



Restitution ANR MUFFINS
9 juin 2026, Aix-en-Provence

Restitution ANR MUFFINS
9 juin 2026, Aix-en-Provence

Prévision des inondations et des impacts: approches basées sur des catalogues de scénarios (petits cours d'eau et ruissellement)

J. Godet, A. Kowlesser, P. Nicolle, E. Gaume, **O. Payrastre** (Univ Eiffel)
P. Javelle (Inrae), M. Saharia (Hydrosense)

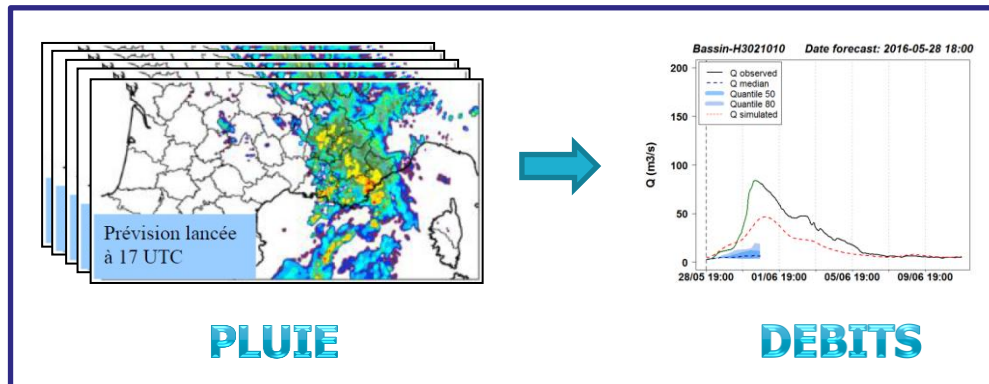


© Photothèque IRMa / Sébastien Gominet

Objectif général: Conception & évaluation de chaînes d'avertissement en contexte non jaugé (petits cours d'eau ou ruissellement)

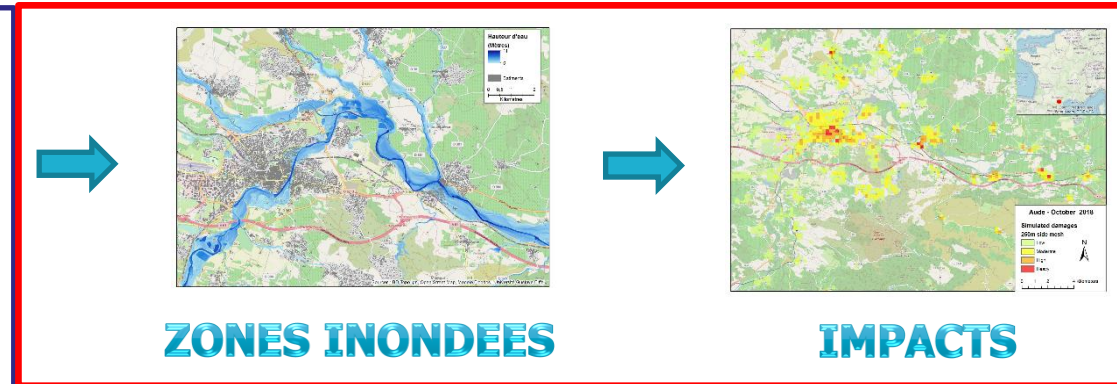
Approches basées sur l'aléa hydrologique

Anticipation (0-6h) des pluies et débits
& représentation des incertitudes

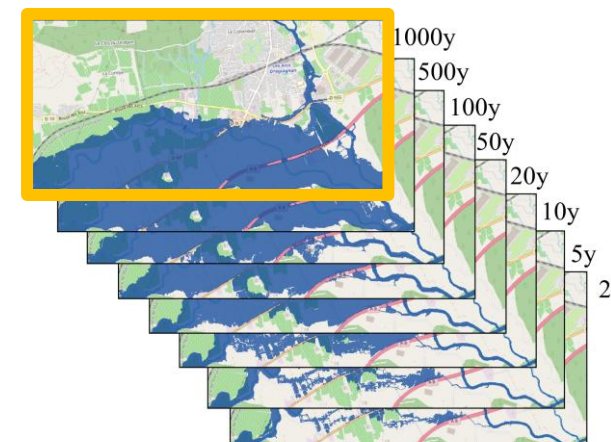


Approches basées sur les impacts

Prévision des inondations et des impacts
& intérêt pour la prise de décision



Besoin de calculs très rapides:
ensembles de scénarios,
rafraichissement régulier, ..



Travail à partir de
scénarios d'inondation
pré-calculés

I. Cas des crues éclair de petits cours d'eau (> 5 à 10 km²)



Thèse de Juliette Godet



Evaluation d'une chaîne de prévision immédiate des impacts des crues soudaines à l'échelle de l'arc méditerranéen français

II. Cas du ruissellement en zone urbaine



Thèse d'Akshay Kowleser



Co-funded by
the European Union



Developing an end-to-end framework for impact-based flash flood forecasts in urban areas



Thèse de Juliette GODET



Evaluation d'une chaîne de prévision immédiate des impacts des crues soudaines à l'échelle de l'arc méditerranéen français

Encadrée par:

Eric Gaume (Univ. Eiffel),

Olivier Payrastre (Univ. Eiffel),

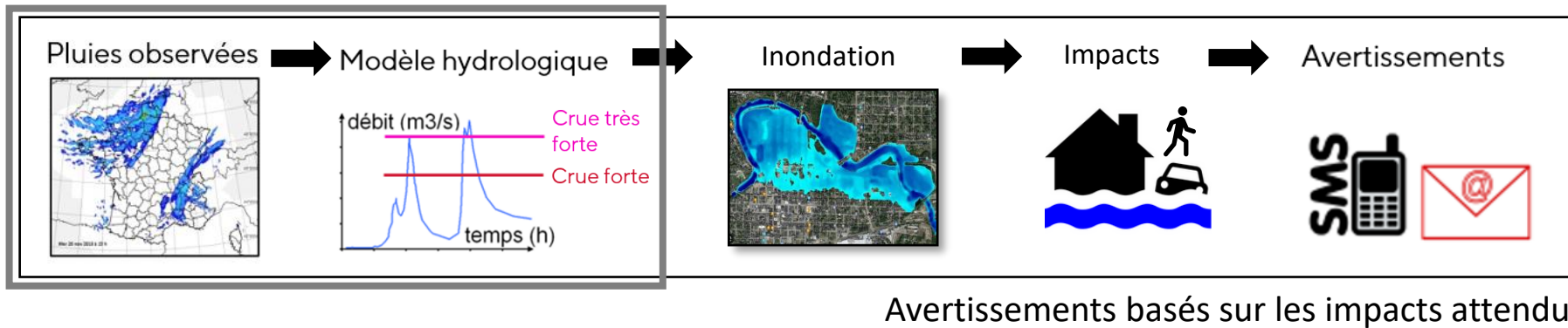
Pierre Javelle (INRAE).



- I. **Introduction - Objectifs**
- II. Construction d'une chaîne d'avertissements basés sur les impacts
- III. Évaluation « bloc par bloc » de la chaîne
- IV. Conclusions et perspectives

Illustrer l'apport de chaînes d'avertissement basés sur les impacts pour la surveillance des petits cours d'eau.

Avertissements basés sur l'aléa (~ Vigicrues Flash)



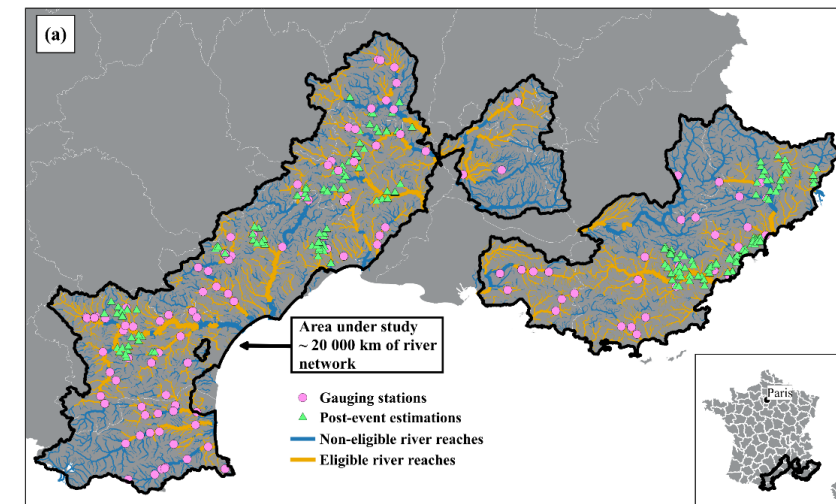
20 000 km de cours d'eau
42 000 km²



Période 2010-2022

Méthode :

- Evaluation comparative – avertissements aléa ou impacts
- Arc méditerranéen / Période de + de 10 ans
- Critère: capacité à prévoir les événements dommageables
- Référence: données d'impacts observés





Thèse de Juliette GODET



Evaluation d'une chaîne de prévision immédiate des impacts des crues soudaines à l'échelle de l'arc méditerranéen français

Encadrée par:

Eric Gaume (Univ. Eiffel),

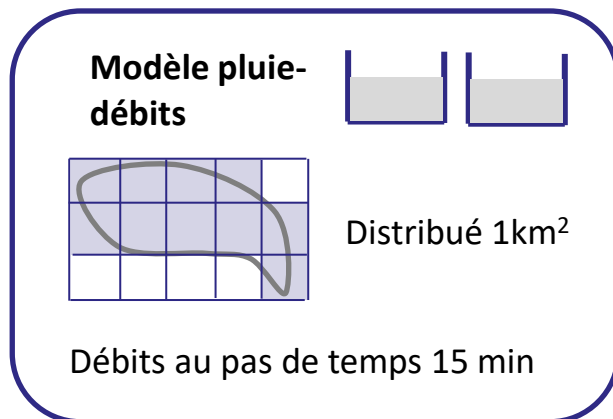
Olivier Payrastre (Univ. Eiffel),

Pierre Javelle (INRAE).



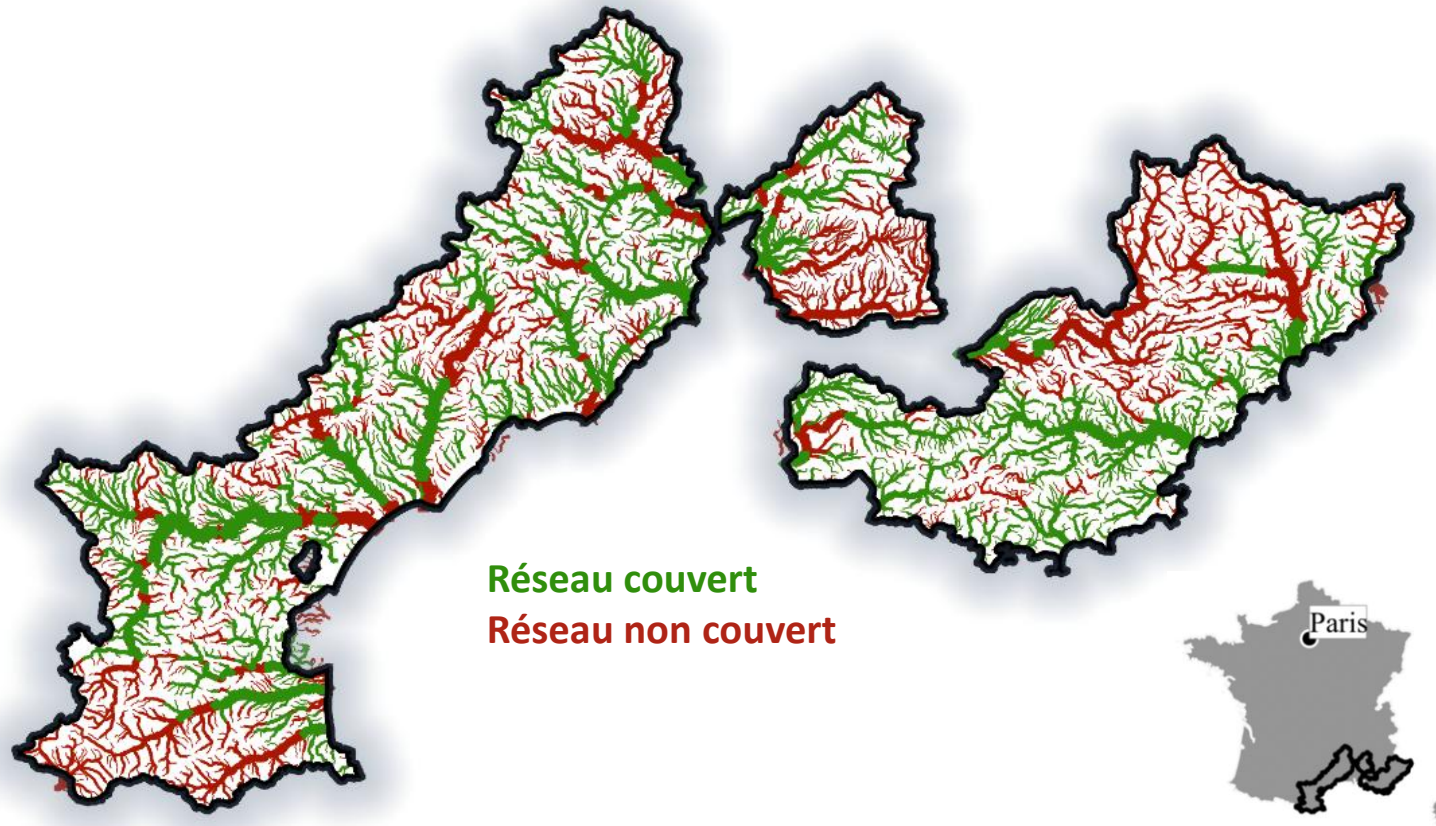
- I. Introduction - Objectifs
- II. Construction d'une chaîne d'avertissements basés sur les impacts
- III. Évaluation « bloc par bloc » de la chaîne
- IV. Conclusions et perspectives

Evolutions du modèle hydrologique de Vigicrues Flash (SMASH-Lag0)

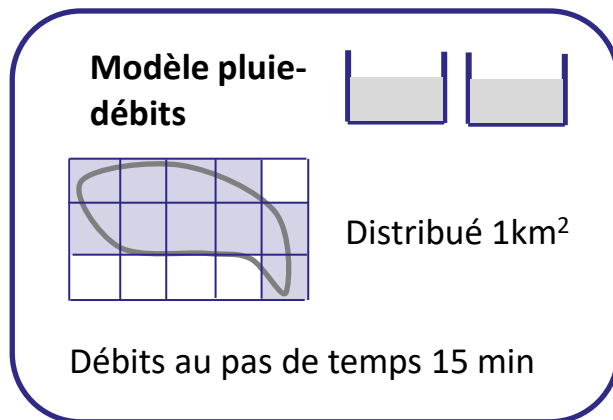


1^{ère} évolution:

Couverture étendue à l'ensemble des bassins versants > 5 km² de l'ArcMed → couverture x2

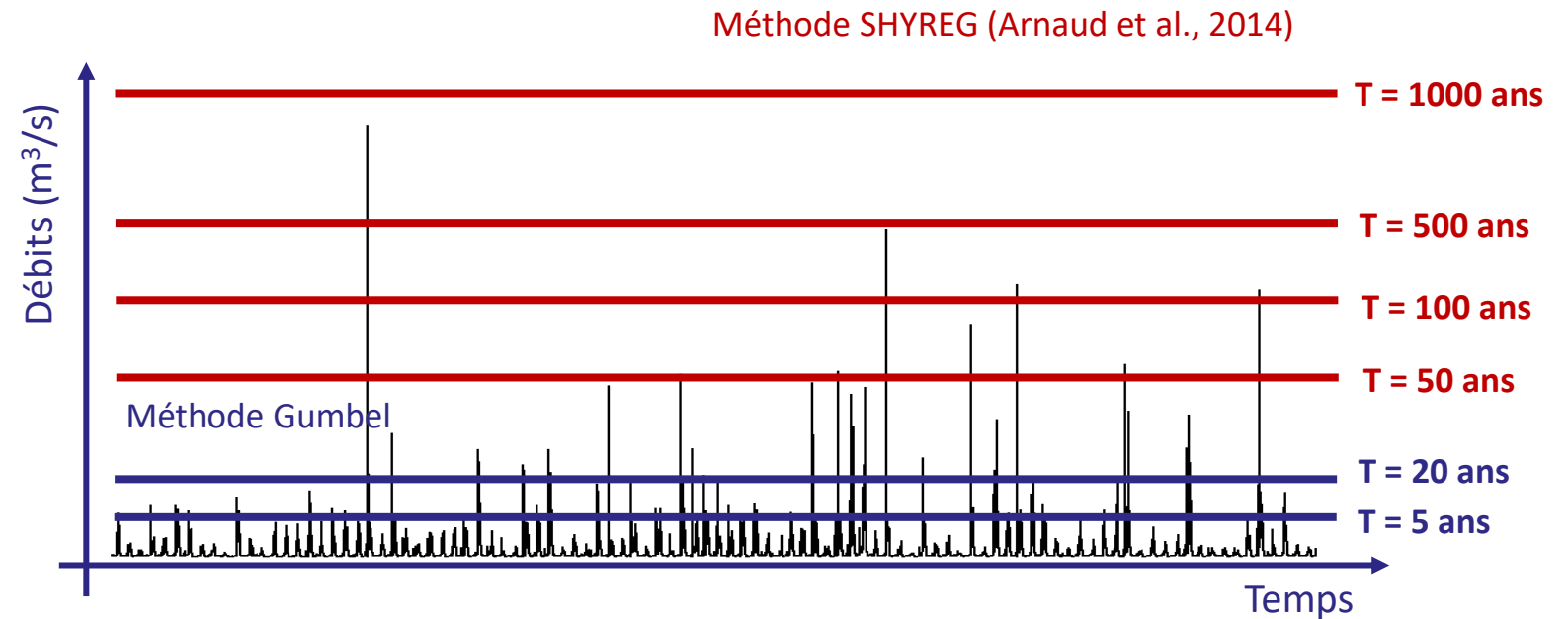


Extrapolation des seuils de débits vers les périodes de retour rares

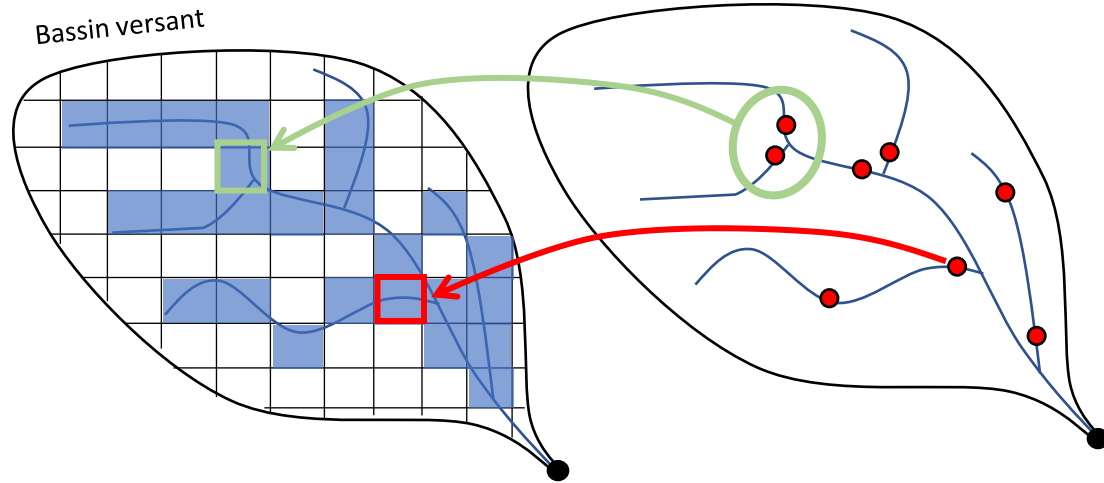


2^{ème} évolution:

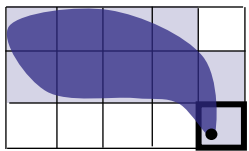
Amélioration de la méthode
d'extrapolation pour le passage
Débits → Périodes de retour



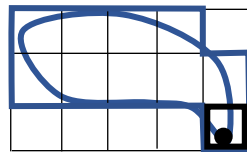
Association mailles / points du réseau hydrographique



Méthodes d'association maille / point



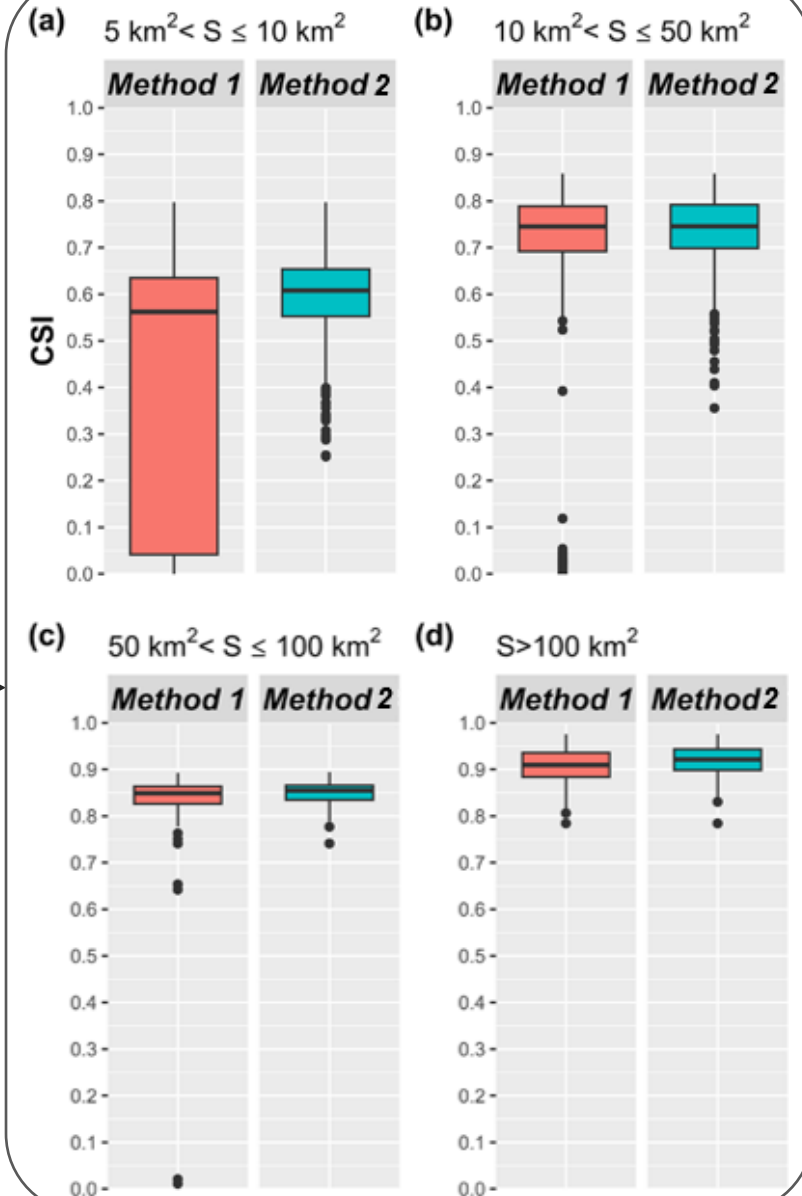
1. Similarité des **aires** des bassins versants



2. Similarité des **contours** des bassins versants

Association
de 2500
points
sur l'ArcMed

Critère CSI:
recouvrement



Reconstitution de l'emprise inondée

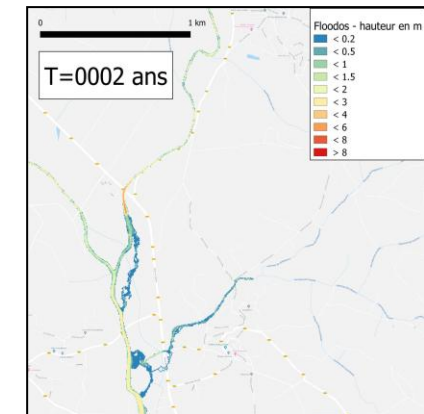
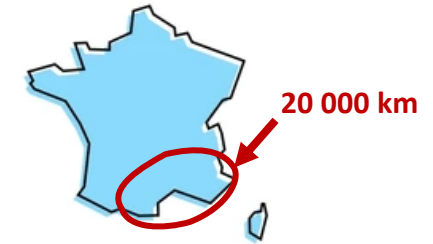
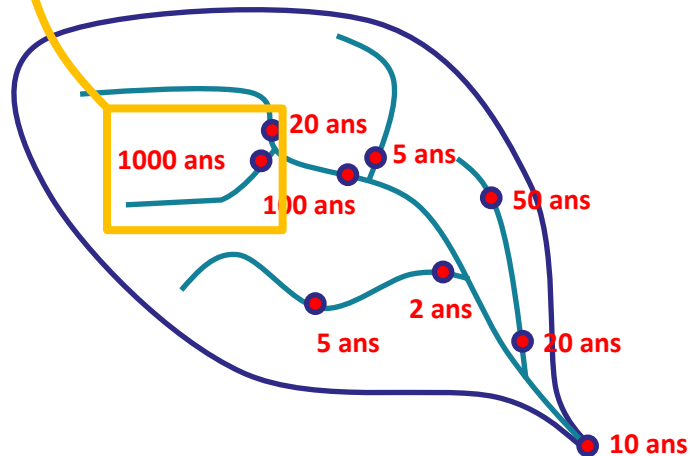
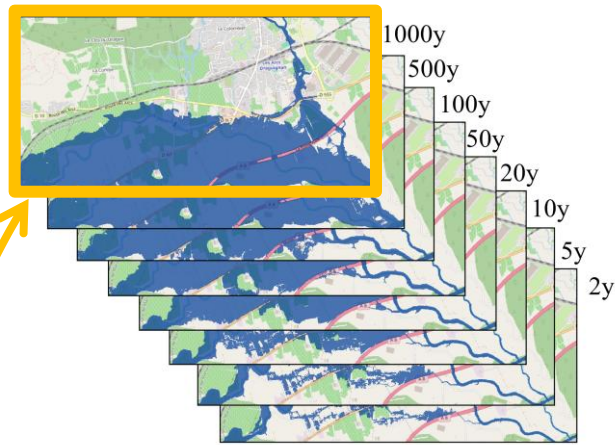
Méthode

- 8 scénarios d'inondation pré-calculés pour 8 périodes de retour (T=2ans à T=1000 ans)
 - 20.000 km de cours d'eau couverts ($S > 5\text{km}^2$)
 - Calcul à résolution 5m,
 - MNTs RGE Alti avec pré-traitements
 - Modèle hydrodynamique 2D Floodos (Davy et al., 2017)

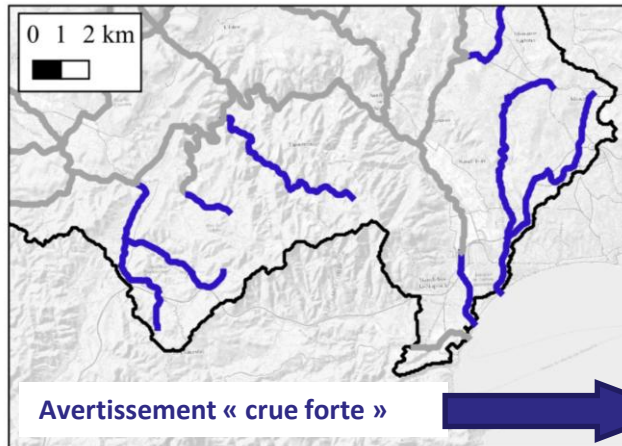
- Evaluation de la période de retour par exutoire
- Sélection des scénarios par tronçon puis superposition

Limites

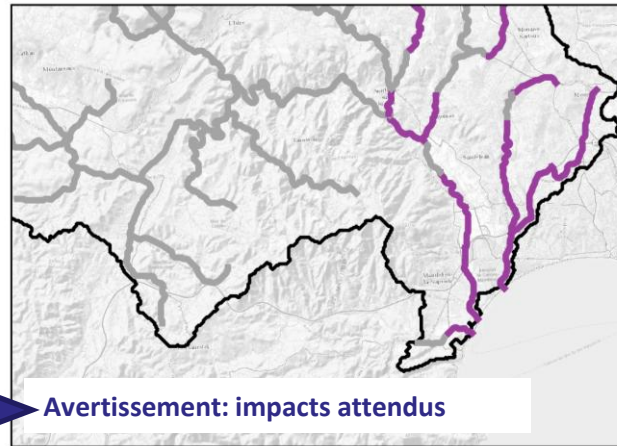
- Fortes incertitudes au niveau des confluences
- Pas d'interpolation entre les scénarios



Estimation des impacts et définition des avertissements



Hazard-Based
Seuil « Période de retour > X ans »

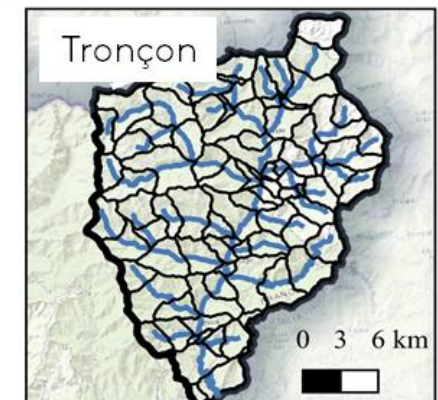
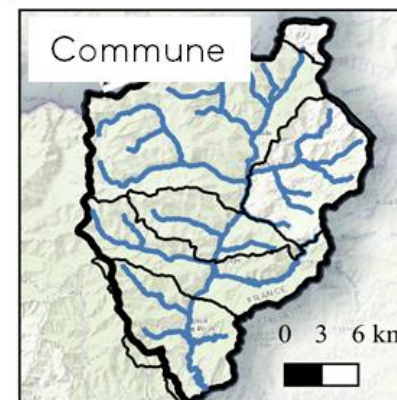


Impact-Based
Seuil « Nb. Bâtiments Inondés > N »



- Impacts évalués à partir des **bâtiments**
- Agrégation à l'échelle de la commune et du tronçon
- Relation Débits-Impacts précalculée pour chaque secteur

Bassin de la Roya





Thèse de Juliette GODET



Evaluation d'une chaîne de prévision immédiate des impacts des crues soudaines à l'échelle de l'arc méditerranéen français

Encadrée par:

Eric Gaume (Univ. Eiffel),

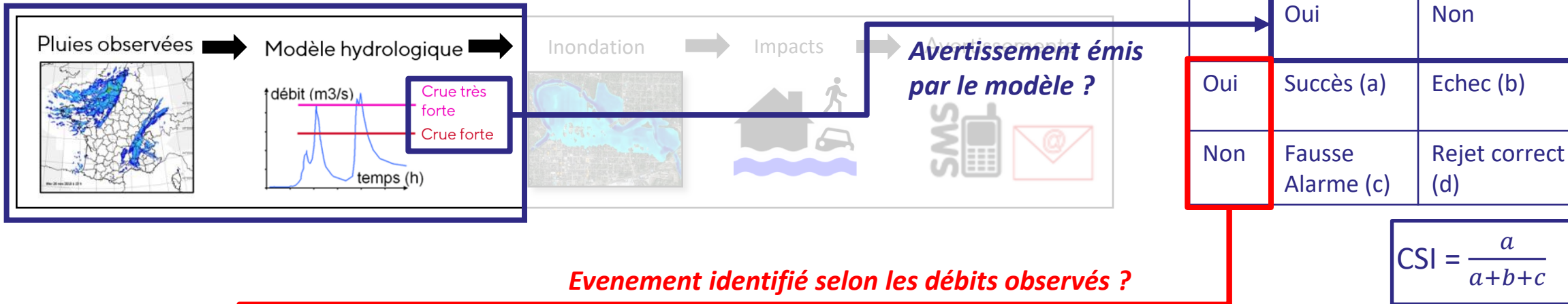
Olivier Payrastre (Univ. Eiffel),

Pierre Javelle (INRAE).



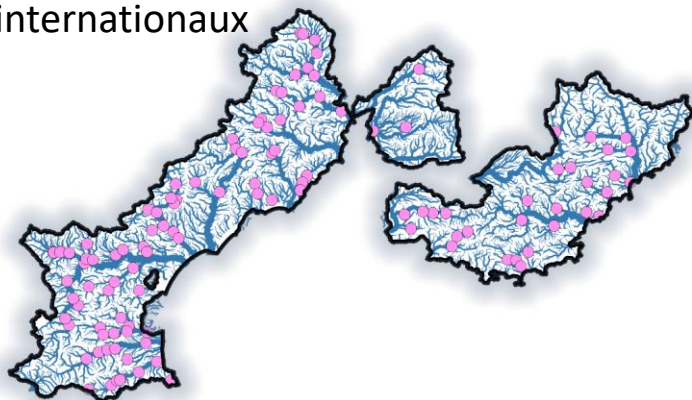
- I. Introduction - Objectifs
- II. Construction d'une chaîne d'avertissements basés sur les impacts
- III. **Évaluation « bloc par bloc » de la chaîne**
- IV. Conclusions et perspectives

Evaluation du bloc « Hazard-Based » à partir de données de débits

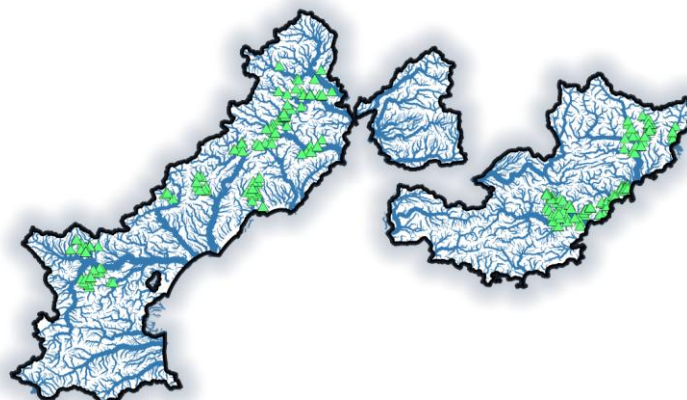


Evenement identifié selon les débits observés ?

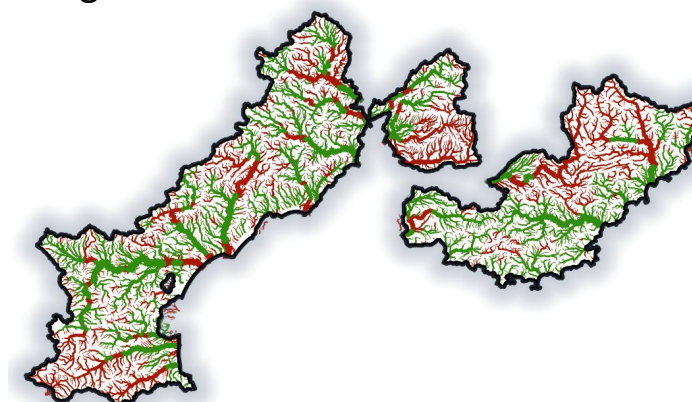
1. Evaluation continue (stations):
CSI ~40%, éq. aux systèmes internationaux



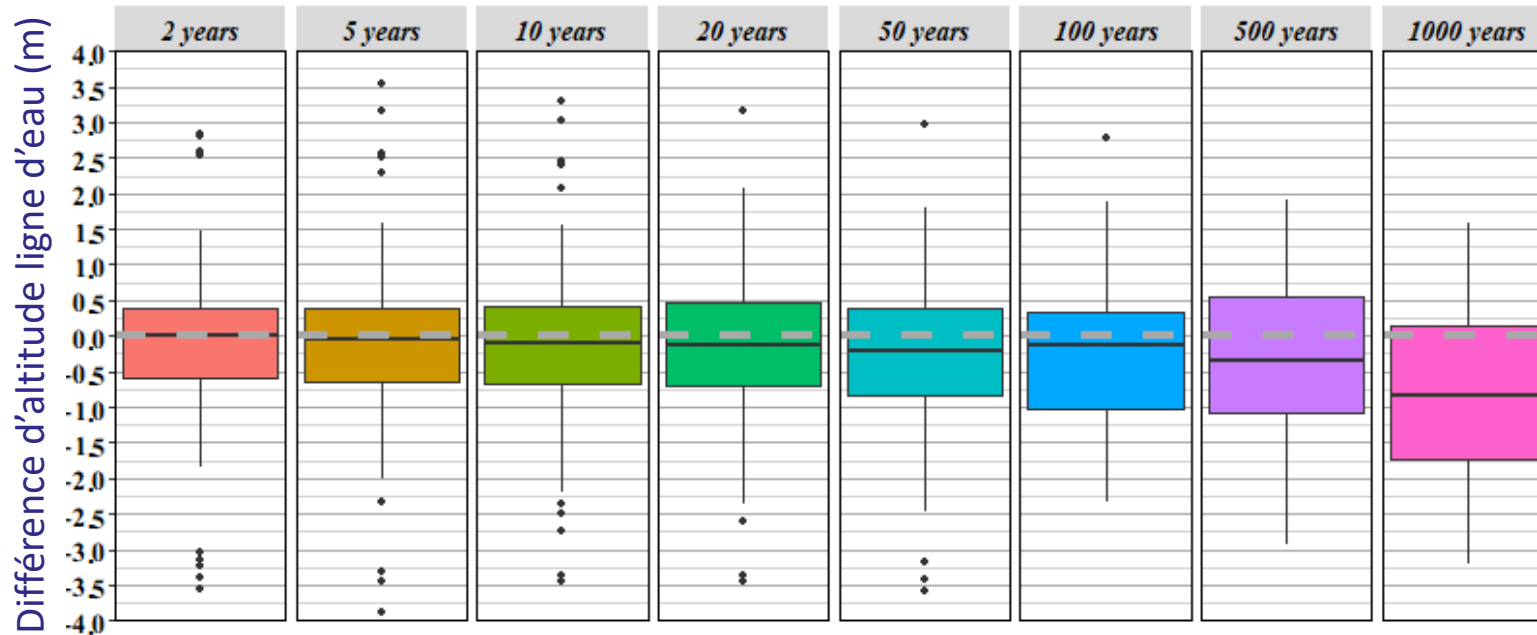
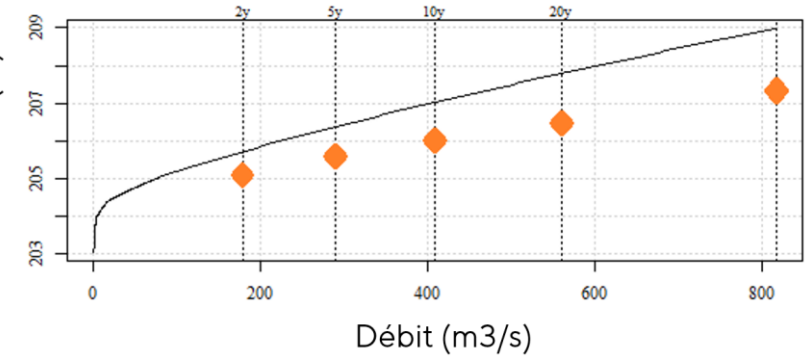
2. Evaluation « événement » (fortes crues, petits cours d'eau) CSI ~70%



3. Pas de différence notable entre les réseaux couverts et non couverts par vigicrues Flash



Evaluation du bloc « Cartographie des inondations » à partir de courbes de tarage



Comparaison à **171 courbes de tarage**

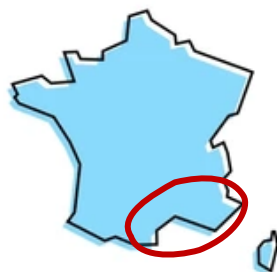
Erreurs **raisonnables**, très liées à la qualité des données MNT

Faible représentativité des résultats pour les plus grandes périodes de retour

T (ans)	2	5	10	20	50	100	500	1000
N	171	164	155	140	112	85	33	20

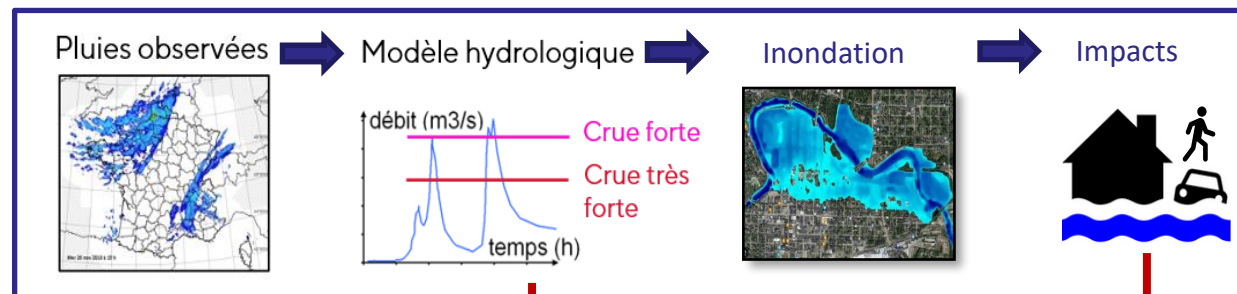
Godet et al., 2025, Benchmark dataset for hydraulic simulations of flash floods in the French Mediterranean region, ESSD, <https://doi.org/10.5194/essd-17-2963-2025>

Comparaison à grande échelle des avertissements basés sur l'alea ou les impacts



Arc méditerranéen – 2010-2022

Godet et al., 2026,
Quantifying the added value of impact-based warnings for flash flood monitoring using innovative multi-source impact data, International Journal of Disaster Risk Reduction, 136, 106058,
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2026.106058>



Avertissements émis

- Seuils d'alea (~ Vigicrues Flash)
- Seuils d'impacts

Débit ou impacts > Seuil



Arrêtés CatNat

Intervention SDIS

Sinistres CCR

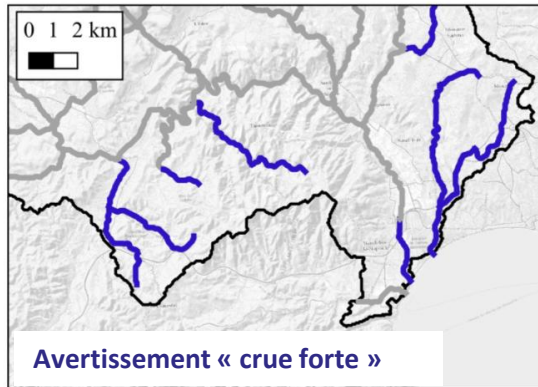


		Avertissement émis	
		Oui	Non
Evts. Obs.	Oui	Succès (a)	Echec (b)
	Non	Fausse Alarme (c)	Rejet correct (d)

Score CSI = $a / (a+b+c)$

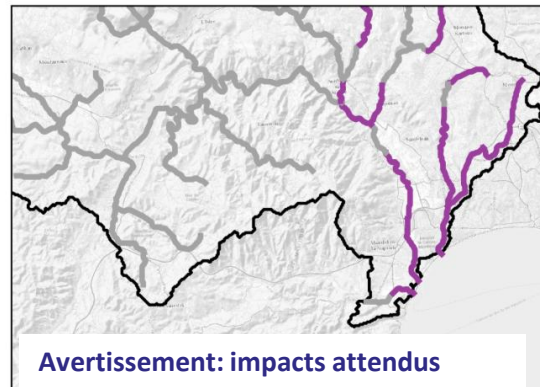
Comparaison à grande échelle des avertissements basés sur l'alea ou les impacts

Comparaison à la sinistralité par événement



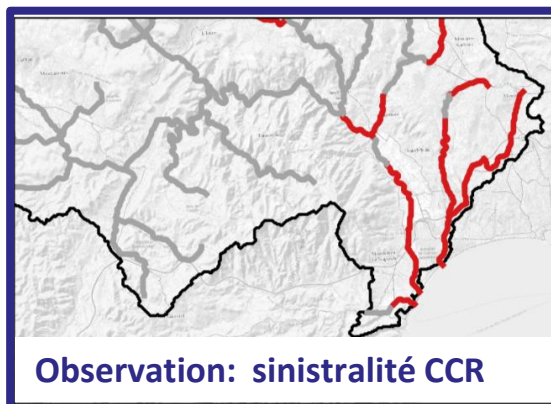
Approche alea

Seuil « Période de retour > X ans »

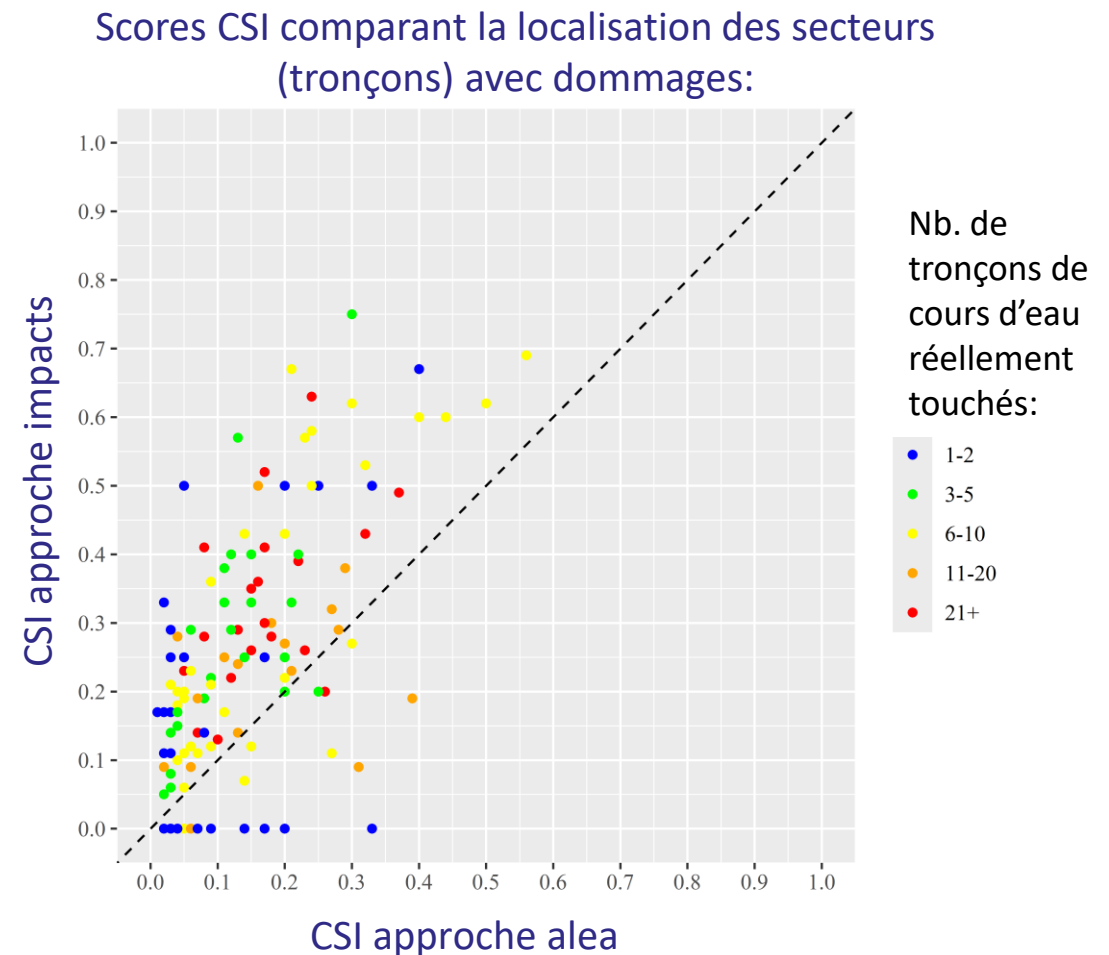


Approche impacts

Seuil « Nb. Batiments Inondés > N »



Approche impacts:
meilleure **localisation** des
secteurs endommagés
durant les événements
(moins de fausses alarmes)





Thèse de Juliette GODET



Evaluation d'une chaîne de prévision immédiate des impacts des crues soudaines à l'échelle de l'arc méditerranéen français

Encadrée par:

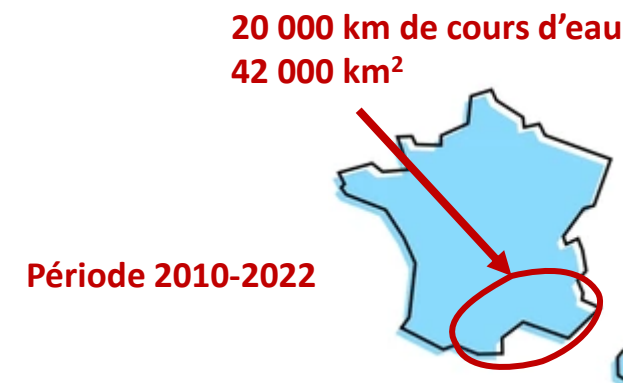
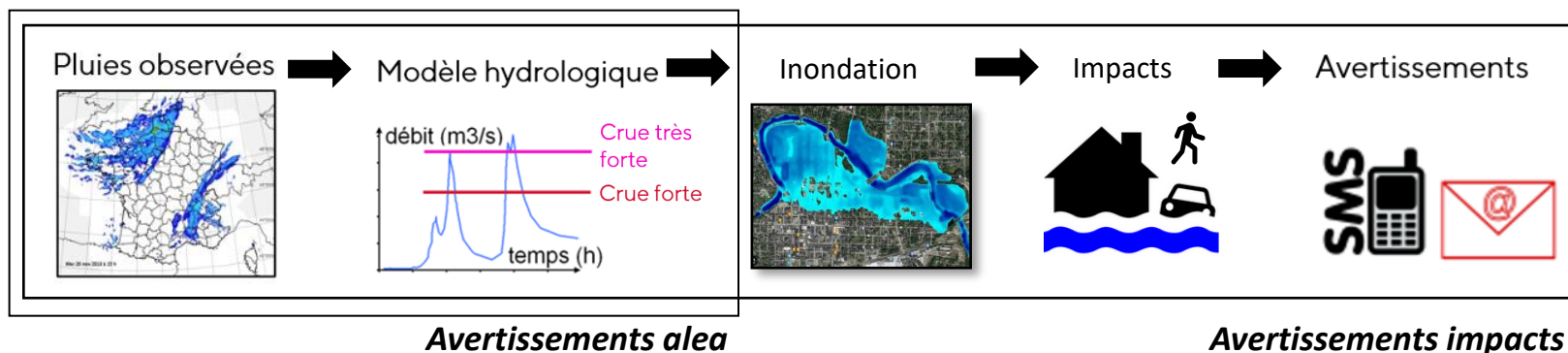
Eric Gaume (Univ. Eiffel),

Olivier Payrastre (Univ. Eiffel),

Pierre Javelle (INRAE).



- I. Introduction - Objectifs
- II. Construction d'une chaîne d'avertissements basés sur les impacts
- III. Évaluation « bloc par bloc » de la chaîne
- IV. Conclusions et perspectives**



- Construction possible d'une chaîne d'**avertissements impacts** à partir de Vigicrues Flash (au moins sur l'arc med)
- Nette plus value des **avertissements impacts** pour la réduction de **fausses alarmes**, la **localisation** et **hiérarchisation** des zones affectées
- Plus value plus nette à l'échelle du tronçon que celle de la commune
- Perspectives:
 - Amélioration des scénarios d'inondation (MNT Lidar HD et Lidar topo-bathy)
 - Interpolation entre scénarios (IA)
 - Intégration de prévision de pluies et propagation des incertitudes au sein de la chaîne

I. Cas des crues éclair de petits cours d'eau (> 5 à 10 km²)



Thèse de Juliette Godet



INRAE

Evaluation d'une chaîne de prévision immédiate des impacts des crues soudaines à l'échelle de l'arc méditerranéen français

II. Cas du ruissellement en zone urbaine



Thèse d'Akshay Kowleser



Co-funded by
the European Union

 Cerema

INRAE

Developing an end-to-end framework for impact-based flash flood forecasts in urban areas



Thèse d'Akshay Kowlesser



Co-funded by
the European Union



Developing an end-to-end framework for impact-based flash flood forecasts in urban areas

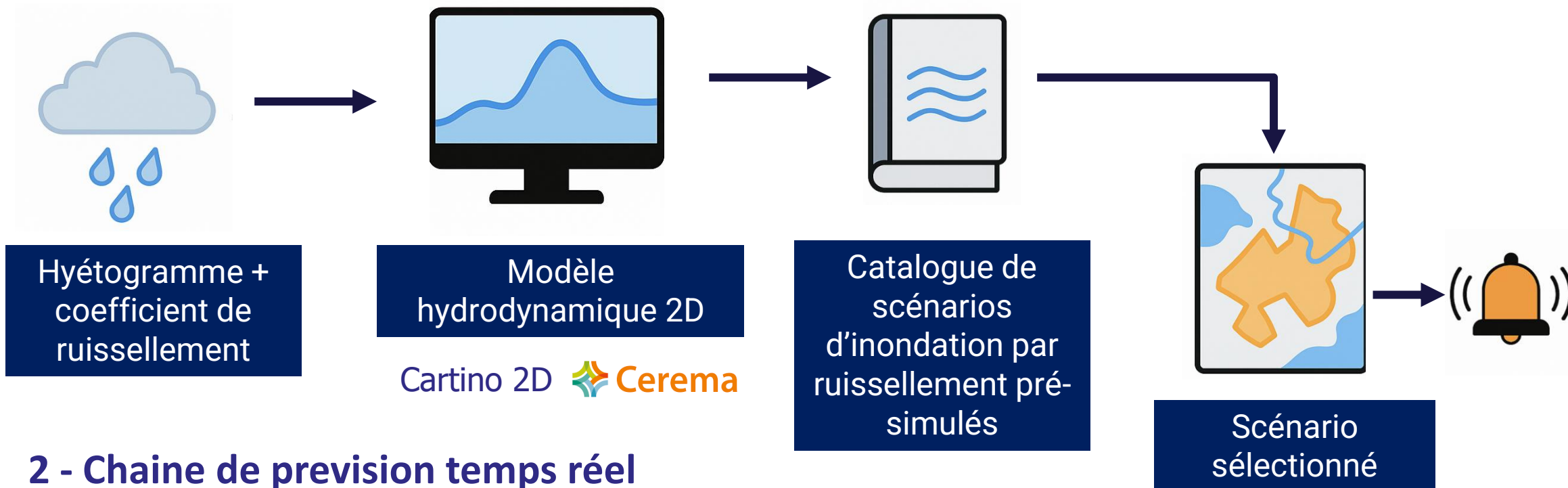
Encadrée par
Éric Gaume & Olivier Payrastre (UGE)
Manabendra Saharia (IIT Delhi)

Introduction

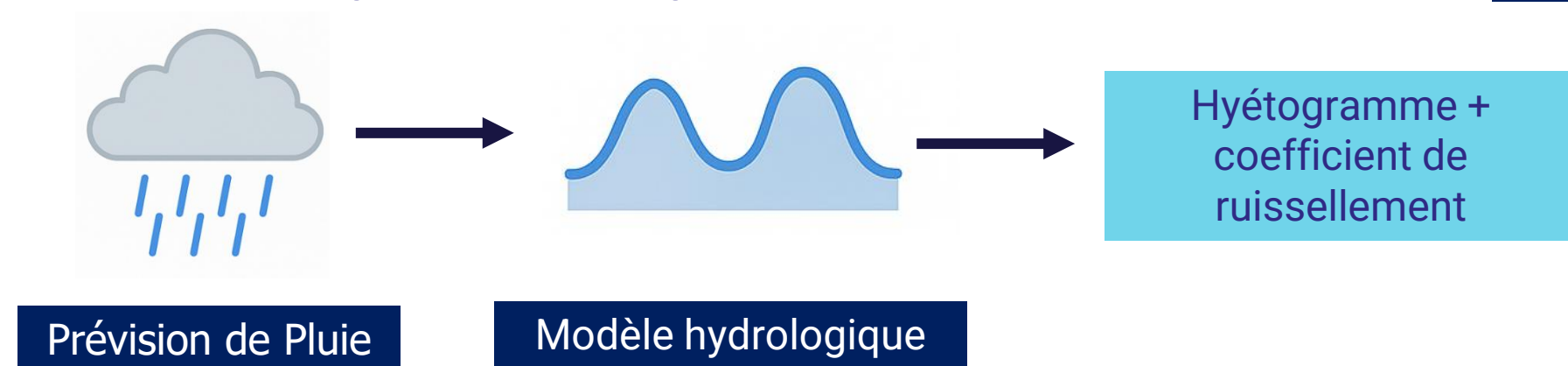
- I. Partie 1 – Construction des catalogues : 2 approches
- II. Partie 2 – Evaluation sur des événements réels
- III. Partie 3 – Développement d'un émulateur IA

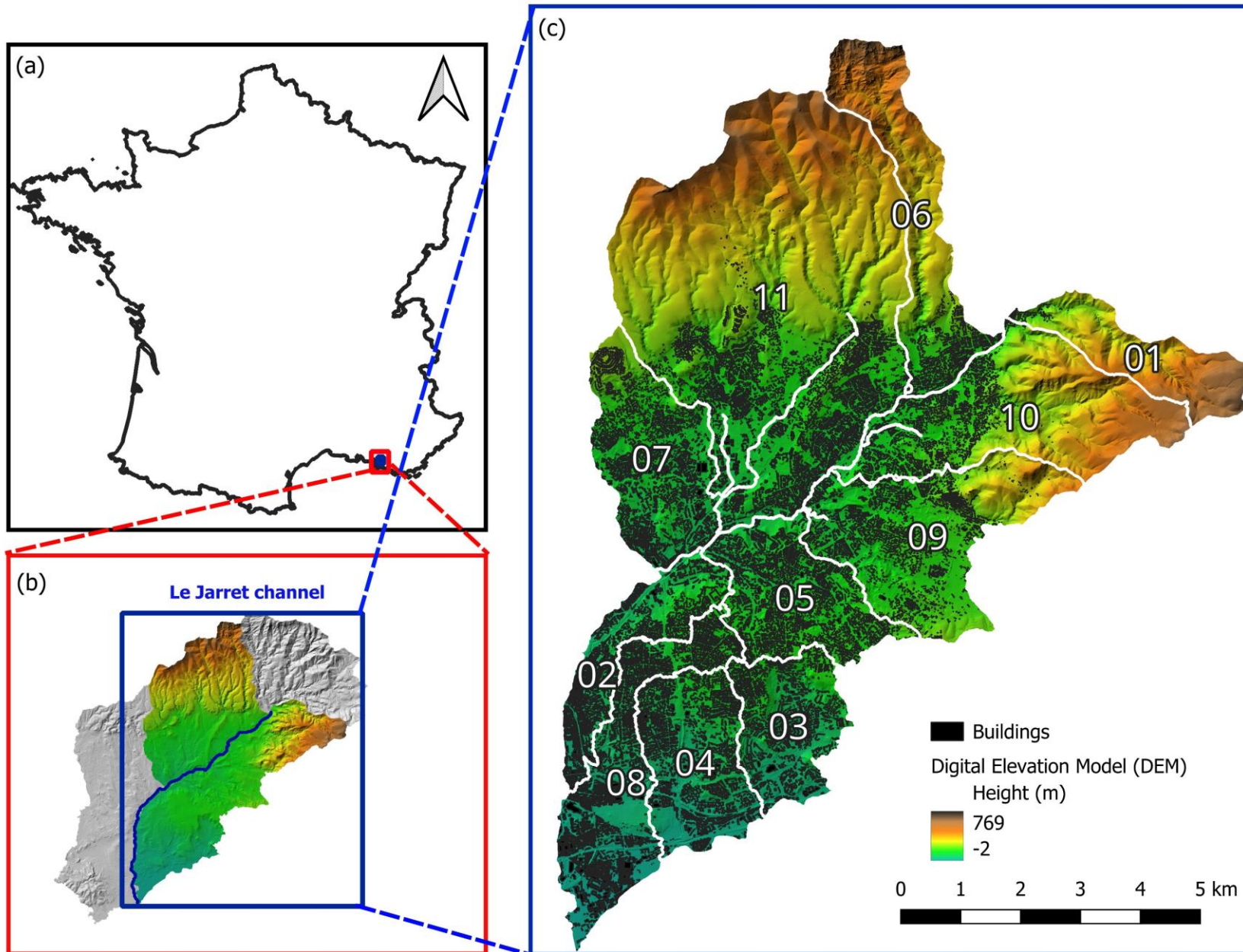
Conclusions et perspectives

1 - Catalogues de scénarios d'inondation précalculés



2 - Chaine de prevision temps réel







Thèse d'Akshay Kowlessar



Co-funded by
the European Union



Developing an end-to-end framework for impact-based flash flood forecasts in urban areas

Encadrée par
Éric Gaume & Olivier Payrastre (UGE)
Manabendra Saharia (IIT Delhi)

Introduction

I. Partie 1 – Construction des catalogues : 2 approches

II. Partie 2 – Evaluation sur des événements réels

III. Partie 3 – Développement d'un émulateur IA

Conclusions et perspectives

Approche 1: Classification des formes de hyétogrammes en trois catégories

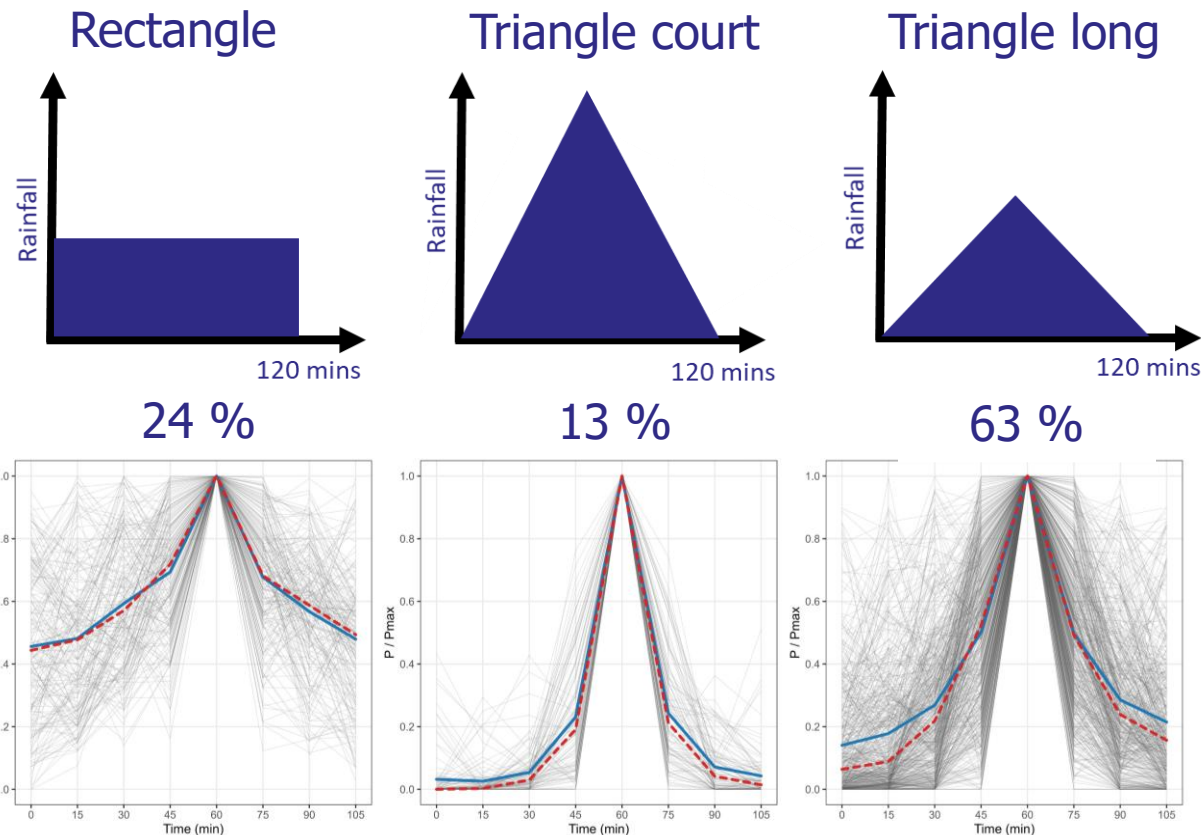
1. Rapport Intensités max-moy $I_{rel} = \frac{I_{max}}{I_{moy}}$

$I_{rel} < 2$ – Rectangulaire
 $I_{rel} > 2$ – Triangle Long ou Court

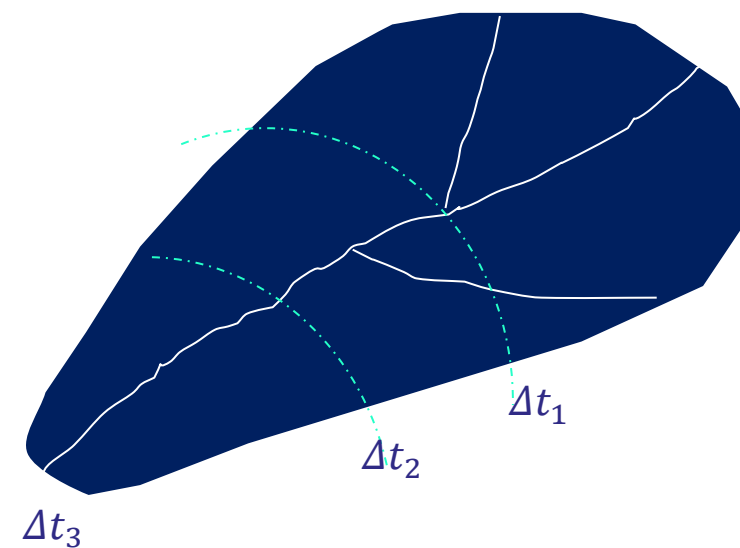
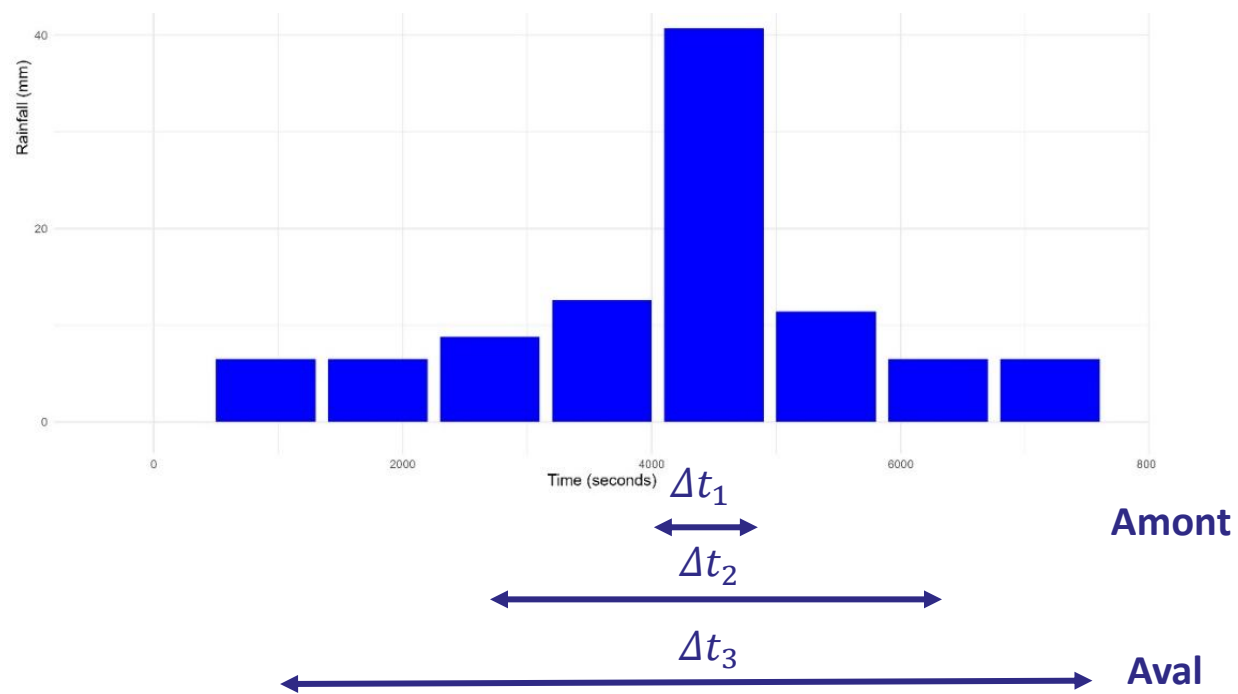
2. Diagrammes durée-volume : 50% & 90%

$Drt_{rank50\%} < 30 \text{ min} \ \& \ Drt_{rank90\%} < 90 \text{ min}$ – Triangle Court
 $Drt_{rank50\%} > 30 \text{ min} \ \text{OR} \ Drt_{rank90\%} > 90 \text{ min}$ – Triangle Long

Seuils basés sur une analyse de 10 années de données au pas de temps de 15 min




Approche 2: Hyétogrammes monofréquence par période de retour




- Chaque durée contrôle l'inondation pour une certaine gamme de surface drainées
- Application d'un **abattement spatial** pour chaque durée.
- Les scénarios du catalogue seront sélectionnés dans chaque gamme de surface en fonction de l'intensité de pluie sur la durée correspondante

Scénarios calculés avec Cartino 2D – resolution 1m

4 valeurs de coefficient de ruissellement pour les mailles perméables :



1% 10% 30% 50%

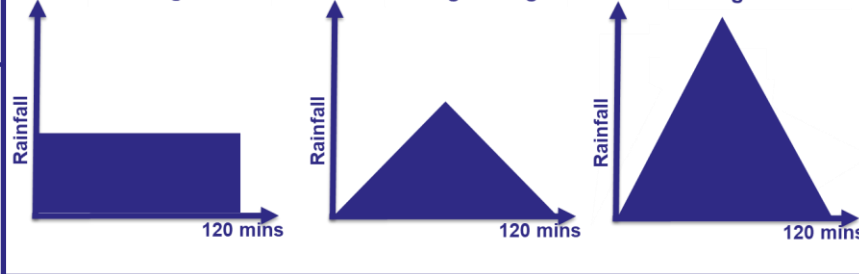


■ Permeable cells ■ Impermeable cells

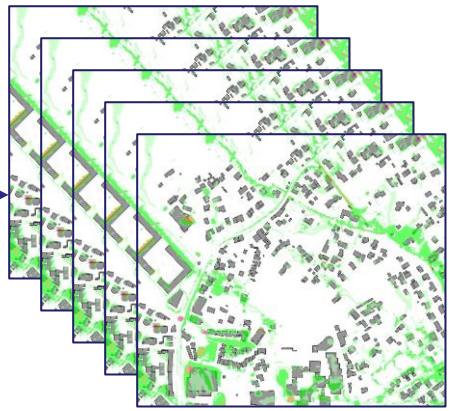
5 Période de retours (2h)



3 Formes de Pluie

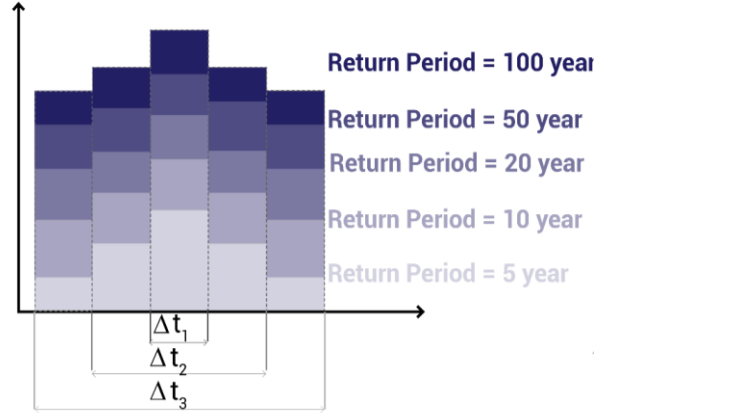


Approche 1 : formes

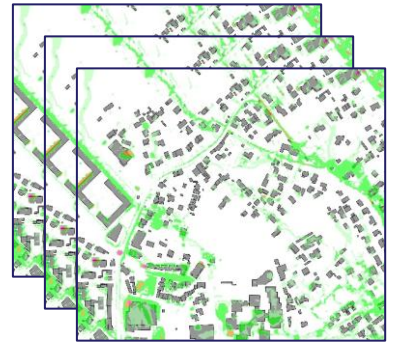


60 Scénarios

5 hyetogrammes Monofréquence (2 h)



Approche 2 : monofréquence



20 Scénarios



Thèse d'Akshay Kowlessar



Co-funded by
the European Union



Developing an end-to-end framework for impact-based flash flood forecasts in urban areas

Encadrée par
Éric Gaume & Olivier Payrastre (UGE)
Manabendra Saharia (IIT Delhi)

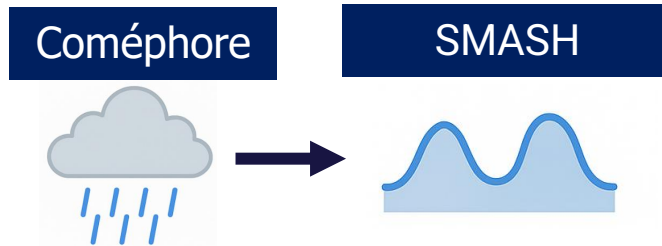
Introduction

- I. Partie 1 – Construction des catalogues : 2 approches
- II. Partie 2 – Evaluation sur des événements réels**
- III. Partie 3 – Développement d'un émulateur IA

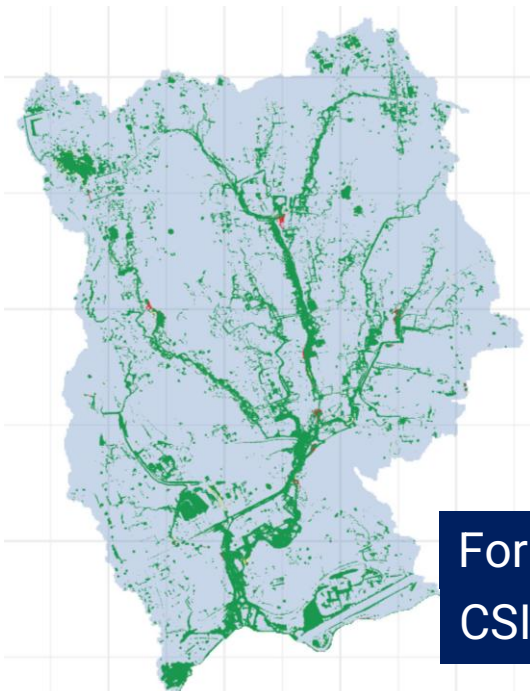
Conclusions et perspectives

(a) Comparaison à des simulation hydrauliques ‘en ligne’

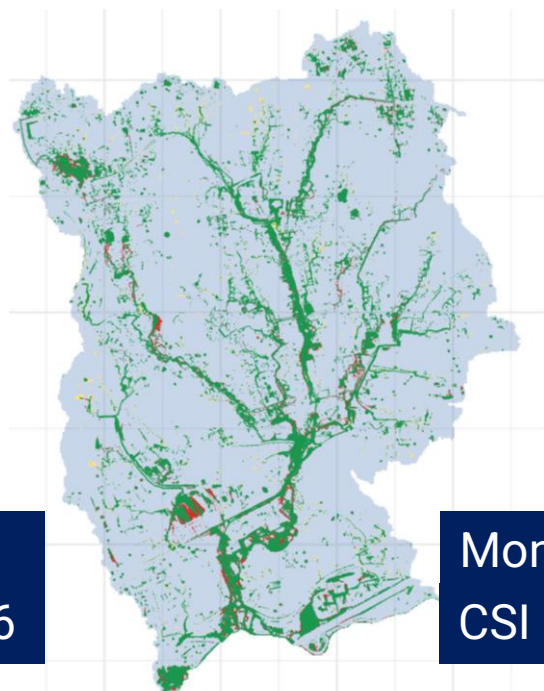
Evaluation sur 5 événements – 11 bassins



Référence:
Simulation Cartino 2D
avec pluies réelles + rendement d'écoulement estimé par le modèle SMASH



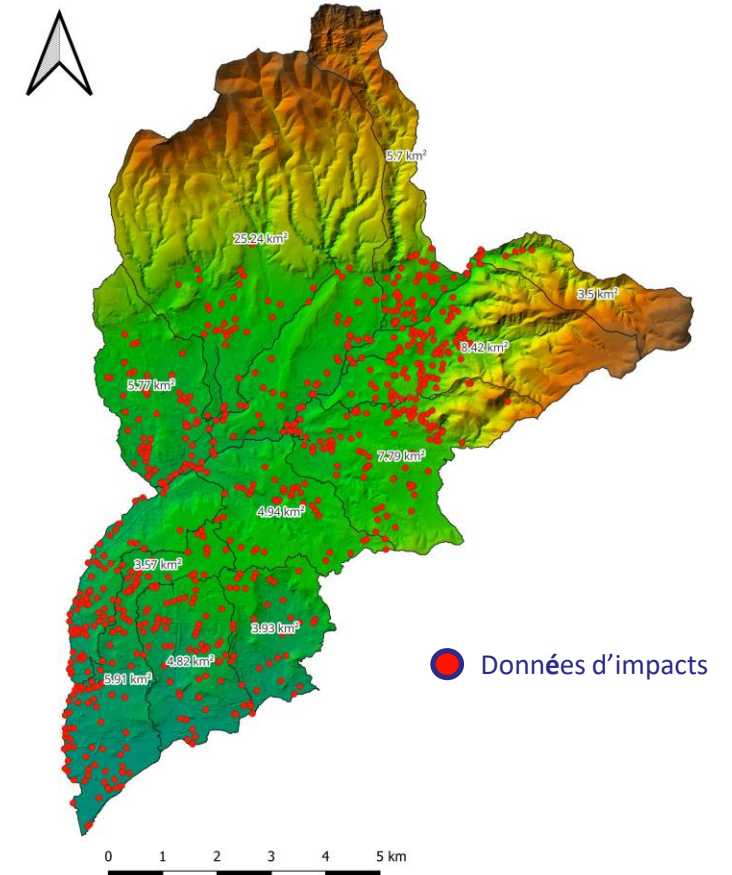
Formes
CSI – 0.96



Monofréquence
CSI – 0.80

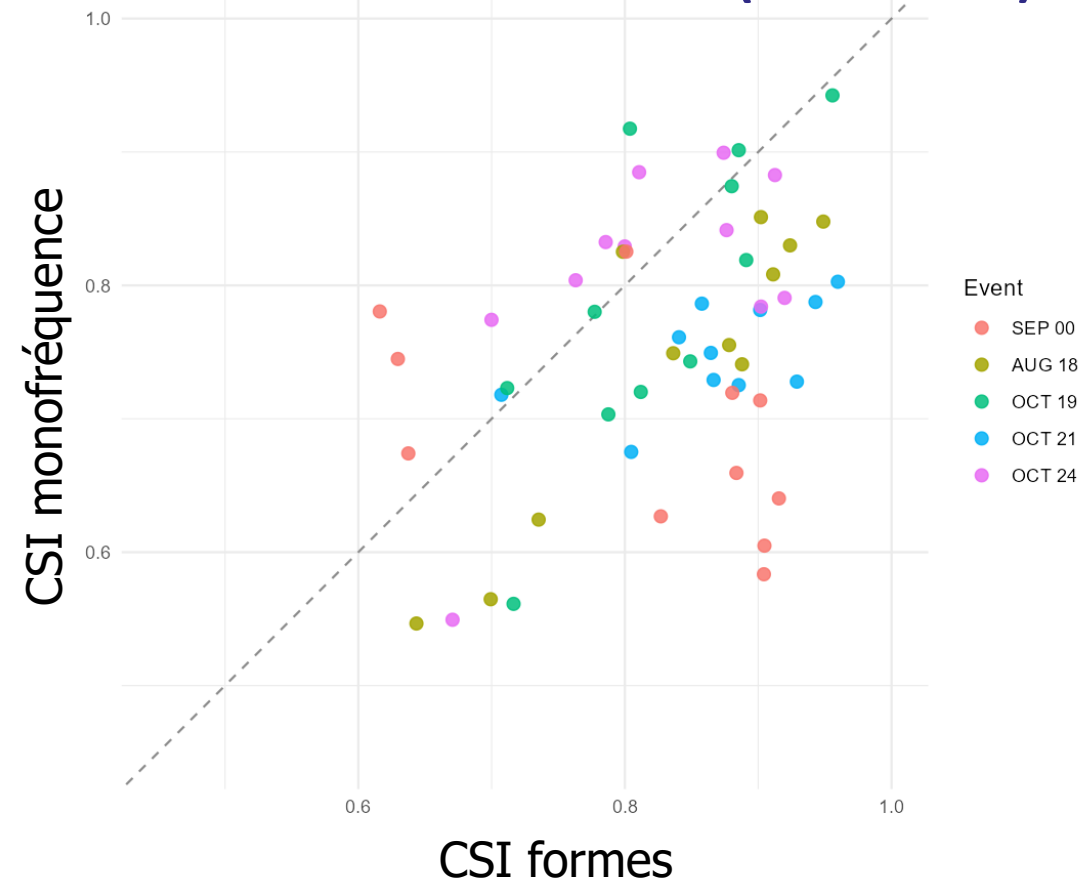
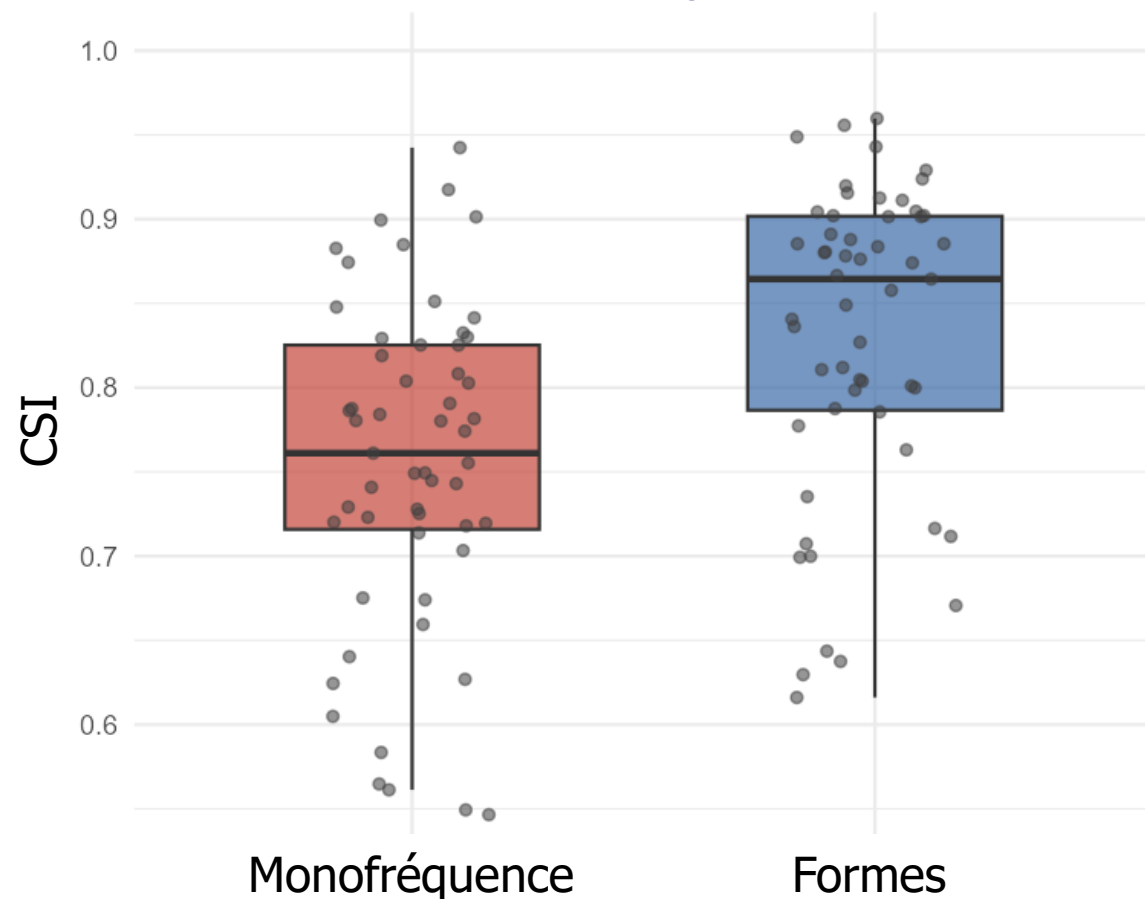
class
Hit
Miss
False Alarm
True Negative

(b) Comparaison aux impacts –
Événement d'Octobre 2021
(données MAMP)



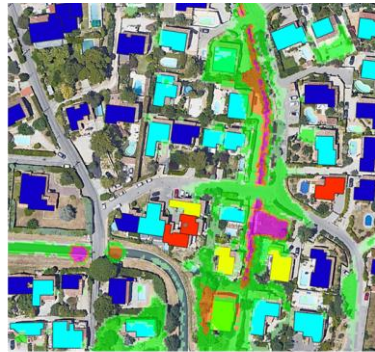
Courbes ROC

Reconstitution des emprises inondées sur 5 événements et 11 bassins (scores CSI)

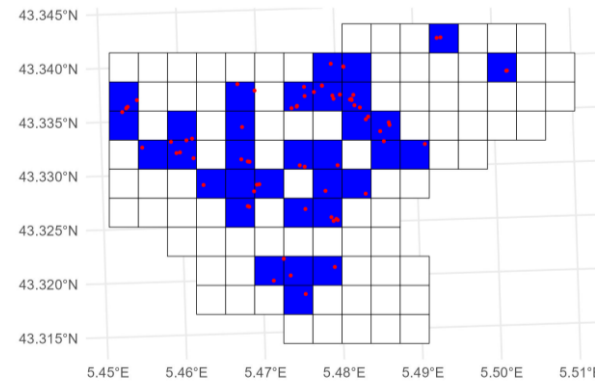


- CSI très élevés pour l'approche formes: bonne reconstitution de l'emprise de référence
- CSI sensiblement moins bons pour l'approche monofréquence
- Constat identique pour les 5 événements et l'ensemble des sous-bassins versants étudiés.

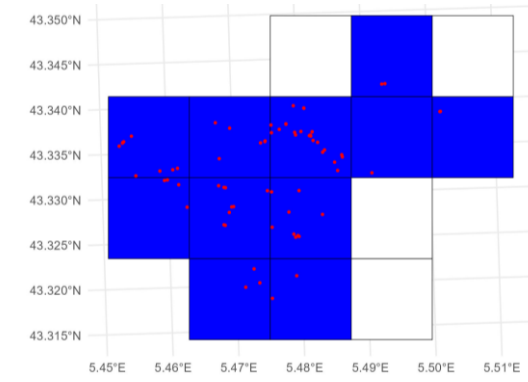
Reconstitution des impacts observés (courbes ROC)



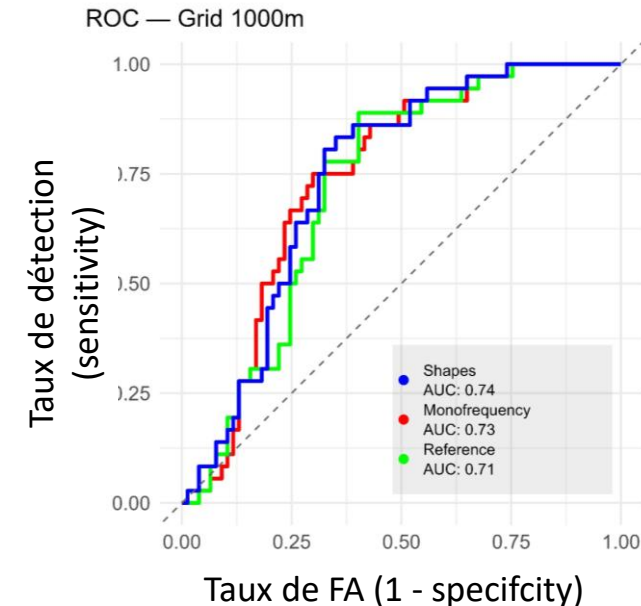
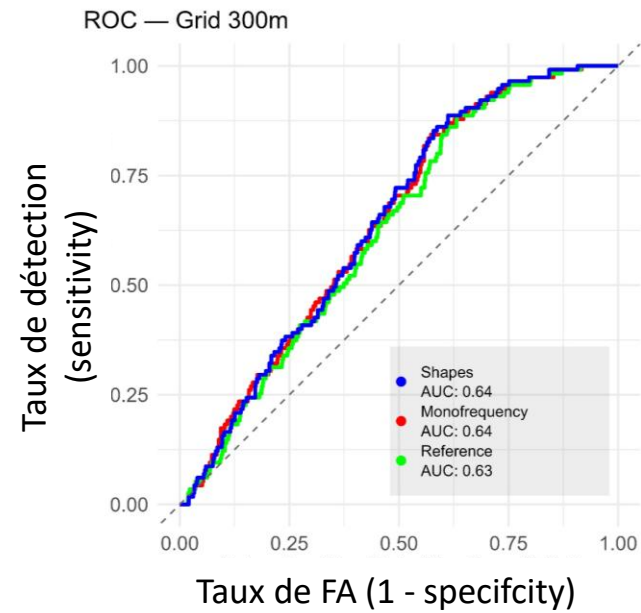
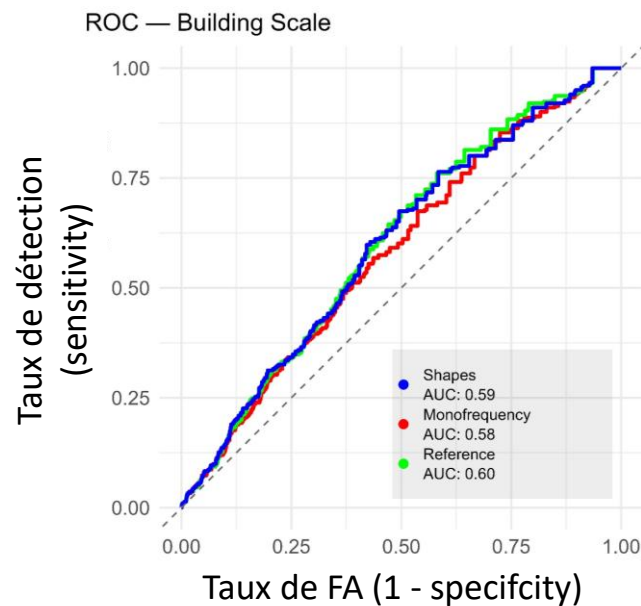
Au bâtiment



Grille de 300 m



Grille de 1000 m



— Monofrequency

— Formes

— Simulation de référence



Thèse d'Akshay Kowlessar



Co-funded by
the European Union



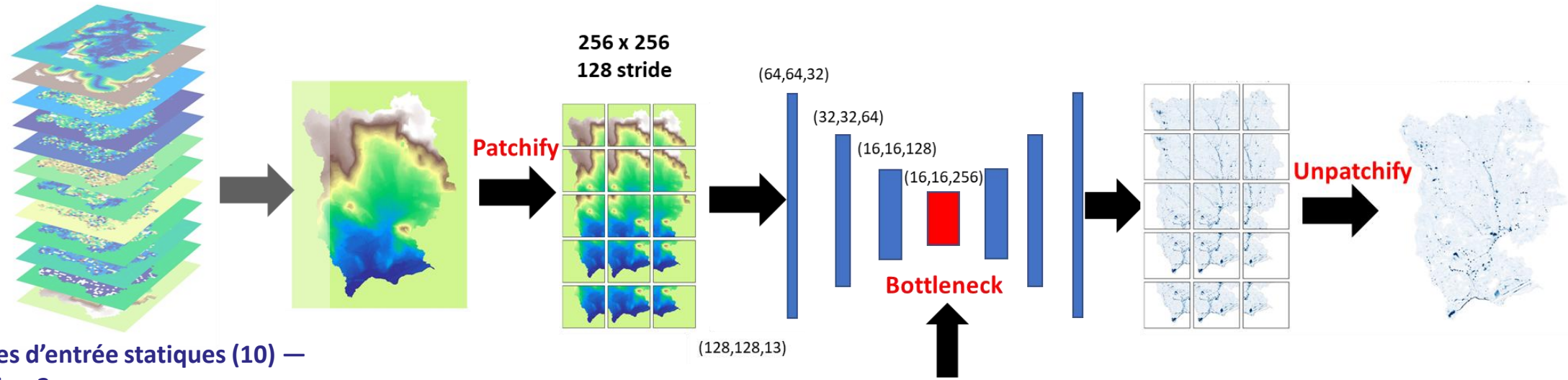
Developing an end-to-end framework for impact-based flash flood forecasts in urban areas

Encadrée par
Éric Gaume & Olivier Payrastre (UGE)
Manabendra Saharia (IIT Delhi)

Introduction

- I. Partie 1 – Construction des catalogues : 2 approches
- II. Partie 2 – Evaluation sur des événements réels
- III. Partie 3 – Développement d'un émulateur IA**

Conclusions et perspectives

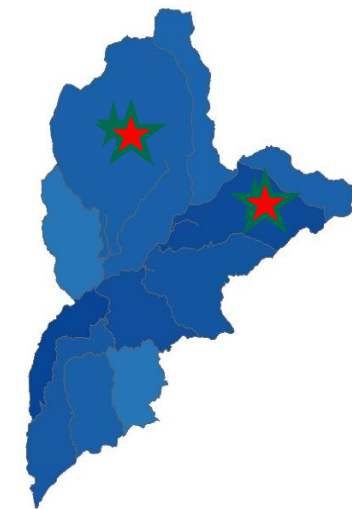
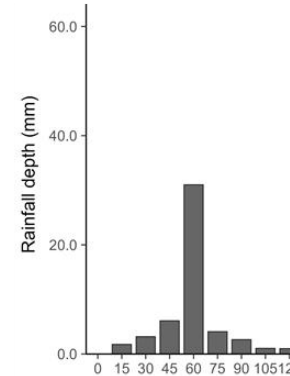


Variables d'entrée statiques (10) — résolution 2 m

- MNT, Manning–Strickler,
- Pente (degrés),
- TPI — Topographic Position Index,
- TRI — Terrain Ruggedness Index,
- Courbure planimétrique (planform curvature),
- TWI — Topographic Wetness Index,
- Distance au cours d'eau le plus proche (m),
- HAND — Height Above Nearest Drainage (m),
- Taux d'imperméabilisation,
- Profondeur des cuvettes

Variables Dynamiques (25)

- Hyétogramme à 15 min,
- log(RP) : logarithme de la période de retour,
- Forme du hyétogramme,
- Coefficient de ruissellement surfaces perméables,
- + 7 Statistiques de pluie : hauteur totale, intensité maximale, centre de masse, écart-type, ..



APPRENTISSAGE : 9 bassins x 80 scenarios

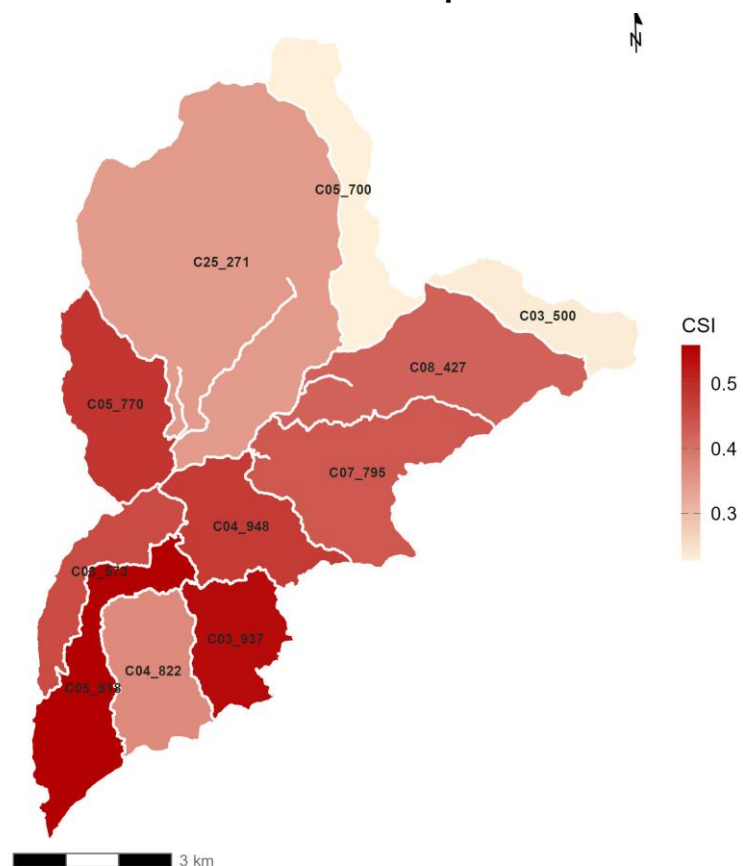
VALIDATION : 2 sous BV ★

TEST : 5 événements

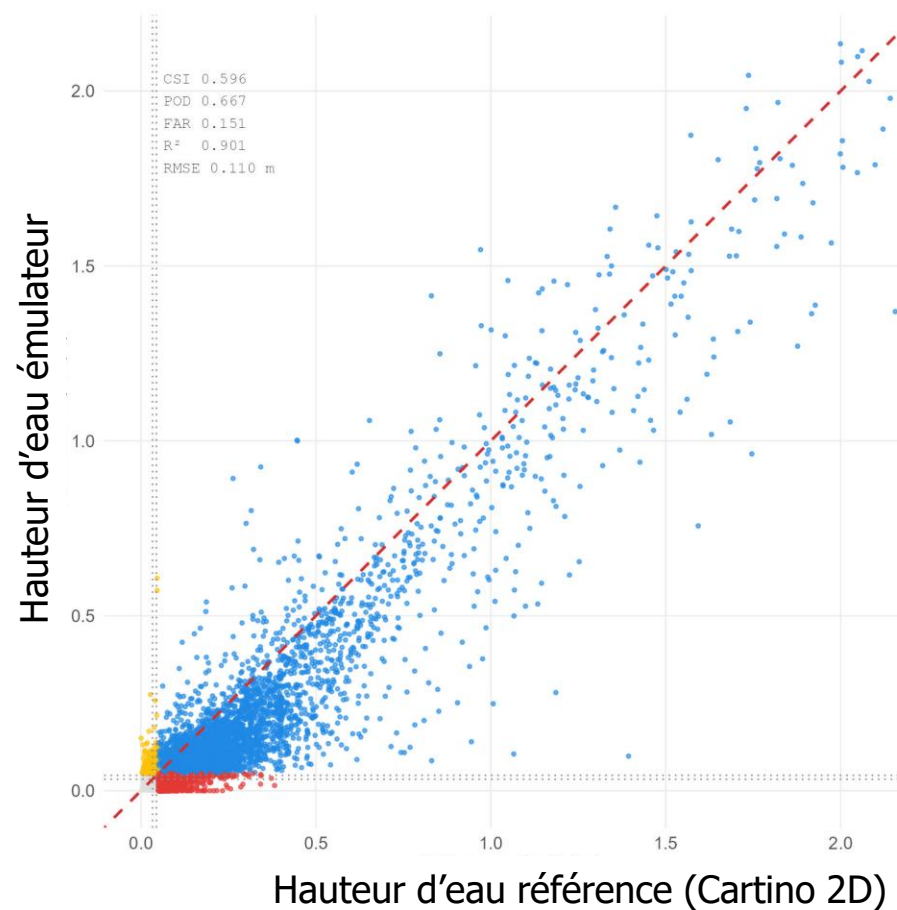


Reconstitution des emprises inondées et hauteurs d'eau sur 5 événements

Reconstitution des emprises Scores CSI



Reconstitution des hauteurs d'inondation



- Le CSI moyen s'établit à 0,43 (0,28 - 0,59).
- Valeurs modestes mais cohérentes avec les performances rapportées dans la littérature.

- Hauteurs d'eau globalement sous estimées



Thèse d'Akshay Kowlesser



Co-funded by
the European Union



Developing an end-to-end framework for impact-based flash flood forecasts in urban areas

Encadrée par
Éric Gaume & Olivier Payrastre (UGE)
Manabendra Saharia (IIT Delhi)

Introduction

- I. Partie 1 – Construction des catalogues : 2 approches
- II. Partie 2 – Evaluation sur des événements réels
- III. Partie 3 – Développement d'un émulateur IA

Conclusions et perspectives

- L'approche **Formes basée sur 60 scénarios reconstitue très bien** l'emprise inondée de référence.
- L'approche des **Formes surpasse l'approche Monofréquence** pour la reproduction des zones inondées de référence
- La validation du **basée sur les impacts réels observés reste délicate** (données d'impacts incomplètes, simplifications du modèle, ..).
- **L'émulateur IA fournit à ce stade une performance modeste** mais cohérente avec la littérature, qui reste nettement en deçà de l'approche formes
- Perspectives:
 - Approche Monofréquence: introduire des périodes de retour < 5 ans
 - Emulateur IA: apprentissage local, multiplication des scénarios d'apprentissage
 - Application à partir de prévisions immédiate de pluie (propagation d'incertitude)

Merci pour votre attention !
