

# Approche innovante de cartographie de l'aléa ruissellement en zone rurale

Conférence technique territoriale Sud-Ouest

14 Novembre 2022 - Claire Fraisse, Stéphanie Souvignet, Rémy Gasset



# SOMMAIRE

An aerial photograph of a rural landscape. In the foreground, there is a farmstead with a large white barn with a red roof, a smaller red shed, and various pieces of agricultural machinery. The middle ground shows rolling hills with fields of different colors, including green, yellow, and brown, indicating different stages of crop growth or land use. The background features more hills under a cloudy sky.

1. Utilisation de la méthode Exzeco - agglomération du pays d'Issoire

2. Utilisation de la méthode Crus - agglomération du pays d'Issoire

3. Utilisation de la modélisation 2D entièrement distribuée : communauté de communes Convergence Garonne

Approche innovante de cartographie de  
l'aléa ruissellement en zone rurale

# UTILISATION DE LA METHODE EXZECO - AGGLOMERATION DU PAYS D'ISSOIRE

# Historique de la méthode exzeco

- La méthode Exzeco existe depuis 2009.
- Mise en place dans l'EPRI pour palier à un défaut de connaissance sur les très petits bassins versants, subissant des « inondations par ruissellement » ou « crues éclair »
- Réseau hydrographique parfois incomplet (talwegs secs) sur ces petits BV
- A ensuite fait l'objet d'applications locales, notamment en Occitanie et en PACA, (Mission Interrégionale Inondations Arc Méditerranéen), sur le bassin de la Dordogne...

**Objectif = cartographier un phénomène très local à une échelle globale par des méthodes SIG**

# Présentation de la méthode exzeco

Donnée d'entrée : modèle numérique de terrain (IGN RGE Alti, Lidar...) permet de calculer les talwegs et l'emprise des zones potentiellement inondables : en comparant l'altitude de chaque pixel pour calculer le sens de circulation de l'eau entre chaque pixel en identifiant ainsi les pixels qui drainent la plus grande surface (et qui correspondent aux points bas topographiques) en calculant en chaque pixel la superficie de bassin collecté

Ensuite, ajout de bruitage pour matérialiser la zone inondable : Nouveau calcul en modifiant légèrement et aléatoirement certains points du MNT, reproduit plusieurs dizaines de fois pour obtenir une surface des écoulements d'eau.



Résultat d'un calcul de thalweg

## Un algorithme : le D8

MNT					Directions				
18	19	23	27	26	↓	↙	↘	↓	↘
15	16	23	22	24	↓	↙	←	↘	↘
13	20	18	20	25	↓	↙	↖	←	←
12	20	19	21	22	↘	↓	↘	↘	↓
15	11	18	14	12	→	↓	←	→	↓

Pixels drainés					Talwegs				
1	1	1	1	1					
3	10	1	3	1	■	■		■	
14	1	7	3	1	■		■		
16	1	1	1	1	■				
1	21	1	1	4		■			■

Classe de réseau hydrographique  
3 < Pixels < 10  
Réseau > 10 pixels

# Présentation de la méthode exzeco



Résultat d'un calcul de thalweg

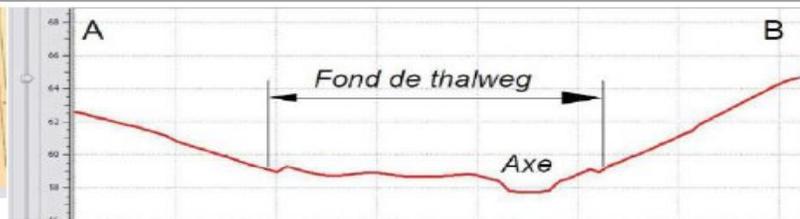
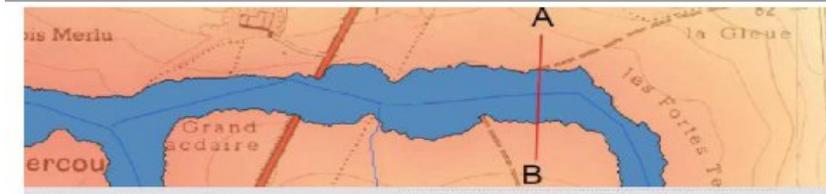


Calcul de thalweg différent, MNT modifié

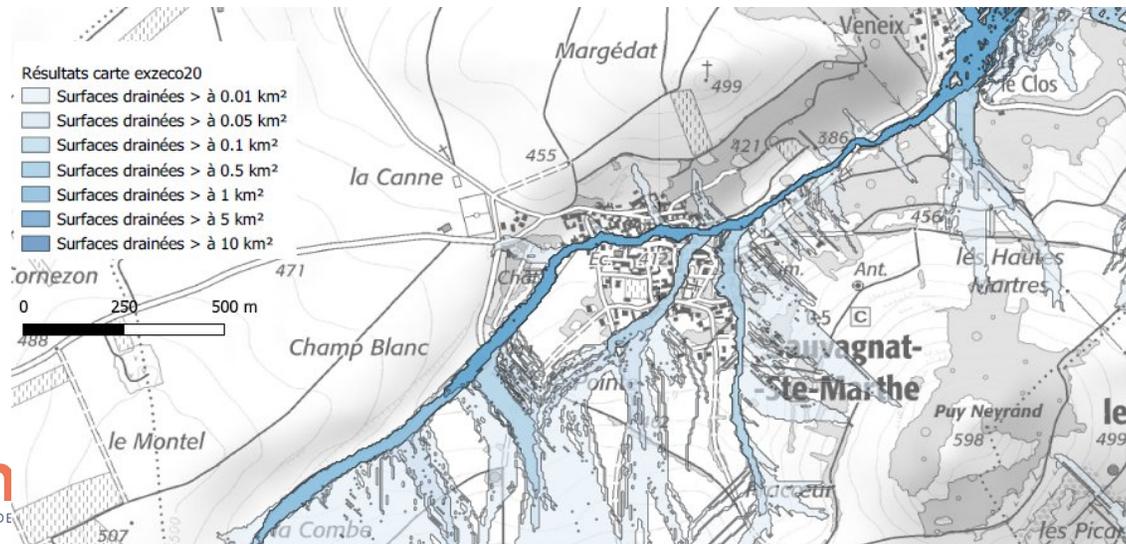


Nombreuses itérations pour former une surface

Illustration des différentes étapes de calcul. Ici la valeur arbitraire de bruitage prise au départ pour un RGE Alti au pas de 5 m est de 20 cm.

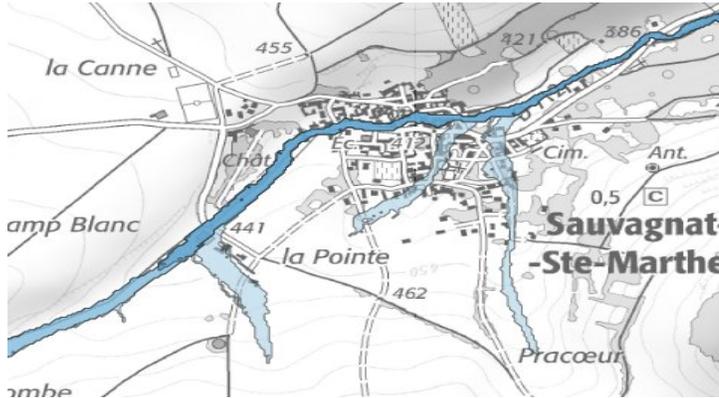


Résultat cartographié par Exzeco et coupe transversale.

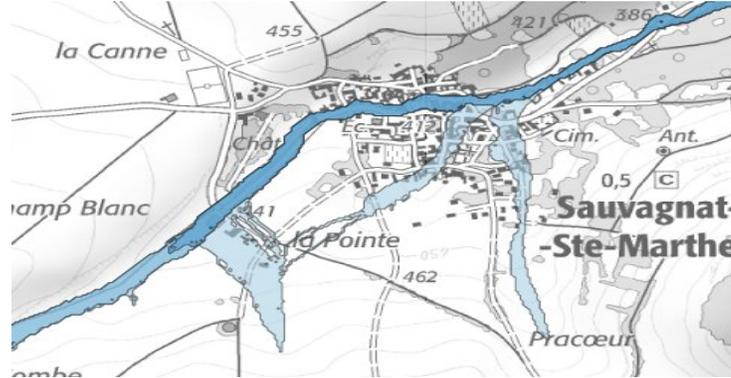


Exemple de résultat BRUT Exzeco20  
source : étude du ruissellement  
Agglomération du Pays d'Issoire

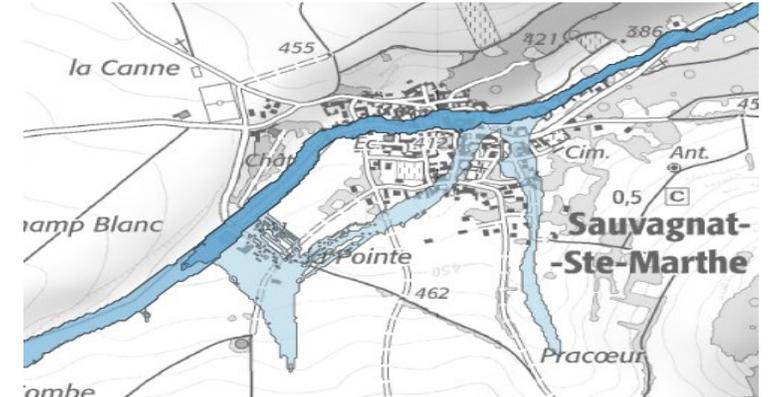
# Présentation de la méthode exzeco



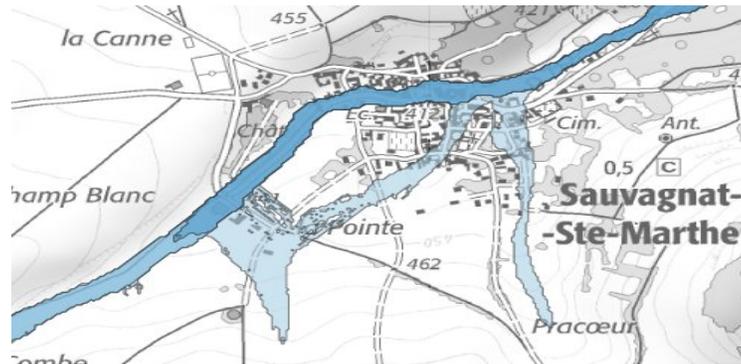
Exzeco20



Exzeco40



Exzeco60

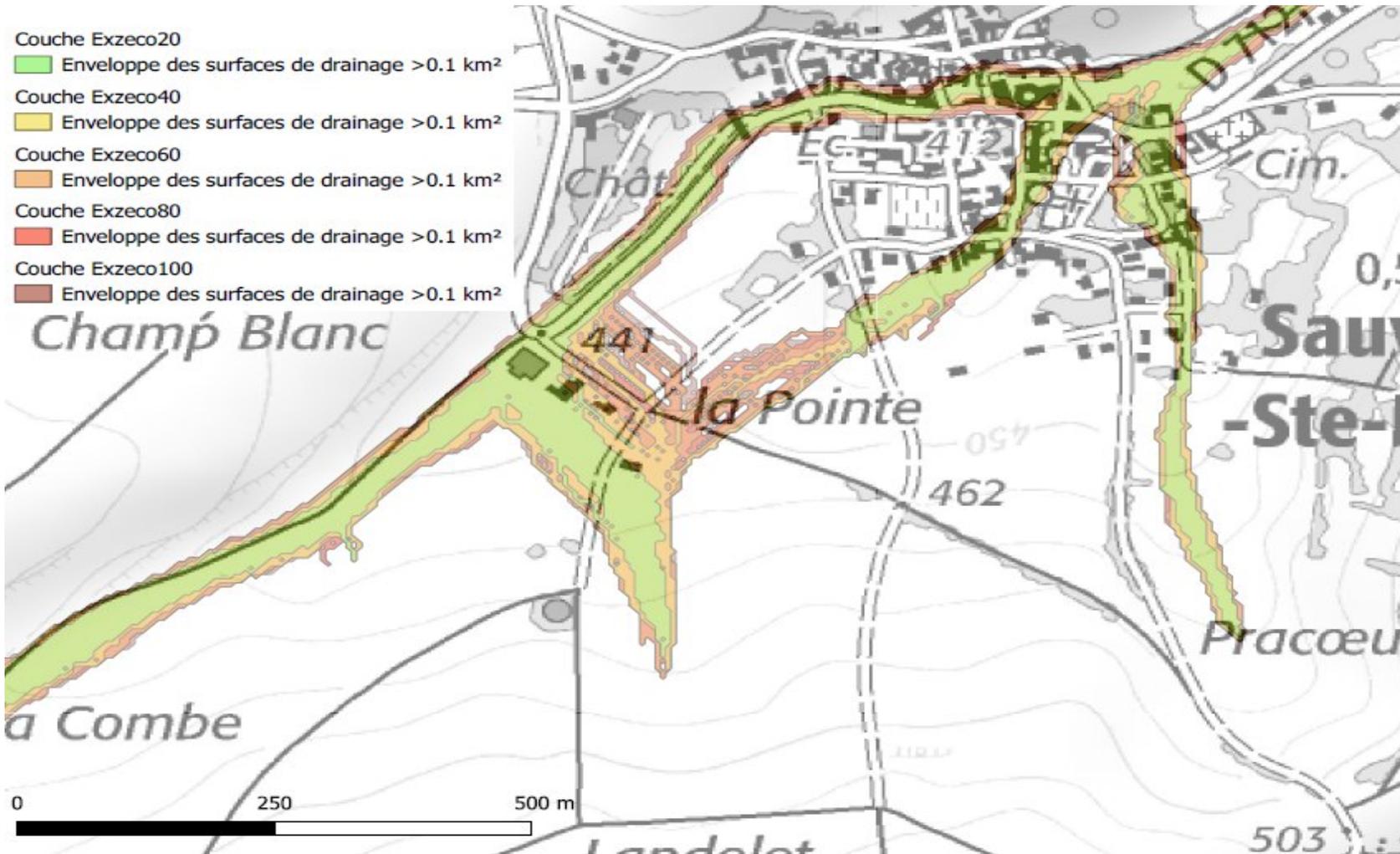


Exzeco80



Exzeco100

# Présentation de la méthode exzeco



*Comparaison des enveloppes des surfaces de drainage > à 0,1km<sup>2</sup> obtenus pour les 5 couches Exzeco*

# Les limites de la méthode exzeco

La méthode est basée sur un modèle numérique de terrain :

- $\pm$  fiable (exemple d'un fossé créé pour dévier les eaux de pluie qui n'apparaît pas sur le MNT au pas de 5 mètres) : tous les éléments de taille inférieure à la grille du MNT ne seront donc pas pris en compte. Pas du LIDAR partout... En fonction de sa date, la topographie peut aussi être incomplète. Le MNT peut aussi être incohérent (mauvais rattachement de deux sources de données par exemple)
- ne prend pas en compte la présence de bâtiments, murs etc (modèle numérique de terrain et non modèle numérique de surface) → fiabilité des résultats limitée en milieu urbain !
- ne prend pas en compte les réseaux d'assainissements, les ouvrages hydrauliques etc.

Ne pas confondre surface drainée et hauteur d'eau

- représente les surfaces drainées, ne pas parler de hauteurs d'eau à partir des résultats Exzeco. Une faible surface drainée en amont ne correspond pas forcément à une zone où le risque est moindre !
- doit être complété par une modélisation fine pour obtenir des données de hauteurs et vitesses et caractériser un aléa.



Pas de calage local des valeurs de bruitage

Garder un regard critique sur les données ! Les données fournies sont brutes et non expertisées

Comparer à des événements ou des études existantes locales.

# Comparaison des résultats exzeco

- 28 juin 2021 : forts orages et coulées de boues à Sauvagnat-Sainte-Marthe.
- Hauteur maximum de la coulée relevée : 70cm.



Source : <https://www.dailymotion.com/video/x82arqg> - Journal Fr3 National

# Comparaison des résultats exzeco



# Comparaison des résultats exzeco

Superposition des résultats Exzeco100 aux laisses de crues relevées

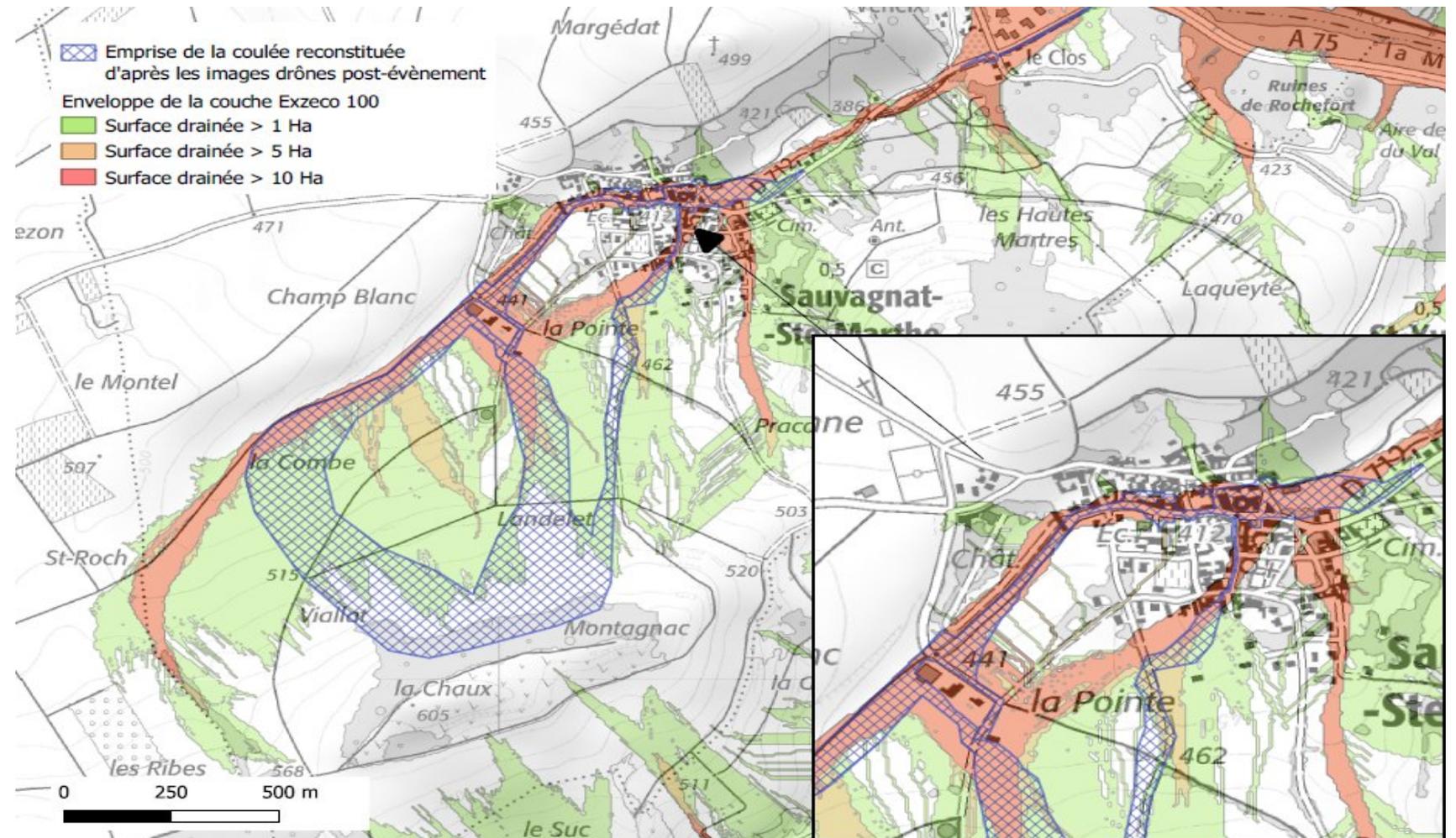


# Comparaison des résultats exzeco

Des photographies prises par drone après l'évènement ont permis au Cerema de reconstituer l'emprise de la coulée de boue



# Comparaison des résultats exzeco



Le bassin versant d'où provient le ruissellement est très réduit (170Ha à l'exutoire, en sortie du village).  
Pour comparer l'évènement aux résultats Exzeco100, on va donc utiliser les enveloppes de surfaces drainées de taille réduite (0,01 km<sup>2</sup> en entrée, soit 1Ha)

# UTILISATION DE LA METHODE CRUS - AGGLOMERATION DU PAYS D'ISSOIRE

# PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE CRUS

Cette méthode permet de cartographier la sensibilité des sols à générer du ruissellement.

Elle s'appuie sur des données publiques telles que la pédologie, l'occupation des sols et des modèles numériques de terrain (MNT).

Le traitement de ces différentes données permet d'identifier, à l'échelle de gros bassins versants, les zones préférentielles de production du ruissellement.

4 cartes de base vont être produites et croisées pour établir la cartographie CRUS :

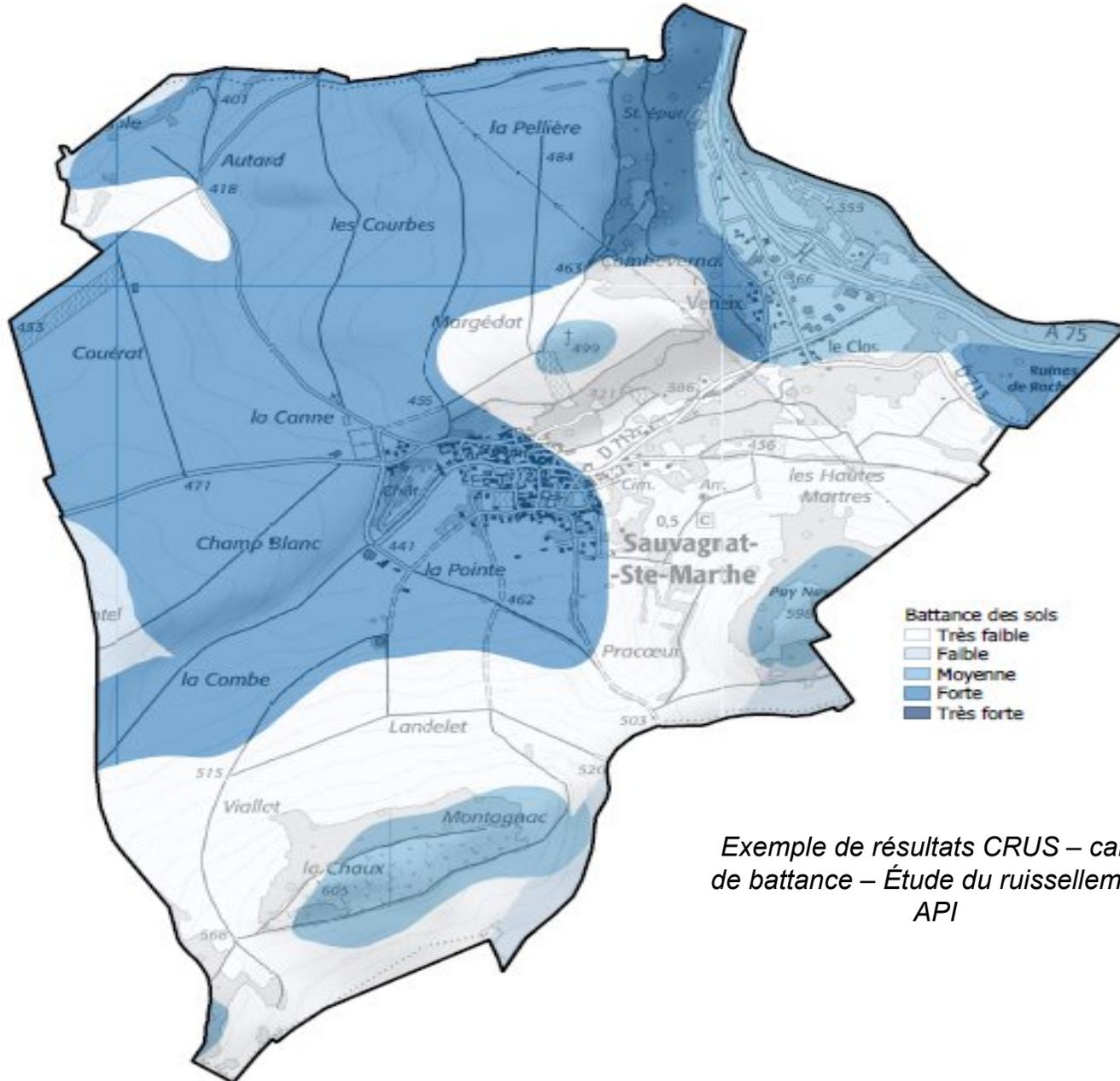
- carte de la battance
- carte de la perméabilité
- carte des pentes
- carte de l'occupation des sols



*Qu'est ce que la battance ?*

*Sous l'impact des gouttes de pluie (mais aussi de facteurs tels que le piétinement par exemple), certains sols se désagrègent. Les particules plus fines forment une couche superficielle qui agit comme un ciment : très peu perméable, elle empêche l'eau de s'infiltrer et accentue le ruissellement. On appelle cette formation une croûte de battance.*

# PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE CRUS



Exemple de résultats CRUS – carte de battance – Étude du ruissellement API

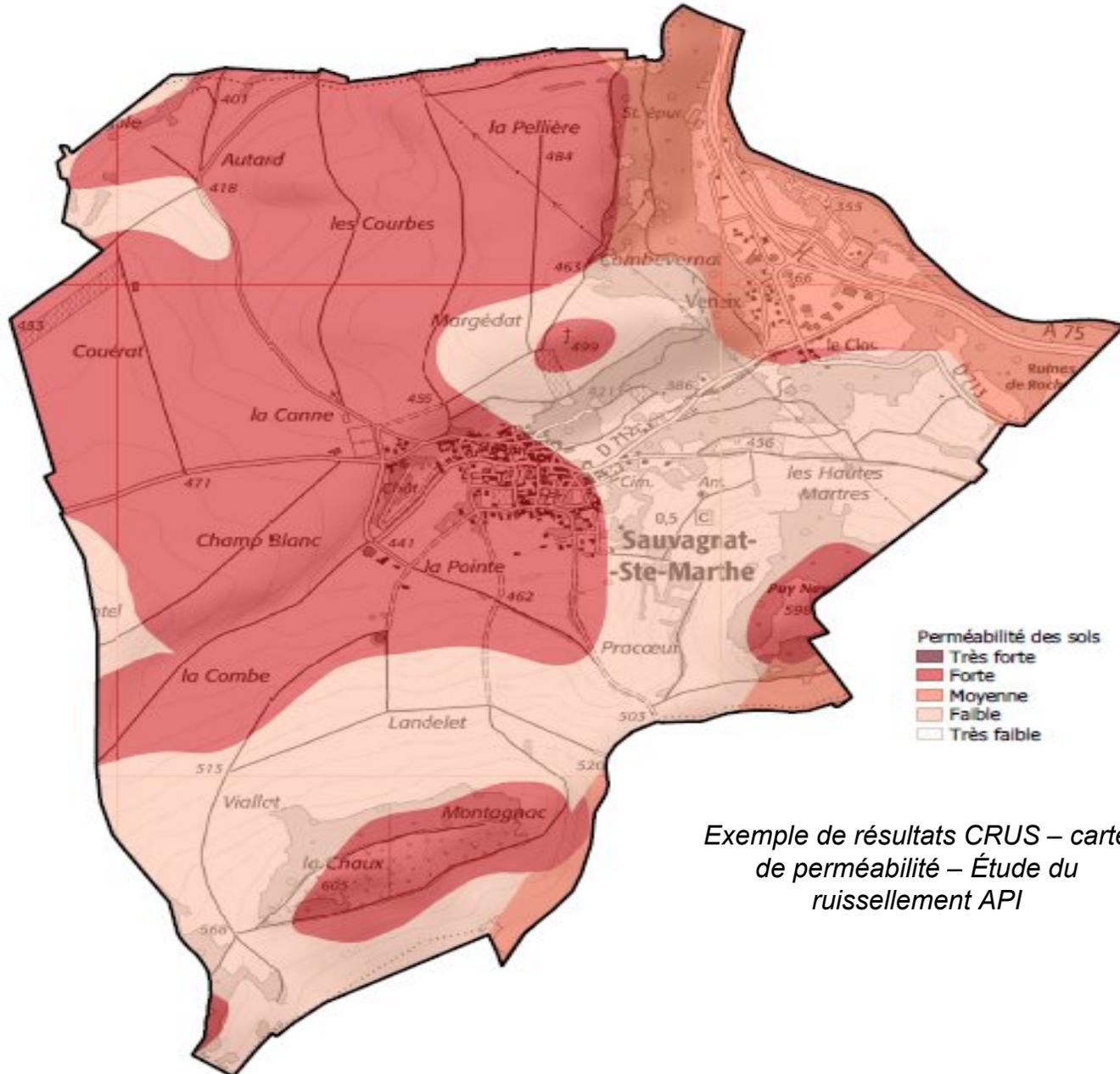
## La carte de battance

La carte de battance est établie à partir des données pédologiques (caractères chimiques et physiques des sols).

La carte obtenue permet de déterminer les secteurs propices, par la composition de leurs sols, à la formation d'une croûte de battance.

Les valeurs de battance vont de très faible à très forte.

# PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE CRUS



Exemple de résultats CRUS – carte de perméabilité – Étude du ruissellement API

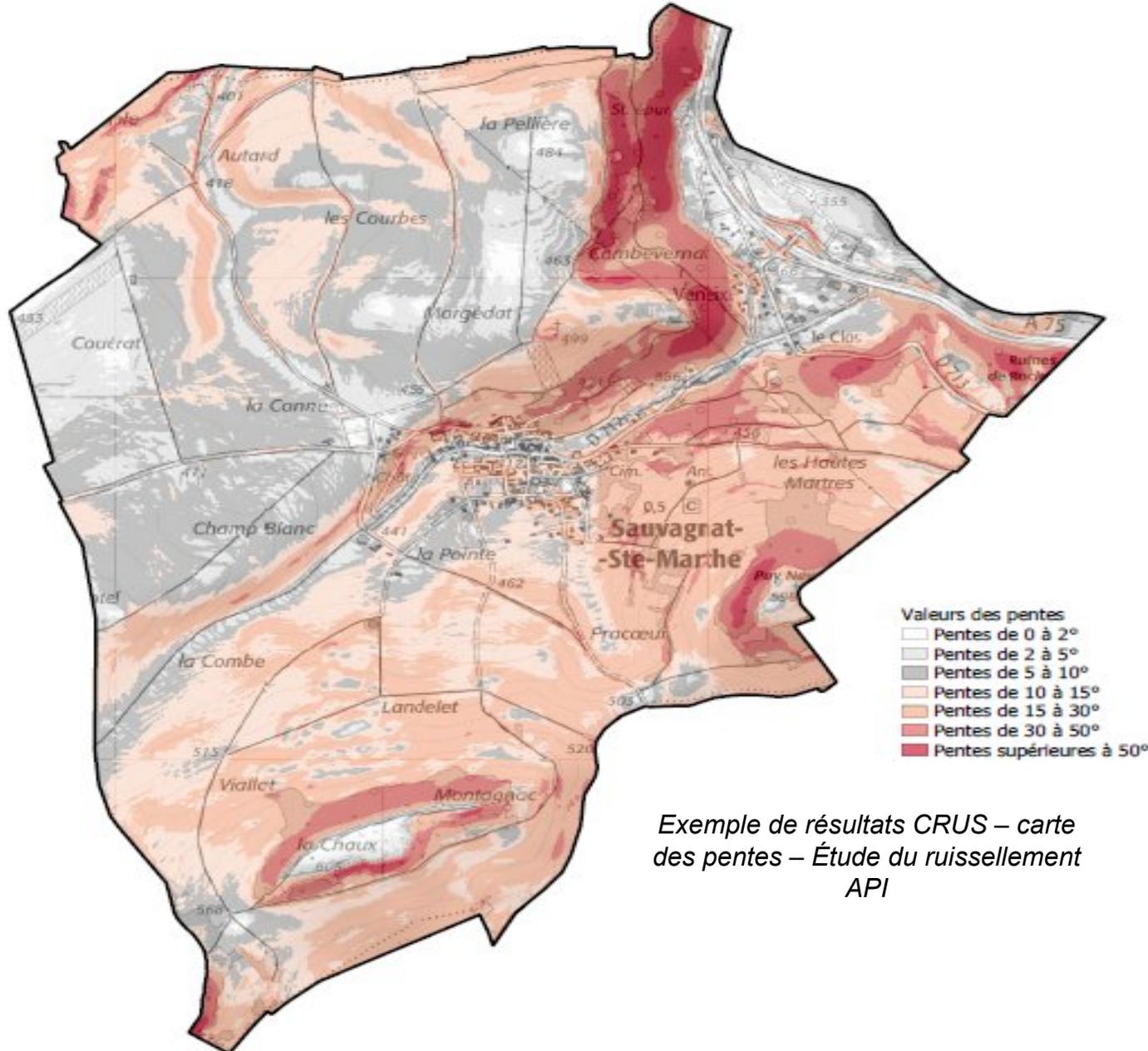
## La carte de perméabilité

La perméabilité d'un sol est sa capacité à laisser l'eau s'infiltrer.

La carte de perméabilité est établie à partir des données pédologiques (caractères chimiques et physiques des sols).

La carte obtenue permet de déterminer les secteurs propices au ruissellement des eaux pluviales, les classes de perméabilité allant de très forte à très faible.

# PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE CRUS



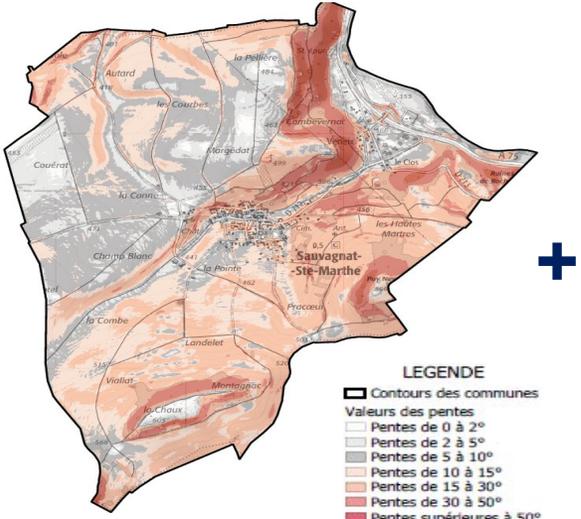
*Exemple de résultats CRUS – carte des pentes – Étude du ruissellement API*

## La carte des pentes

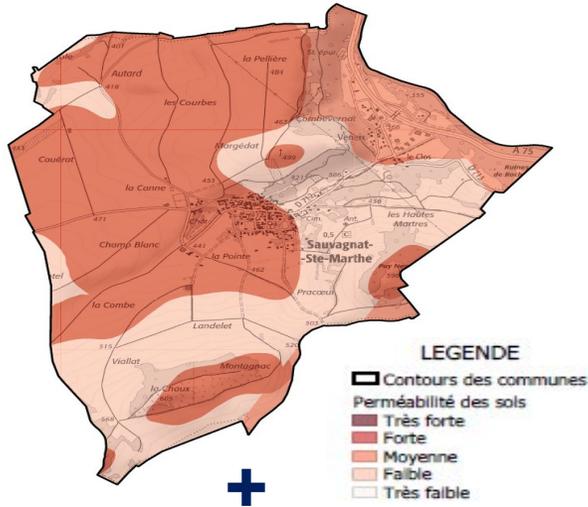
Elle est issue d'un modèle numérique de terrain et définit 7 classes de pentes. Les valeurs de pente sont classifiées de très faibles à très fortes.



Carte des pentes

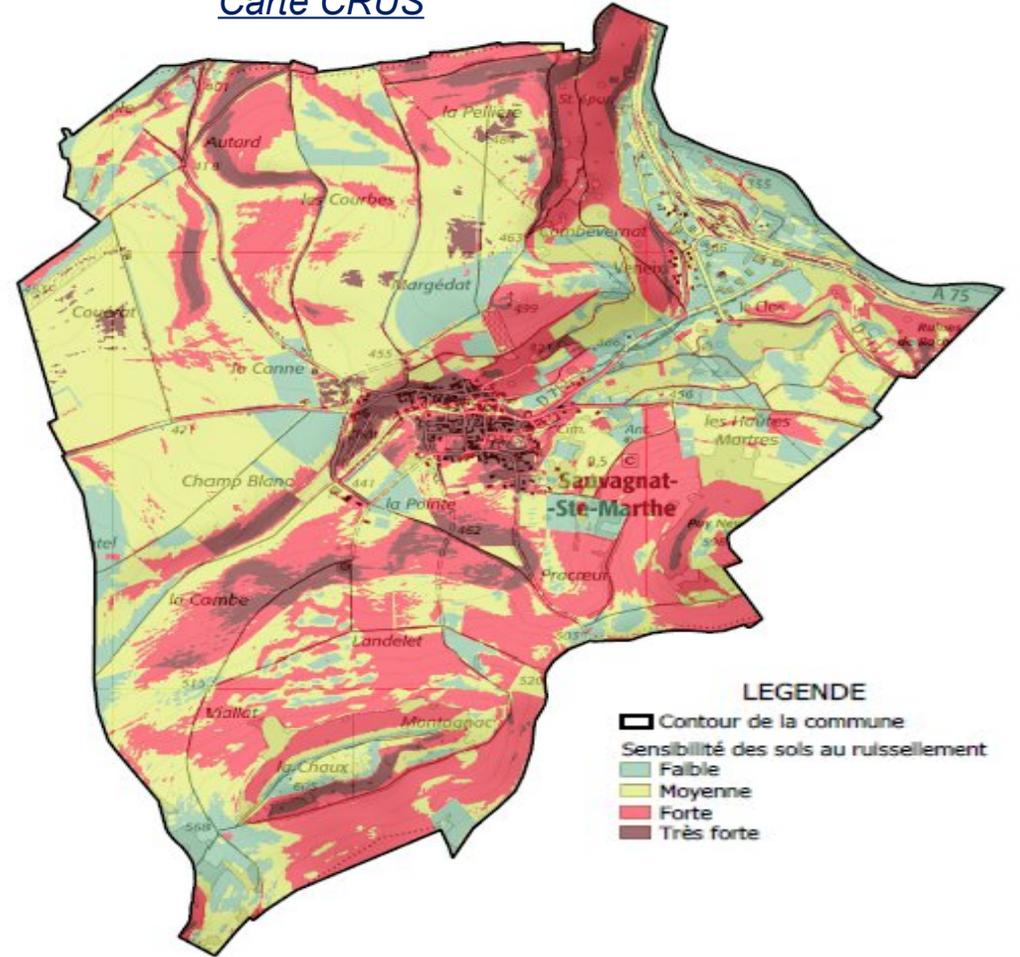


Carte de la perméabilité

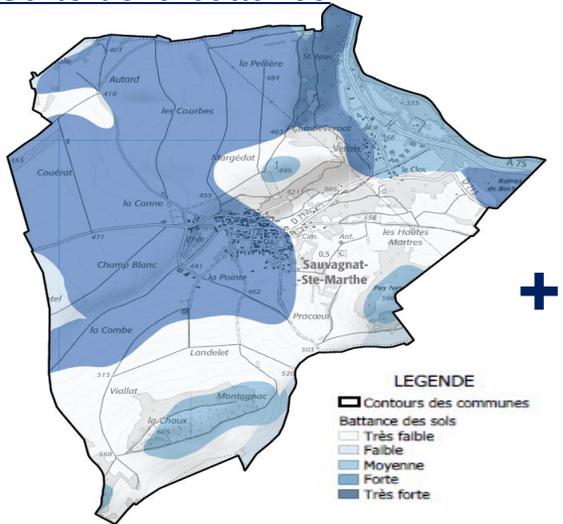


# MÉTHODE CRUS

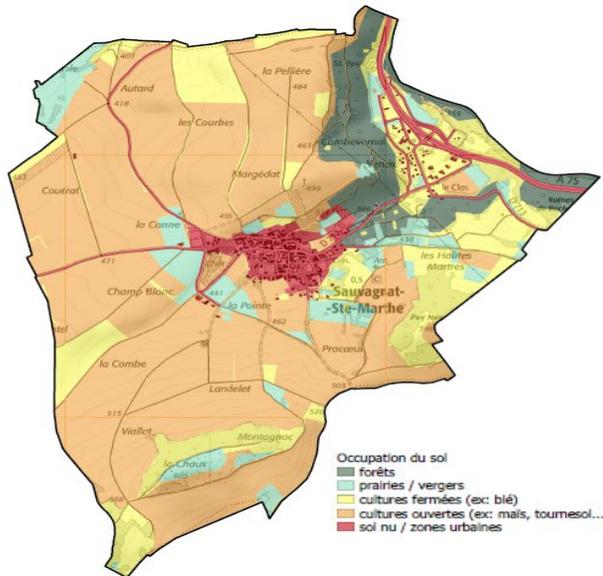
Carte CRUS



Carte de la battance



Carte de l'occupation des sols



# PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE CRUS

## → Les données pédologiques dans le Puy-de-Dôme

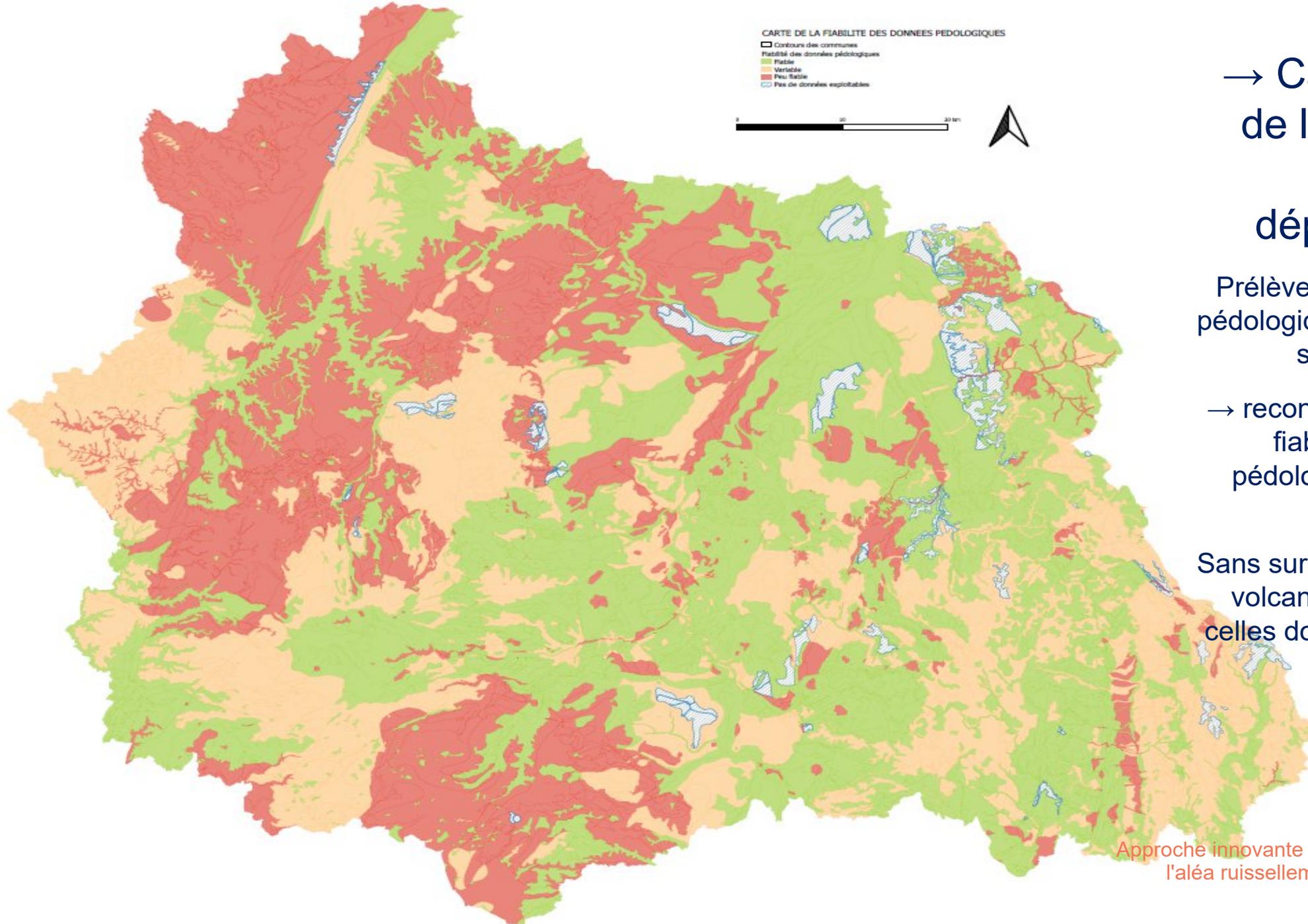
- Issues du Référentiel Régional Pédologique (RRP) (résolution pertinente 1/250000)
- Mesures interpolées à partir de la base de données DoneSol3 de l'INRAE
  - Reposent sur 1 profil de sol tous les 16km (au mieux!)
- 10 % de ces données sont manquantes à l'échelle de notre secteur d'étude

=> ne représentent pas l'hétérogénéité des horizons pédologiques du secteur d'étude, situé en contexte volcanique

=> IMPORTANTE VARIABILITÉ DE LA PÉDOLOGIE

Des prélèvements ont été réalisés sur notre terrain d'étude pour vérifier le contenu de la base de données et/ou l'amender.

→ les résultats montrent de grands écarts avec les données de texture du RRP



## → Carte de fiabilité de la pédologie à l'échelle départementale

Prélèvements réalisés + carte pédologique ancienne disponible sur le Val d'Allier

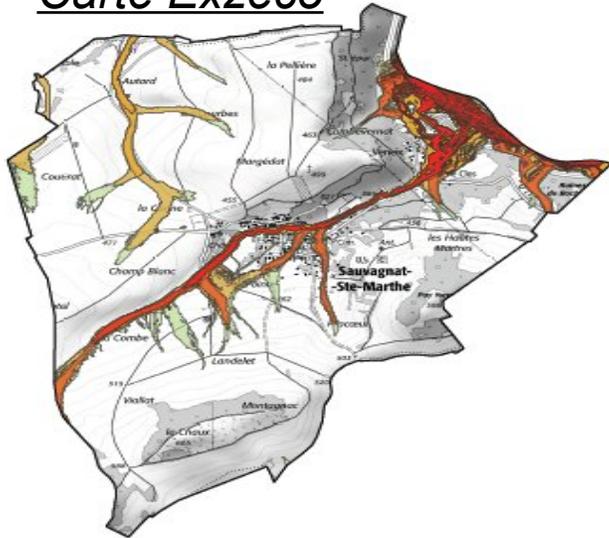
→ reconstitution d'une carte de fiabilité des données pédologiques à l'échelle du département.

Sans surprise, les zones les plus volcaniques (à l'ouest) sont celles dont la fiabilité est la plus mauvaise.

Approche innovante de cartographie de l'aléa ruissellement en zone rurale

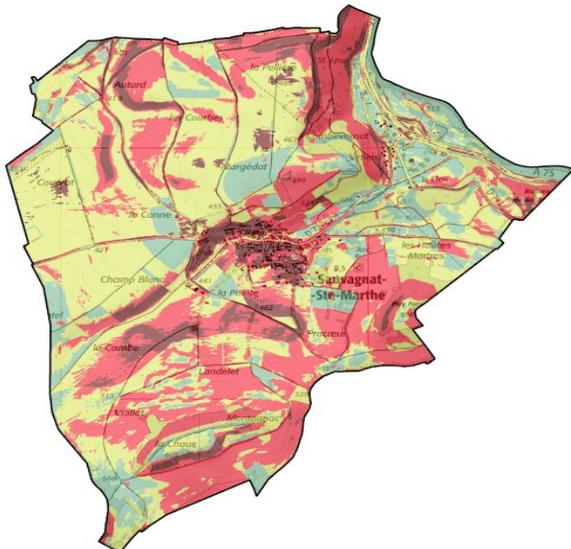
# Limites de CRUS

Carte Exzeco



LEGENDE  
□ Contours des communes  
Zones d'écoulements  
■ Enveloppe exzeco bruitage minimum  
■ Enveloppe exzeco bruitage maximum  
■ Enveloppe exzeco écoulements diffus

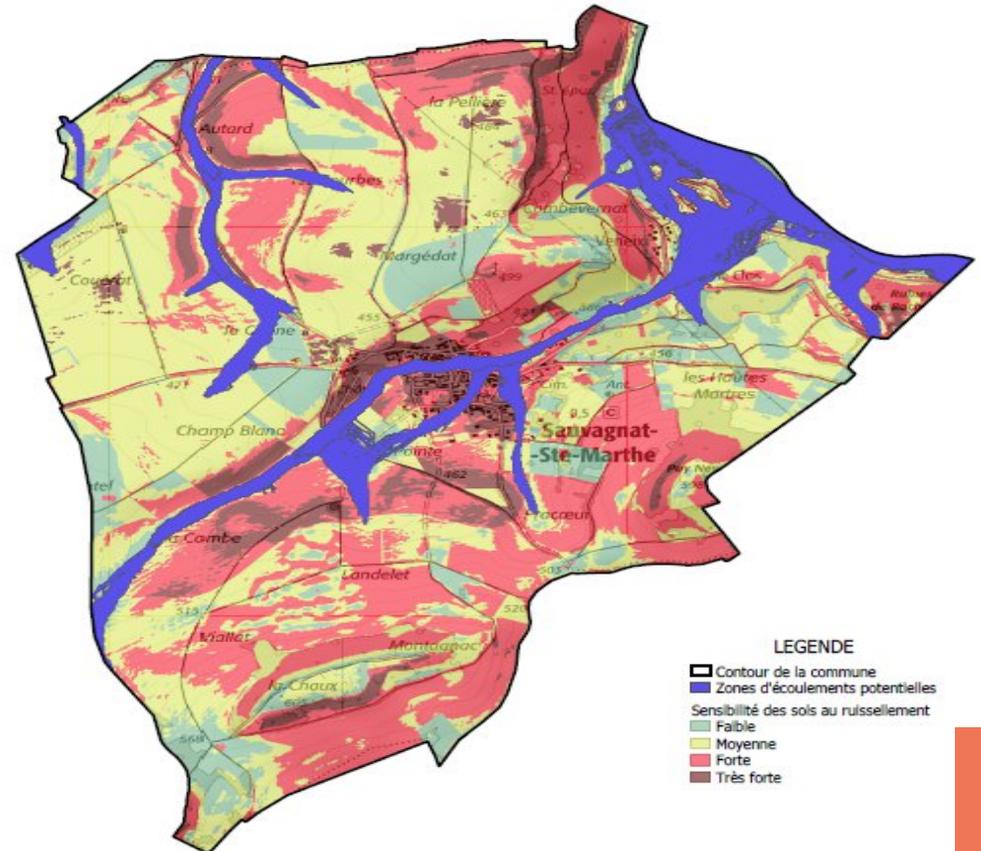
Carte CRUS



LEGENDE  
□ Contour de la commune  
Sensibilité des sols au ruissellement  
■ Faible  
■ Moyenne  
■ Forte  
■ Très forte

+

=



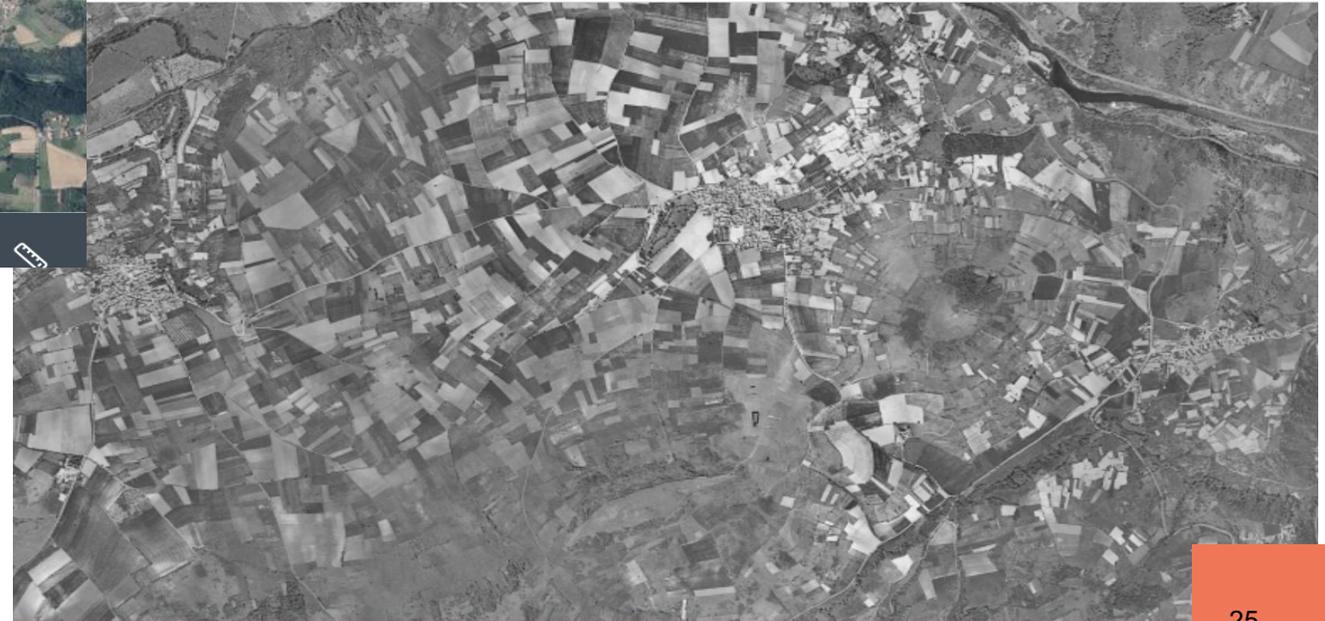
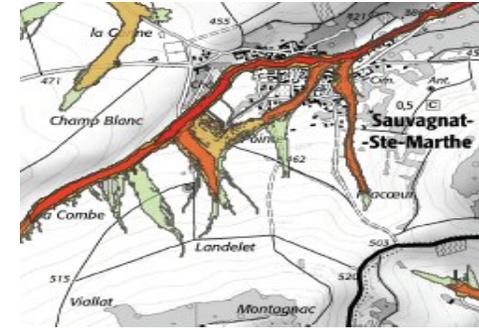
LEGENDE  
□ Contour de la commune  
■ Zones d'écoulements potentielles  
Sensibilité des sols au ruissellement  
■ Faible  
■ Moyenne  
■ Forte  
■ Très forte

- CRUS ne prend pas l'eau en compte (CRUS doit impérativement être couplé avec des cartes Exzeco, qui représentent les écoulements d'eau)
- les cartes CRUS ne sont pas valables en cas de sécheresse prolongée: celle-ci augmente très fortement la sensibilité des sols à générer du ruissellement (tout ruisselle et plus rien ne s'infiltré)
- CRUS est une cartographie qui s'applique à l'échelle d'un bassin versant, en raison de l'échelle de précision des données d'entrée.

Extrait de la cartographie Exzeco

# COMMUNICATION AUTOUR DE CRUS

→ Exemple sur Sauvagnat-Sainte-Marthe :  
Comparaison de la carte actuelle avec celle de 1950 (reconstituée d'après des photographies aériennes)

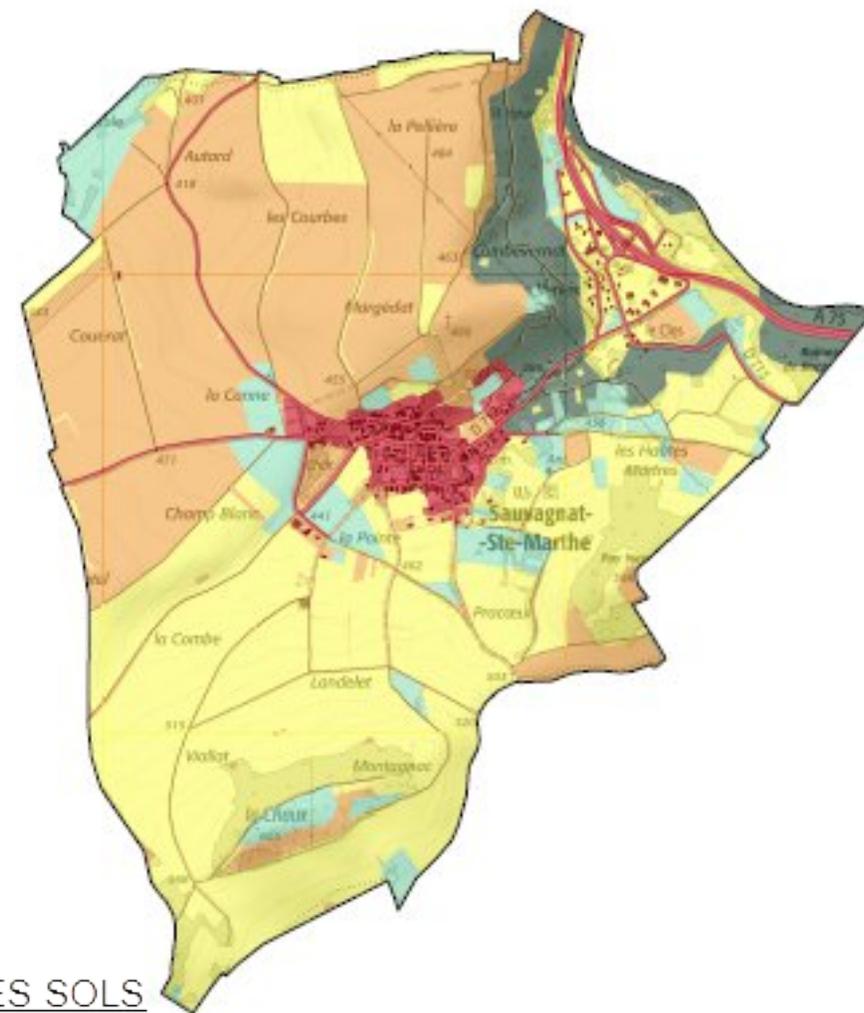
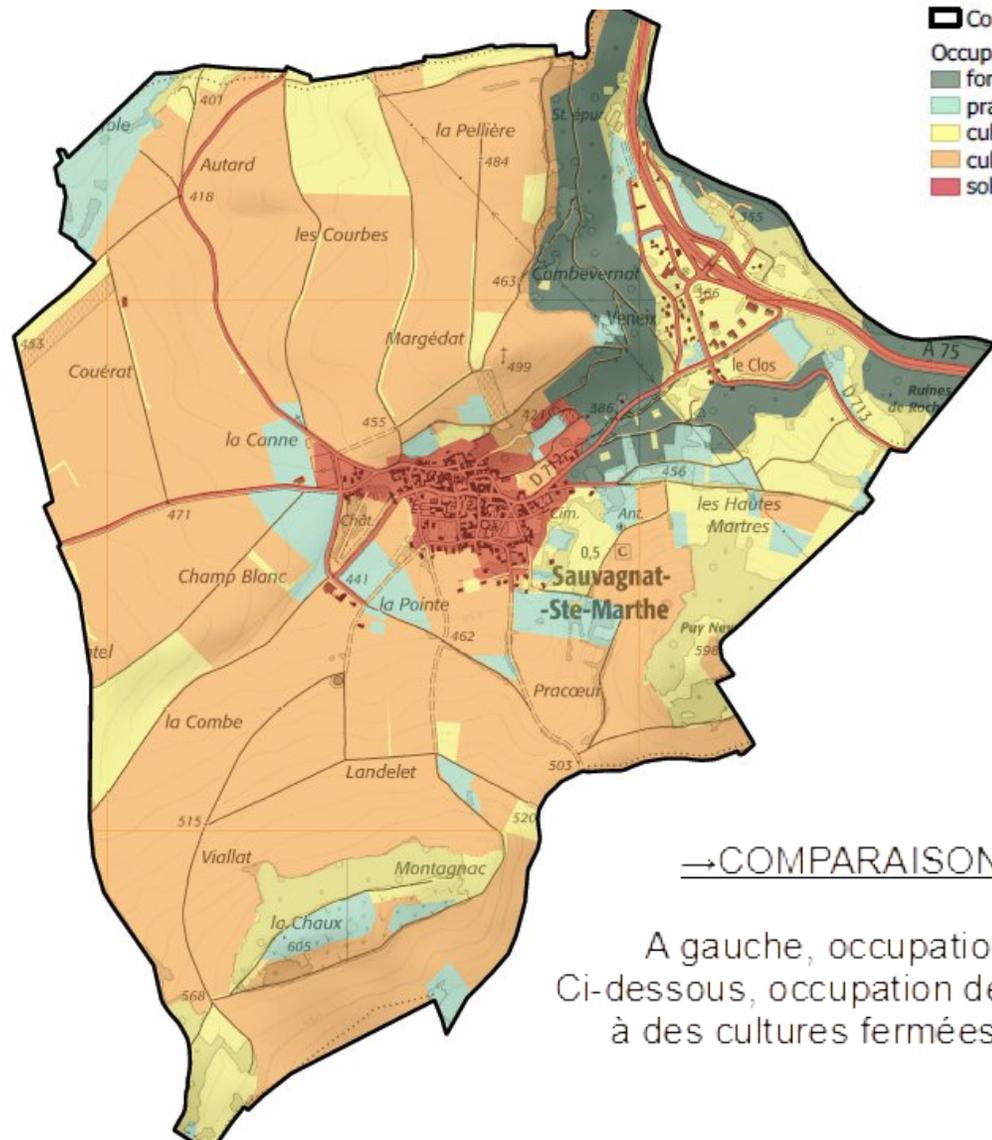


Extrait outil « remonter de temps » de l'IGN  
comparaison photographies aériennes actuelles (gauche) et des années 1950 (droite)

# COMMUNICATION AUTOUR DE CRUS

## LEGENDE

- ▭ Contours des communes
- Occupation du sol
  - forêts
  - prairies / vergers
  - cultures fermées (ex: blé)
  - cultures ouvertes (ex: maïs, tournesol...)
  - sol nu / zones urbaines

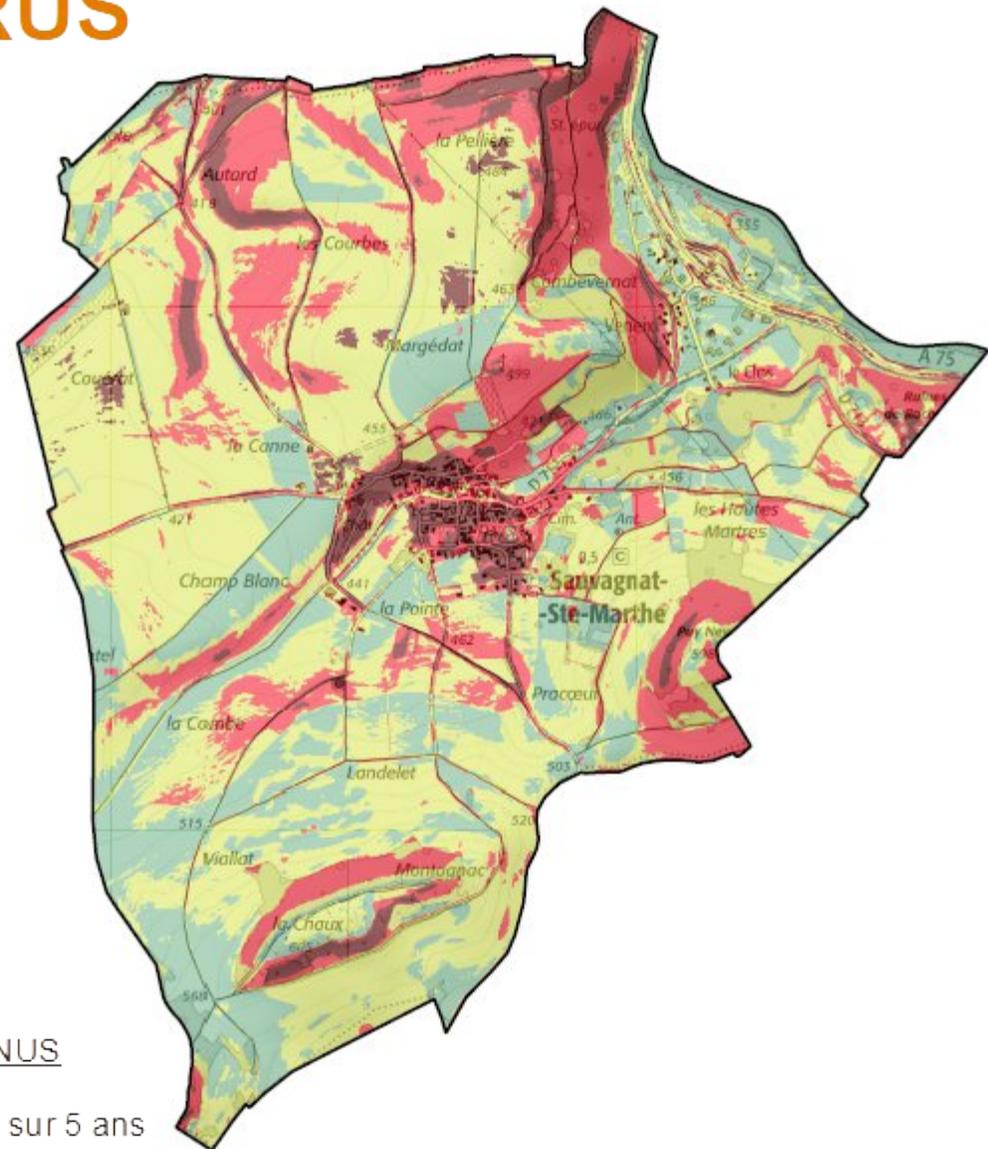
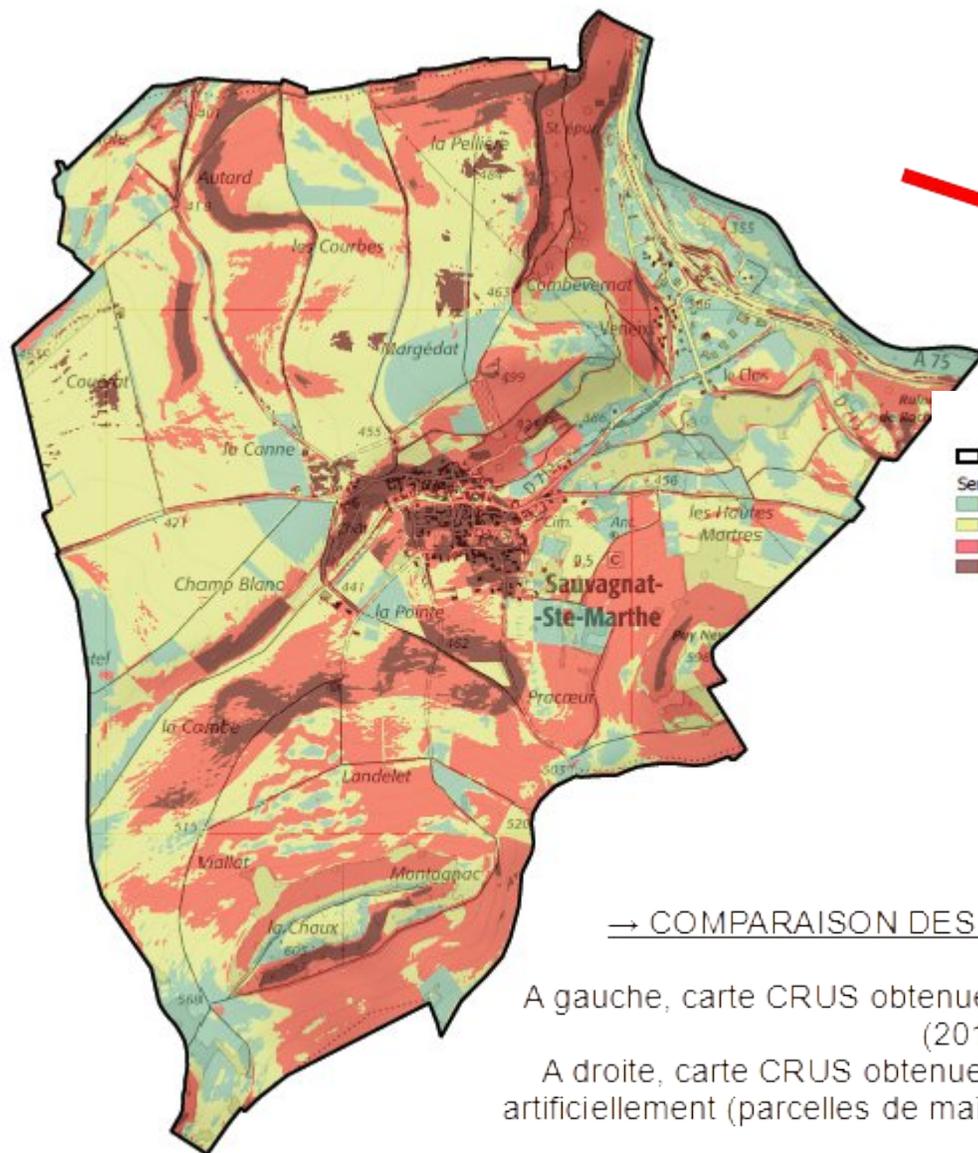


→ COMPARAISON DE L'OCCUPATION DES SOLS

A gauche, occupation des sols sur 5 ans (2016 à 2021).  
Ci-dessous, occupation des sols artificiellement modifiée (passage à des cultures fermées, moins favorables à la génération de ruissellement)

Approche innovante de cartographie de l'aléa ruissellement en zone rurale

# COMMUNICATION AUTOUR DE CRUS



## → COMPARAISON DES RESULTATS CRUS OBTENUS

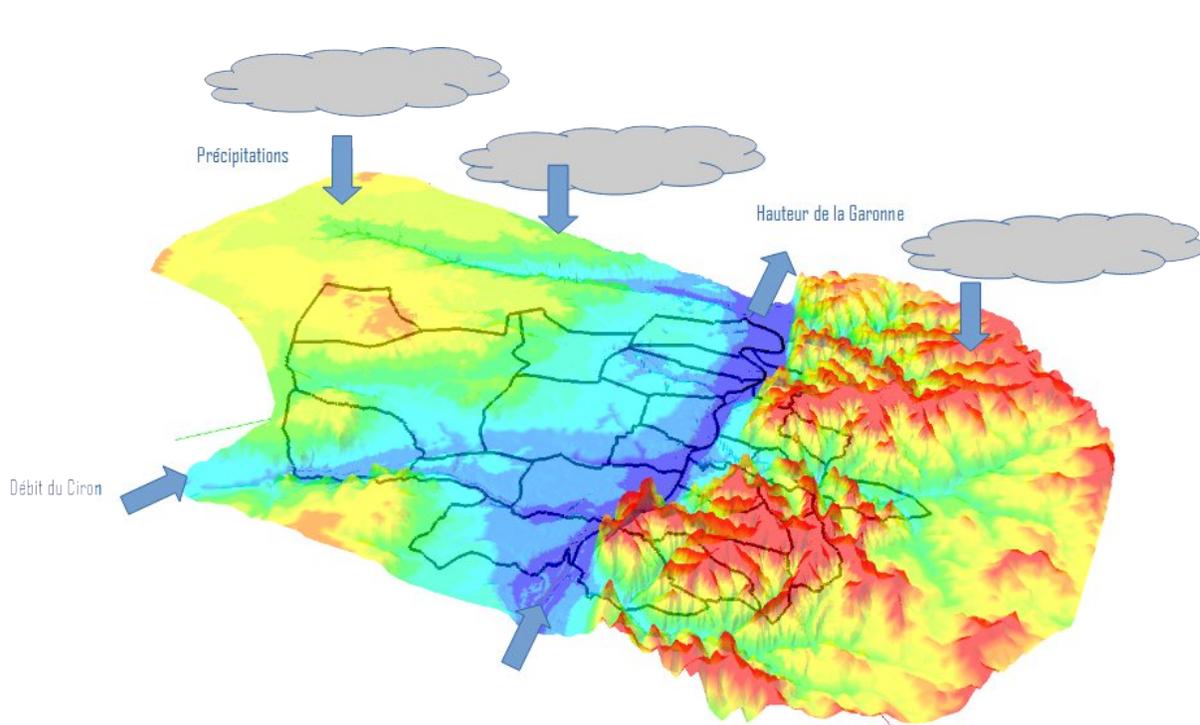
A gauche, carte CRUS obtenue avec l'occupation des sols sur 5 ans (2016 à 2021).

A droite, carte CRUS obtenue avec l'occupation des sols modifiée artificiellement (parcelles de maïs/tournesols transformées en blé/orge)

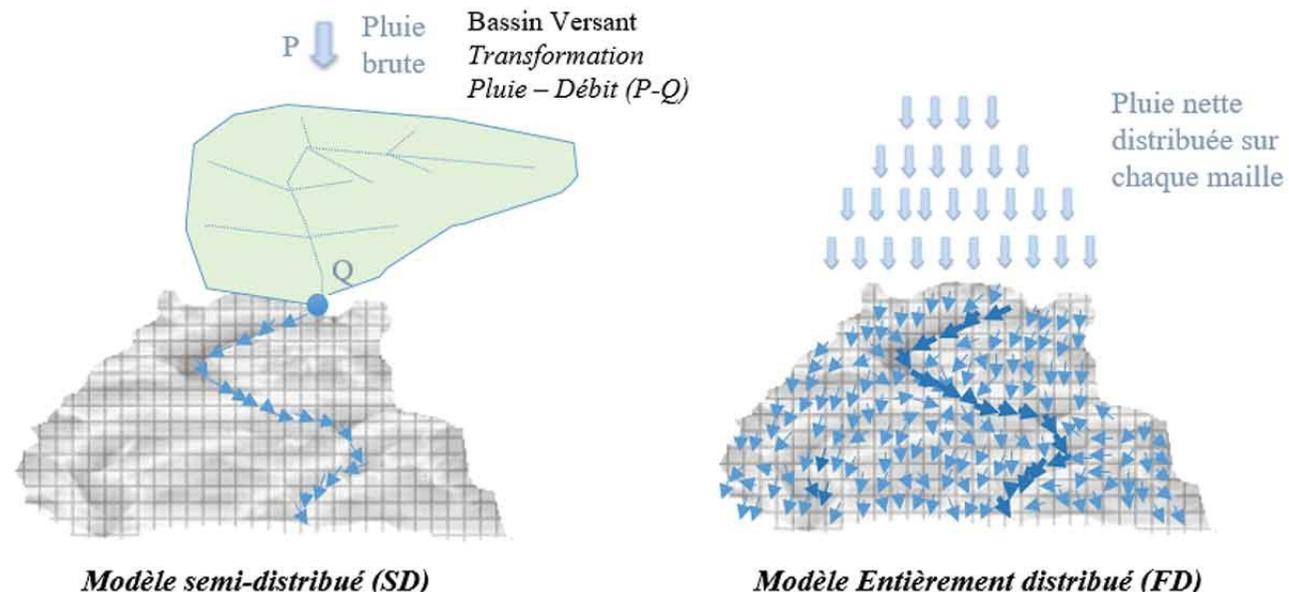
Approche innovante de cartographie de l'aléa ruissellement en zone rurale

# UTILISATION DE LA MODELISATION 2D ENTIEREMENT DISTRIBUEE : CdC CONVERGENCE GARONNE

# MODELISATION 2D DU RUISSELLEMENT



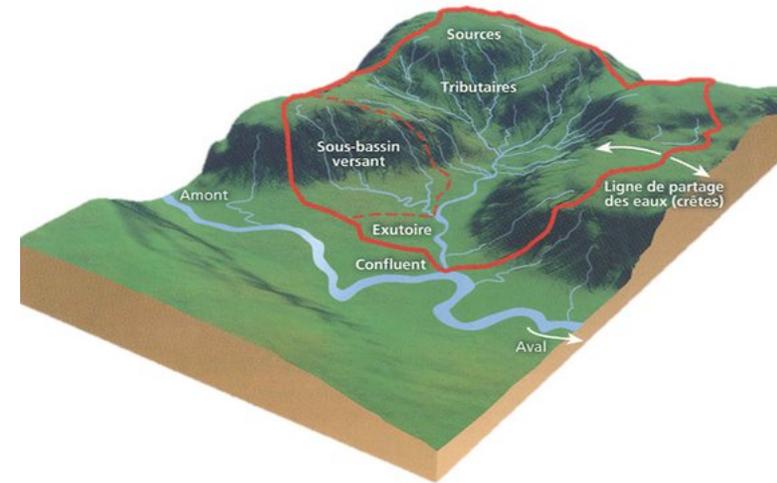
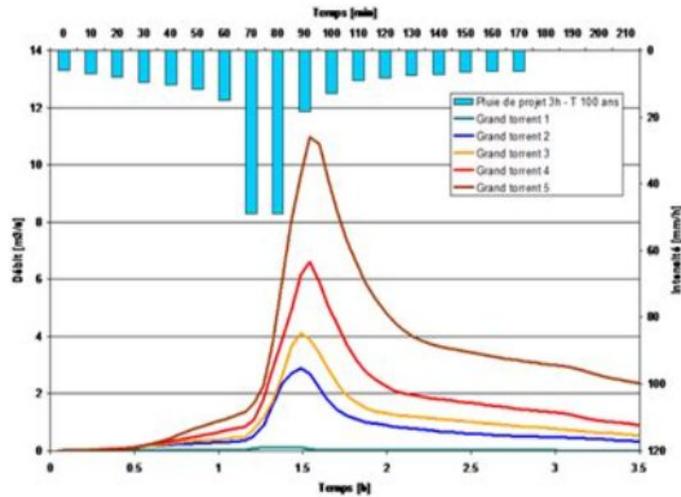
représentation modèle Convergence Garonne



principe de modèle entièrement distribué, Piveteau et al., 2021

**Principe:** TELEMAC 2D intègre la méthode SCS pour une transformation pluie débit à la maille du modèle. Les débits générés sont simultanément propagés comme pour un modèle hydraulique 2D classique.

# CHOIX DES EVENEMENTS DE REFERENCE

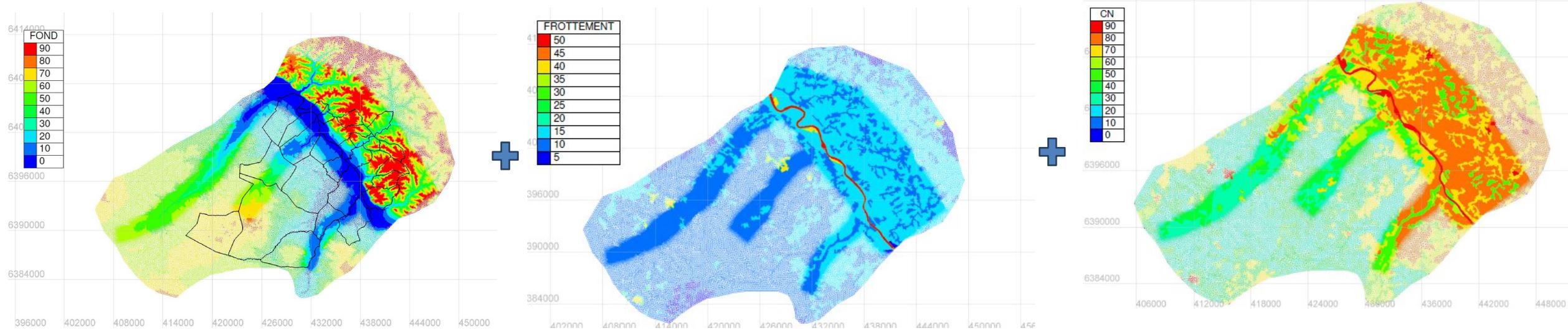


**Contexte** : le débit maximum ou de pointe (vitesses / hauteurs MAX) apparaît pour une pluie caractéristique du bassin versant étudié: c'est le temps de concentration.

**Objectif** : avoir un aléa ruissellement qui prenne en compte les caractéristiques physiques différentes de tous les bassins versants du territoire : surfaces, pente, temps de concentration, qu'ils soient de plaine ou de coteaux.

**Réponse** : Utilisation de pluies de durées comprises entre 1h et 24h de même probabilité d'occurrence centennale, génération d'un calcul Telemac pour chacune de ces pluies, superposition en tout point du domaine des résultats de hauteurs et de vitesse, sélection en tout point des hauteurs et vitesses MAX.

# CONSTRUCTION ET CALAGE



## Modèle de ruissellement 2D/SCS :

Topographie et bathymétrie + Rugosité + capacité d'infiltration et de ruissellement (CN)

- Nécessité de couvrir l'ensemble du bassin versant (sauf si station hydrométrique en amont)

Conditions initiales : rôle mineur dans les écoulements diffus. État hydrique des sols pouvant être ajusté dans le choix des CN.

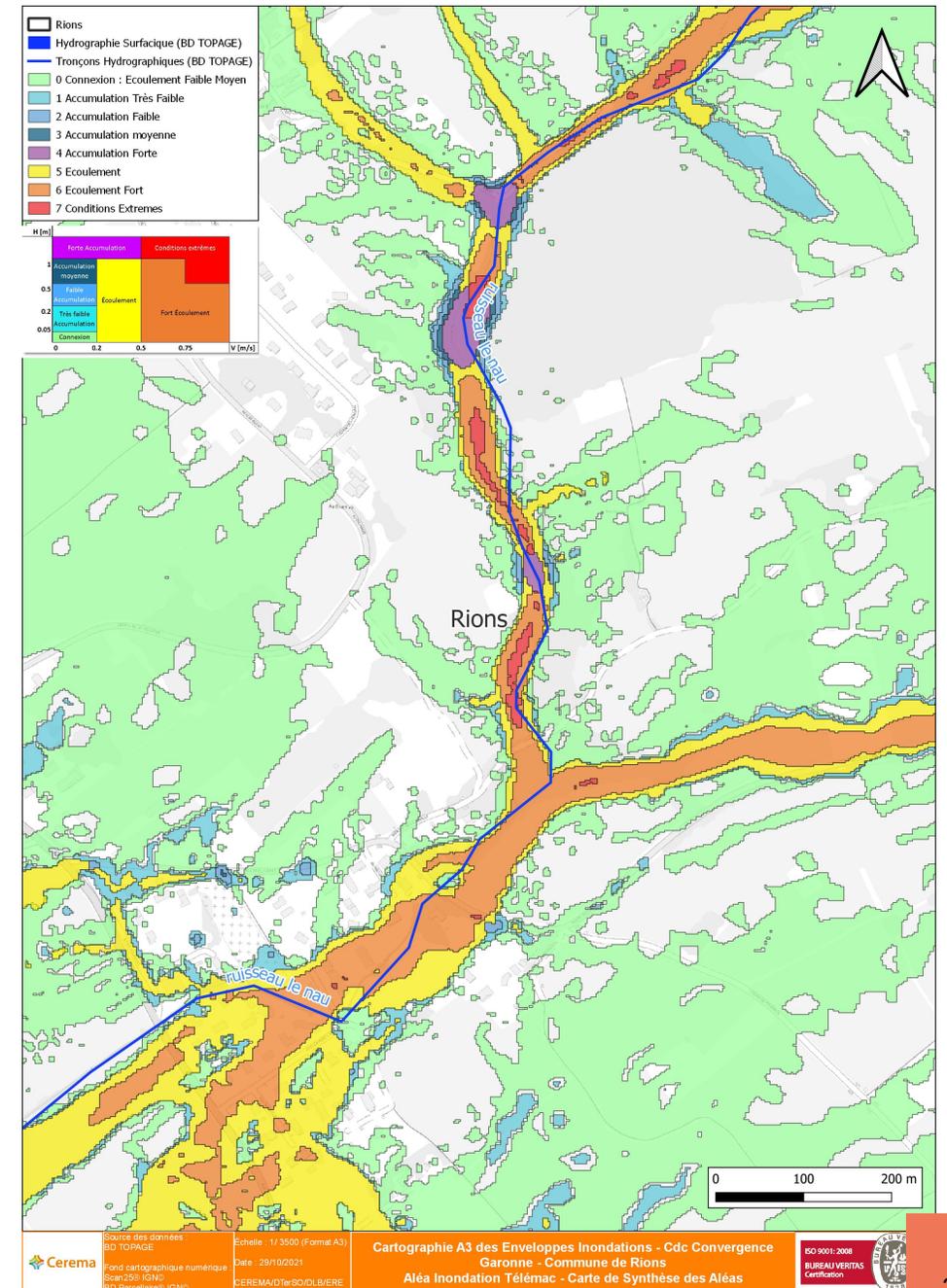
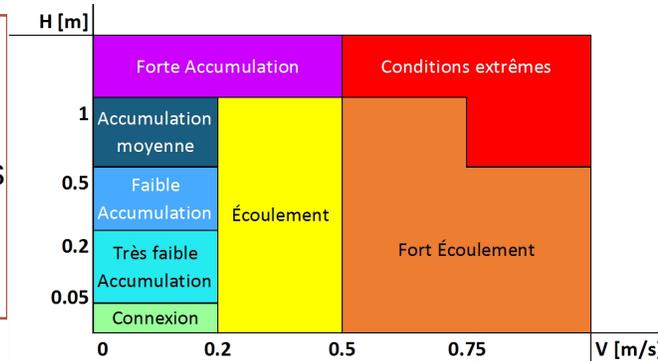
Calage du modèle : complexe. Peu de données. Nécessité de contrôler à la fois les maximums et la dynamique.

# CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

Combinaison des différentes modélisations pour un aléa (pseudo) centennal sur l'ensemble du territoire.

Construction d'une carte d'aléa représentant la diversité des phénomènes et de leurs dangersités, pour une réponse de l'urbanisme adaptée à chaque cas

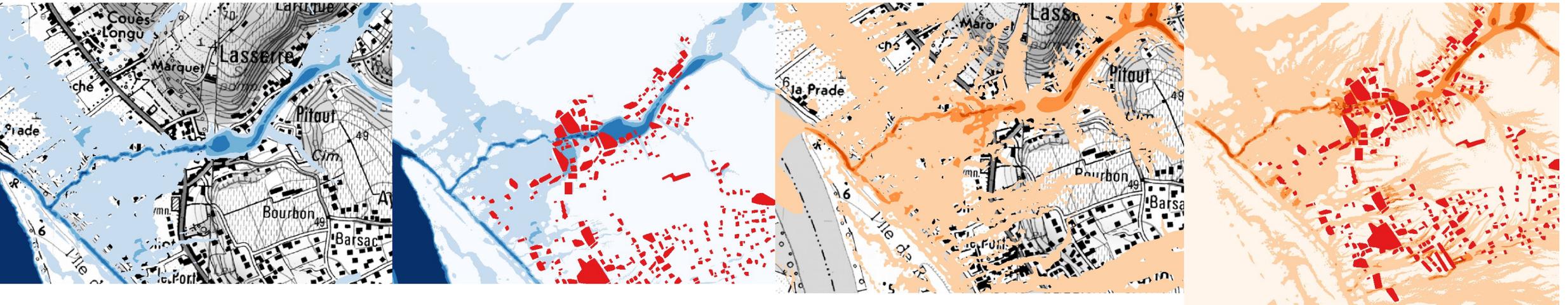
**Les zones d'accumulation** constituent des zones potentiels de stockage ou d'expansion  
**Les zones d'écoulement** sont des zones de circulation ou de transfert des flux qu'il faut préserver sans aggraver les conditions hydrauliques en aval



# ROLE DES BATIS ET DES MICROS OUVRAGES

Bâti et petits ouvrages de gestion des écoulement difficilement intégrables aux modèles (taille, instabilités, pérennité ...)

Comparaison menée sur une commune et un événement historique de l'impact de ces simplifications :



- ✓ Peu de différences sur les zones concernées par les aléas,
- ✓ Mais au niveau des parcelles des écoulements préférentiels et des accélérations constatables sur le modèle avec bâtis.

# BILAN DES MODELISATIONS 2D + SCS

## Avantages :

- Bonne représentation de la diversité des phénomènes,
- Résultats quantitatifs,
- Visualisation de la dynamique,
- Possibilité de construire et faire varier son scénario de pluie.

## Inconvénients :

- Difficile à caler (besoin de données, choix des paramètres à éditer),
- Coûteux en ressources,
- Nécessite des hypothèses et simplifications potentiellement moins acceptées pour un modèle complexe que pour une approche plus empirique.



# CONCLUSION

**CRUS et Exzeco permettent d'avoir une première approche du ruissellement sur des bassins versants :**

- Bonne représentation des phénomènes hors zones urbaines pour Exzeco (Rex)
- CRUS -> aide à la décision sur les protections à mettre en place pour lutter contre le ruissellement
- Mais cartes non utilisables à une autre échelle que celle du bassin versant
- Résultats bruts, qui nécessitent une sensibilisation des utilisateurs

**La modélisation fine du ruissellement en 2D permet de représenter plus en détail les phénomènes**

- Représentation fine des phénomènes
- Mais nécessite absolument des données de calage (pas toujours disponibles partout)

✓ *Adapter l'approche pour caractériser les aléas aux ressources et objectifs !*

✓ *Ne pas craindre la complexité mais viser l'essentiel et éviter le superflus dans les hypothèses et les éléments représentés...*



**Merci de votre attention**