

# Quand la nature se déchaîne: connaître et prévoir les ruissellements et crues soudaines



***Eric GAUME***

***Juliette GODET***

***Université Gustave Eiffel***

# Sommaire:

1/4 Etat des lieux

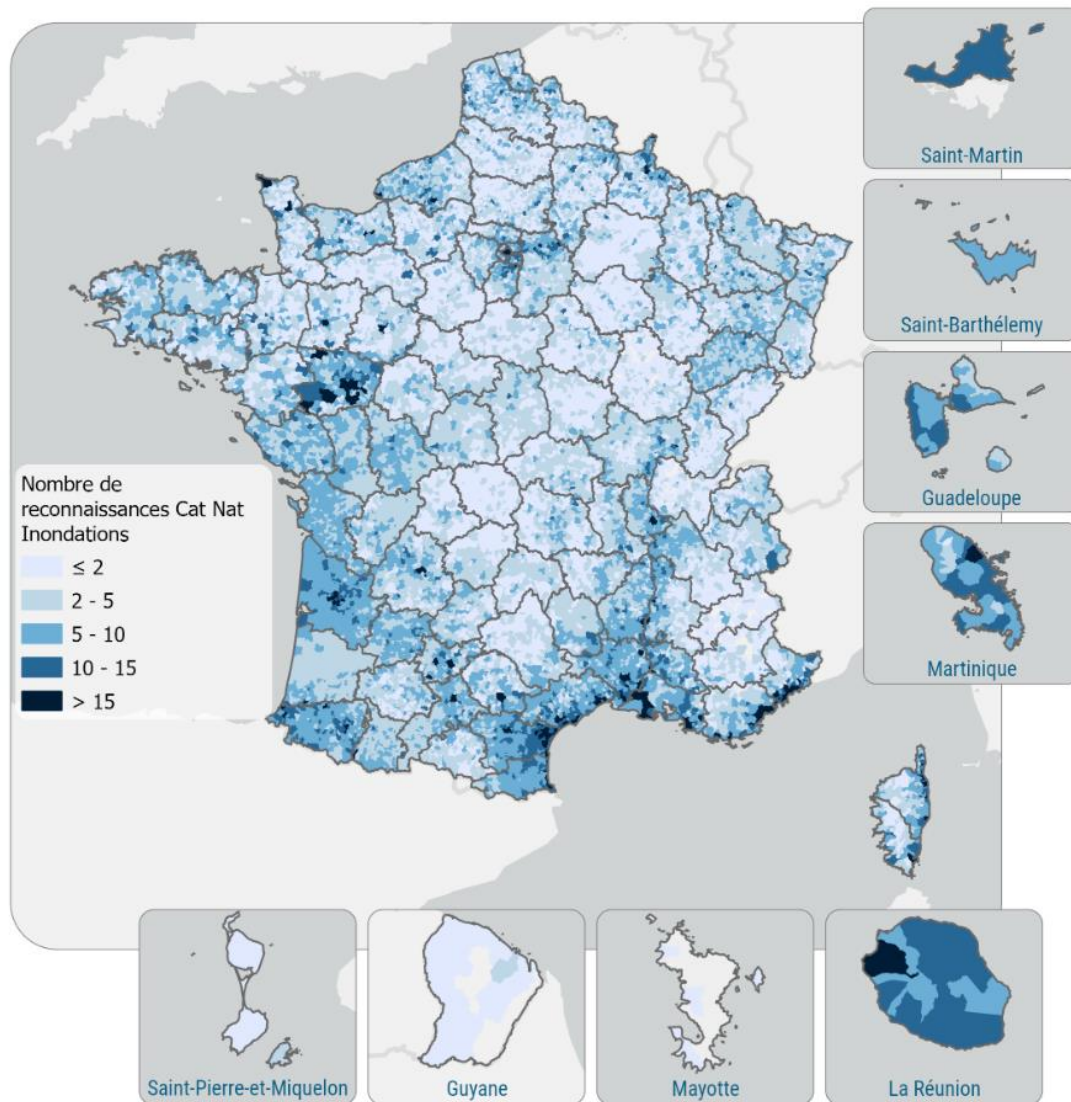
2/4 Un peu d'hydrologie

3/4 Facteurs expliquant l'intensité des crues et ruissellements

4/4 Prévision et avertissements, recherches en cours

# **1/4 Risques ruissellements et crues soudaines en France**

# Le risque inondation en France



- Quasi-totalité des communes françaises concernées
- 24.8 milliards d'euros de dommages assurés depuis 1982 (50% sur l'ensemble des périls)
- Coût moyen annuel de 604 millions d'euros



# Grande diversité de types d'inondations

**Crues lentes**



**Ruissellement**



**Rupture d'ouvrage**



**Crues soudaines**



**Remontée de nappe**



**Submersion marine**



# Grande diversité de types d'inondations

*Présentation de ce jour: Ruissellements et crues soudaines*

**Crues lentes**



**Ruissellement**



**Rupture d'ouvrage**



**Crues soudaines**



**Remontée de nappe**



**Submersion marine**



# **Crues soudaines ou ruissellement: faites le quiz!**



# Crues soudaines ou ruissellement: faites le quiz!

## Une crue soudaine c'est ...

- 1) Le débordement rapide d'un cours d'eau provoqué par des pluies intenses et localisées
- 2) Ce qui s'est passé dans les inondations du Nord en octobre 2023
- 3) Un phénomène totalement indépendant du phénomène de ruissellement



# Crués soudaines ou ruissellement: faites le quiz!

## Une crue soudaine c'est ...

1) Le débordement rapide d'un cours d'eau provoqué par des pluies intenses et localisées

 Ce qui s'est passé dans les inondations du Nord en octobre 2023

 Un phénomène totalement indépendant du phénomène de ruissellement

Crués soudaines: temps caractéristiques (crue et décrue) de l'ordre de quelques heures  
Le Sud de la France est plus touché d'une manière générale (petits bassins à forte pente très réactifs + orages méditerranéens)

Les deux phénomènes peuvent être concomittants!

# Crués soudaines ou ruissellement: faites le quiz!

**L'aléa auquel la population métropolitaine est la plus exposée est:**

- 1) Le débordement des cours d'eau
- 2) La submersion marine
- 3) Le ruissellement

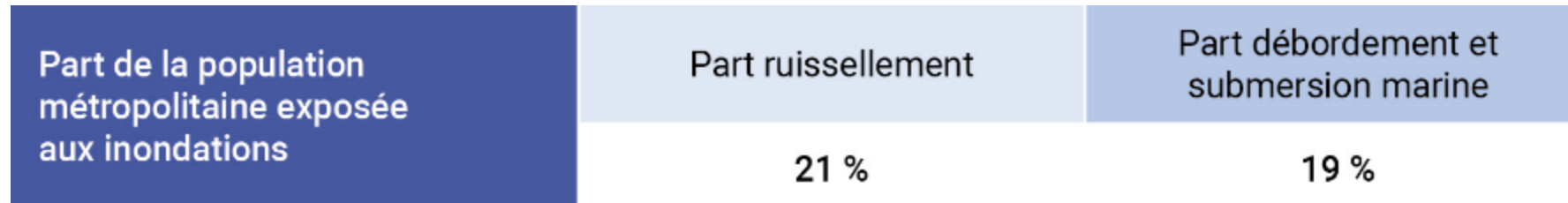
# Crués soudaines ou ruissellement: faites le quiz!

L'aléa auquel la population métropolitaine est la plus exposée est:

1) Le débordement des cours d'eau

2) La submersion marine

3) Le ruissellement



Source : CCR, Bilan 1982-2022

*« Le phénomène de ruissellement en France métropolitaine pèse davantage que les phénomènes de débordement de cours d'eau et de submersion marine pour le nombre de personnes exposées »*

# **Crues soudaines ou ruissellement: faites le quiz!**

**Aujourd'hui, les phénomènes de ruissellement sont bien connus et cartographiés.**

- 1) Vrai
- 2) Faux

# Crués soudaines ou ruissellement: faites le quiz!

Aujourd'hui, les phénomènes de ruissellement sont bien connus et cartographiés.

1) Vrai

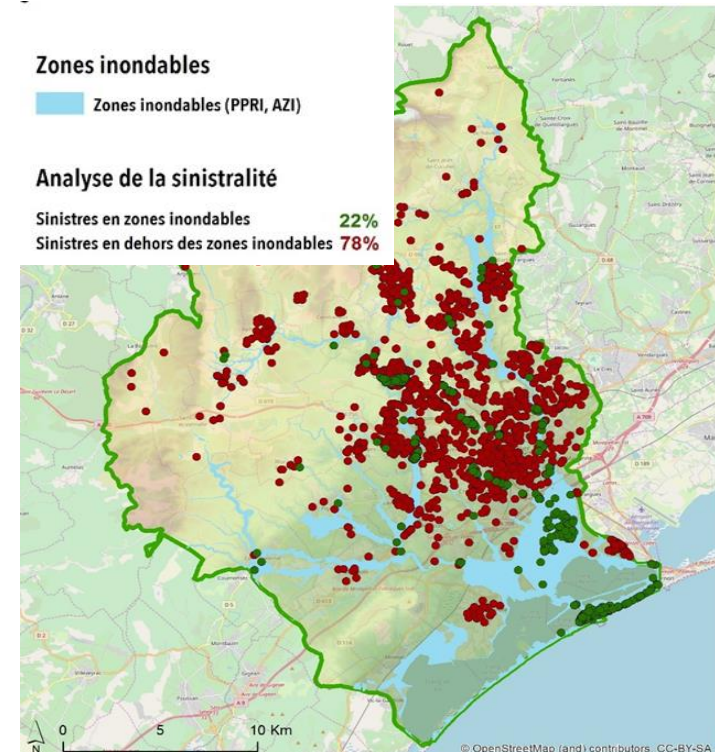
2) Faux

*Répartition de la part des coûts€ des sinistres inondation selon la nature de l'aléa - sinistres 1995-2019 (CCR)*

Débordement de cours d'eau	Ruissellement au sens large	
	ruissellement modélisé	hors zones d'aléa modélisées
40 %	20 %	40 %

1/3 des montants des sinistres "ruissellement", mais 80% des repères de crues "ruissellement" dans les zones d'aléa modélisées (source CCR).

**Les sinistres "ruissellement" sont de natures variées**



*Sinistres en 2014 sur le bassin versant du Lez (34)*

## **2/4 Caractérisation des aléas crue soudaine et ruissellement**

# Quelques définitions

## Les crues soudaines

- Petits cours d'eau concernés
- Très forte variabilité spatiale et temporelle
- Puissance destructrice
- Anticipation difficile



*Les dégâts des crues soudaines à St Martin Vésubie provoquées par (a) la tempête Alex en oct. 2020 et (b) la tempête Aline en oct. 2023*

# Quelques définitions

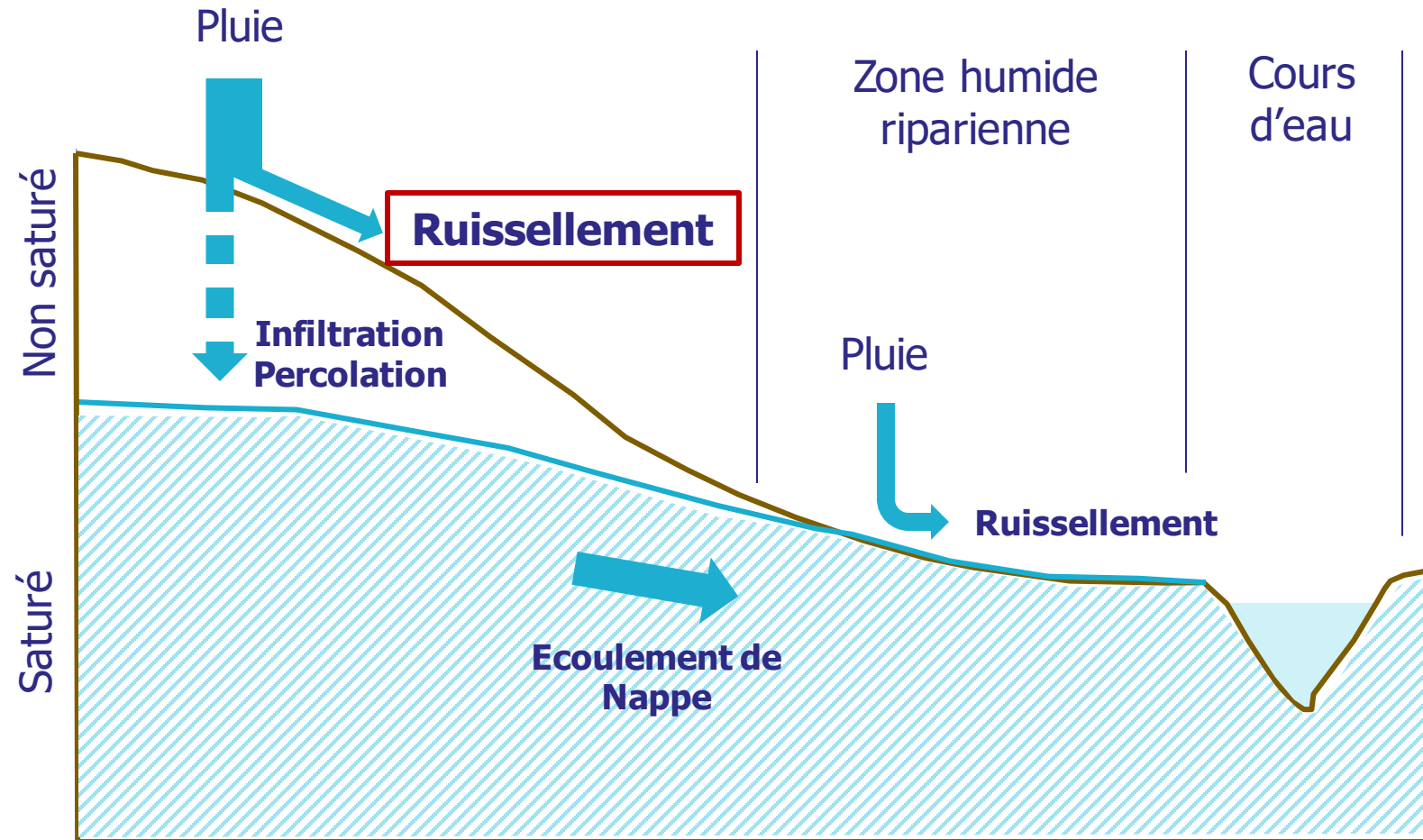
**Ruissellement:** écoulement instantané et temporaire, diffus ou concentré, des eaux sur un versant à la suite d'une averse ou de la fusion nivale (définition Larousse)

Une zone à risque : *pas nécessairement près d'un cours d'eau !*

Le ruissellement désigne donc tout écoulement de surface en dehors du réseau hydrographique pérenne, quelle que soit l'origine de cet écoulement



# Enseignement de l'hydrologie sur l'origine des ruissellements



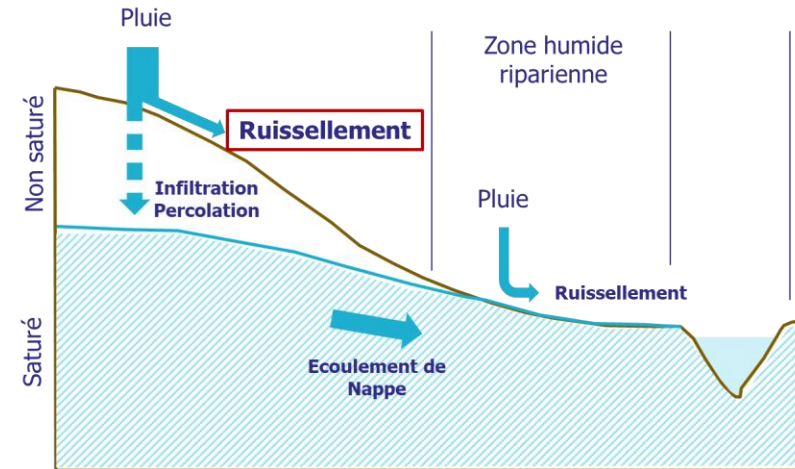
# Enseignement de l'hydrologie sur l'origine des ruissellements

Ordres de grandeur de conductivités à saturation des sols (Soltner, 1990)

Type de sol	$K_s$ (mm/h)
Limon argileux peu perméable	6
Alluvions assez perméables	20
Alluvions perméables	100
Terre sableuse très perméable	500

Ordres de grandeur des intensités pluviométriques

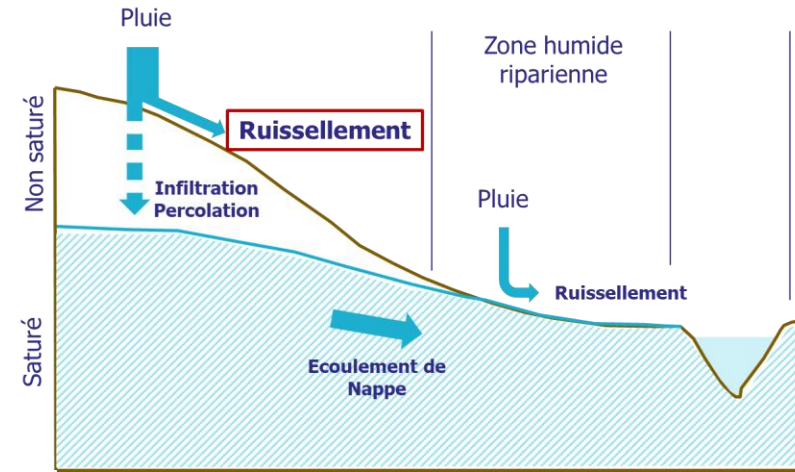
	Intensité / 5min (mm/h)	Intensité horaire (mm/h)
Nord de la France T = 1 an	66	14
Méditerranée T = 1 an	100	26
Nord de la France T = 10 ans	137	32
Méditerranée T = 10 ans	180	60



La capacité d'infiltration des sols superficiels, végétalisés et non saturés est généralement bien supérieure à la conductivité à saturation  $K_s$ .

**Conclusion 1 :** Le ruissellement par dépassement des capacités d'infiltration des sols (ruissellement hortonien) est un phénomène localisé et/ou exceptionnel, rarement prépondérant en hydrologie. **Sauf....**

# Enseignement de l'hydrologie sur l'origine des ruissellements



## Battance de certains sols agricoles



Etat initial  
Sol structuré

Perméabilité 30 à 60 mm/h



Phase 1  
Fragmentation et fermeture  
de la surface

Perméabilité de 2 à 6 mm/h

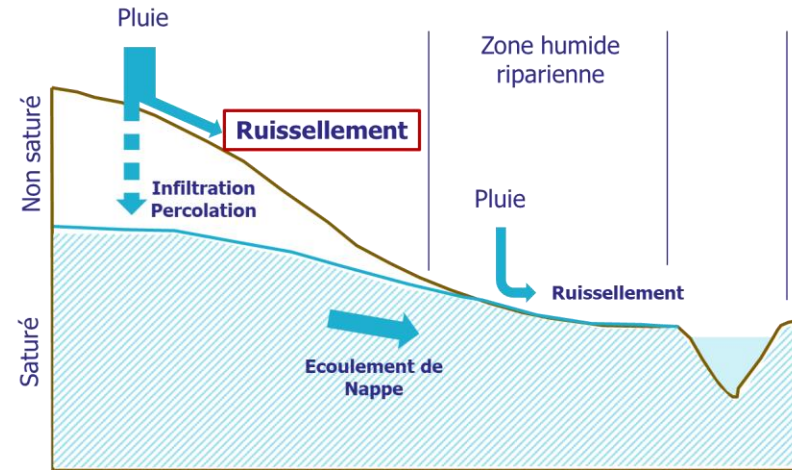


Phase 2  
Sédimentation des argiles  
dans les flaques

Perméabilité < 1 mm/h

*Stades de dégradation de la surface du sol et formation d'une «croûte de battance» sous l'action des pluies (d'après Boiffin, 1984)*

# Enseignement de l'hydrologie sur l'origine des ruissellements



## Battance de certains sols agricoles



Etat initial  
Sol structuré

Perméabilité 30 à 60 mm/h



Phase 1  
Fragmentation et fermeture  
de la surface

Perméabilité de 2 à 6 mm/h



Phase 2  
Sédimentation des argiles  
dans les flaques

Perméabilité < 1 mm/h

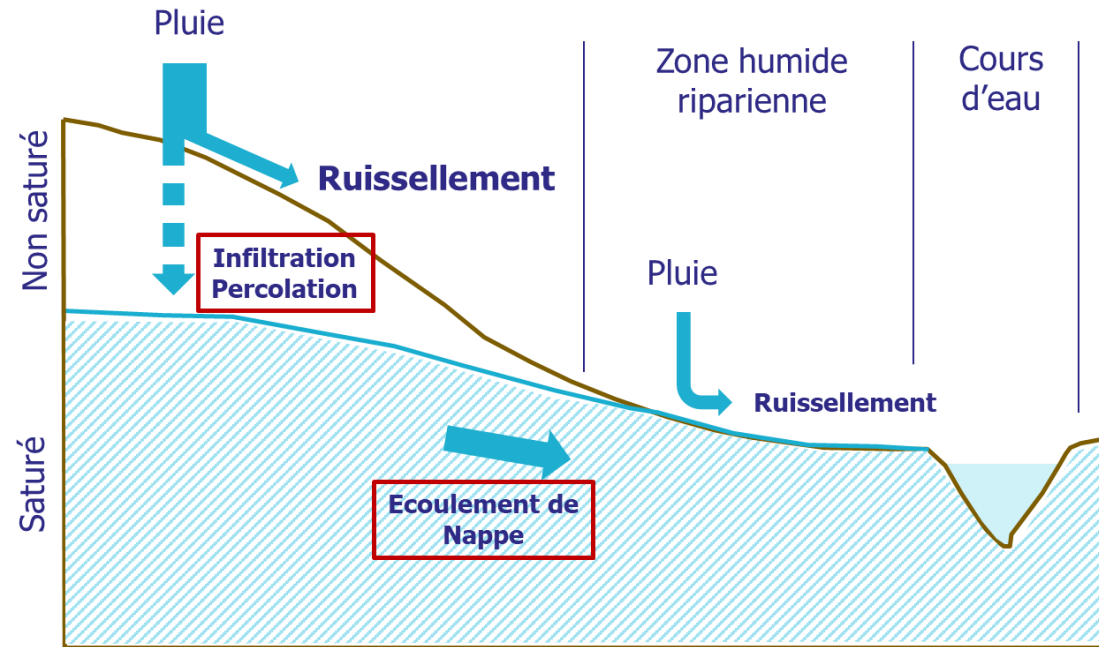
## Encroûtement : climats arides



Parcelle expérimentale au Niger (IRD, projet AMMA)

# Que devient l'eau alors qui s'infiltré ?

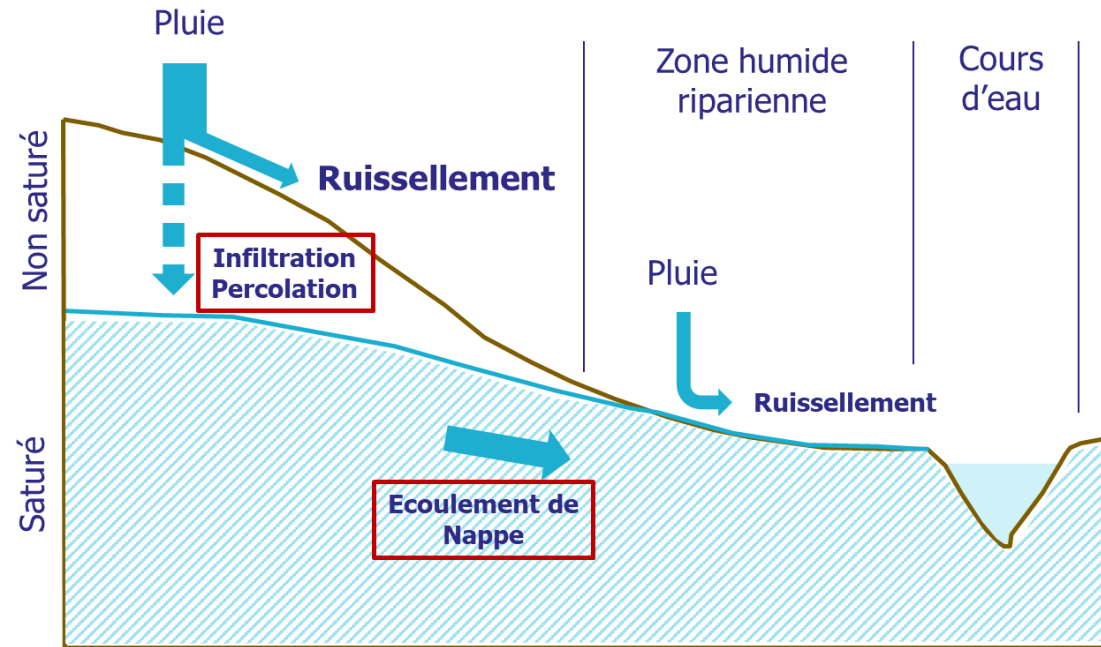
## Le paradoxe apparent !



**Conclusion 2 :** La perméabilité des sols implique des transferts d'eau lents dans les versants (au mieux quelques m/h).

# Que devient l'eau alors qui s'infiltré ?

## Le paradoxe apparent !



**Conclusion 2 :** La perméabilité des sols implique des transferts d'eau lents dans les versants (au mieux quelques m/h).

**Conclusion 3 :** Rôle décisif des écoulements préférentiels souterrains !

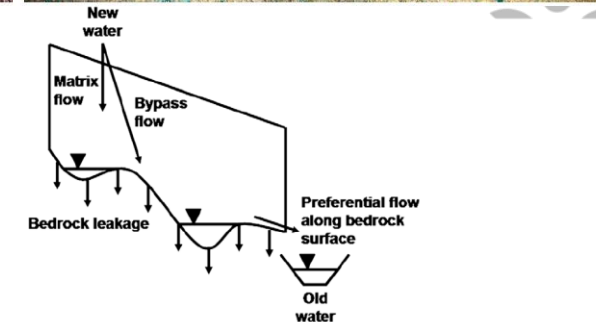
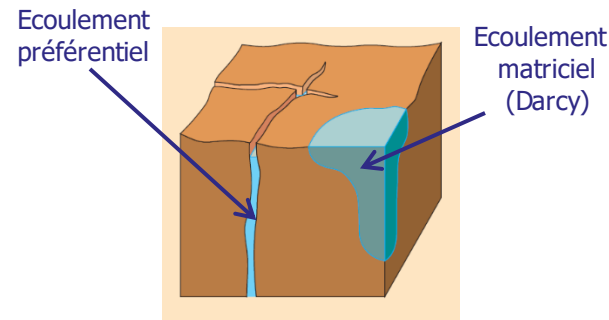
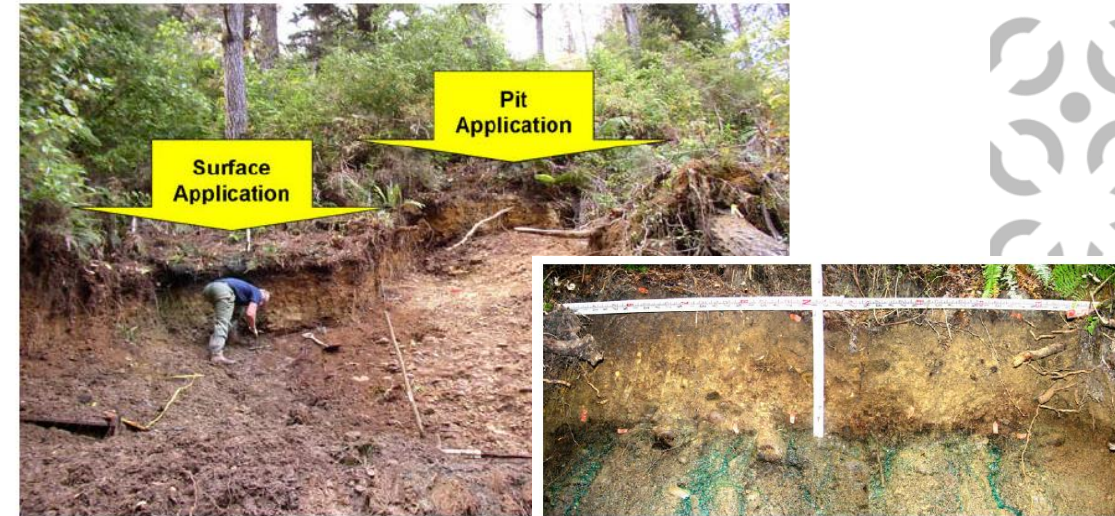


Fig. 11. New perceptual model of lateral subsurface flow at the Maimal hillslope.

# Illustration des écoulements préférentiels

*Griffes d'érosion révélant une faille, versant de la vallée de la rivière Selscica (Slovénie), sept. 2007*



*Résurgence karstique (Boulidou), versant de la vallée de l'Ourne à Tornac (Gard), déc. 2002*



*« Pipe flow », versant de la vallée de la South Tyne river (GB), juil. 2007*



# Bilan: faites le quiz!

**Trouvez la/les réponse(s) exacte(s) :**

- 1) En Méditerranée, les ruissellements et crues soudaines se produisent principalement en été, période où les orages sont les plus fréquents.
- 2) Les croûtes de battance ont tendance à augmenter la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol.
- 3) Les écoulements souterrains préférentiels permettent la circulation rapide de l'eau dans les versants.



# Bilan: faites le quiz!

Trouvez la/les réponse(s) exacte(s) :



1) En Méditerranée, les ruissellements et crues soudaines se produisent principalement en été, période où les orages sont les plus fréquents.



2) Les croûtes de battance ont tendance à augmenter la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol.

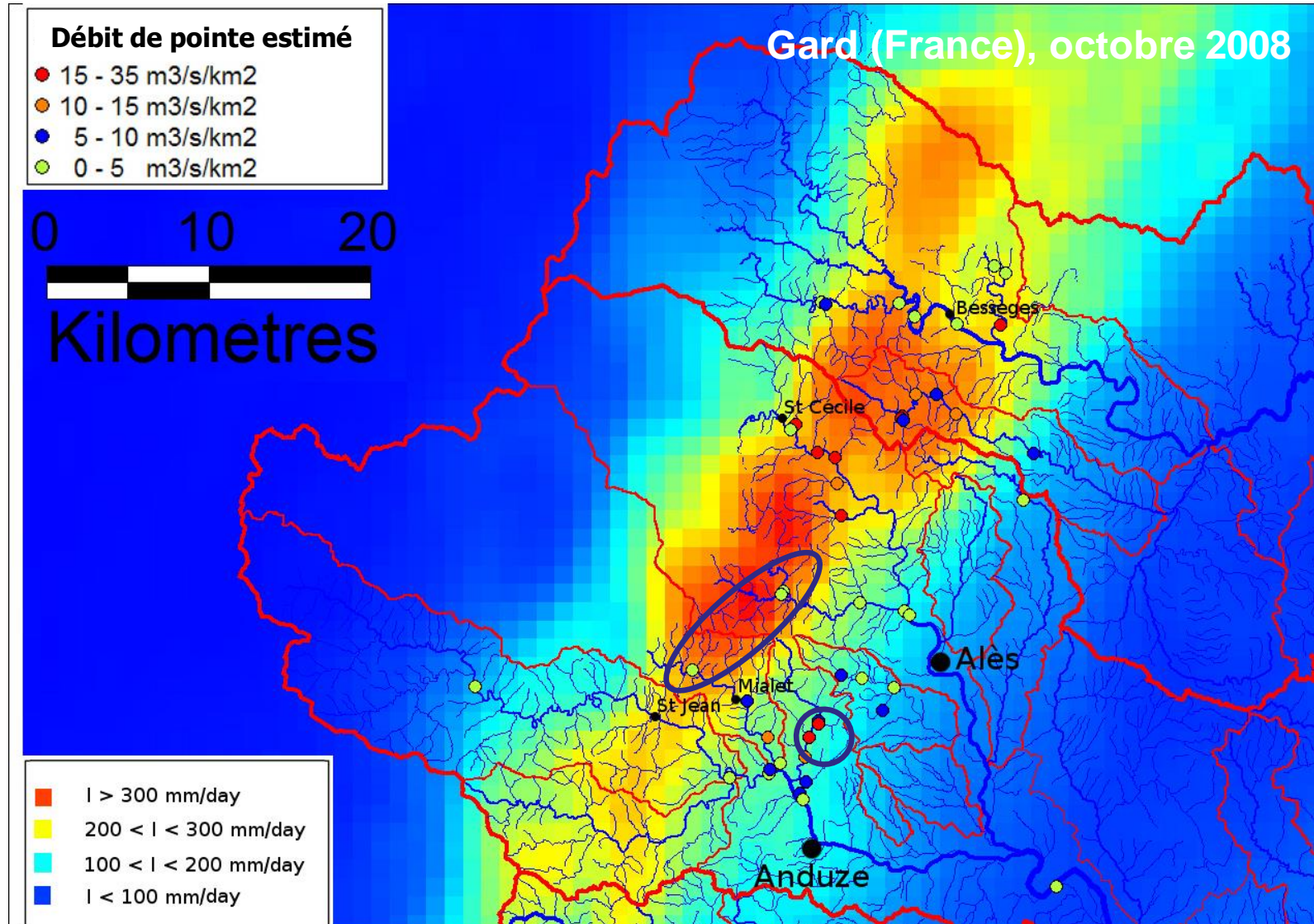


3) Les écoulements souterrains préférentiels permettent la circulation rapide de l'eau dans les versants.

# **3/4 Facteurs expliquant l'intensité des ruissellements et crues soudaines**

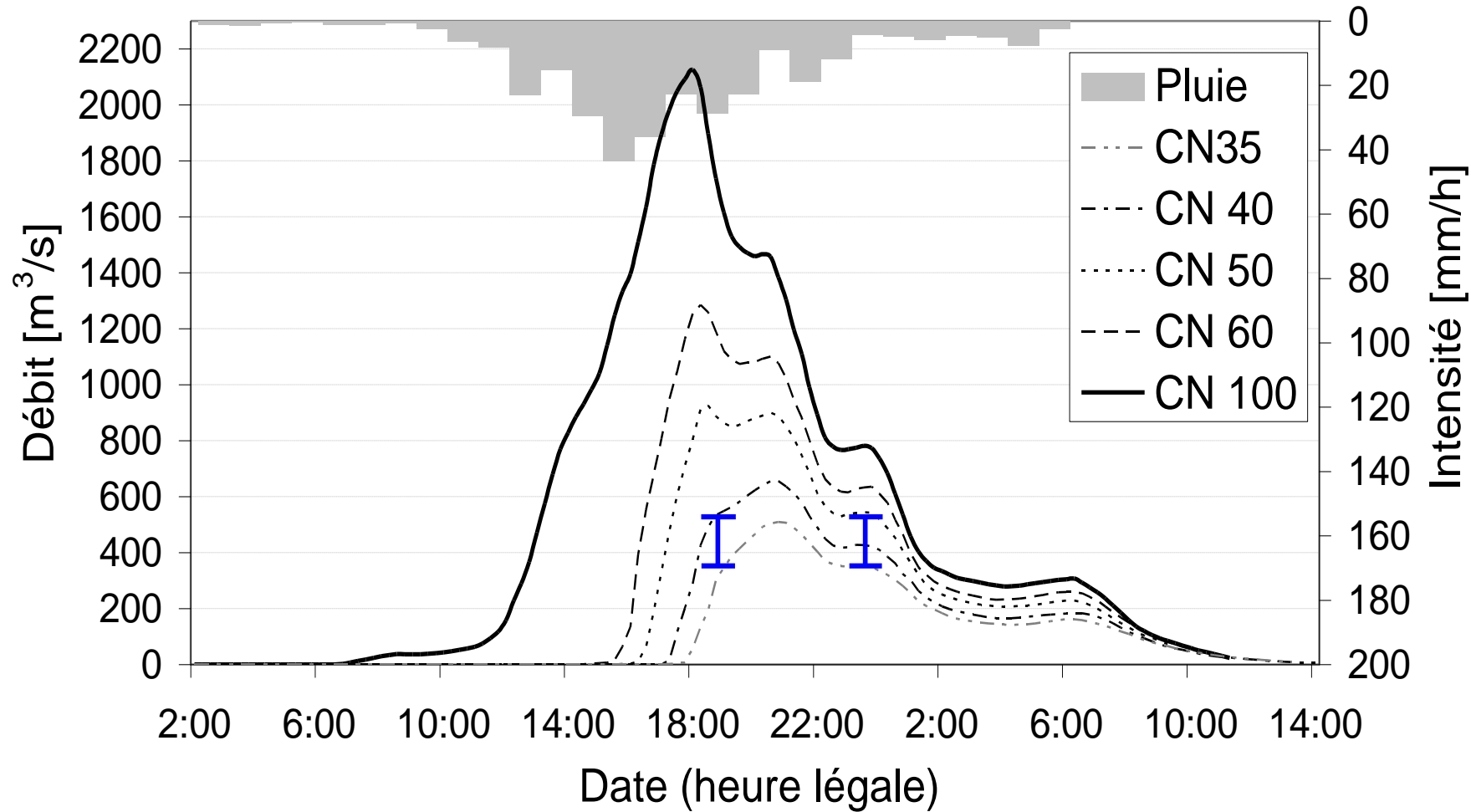
# De forts contrastes spatiaux liés aux sols et sous-sols

*Répartitions spatiales des cumuls pluviométriques et des débits sur les bassins versants des Gardons lors de la crue d'octobre 2008*



# Importance de l'infiltration et de l'antériorité pluviométrique

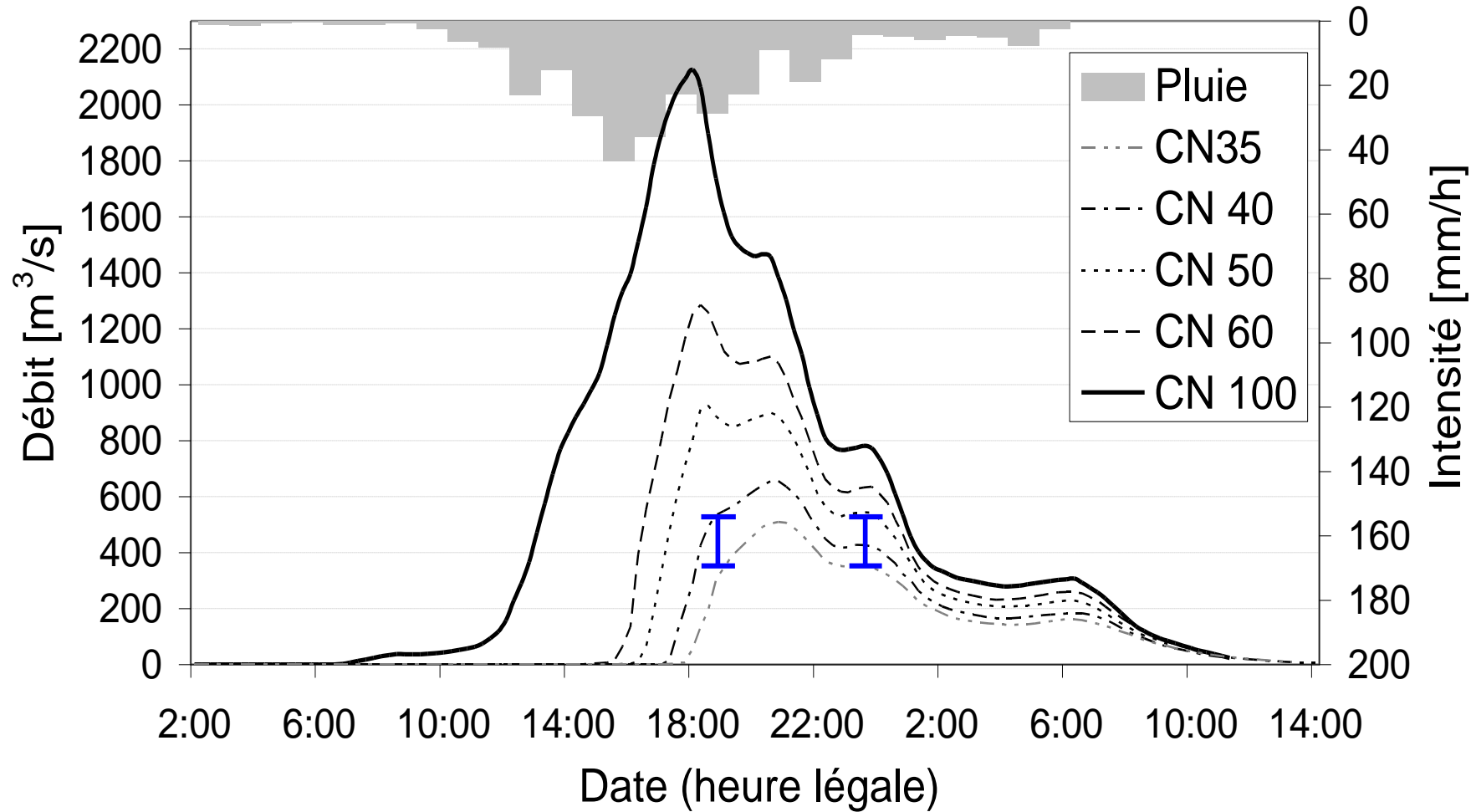
*Crue de la Nartuby à Draguignan Le 15 juin 2010*



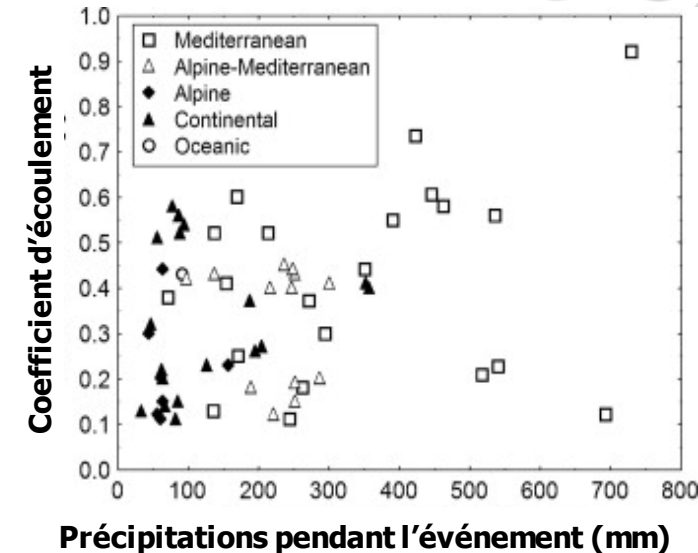
Draguignan, 15 juin 2010

# Importance de l'infiltration et de l'antériorité pluviométrique

Crue de la Nartuby à Draguignan Le 15 juin 2010



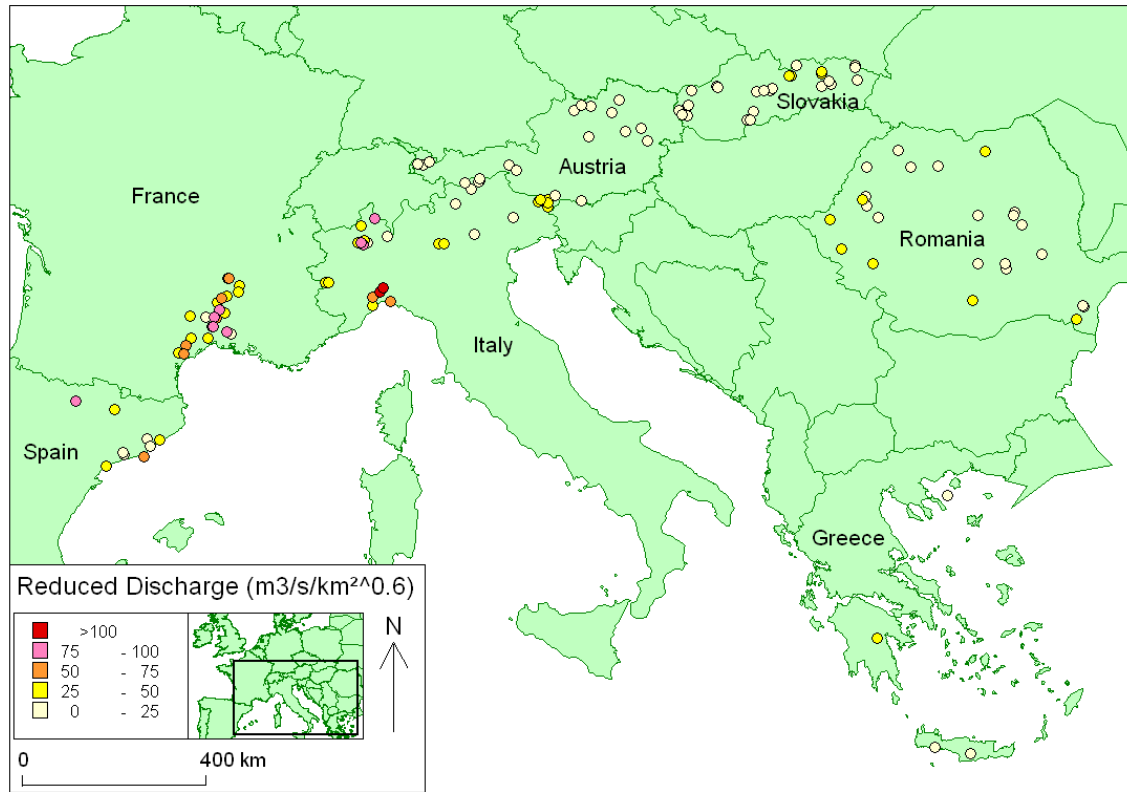
Draguignan, 15 juin 2010



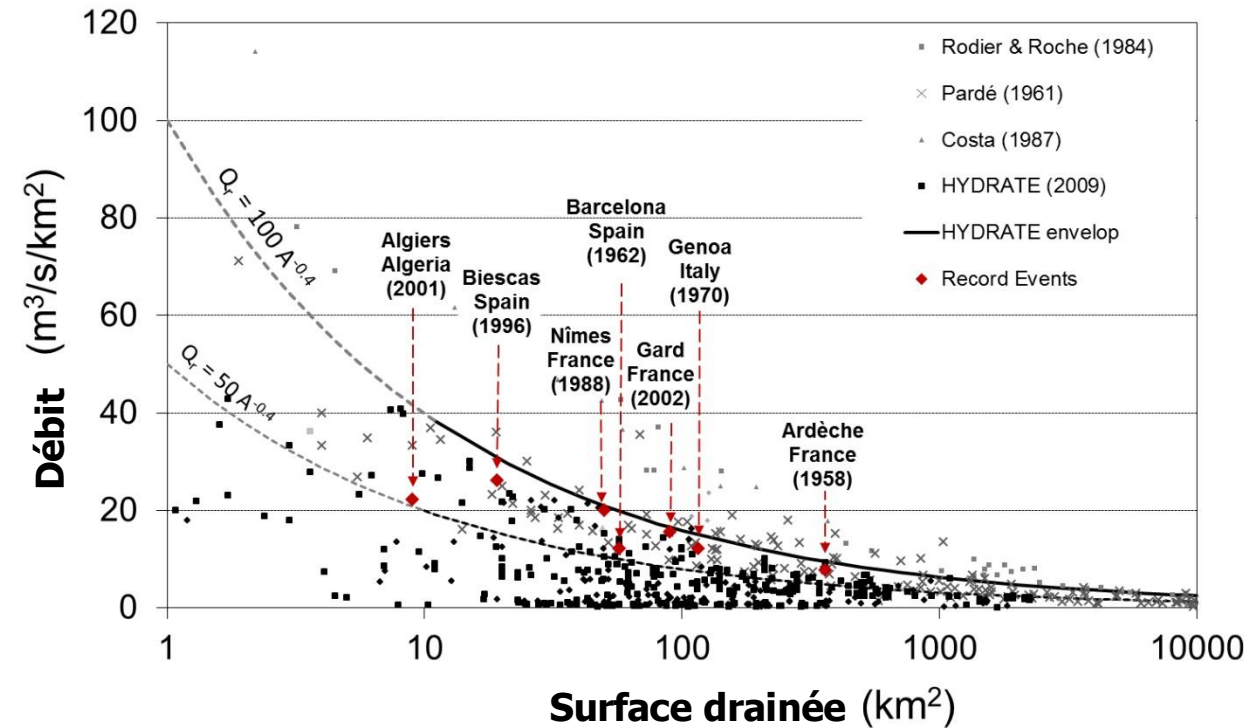
Coefficient d'écoulements de 59 crues éclairs majeures en Europe (Marchi et al, 2010)

# Géographie des crues soudaines

*Inventaire des débits des crues extrêmes en Europe  
(Gaume et al., 2009)*

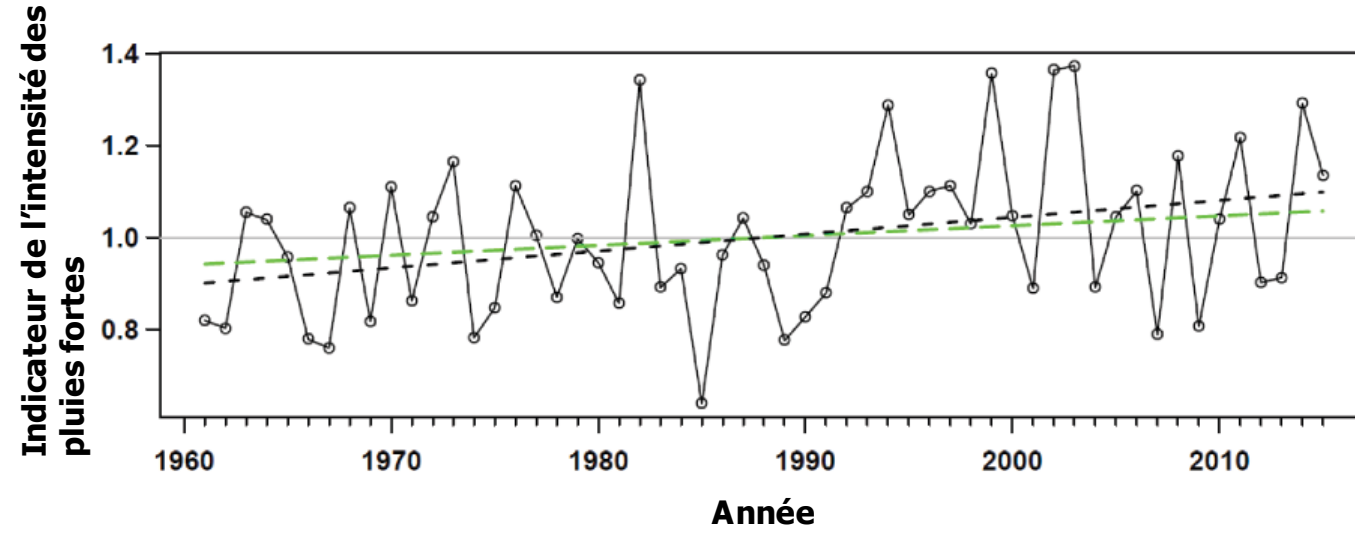


*Les débits des crues exceptionnelles méditerranéennes  
parmi les plus élevés au monde (Gaume et al., 2009)*

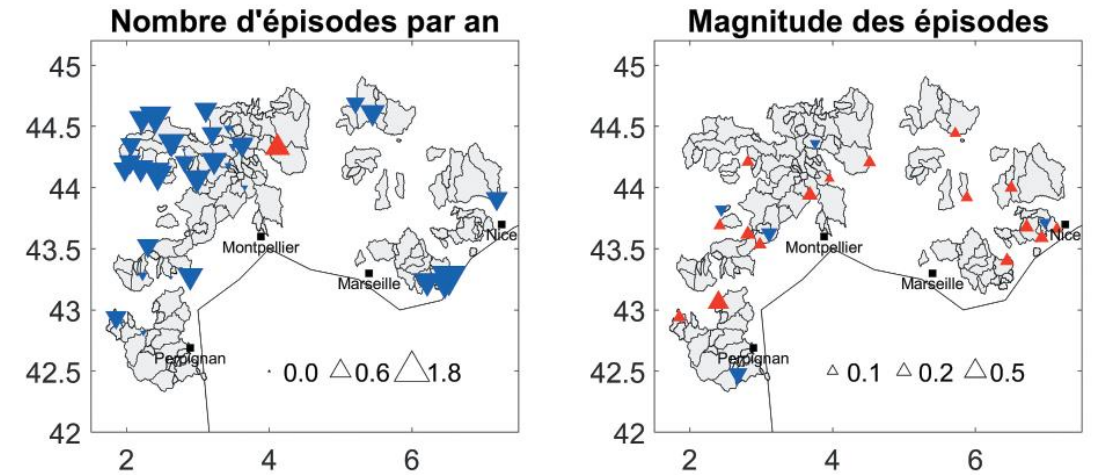


# Impact du changement climatique

Série temporelle de l'indicateur régional de l'intensité des fortes précipitations sur le pourtour méditerranéen français (Ribes et al., 2019)

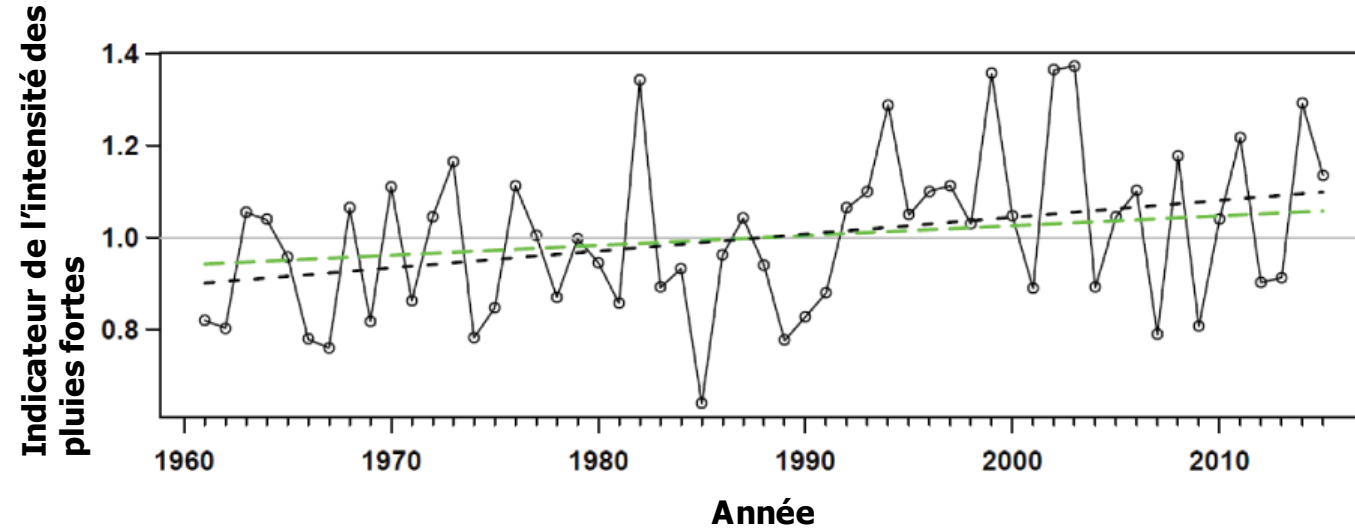


Tendances sur l'occurrence et la magnitude des débits supérieurs au percentile 99% (Tramblay et al., 2019)

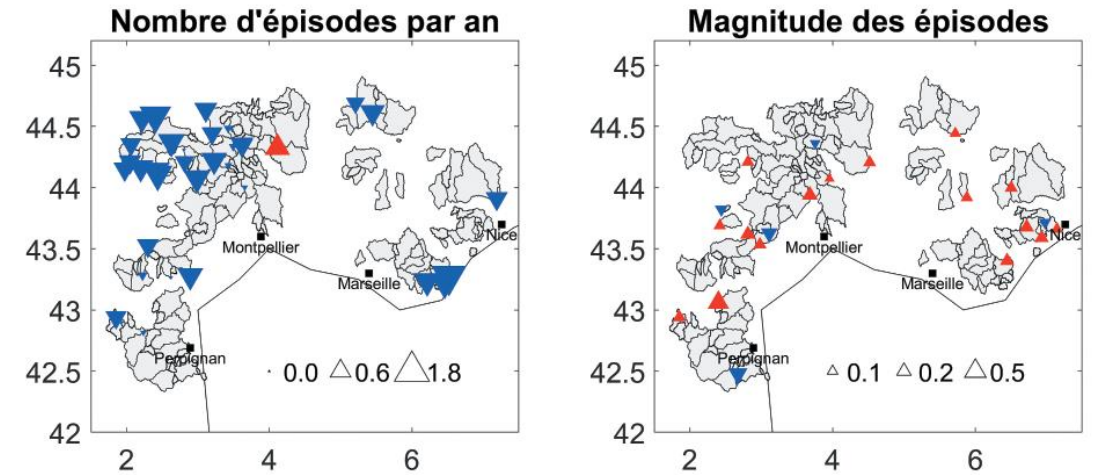


# Impact du changement climatique

Série temporelle de l'indicateur régional de l'intensité des fortes précipitations sur le pourtour méditerranéen français (Ribes et al., 2019)



Tendances sur l'occurrence et la magnitude des débits supérieurs au percentile 99% (Tramblay et al., 2019)



## Effets du changement climatique : crues du Gardon à Saumane (104 km<sup>2</sup>)

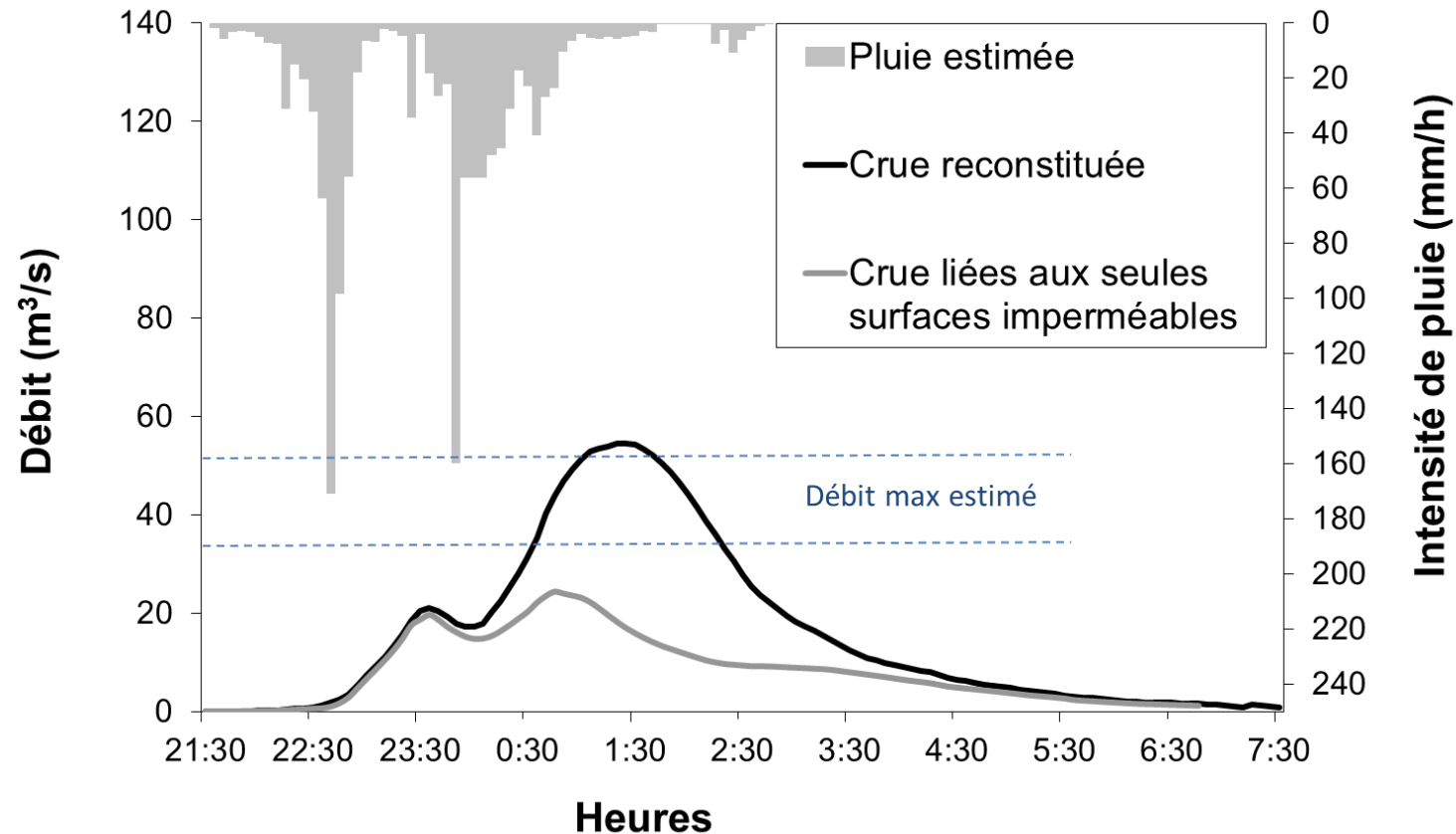
	Débit max.	Pluie 24h
09/2002	<b>770 m<sup>3</sup>/s</b>	250 mm
09/2020	660 m <sup>3</sup> /s	<b>450 mm</b>



# Apports des surfaces perméables et espaces périurbains lors des crues exceptionnelles : exemple de Nancy 22 mai 2012

*Crue du ruisseau de Grémillon, 21-22 mai 2012 (Nancy)*

*Bassin versant de 12.7 km<sup>2</sup> dont 3.8 km<sup>2</sup> imperméabilisés, 120 mm de pluie*







# Bilan: faites le quiz!

**Trouvez la/les réponse(s) exacte(s) :**

- 1) Il est clair que le changement climatique augmente l'intensité des crues.
- 2) L'arc méditerranéen français est un « hotspot » mondial pour les crues soudaines.
- 3) Il est rare que les rendements d'écoulement des bassins versants dépassent 50%.
- 4) L'imperméabilisation des sols explique les crues majeures.

# Bilan: faites le quiz!

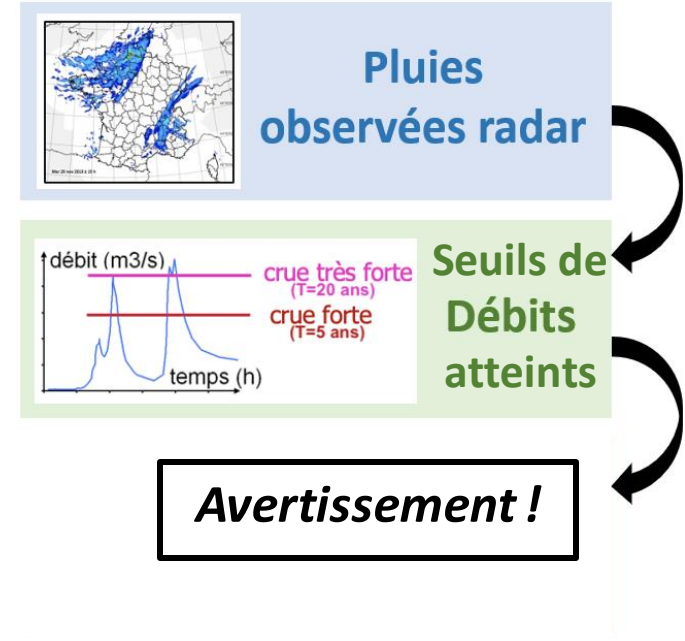
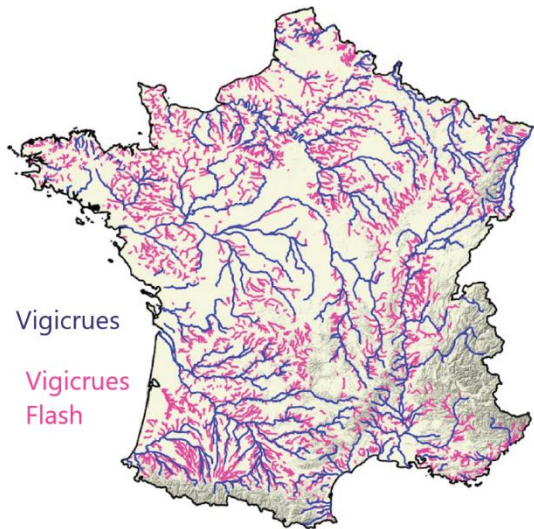
Trouvez la/les réponse(s) exacte(s) :

-  1) Il est clair que le changement climatique augmente l'intensité des crues.
-  2) L'arc méditerranéen français est un « hotspot » mondial pour les crues soudaines.
-  3) Il est rare que les rendements d'écoulement des bassins versants dépassent 50%.
-  4) L'imperméabilisation des sols explique les crues majeures.

# 4/4 Prévision et avertissement : exemple de recherches en cours

# Les systèmes d'avertissements aux crues en France

- ❖ Vigicrues: principaux cours d'eau, service **expertisé**, carte d'inondation potentielle disponible, anticipation 24h
- ❖ Vigicrues Flash: petits cours d'eau, système **automatique**, pas de carte, anticipation réduite



*Fonctionnement de Vigicrues Flash*

- ❖ Ruissellements: **pas de service dédié** !  
Seules informations: APIC et Météo France sur les pluies

# Un exemple de travaux de recherche en cours

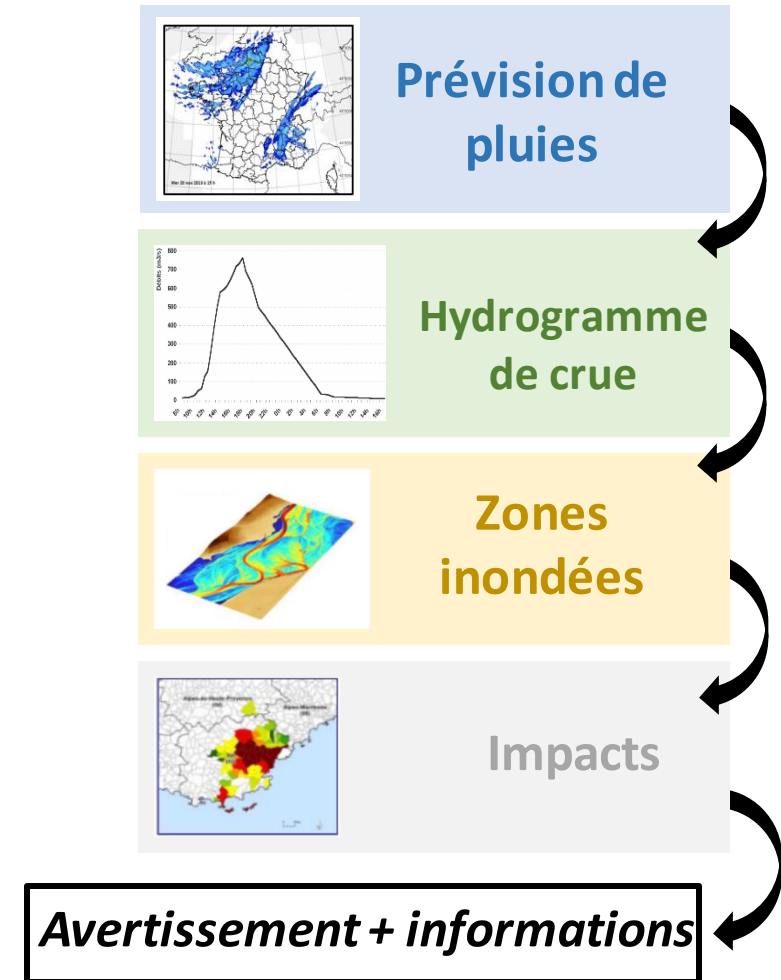
Objectifs de la thèse de J. Godet (2022-2025)

❖ « *Aléa* » → « *Risque* »

=> Ecueils: connexion des modèles, incertitudes, complexité...

❖ *Evaluation Arc Méditerranéen, 2010-2020*

=> Disponibilité, exhaustivité, continuité des données d'évaluation ?

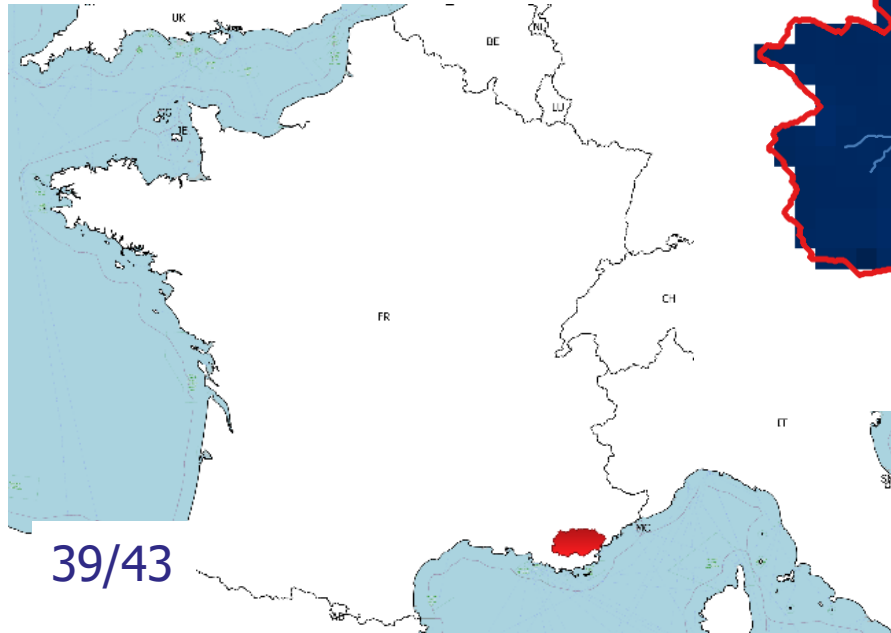
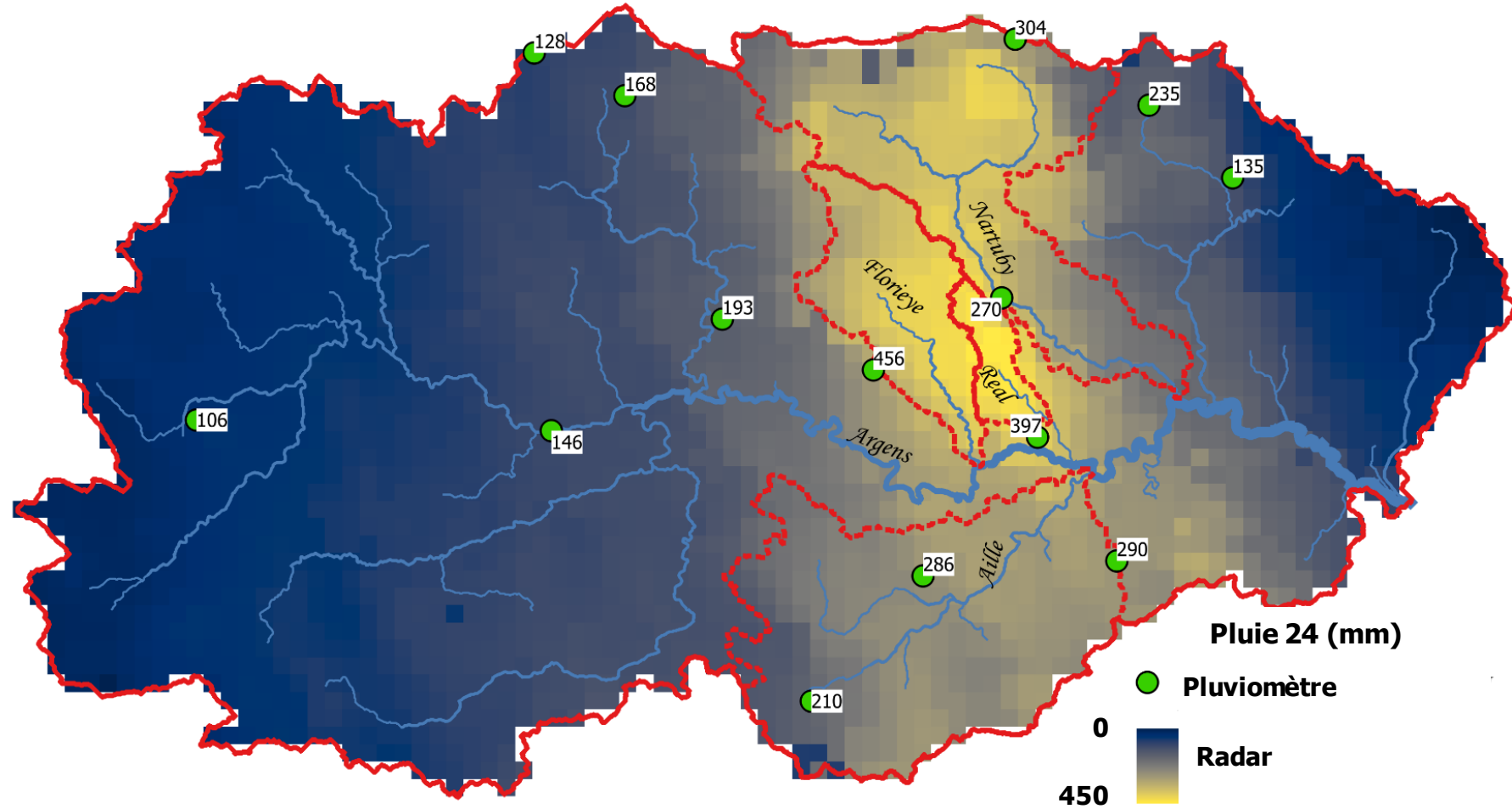


*Systeme d'avertissement visé*

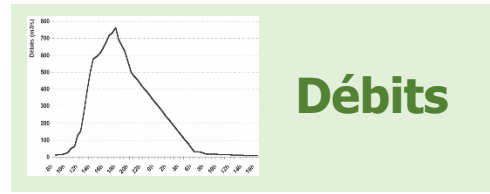
# Cas pratique sur l'Argens: inondations de juin 2010

25 victimes, 710 millions d'€ de dommages assurés

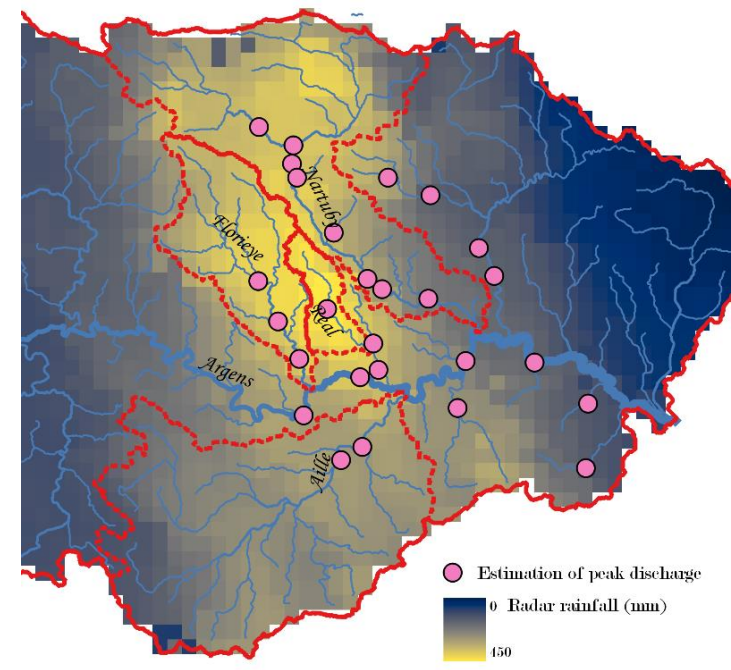
Débit centennal sur certains affluents



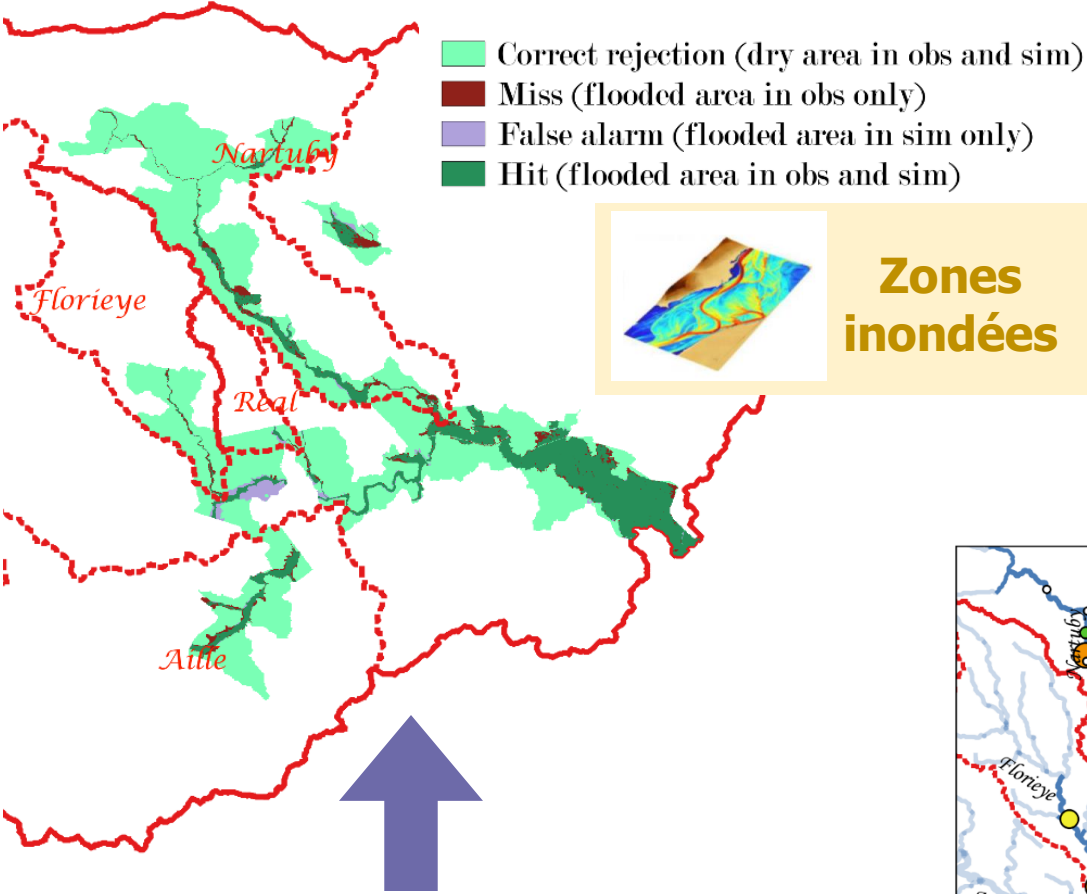
# Evaluation de la chaîne de prévision



Débits

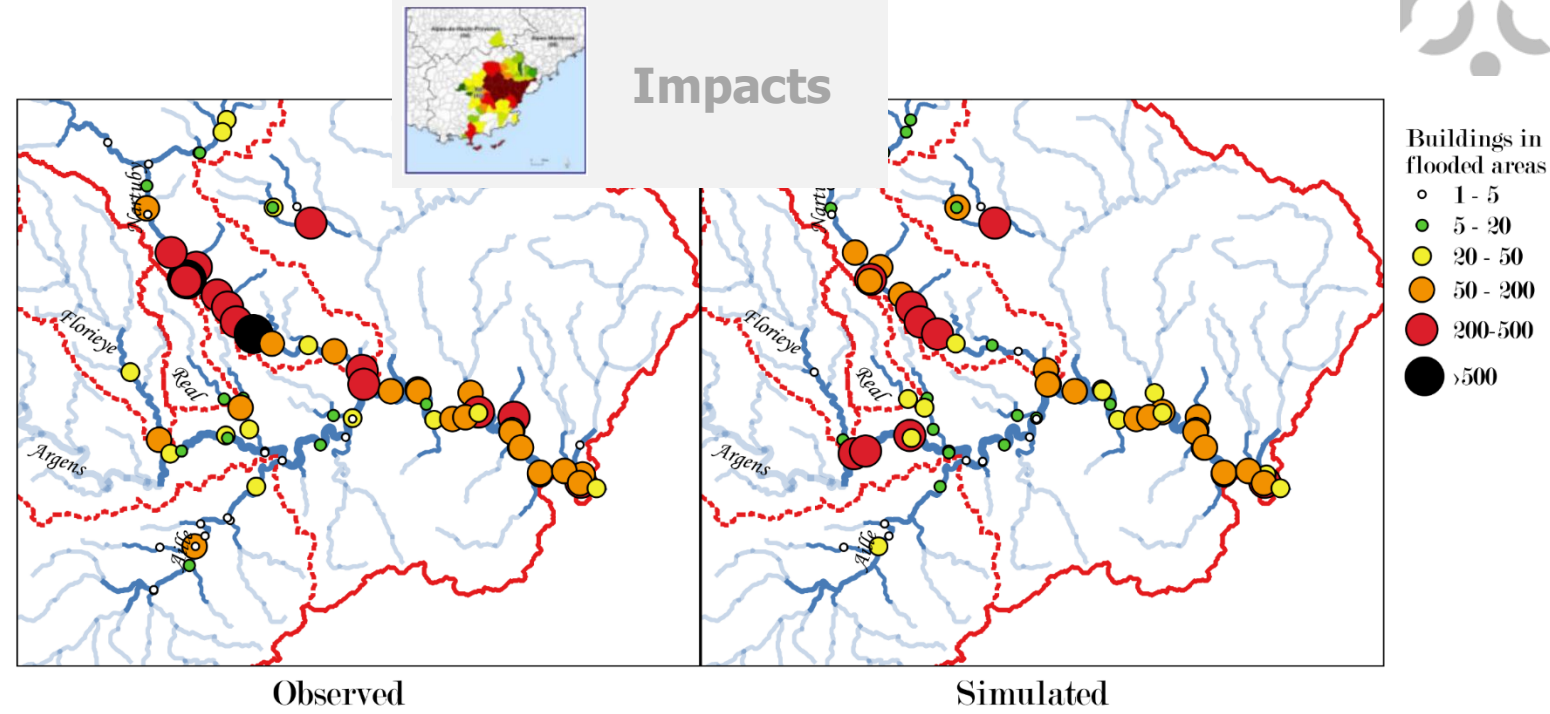


Données de débits de pointe reconstituées (campagne de terrain RETEX)



Zones inondées

Données sur les zones inondées observées



Impacts

Observed

Simulated



# Autres sources de données mobilisables

- ❖ Données assurantielles
- ❖ Interventions SDIS
- ❖ Coupures d'électricité
- ❖ Réseaux sociaux
- ❖ Opérateurs de téléphonie mobile



Caisse  
centrale de  
réassurance  
Entreprise



POMPIERS  
DES BOUCHES-DU-RHÔNE



# Quel est votre avis?

**Les évolutions présentées des systèmes d'avertissement et de prévisions des crues vous paraissent...**

- 1) Très utiles
- 2) Réalistes
- 3) Trop complexes
- 4) Impossibles à court terme

**Merci de votre attention**

[eric.gaume@univ-eiffel.fr](mailto:eric.gaume@univ-eiffel.fr)

[juliette.godet@univ-eiffel.fr](mailto:juliette.godet@univ-eiffel.fr)

