	<ul style="list-style-type: none"> •MNT •MOS •Pluviométrie •Modèle d'écoulement complémentaire •Transformation pluie en débit •Données anthropiques 	Gratuit
Cartino-2D	CEREMA	<ul style="list-style-type: none"> •Méthode de type « humide » •Méthode automatisée de mise en œuvre du modèle hydraulique TELEMAC2D pour décrire le ruissellement et les crues soudaines 	<ul style="list-style-type: none"> •MNT •MOS •Pluviométrie •Données anthropiques locales précises 	<ul style="list-style-type: none"> •Non disponible •Convention à étudier avec le CEREMA dans le cadre de projet R&D

	Formation	Compétences nécessaires	Production attendue	Limites d'utilisation
	•Gratuit sous forme de tutoriels •Hot line	Non précisées	•Cartes : zones de production, axes de transfert, zones d'accumulation ruissellement intense •Simulation possible modification occupation, topographie	•Pas de qualification de l'aléa (Q,V,H) •Pas de simulation possible d'ouvrages
	Non mais tutoriels existants	•Agronomie •Pédologie •SIG et informatique (langage python)	Cartes : zones de sensibilité à l'érosion	•Limité aux grands bassins versants •Aléa ruissellement pas directement pris en compte
	Sans objet	Expertes	•Cartes : sensibilité au ruissellement, réseau drainage et accumulation •Simulation possible de modification occupation sol, érosion sol	•Pas de qualification de l'aléa (Q,V,H) •Pas de simulation possible d'ouvrages
	Non précisé	Bonne expertise dans le domaine agronomique et pédologique	•Cartes : potentiel de production, axes d'écoulement, potentiel d'accumulation •Simulation possible d'aménagements et ouvrages	•Pas de qualification de l'aléa (Q,V,H) •BV entre 2-3 ha et 150 km ²
	Non précisé	Sans objet – calcul automatisé	•Cartes : emprises potentiellement inondables par ruissellement	•Pas de qualification de l'aléa (Q,V,H) •BV entre 0,01 km ² et quelques km ² •Pas de simulation possible d'aménagements et ouvrages
	Non	Non précisées	•Cartes : réseau d'écoulement, ruissellement, érosion diffuse et linéaire •Simulation possible (non précisé dans la fiche)	•Pas de qualification de l'aléa (Q,V,H) •Réservé aux secteurs agricoles •Calage nécessaire hors Haute Normandie •Fonctionnement sur ArcGIS Desktop
	•Tutoriels •Formation prise en main payantes	Expertise nécessaire pour calage des paramètres en l'absence de données	•Cartes : volume ruisselé, masse terre érodée, hauteur de pluie nette et infiltrée... •Simulation possible d'aménagements et ouvrages	•Pas de qualification de l'aléa (Q,V,H) •BV jusqu'à quelques dizaines km ²
	Sans objet	Non précisées	•Cartes : ruissellement simulé en m ³ /s, période de retour •Simulation possible (non précisé dans la fiche)	•Limites liées à précision MOS, pluviométrie, autres données
	Non précisé	Informatiques (langage C++)	•Cartes : ruissellement, érosion, zones de dépôts et inondées •Hydrographes et sédigraphes en tout point du BV •Simulation possible d'aménagements et ouvrages	•Modèle moins adapté pour la Gestion des Eaux Pluviales Urbaines •BV de 1ha à plusieurs centaines de km ²
	Formation disponibles (ENGEES)	Non précisées	•Cartes : ruissellement, érosion, •Graphiques •Simulation possible d'aménagements et ouvrages	Absence de simulation 2D
	Sans objet	Non précisées	•Cartes ruissellement : hauteurs d'eau, débits sur la durée de l'événement modélisé •Simulation possible d'aménagements et ouvrages	•Outil en constante amélioration •BV inférieures à 20 km ² •Nécessité de bases locales étayées surtout en milieu urbain



Le **choix de la méthode d'évaluation** de l'aléa ruissellement est à adapter à l'objectif recherché et dépend de la **superficie du territoire d'étude** et des **contraintes de précision attendue** pour mettre en œuvre la démarche de prévention.

Classiquement, des **documents cartographiques à petite échelle** (par exemple au 100 000^e, de précision limitée) sur de larges territoires permettent **dans un premier temps d'évaluer les risques** de manière globale, et de **cibler ensuite les secteurs** nécessitant une **analyse plus fine** au regard des enjeux qui y sont présents ou du rôle décisif de la zone dans le comportement des écoulements. Ces approches globales permettent une estimation pertinente de l'aléa pour les têtes de bassin et les écoulements diffus. Une cartographie trop précise serait immanquablement trop circonscrite spatialement et donc peu représentative de la réalité des phénomènes et ne serait pas robuste. L'amélioration de la qualité des MNT devrait permettre d'obtenir de meilleurs résultats. Toutefois, dans les démarches actuelles, le principal facteur limitant est la connaissance des sols, et dans une moindre mesure de l'occupation du sol.

Dans le cadre des **procédures de type PPRI**, les cartographies de ruissellement doivent généralement identifier des niveaux d'aléa définis au regard de valeurs à la fois quantitatives de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement (en considérant systématiquement la vitesse de montée des eaux comme élevée). Par ailleurs, une **connaissance fine** est souvent attendue sur des **territoires à enjeux**, notamment en milieux urbains topographiquement complexes. Dans ces cas, il est recommandé de **privilégier des outils de modélisation hydraulique** (méthodes humides), si possible de manière automatisée avec des méthodes de type Cartino 2D. Ces modélisations hydrauliques nécessitent toutefois une **représentation fine des reliefs et des ouvrages hydrauliques**, entraînent souvent des calculs lourds (et coûteux) et ne sont applicables en pratique que sur des territoires de taille restreinte. Ce type de cartographie effectuée sur un grand territoire avec des hypothèses simplificatrices sera nécessairement entaché d'erreurs, liées entre autres aux hypothèses de calcul et à la connaissance non exhaustive du terrain (passages enterrés, développements urbains récents, éléments topographiques fins pouvant influencer significativement les écoulements, etc.). Ces méthodes trouvent certainement aussi de fortes limites sur les territoires très urbanisés, comme l'agglomération centrale parisienne... (très fort niveau d'imperméabilisation, nombreux obstacles,...) rendant les modélisations très complexes.

Ainsi, ces modélisations, même les plus fines, sont sujettes à des incertitudes, souvent importantes. Il est important de reconnaître et afficher les incertitudes associées à ces modélisations.

Lors des modélisations, les procédures de calage et de validation sont des étapes essentielles qui doivent se baser sur les données historiques disponibles. Il est toujours pertinent d'évaluer des intervalles d'incertitude sur les variables de sortie afin d'identifier les zones où l'incertitude est plus significative, en particulier les zones de faible hauteur d'eau. Identifier les artefacts numériques permet de ne pas sous-estimer ou surestimer à tort le risque. Certains territoires définissent ainsi un seuil de hauteur d'eau (quelques centimètres) en deçà duquel il est considéré qu'il n'y a pas d'aléa de ruissellement.

Pour limiter les incertitudes, il est par ailleurs recommandé d'utiliser des modèles numériques proches de la résolution métrique, afin de reproduire des dynamiques d'écoulement pertinentes. Il est nécessaire d'évaluer la largeur de l'écoulement, pour correctement évaluer l'érosion concentrée, la sédimentation, et l'infiltration, mais aussi le risque pour les enjeux à proximité.

Au-delà de l'intensité de l'aléa, les **zones de production/axes d'écoulement/zones d'accumulation** peuvent être utilement **identifiés pour déterminer les stratégies de réglementation**. Pour caractériser l'aléa, il n'est pas toujours nécessaire de distinguer ces trois zones, certaines zones de production et de transfert pouvant se superposer et certains modèles ne les distinguent pas. La question se pose néanmoins dans un second temps pour la réponse à apporter sur le territoire. L'identification des axes préférentiels d'écoulements concentrés (talwegs, vallons secs, etc.) doit être aussi rigoureuse et précise que possible et s'accompagner de relevés sur le terrain. De façon générale, il convient d'identifier ces axes en aléa fort ou très fort, même en l'absence de données sur la hauteur et les vitesses en jeu, et même si les zones concernées sont peu visibles à l'échelle de représentation de la carte d'aléa. Une estimation de la surface drainée peut permettre d'évaluer l'importance de ces axes d'écoulement.

La **sensibilité de l'aléa de ruissellement aux évolutions du territoire** est enfin une difficulté à anticiper autant que possible, même sur de petits secteurs. Les zones d'accumulation, comme les zones d'écoulements concentrés et rapides, sont susceptibles d'être modifiées par les évolutions agricoles, les aménagements et le développement des territoires. Ces modifications du territoire ne doivent pas avoir pour conséquence de modifier substantiellement la cartographie de l'aléa. Aussi **les zones d'aléa, et a fortiori les zonages réglementaires qui en découlent, doivent être robustes** vis-à-vis des évolutions de la topographie de l'occupation des terrains, et suffisamment étendus pour que les évolutions localisées de l'urbanisation ou de l'usage des sols ne viennent pas aggraver les écoulements et remettre en cause leur pertinence.



Les objectifs du Plan de gestion des risques d'inondation (PGRI) 2022-2027 sont déclinés en quatre grands types de dispositions :

-  Des dispositions à décliner sur l'ensemble du bassin Seine-Normandie
-  Des dispositions à décliner sur l'ensemble du bassin Seine-Normandie, communes entre le SDAGE et le PGRI
-  Des dispositions à décliner sur l'ensemble du bassin Seine-Normandie mais prioritairement dans les TRI
-  Des dispositions à décliner uniquement dans les TRI ou dans le périmètre des SLGRI

1E1 « Gérer les eaux pluviales le plus en amont possible »

Les collectivités territoriales et/ou leurs groupements compétents en matière d'assainissement et/ou de gestion des eaux pluviales urbaines veillent à réaliser en étroite collaboration à l'échelle d'un bassin hydrographique cohérent et en concertation avec les collectivités territoriales et/ou leurs groupements compétents en matière de GEMAPI et en matière d'aménagement du territoire et d'urbanisme :

- un schéma directeur de gestion des eaux pluviales (SDGEP) ;
- un schéma directeur d'assainissement (SDA) et/ou un diagnostic de systèmes d'assainissement, prévu par l'article 12 de l'arrêté ministériel du 21/07/2015, comportant un volet ayant trait aux eaux pluviales.

Ces outils dès lors qu'ils constituent des décisions administratives prises dans le domaine de l'eau, doivent poursuivre l'objectif de gérer les eaux pluviales le plus en amont possible. En particulier, ces outils ont vocation à :

- améliorer la connaissance du patrimoine (aménagements et ouvrages de gestion des eaux pluviales) et de leur fonctionnement ;
- définir des objectifs adaptés au territoire concernant la gestion des eaux pluviales urbaines ;
- identifier les réponses concrètes à apporter aux dysfonctionnements observés retranscrites au travers de prescriptions techniques territorialisées et d'un programme d'actions hiérarchisées ;
- permettre de sélectionner les secteurs à enjeux nécessitant la réalisation d'un zonage pluvial (L. 2224-10 du Code Général des Collectivités Territoriales).

Les collectivités territoriales et/ou leurs groupements compétents en matière d'assainissement ou de gestion des eaux pluviales urbaines veillent à transcrire les prescriptions techniques territorialisées résultant de ce travail dans un règlement du service d'assainissement et/ou dans un règlement du service public des eaux pluviales.

Les collectivités territoriales et leurs groupements compétents en matière d'urbanisme veillent quant à eux à les retranscrire dans le PADD et à les traduire de manière adaptée dans le règlement du PLU.

Ces éléments sont pris en compte par les collectivités compétentes lors de la réalisation de leur zonage pluvial.

1E2 « Définir une stratégie d'aménagement du territoire qui prenne en compte tous les types d'événements pluvieux »

En cas de fortes pluies, les capacités de gestion des ouvrages de gestion des eaux pluviales sont susceptibles d'être dépassées et de donner lieu à des ruissellements importants. La planification de l'aménagement du territoire devant s'opérer dans la maîtrise des conséquences en termes de risque d'inondation, les collectivités territoriales et/ou leurs groupements compétents en matière d'aménagement du territoire et d'urbanisme sont invités à définir une stratégie d'aménagement du territoire qui tienne compte de l'aléa ruissellement (limitation de l'imperméabilisation des sols, localisation spatiale des implantations, etc.) et à porter cette stratégie à la connaissance des citoyens.



Pour ce faire, les collectivités territoriales et/ou leurs groupements compétents en matière d'aménagement du territoire et d'urbanisme pourront :

- identifier et préserver les éléments de paysage contribuant à ralentir les ruissellements ;
- formaliser, sur la base du zonage pluvial et pour répondre aux enjeux d'une gestion intégrée des eaux pluviales et de prévention des ruissellements, les principes et les règles à appliquer pour :
 - assurer la maîtrise du débit et de l'écoulement des eaux pluviales (« zéro rejet d'eaux pluviales » vers les réseaux a minima pour les pluies courantes, définition d'objectifs de régulation des débits d'eaux pluviales avant leur rejet au-delà, etc.),
 - éviter l'imperméabilisation des sols (fixation d'une part minimale de surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables favorisant l'infiltration des eaux pluviales et évitant le raccordement au réseau des nouvelles surfaces imperméabilisées, imposition de performances environnementales renforcées, etc.) ;
 - stocker les eaux de pluies excédentaires dans le cadre de projets multifonctionnels portés à une échelle adaptée (bassins végétalisés à ciel ouvert, jardins de pluie, etc.) ;
- sensibiliser, en accord avec la disposition 2.E.2, les citoyens sur les techniques de gestion alternative des eaux pluviales.

Dans un souci de lisibilité, les collectivités territoriales et/ou leurs groupements concernés se coordonnent et s'attachent à retranscrire les principes précédemment cités dans le Document d'orientations et d'objectifs (DOO) du SCOT. De plus, le PLU et documents en tenant lieu veillent à traduire les prescriptions du zonage pluvial dans les Orientations d'aménagement et de programmation (OAP), leur règlement et leur zonage.

2E1 « Réaliser un diagnostic de l'aléa ruissellement à l'échelle du bassin versant »

Les structures porteuses de programmes d'actions (programme d'actions de prévention des inondations (PAPI), schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), etc.) et les maîtres d'ouvrage associés ainsi que les services de l'État, concernés par l'aléa d'inondation par ruissellement, sont invités à établir ou à consolider, en concertation avec les acteurs concernés du territoire (collectivités territoriales et/ou leurs groupements compétents, professionnels agricoles, etc.), un diagnostic de cet aléa à l'échelle du bassin versant intégrant en particulier :

- la typologie des événements pluvieux à l'origine des désordres hydrauliques et d'inondations (inondations par ruissellement ou par débordement de cours d'eau suite à un phénomène de ruissellement) ;
- les zones contributrices à l'aléa ruissellement ;
- les axes d'écoulement préférentiels à travers le territoire ;
- les zones d'accumulation des eaux de ruissellements ;
- les éléments du paysage contribuant à limiter le phénomène de ruissellement (talwegs, haies, talus, fossés, mares, etc.) ;
- les facteurs aggravant le phénomène de ruissellement liés à l'aménagement du territoire et l'usage des sols ;
- les enjeux exposés à l'aléa de ruissellement y compris pour des événements majeurs de précipitations (par exemple 100 mm/j) ;
- les enjeux exposés à l'aléa de débordement de cours d'eau suite à un phénomène de ruissellement.

Ils pourront s'appuyer dans le cadre de leur démarche sur le guide méthodologique des outils existants d'évaluation de l'aléa ruissellement publié en application de la disposition 4.A.3.

Sur la base de cette démarche, les services de l'État pourront être amenés à examiner l'opportunité d'établir, pour les territoires les plus exposés, un plan de prévention des risques d'inondation (PPRI) par ruissellement (cf. sous-objectif 1.E).

2E2 « Élaborer une stratégie et un programme d'actions de prévention et de lutte contre les ruissellements à l'échelle du bassin versant »

La base du diagnostic réalisé en application de la disposition précédente, les structures porteuses de programmes d'actions (PAPI, SAGE, etc.) et les maîtres d'ouvrage associés, concernés par l'aléa d'inondation par ruissellement, sont invités à élaborer, à l'échelle du bassin versant considéré et en concertation avec

les acteurs concernés du territoire (collectivités territoriales ou leurs groupements compétents, professionnels agricoles, citoyens, etc.) :

- une stratégie de prévention et de lutte contre les ruissellements fixant, pour les différentes zones concernées (zones urbaine, agricole et forestière), les objectifs à poursuivre en termes d'occupation du sol (pratiques culturales, perméabilité des sols) et d'aménagement de l'espace pour favoriser l'infiltration et ralentir les écoulements ;
- un programme d'actions visant à favoriser la déclinaison opérationnelle de la stratégie. Ce programme d'actions peut mobiliser différents leviers tels que :
 - toutes zones confondues : l'aménagement adapté du territoire, l'emploi de techniques d'hydraulique douce (haies, talus, fascines, noues, etc.), l'aménagement d'ouvrages structurants le cas échéant, la sensibilisation des acteurs (élus, citoyens, aménageurs, professionnels agricoles, etc.) sur l'aléa et les mesures prises et à prendre pour prévenir les risques, etc.,
 - en zone agricole : la promotion de pratiques culturales participant à la conservation du sol (couverture des sols, intercultures, labours perpendiculaires, cultures en terrasses, travaux du sol simplifiés, fossés, etc.), etc., en mobilisant les outils adaptés,
 - en zone forestière : techniques de travail pour limiter les tassements importants du sol et la concentration artificielle du ruissellement, remise en état après travaux, implantation d'aménagements d'hydraulique douce...

Ces éléments sont transmis aux collectivités territoriales et/ou leurs groupements compétents qui veillent à les prendre en considération lors de l'élaboration de leur zonage pluvial et de leurs documents d'urbanisme (schéma de cohérence territorial (SCOT), plan local d'urbanisme (PLU) et documents en tenant lieu, cartes communales, etc.) (cf. disposition 1.E.2).



4A3 « Approfondir la connaissance de l'aléa ruissellement »

Le préfet coordonnateur de bassin publiera, dès l'approbation du PGRI, un guide méthodologique des outils existants d'évaluation de l'aléa ruissellement.

La disposition 2.E.1¹ invite les structures porteuses de programmes d'actions (PAPI, schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), etc.) et les maîtres d'ouvrage associés, concernés par l'aléa d'inondation par ruissellement, à établir ou consolider un diagnostic de cet aléa à l'échelle du bassin versant. Ils pourront s'appuyer dans le cadre de leur démarche sur ce guide méthodologique.

¹ Dans la version du PGRI approuvée et publiée du PGRI est indiquée la disposition 2.E.2. C'est une coquille.



ANR	Agence nationale de recherche
AZI	Atlas des zones inondables
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières
Cartino-2D	Modèle pour caractériser l'aléa ruissellement
CCR	Caisse centrale de réassurance
CE	Code de l'environnement
CGCT	Code général des collectivités territoriales
CEPRI	Centre européen de prévention du risque d'inondations
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
CRUS	« Méthode » Cartographie du RU issellement de S urface
DCE	Directive cadre sur l'eau
DI	Directive inondation
DRIEAT	Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports
ENGEES	École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg
EPAGE	Établissement public d'aménagement et de gestion des eaux
EAIP	Enveloppe approchée des inondations potentielles
EAIPce	Enveloppe approchée des inondations potentielles débordement de cours d'eau
EPCI-FP	Établissement public de coopération intercommunale à fiscalité propre
EPRI	Évaluation préliminaire des risques d'inondation
EPTB	Établissement public territorial de bassin
ExZEco	« Méthode » Ex tracton des Z ones d' É coulement
FPRNM	Fonds de prévention des risques naturels majeurs
GEPU	Gestion des eaux pluviales urbaines
GEMAPI	Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
IGN	Institut géographique national
IRIP	« Méthode » Indicateur de RU issellement I ntense PL uvial
MNT	Modèle numérique de terrain
MESALES	Mod èle expert d' É valuation S patiale de l' AL éa É rosion des S ols
MOS	Mode d'Occupation des Sols
OpenLISEM	Modèle pour caractériser l'aléa ruissellement
ORUS	Méthode d'« O rganisation du RU issellement »
PADD	Projet d'aménagement et de développement durable
PAPI	Programme d'actions de prévention des inondations
PEP	Programme d'études préalable au PAPI
PGRI	Plan de gestion des risques d'inondation
PLU	Plan local d'urbanisme communal
PLUi	Plan local d'urbanisme intercommunal
PLU(i)	Plan local d'urbanisme communal ou intercommunal
PPRN	Plan de prévention des risques naturels
PPRi	Plan de prévention des risques d'inondation
RER	Réseau express régional d'Île-de-France
RPG	Registre parcellaire graphique
SAGE	Schéma d'aménagement et de gestion des eaux
SCOT	Schéma de cohérence territoriale
SDAGE	Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux
SDGEP	Schéma directeur de gestion des eaux pluviales
SHYREG	Simulation d'Hydrogrammes (approche) régionalisée
SLGRI	Stratégie locale de gestion des risques d'inondation
TRI	Territoire à risque important d'inondation
Watersed	Modèle pour caractériser l'aléa ruissellement



Aléa	L'aléa est la manifestation physique de phénomènes aléatoires d'origine naturelle (inondations, mouvements de terrain, séismes, avalanches...) ou anthropiques d'occurrence et d'intensité données. L'aléa d'inondation peut être cartographié et caractérisé par des hauteurs d'eau, des vitesses d'écoulement, des durées de submersion, etc.
Bassin versant	Le bassin versant est la surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un lac. Il se définit comme l'aire de collecte des eaux considérée à partir d'un exutoire, limitée par le contour à l'intérieur duquel toutes les eaux précipitées s'écoulent en surface et en souterrain vers cette sortie. En dehors de quelques cas particuliers comme la présence de terrains karstiques où la circulation interne de l'eau est intense et complexe, la limite du bassin versant est d'ordre topographique, c'est-à-dire qu'elle est représentée par la ligne de crête le séparant du bassin versant voisin.
Battance	Caractère d'un sol à se désagréger et à former une croûte superficielle compacte en surface, notamment sous l'action mécanique des gouttes de pluie. La formation de croûte entraîne une baisse de la capacité d'infiltration, et une augmentation du ruissellement.
Crue	Dépassement du débit moyen annuel d'un cours d'eau. Ce phénomène se caractérise par une montée plus ou moins rapide du niveau d'un cours d'eau, liée à une augmentation du débit jusqu'à un niveau maximum appelé pic de crue. Ce phénomène peut se traduire par un débordement du lit mineur vers le lit majeur, constituant ainsi l'une des manifestations d'une inondation. Les crues peuvent être caractérisées par leur fréquence (ou leur période de retour) et leur intensité (débit, hauteur d'eau, vitesse de l'écoulement). Une crue centennale est une crue ayant 1 chance sur 100 de se produire chaque année. La crue centennale est considérée comme un événement moyen, au sens de la Directive inondation.
Domages	Conséquences d'un phénomène naturel sur les biens, les activités et les personnes. Ils sont généralement exprimés sous forme quantitative et monétaire.
Enjeux	Les enjeux correspondent à l'ensemble des personnes, des biens, des activités économiques et du patrimoine naturel et culturel susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.
Érodibilité	L'érodibilité des sols représente leur résistance à la dégradation par l'énergie cinétique des gouttes de pluie ou du ruissellement.
Géomorphon	C'est une représentation de relief reposant sur les différences d'élévation dans la zone environnante d'une cellule cible.
Hydraulique douce	Construction légère locale permettant de compenser les effets des pratiques cultures, d'artificialisation des sols et des écoulements dans les cours d'eau afin de retrouver une dynamique de propagation des écoulements, d'infiltration et de ruissellement naturel sur le bassin versant en favorisant des solutions données par la nature.
Imperméabilisation des sols	L'imperméabilisation des sols est leur recouvrement d'un sol par un matériau imperméable (tel que l'enrobé ou le béton) altérant la capacité d'infiltration de l'eau. Les constructions, revêtements artificiels (voiries, parkings, etc.) et aménagements souterrains conduisent à l'imperméabilisation de vastes surfaces perturbant la structure du sol, son hydrologie et sa biodiversité.
Inondation	Submersion temporaire, par l'eau, de terres qui ne sont pas submergées en temps normal. Cette notion recouvre les inondations dues aux crues des rivières, aux remontées de nappes, aux ruissellements urbains et agricoles ainsi que les submersions marines.



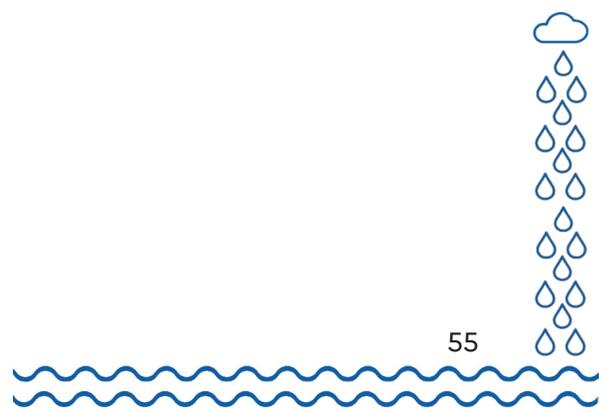
Ouvrages de protection	<p>Les ouvrages de protection, correspondent aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions, au sens du décret n°2015-526 du 12 mai 2015. Ils peuvent être de deux natures : « système d'endiguement » ou « aménagement hydraulique ». Ces ouvrages contribuent à protéger des zones à enjeux par la réorientation du flux (système d'endiguement) ou par le stockage d'eau (aménagement hydraulique). Ils ne constituent cependant pas une protection absolue et les zones « protégées » restent des zones exposées à un risque puisque ces ouvrages sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • associés à un niveau de protection défini, susceptible d'être dépassé dans certaines situations. En particulier, le niveau de protection des ouvrages maritimes sera atteint de plus en plus fréquemment avec l'élévation du niveau marin liée au changement climatique ; • susceptibles de connaître une défaillance structurelle ou fonctionnelle, avec des conséquences potentiellement catastrophiques, et ce quel que soit le niveau de protection défini. <p>Ces ouvrages sont soumis à la rubrique 3.2.6.0 de l'article R. 124-1 du Code de l'environnement.</p>
Ouvrages hydrauliques	<p>Les ouvrages hydrauliques regroupent plusieurs familles d'ouvrages : les barrages de retenue et ouvrages assimilés, les ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions, etc.</p>
Perméabilité	<p>Propriété d'une roche, d'un terrain, d'un corps de permettre la pénétration de l'eau en eux.</p>
Pluie efficace	<p>La pluie efficace correspond à la hauteur de pluie tombée de laquelle l'évapotranspiration est déduite. Elle se subdivise entre partie infiltrée et partie ruisselée.</p>
Programme d'études préalables au PAPI (PEP)	<p>Son objectif est de réaliser les études nécessaires pour établir un diagnostic approfondi du territoire, définir la stratégie et le programme d'actions du PAPI ainsi que les modalités d'évaluation et de suivi du programme.</p> <p>Le PEP peut comporter des actions sur les axes 1 à 5 (actions de sensibilisation, pose de repères de crue, diagnostics de vulnérabilité, etc.) et/ou des études sur les axes 1 à 7. Il ne comporte pas de travaux (ni création d'aménagements, ni travaux sur des ouvrages existants).</p> <p>De manière dérogatoire, certains travaux peuvent s'inscrire dans le PEP :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la pose de repères de crues, l'installation de sondes piézométriques ou d'équipements de surveillance ou d'alerte ; • la réalisation de travaux de réduction de la vulnérabilité à la condition qu'un diagnostic de vulnérabilité préalable ait identifié les secteurs prioritaires d'intervention sur le territoire et qu'aucun projet de protection collective ne soit prévu sur les secteurs identifiés. <p>Le programme d'études peut comporter des études avant-projet ou des études indispensables pour les futurs travaux en vue de préparer un dossier d'avant-projet de qualité. Ces études peuvent être par exemple géotechniques, topographiques ou piézométriques.</p>
Porter à connaissance	<p>Le préfet porte à la connaissance des communes ou de leurs groupements compétents les informations nécessaires à l'exercice de leurs compétences en matière d'urbanisme. Le préfet fournit notamment les études techniques dont dispose l'État en matière de prévention des risques et de protection de l'environnement, ainsi qu'en matière d'inventaire général du patrimoine culturel. Les porters à connaissance sont tenus à la disposition du public. En outre, tout ou partie de ces pièces peut être annexé au dossier d'enquête publique.</p> <p>Les porters à connaissance peuvent être accompagnés de notes d'enjeux, exposant les enjeux prioritaires de l'État sur le territoire concerné par l'élaboration ou la révision du document d'urbanisme (plan local d'urbanisme ou schéma de cohérence territoriale).</p>

Risque d'inondation	La notion de risque est la conjugaison d'un aléa et d'un enjeu exposé à l'aléa. Le risque d'inondation est la combinaison de la probabilité de survenue d'un aléa d'inondation et de ses conséquences négatives potentielles pour la santé humaine, l'environnement, les biens, dont le patrimoine culturel, et l'activité économique.
Solutions fondées sur la nature	Les solutions fondées sur la nature sont des actions qui s'appuient sur les écosystèmes afin de relever des défis globaux comme la lutte contre les changements climatiques, la gestion des risques naturels, la santé, l'accès à l'eau, la sécurité alimentaire, etc. En effet, des écosystèmes sains, résilients, fonctionnels et diversifiés fournissent de nombreux services écosystémiques et permettent donc le développement de solutions au bénéfice de nos sociétés et de la biodiversité, dans le cadre des changements globaux.
Talweg	Le talweg est une ligne joignant les points les plus bas d'une vallée.
Techniques de ralentissement de la dynamique des écoulements	Les techniques de ralentissement de la dynamique des écoulements visent à retenir les écoulements pour ralentir leur propagation et diminuer l'amplitude des pics de crue afin de réduire globalement le risque d'inondation à l'échelle du bassin versant. Les techniques de ralentissement de la dynamique des écoulements peuvent être diverses et faire l'objet de combinaison entre elles : actions sur l'occupation du sol pour favoriser la maîtrise des écoulements, pratiques agricoles, rétention des eaux sur les versants (techniques d'hydraulique douce : mise en place de haies, talus, bandes enherbées, fascines, etc.), restauration des zones d'expansion des crues, renaturation des berges, reméandrage des cours d'eau, mise en place d'ouvrages de ralentissement dynamique.
Temps de concentration	Maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin versant et son exutoire.
TELEMAC 2D	Logiciel permettant (entre autres) de simuler des écoulements à surface libre. Il calcule en chaque point d'un maillage une hauteur d'eau et une vitesse d'écoulement en faisant appel aux équations de Saint-Venant. Il peut prendre uniquement la pluviométrie comme forçage.
Vulnérabilité	La vulnérabilité d'un territoire, d'un bâtiment ou d'une organisation caractérise sa sensibilité face à un aléa. Elle se décline en termes de dommages aux personnes, aux biens et de perturbation des activités socio-économiques.
Zone impactée	Portion de territoire affectée par une inondation par effets dominos, sans avoir été directement envahie par l'eau.
Zone inondable	Portion de territoire susceptible d'être naturellement envahie par l'eau lors d'une crue, lors de ruissellements, par remontée de nappe ou par submersion marine. Les caractéristiques de cette zone dépendent de la fréquence de l'événement considéré.





- Guide méthodologique ; plans de prévention des risques naturels – le ruissellement péri-urbain du ministère de l'écologie, publié en 2004
- Guide méthodologique EPRI – ZOOM 10 – Élaboration fr l'enveloppe approchée des inondations potentielles – débordements de cours d'eau, thalwegs secs, torrent de montagne, ruptures de digues de protection - 2011
- Gérer les inondations par ruissellement pluvial - Guide de sensibilisation - CEPRI - 2014
- Rapport du CGEDD « Gestion des eaux pluviales – 10 ans pour relever le défi » - 2017
- Les territoires face au ruissellement - Analyse des dispositifs et enseignements tirés de 4 études de cas – CEREMA – 2018
- Les inondations par ruissellement – suivez le guide – CEPRI – 2021
- Diagnostic et Solutions : LES OUTILS DE CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA ET DES RISQUES Guillaume Barjot, Pascal Breil, Frédéric Pons, Valentin Lendemaine, Anne Piveteau publié : HAL Id:hal-03793168 <https://hal.inrae.fr/hal-03793168> Submitted on 30 Sep 2022
- Colloque SHF : « Ruissellement, Lyon 30 nov-2 déc 2020 » Remy-Collongues-Porcheron – CRUS
- Colloque SHF : « Ruissellement, Lyon 30 nov-2 déc 2020 » D. Moncoulon, T. Onfroy – La modélisation par ruissellement pluvial
- Hydroscience journal - 2021 « Cartographie de l'aléa ruissellement : la modélisation va-t-elle remplacer l'expertise de terrain ? »





**PRÉFET
COORDONNATEUR
DU BASSIN
SEINE-NORMANDIE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale et interdépartementale de l'environnement,
de l'aménagement et des transports d'Île-de-France

27/29 rue Leblanc - 75015 PARIS
Tél. : 01 40 61 80 80

www.drieat.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr

Dépôt légal : septembre 2023

ISBN : 978-2-11-172408-2