



Quel intérêt des prévisions d'ensemble des crues éclair et de leurs impacts pour un service de secours ?

Une évaluation basée sur un modèle multi-agents pour les
inondations d'octobre 2018 dans le bassin de l'Aude

PICS
Prévision Immédiate Intégrée
des Impacts des Crues Soudaines

anr[®]
agence nationale
de la recherche

MUFFINS

Maryse CHARPENTIER - NOYER

Pierre NICOLLE

Olivier PAYRASTRE

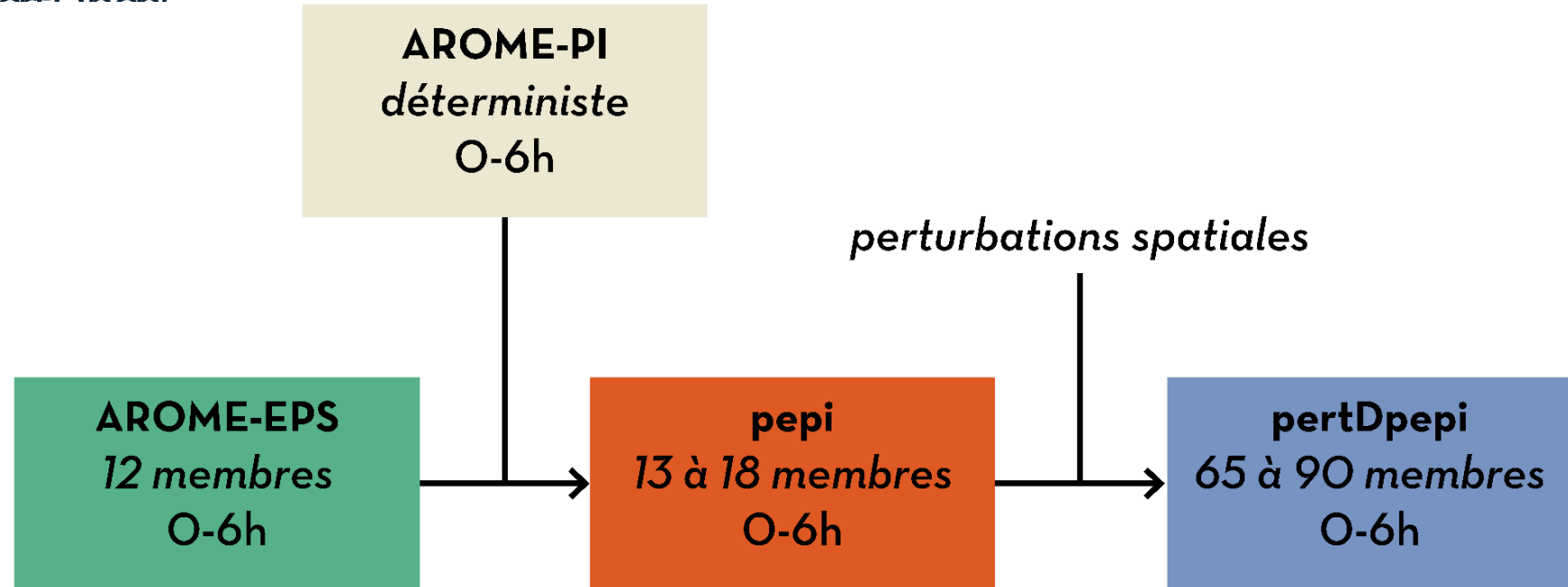
Éric GAUME

Contexte : évaluation de prévisions d'ensemble des pluies pour la prévision des crues à courte échéance (6h)

Objectif



Deux produits expérimentaux basés sur AROME-PE (EPS) et AROME-PI: pepi et pertDpepi



Premières évaluations conduites dans le cadre du projet ANR PIC sur quelques événements

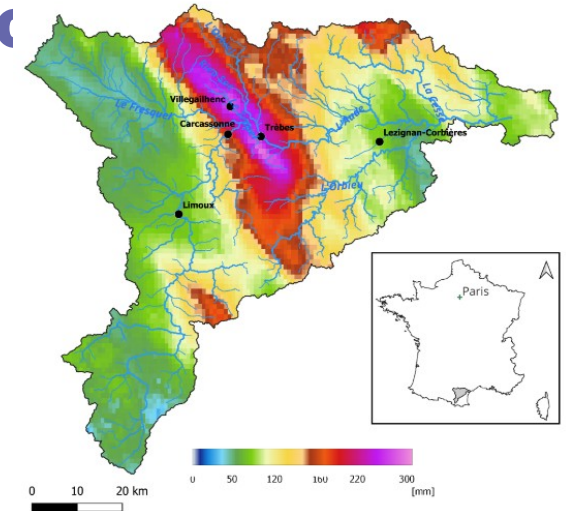
PICS
Prévision Immédiate Intégrée
des Impacts des Crues Soudaines

Etude de cas: crues de l'Aude d'

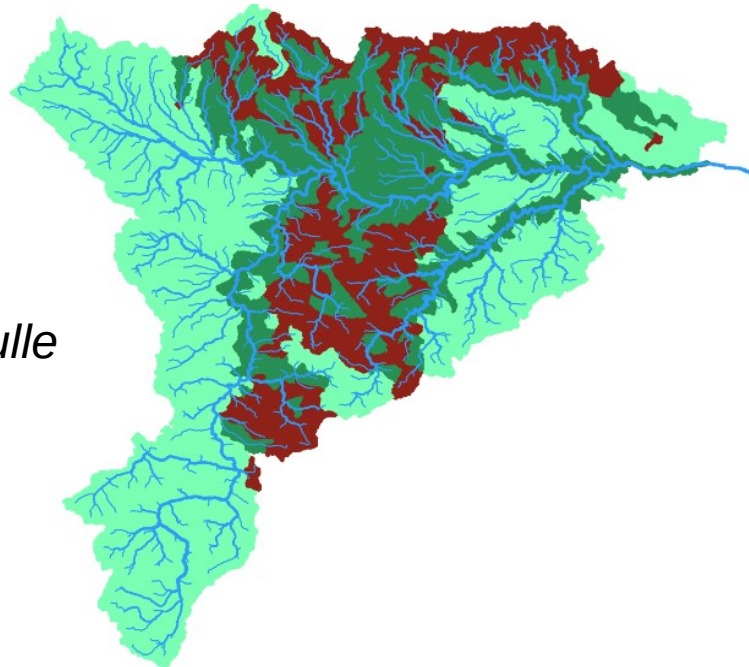
Objectif

Première évaluation « hydrologique » :
 anticipation du débit $T=10$ ans

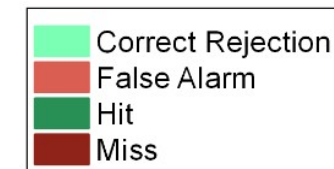
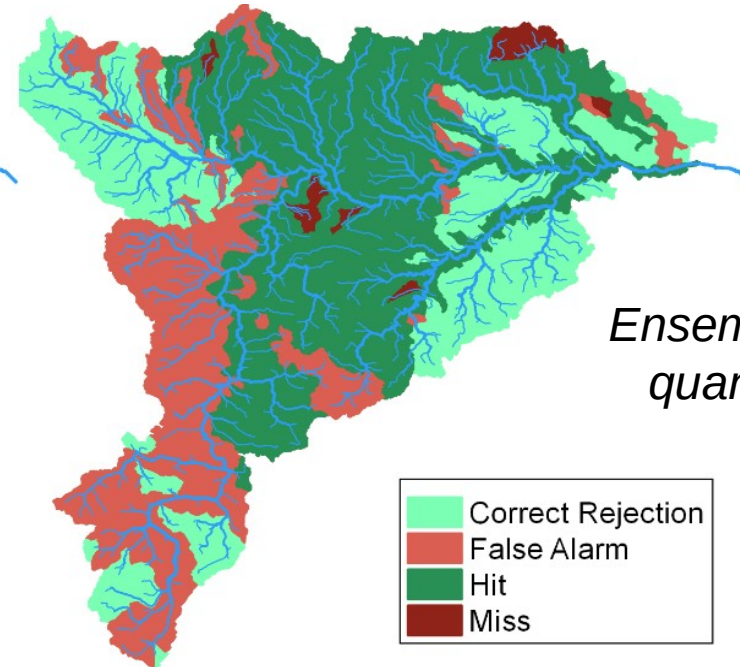
Charpentier-Noyer et al., 2022, doi:[10.5194/nhess-23-2001-2023](https://doi.org/10.5194/nhess-23-2001-2023)



Pluie future nulle



*Ensemble pepi
quantile 75%*



Quelle est la meilleure
prédiction ?

Objectif : Evaluer les prévisions d'ensemble à partir de l'efficacité de prises de décisions



Décision évaluée :
Interventions de secours du SDIS de l'Aude

Objectif



Fonctionnement du modèle multi-agents

Sorties du modèle

Evaluation de l'efficacité

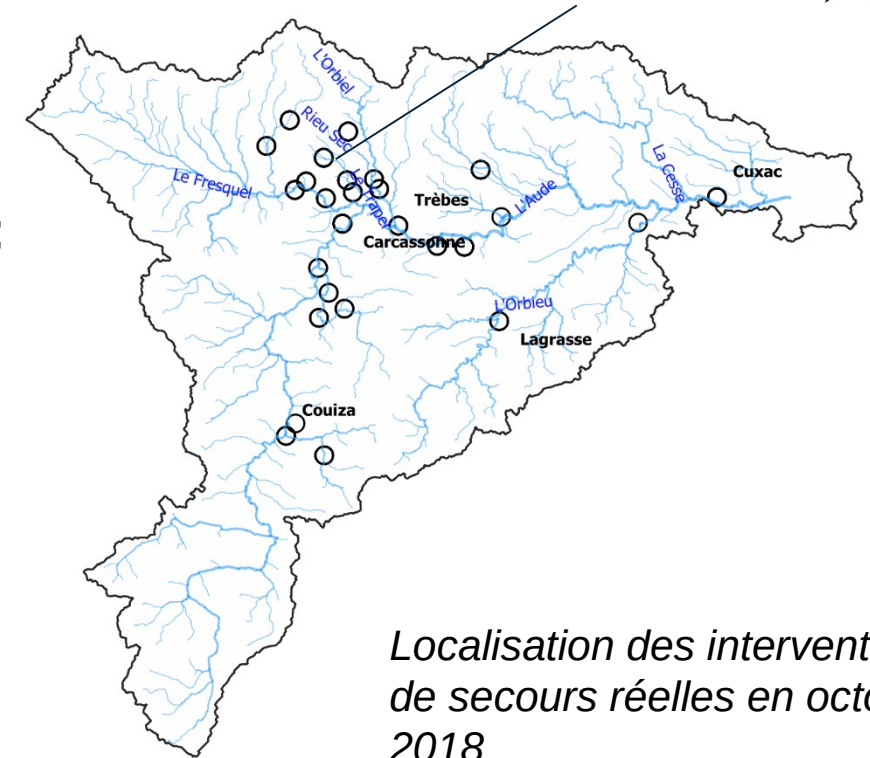
Résultats

Conclusion



Recours à une modélisation multi-agents pour:

- représenter les interventions de secours
- évaluer leur efficacité



Localisation des interventions de secours réelles en octobre 2018

Principe général de la modélisation multi-agents

Objectif

Fonctionnement du modèle multi-agents

Sorties du modèle

Évaluation de l'efficacité

Résultats

Conclusion



Les agents correspondent aux équipes de secours:



Équipes initialement réparties dans les 42 centres de secours du SDIS 11



Les équipes se déplacent et peuvent être: en attente, en déplacement, arrivées sur site, en intervention



Décisions d'intervention prises à partir de prévisions des impacts:

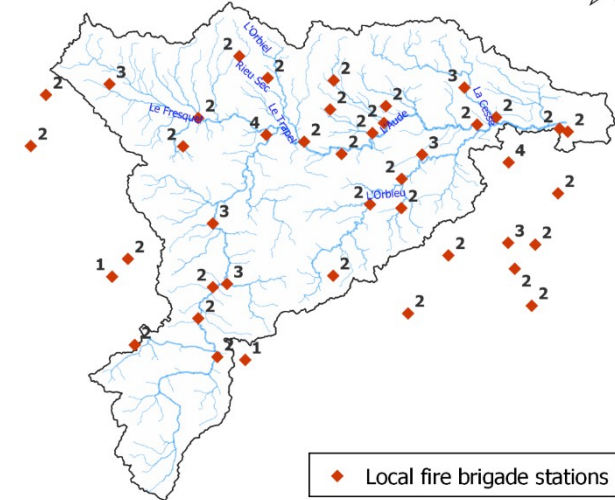


Prévision du nombre de bâtiments inondés maximum par tronçon de cours d'eau

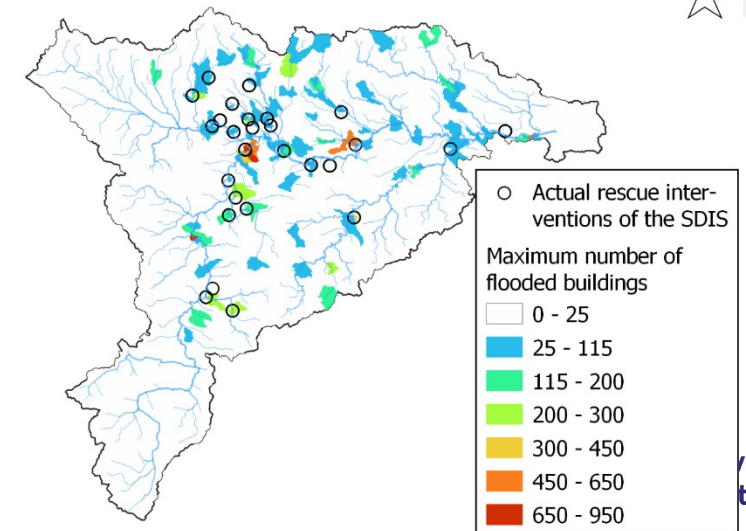


Un nombre seuil de bâtiments inondés déclenche l'envoi d'une équipe de secours (seuil d'intervention - ici 25 bâtiments inondés)

Localisation initiale des équipes



Nombre de bâtiments inondés prévus



Principe général de la modélisation multi-agents

Objectif

Obtention des prévisions d'impacts (nb de bâtiments inondés)
à partir d'une chaîne pluie-débit-impacts alimentée par les prévisions de pluies

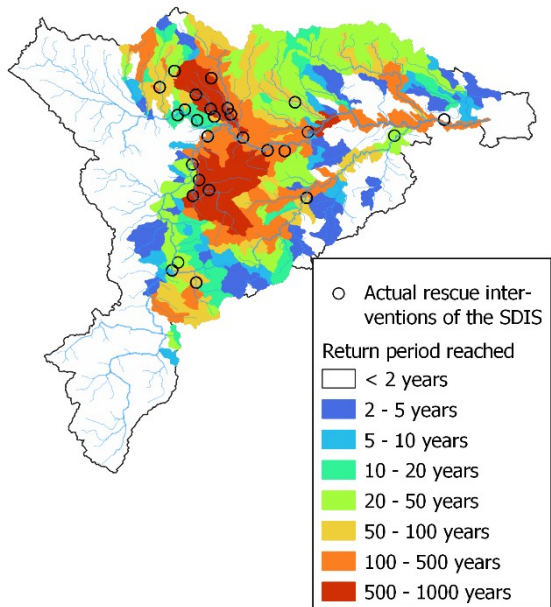
Fonctionnement du modèle multi-agents

Sorties du modèle

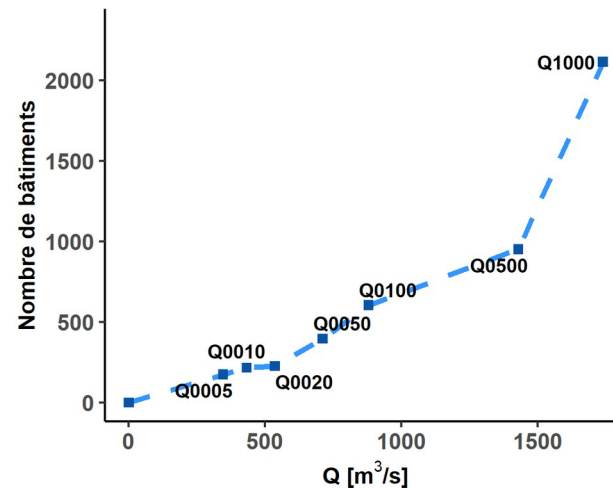
Evaluation de l'efficacité

Résultats

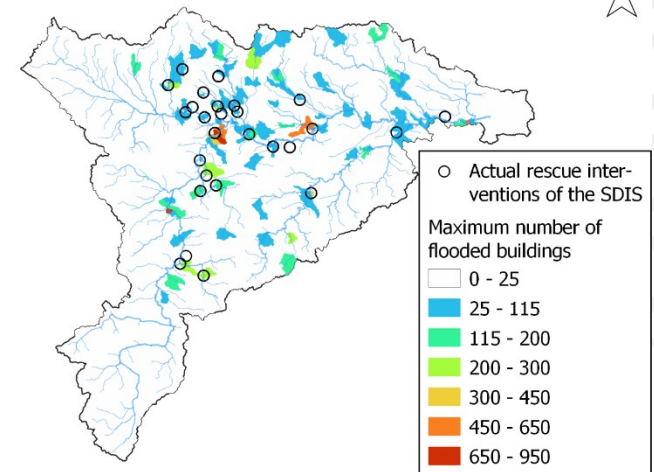
Conclusion



Débit maximum
prévu



Relation débit-impacts par tronçon
7 scénarios
périodes de retour de 5 à 1000
ans



Nombre maximum de
bâtiments inondés
prévus

Principe général de la modélisation multi-agents

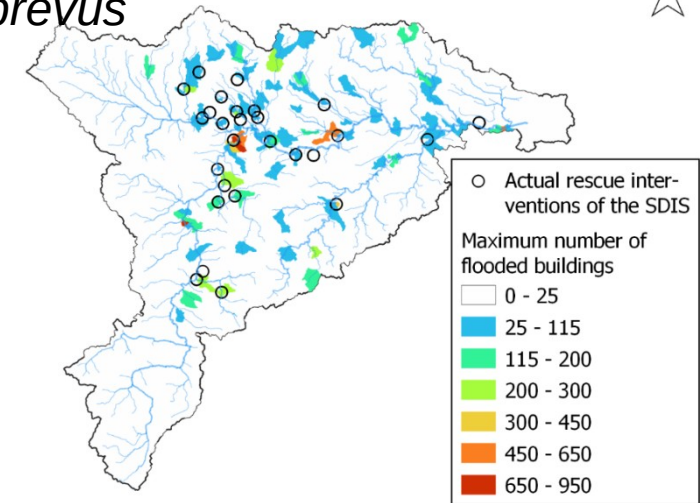
↘ Décisions d'intervention des équipes actualisées à chaque prévision disponibles (ici fréquence 1h)

- 🔍 Recensement des nouveaux tronçons avec impacts prévus > seuil d'intervention (25 bâtiments)
- 🔍 Recensement des équipes disponibles et envois des équipes les plus proches
- 🔍 Nb d'équipes nécessaire fixé via la capacité d'intervention d'une équipe (ici 100 bâtiments secourus maximum)

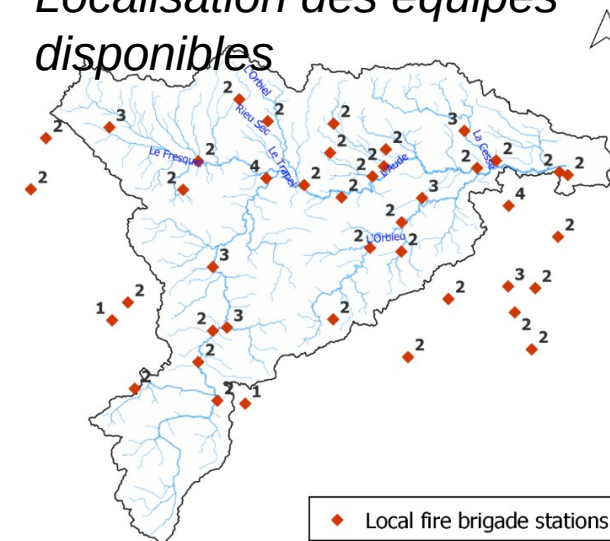
↘ Déplacement des équipes :

- 🔍 Matrice origine-destination
- 🔍 Vitesse moyenne de 30 km/h

Bâtiments inondés prévus



Localisation des équipes disponibles



Objectif

Fonctionnement du modèle multi-agents

Sorties du modèle

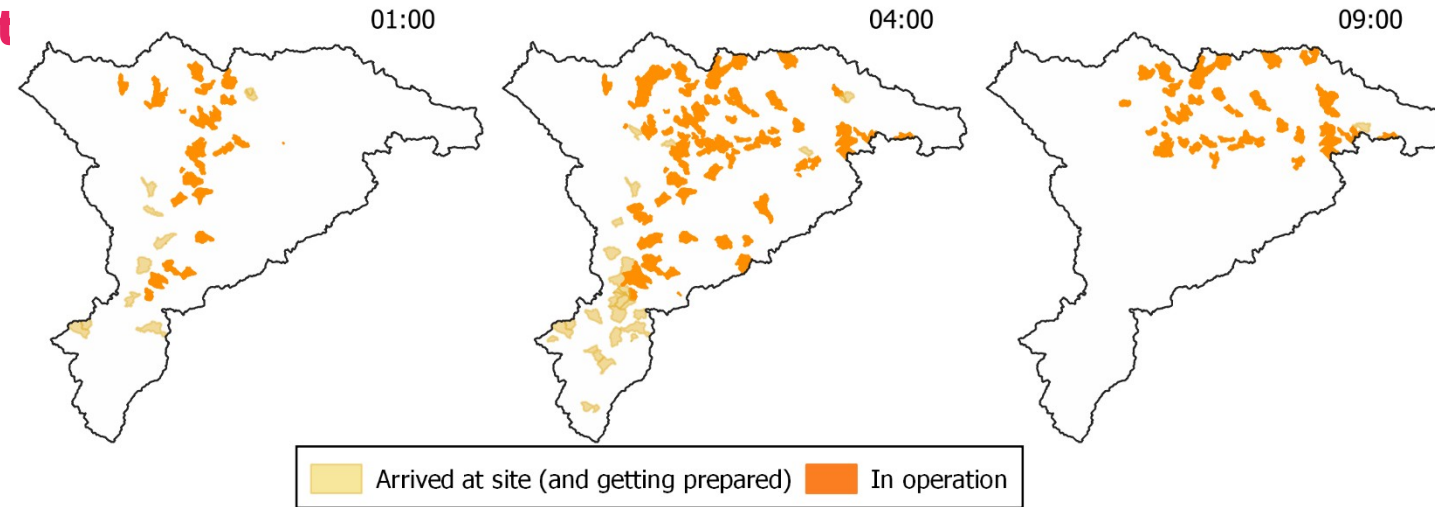
Evaluation de l'efficacité

Résultats

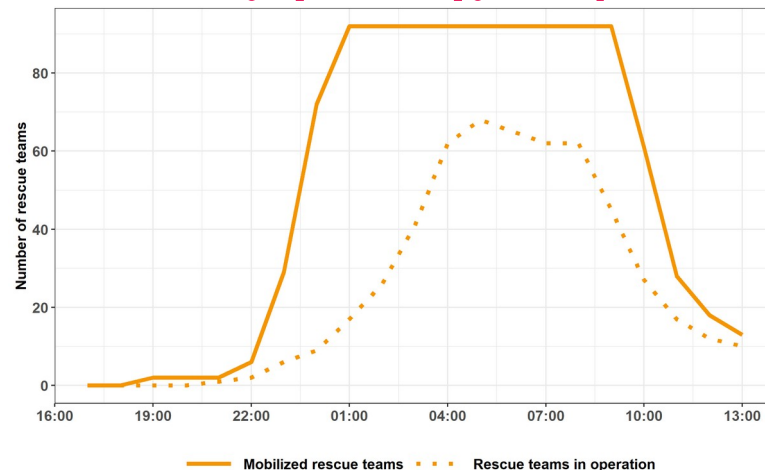
Conclusion

Exemples de résultats de modélisation

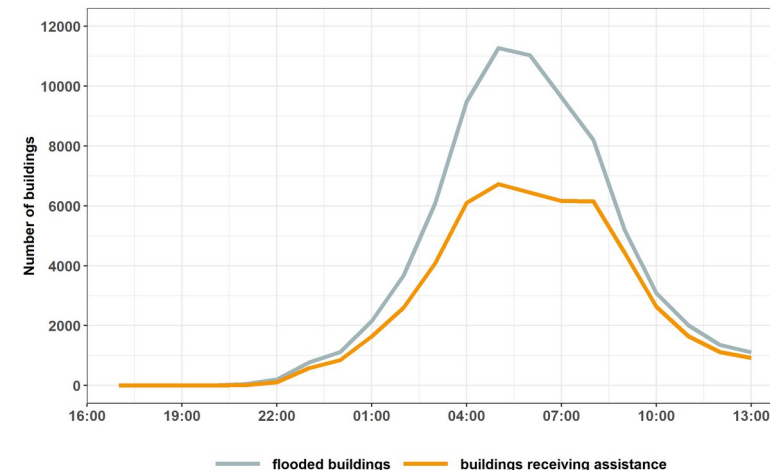
Localisation des équipes de secours arrivées sur site et en intervention



Evolution du nb équipes mobilisées (déplacement, intervention)



Evolution des nb de bâtiments inondés / bâtiments recevant l'assistance



Objectif

Fonctionnement du modèle multi-agents

Sorties du modèle

Evaluation de l'efficacité

Résultats

Conclusion

Mesure de l'efficacité des décisions

Objectif

Fonctionnement du modèle multi-agents

Sorties du modèle

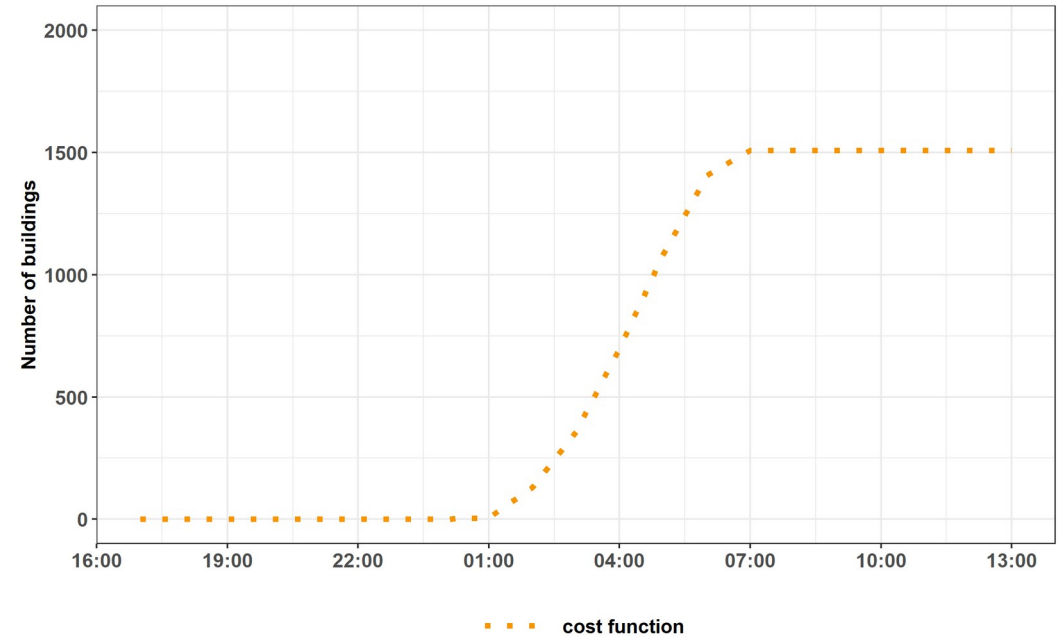
Évaluation de l'efficacité

Résultats

Conclusion

Calcul d'une fonction coût

Nombre cumulé de bâtiments pour lesquels aucune équipe de secours n'était présente lors de l'inondation



Prise en compte de l'heure d'arrivée de l'équipe sur le tronçon

- ⌚ Avant le début de l'inondation: coût = 0 bâtiments
- ⌚ Moins de 1h après le début de l'inondation : coût = 50 % du nb de bâtiments
- ⌚ Au-delà d'une heure : coût = 100 % du nb de bâtiments

Scénarios évalués

Objectif

Scénario de référence

- ✚ Pas de prévision: décision basée sur les remontées de terrain (impacts simulés avec la pluie observée)

Sorties du modèle

Scénarios alternatifs évalués

- ✚ Prévision d'impacts avec une pluie future nulle
- ✚ Prévision d'impacts avec les différentes prévisions de pluie:
 - Arome PE ou pepi ou pertDpepi
 - quantile 75% des ensembles

Evaluation de l'efficacité

Résultats

Conclusion

Cas idéal : moyens de secours illimités

- Paramètres de simulation**
- Seuil d'intervention : 25 bâtiments
 - Nombre d'équipes : illimité
 - Capacité d'intervention : 100 bâtiments par équipe

Objectif

Fonctionnement du modèle multi-agents

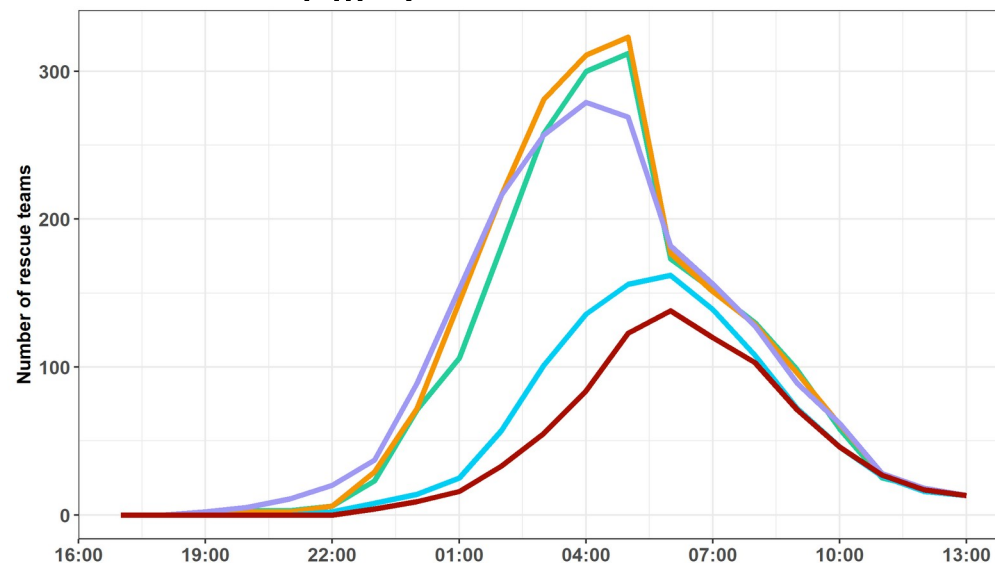
Sorties du modèle

Évaluation de l'efficacité

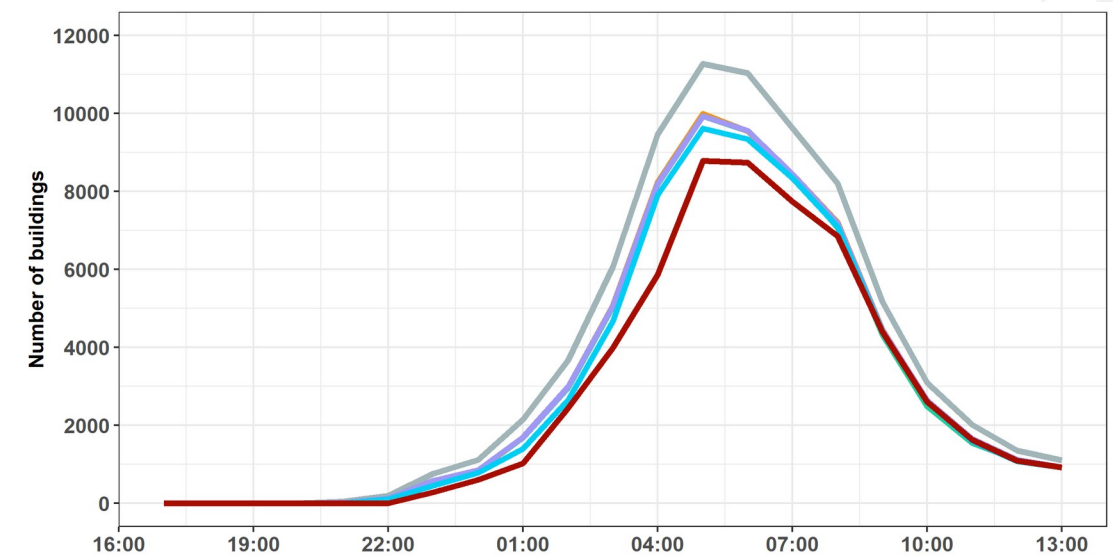
Résultats

Conclusion

Nombre d'équipes



Nombre de bâtiments



pertDpepi
no future rainfall scenario
observation-based scenario
flooded buildings
AROME-EPS
pepi

Cas idéal : moyens de secours illimités

- Paramètres de simulation**
- Seuil d'intervention : 25 bâtiments
 - Nombre d'équipes : illimité
 - Capacité d'intervention : 100 bâtiments par équipe

Objectif

Fonctionnement du modèle multi-agents

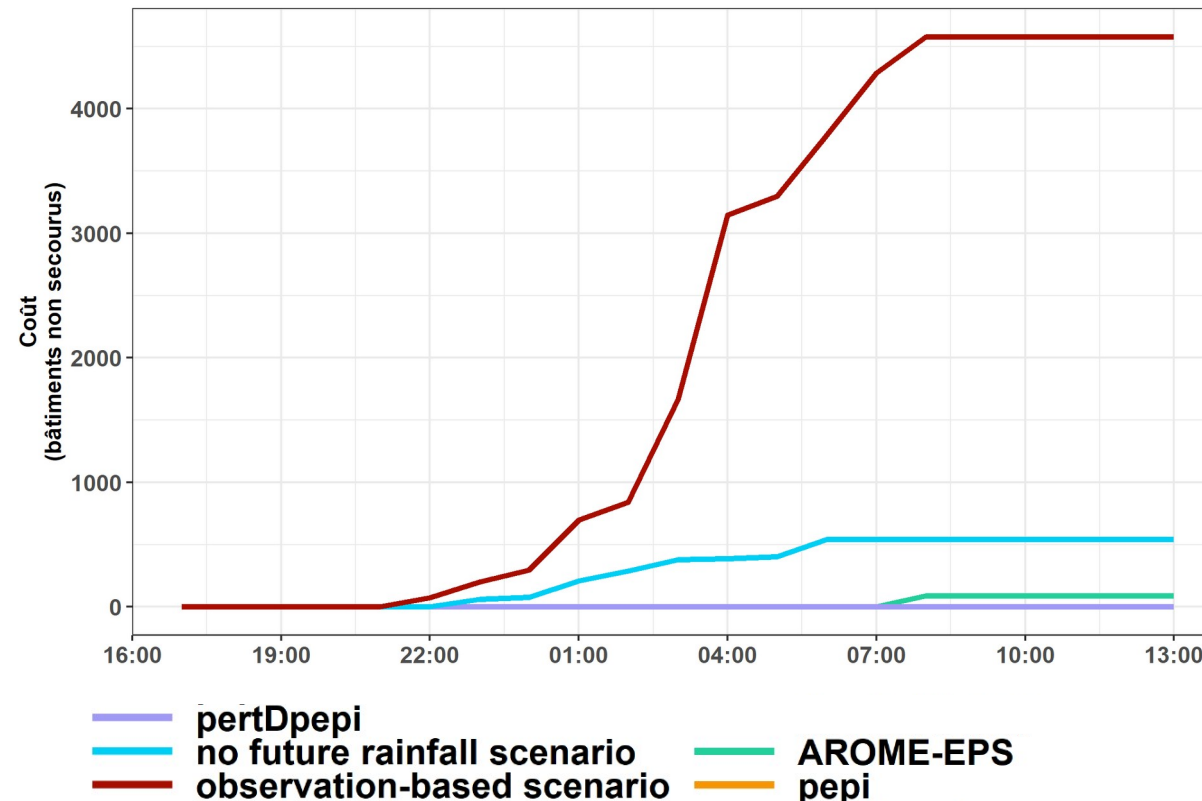
Sorties du modèle

Evaluation de l'efficacité

Résultats

Conclusion

Fonction coût: nb de bâtiments non secourus à



Cas plus réaliste : moyens de secours limités (92 équipes)

Paramètres de simulation



Seuil d'intervention : 25 bâtiments



Nombre d'équipes : 92



Capacité d'intervention : 100 bâtiments par équipe

Objectif

Fonctionnement du modèle multi-agents

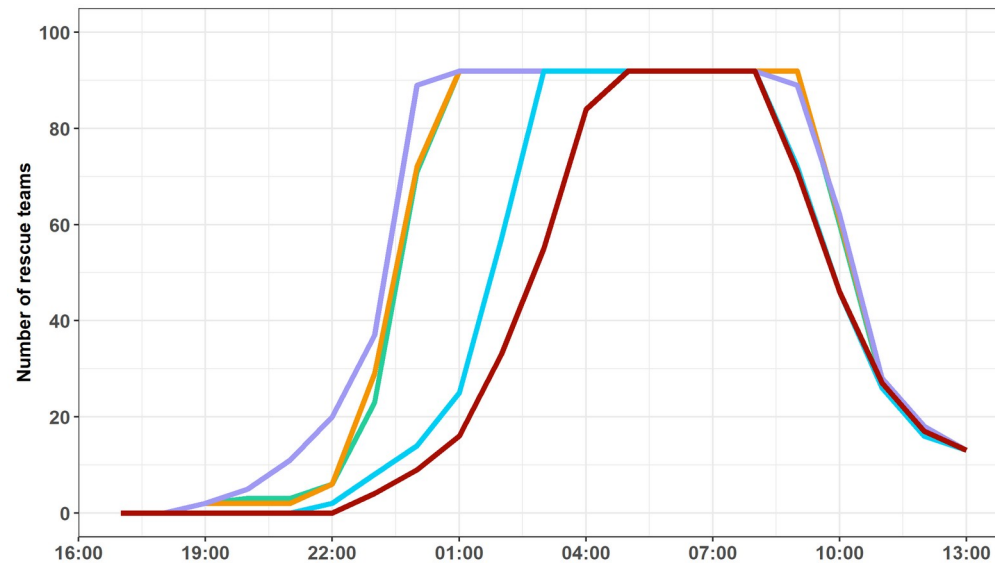
Sorties du modèle

Evaluation de l'efficacité

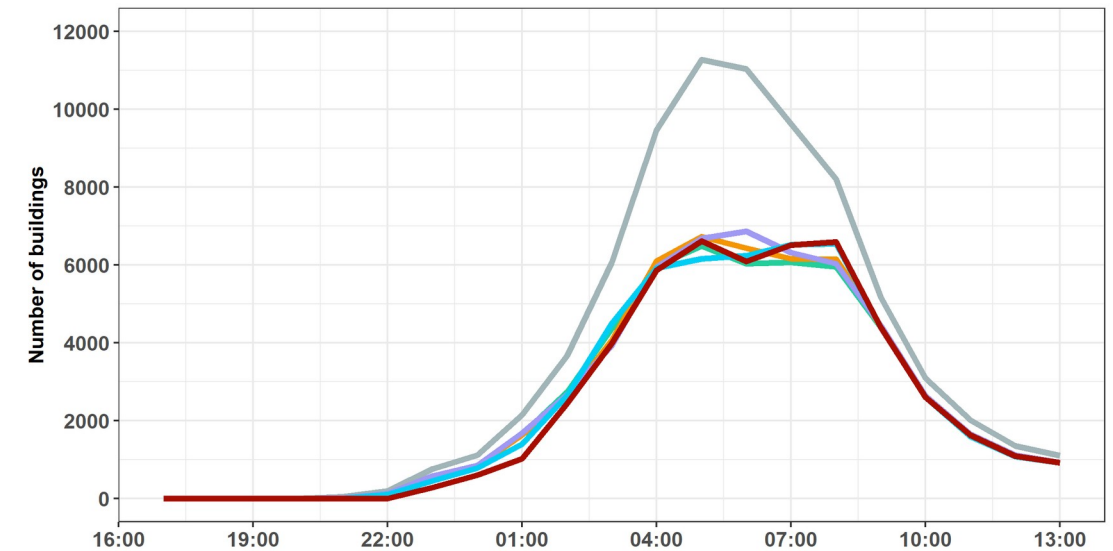
Résultats

Conclusion

Nombre d'équipes



Nombre de bâtiments



pertDpepi
no future rainfall scenario
observation-based scenario
flooded buildings
AROME-EPS
pepi

Cas plus réaliste : moyens de secours limités (92 équipes)

Paramètres de simulation



Seuil d'intervention : 25 bâtiments



Nombre d'équipes : 92



Capacité d'intervention : 100 bâtiments par équipe

Objectif

Fonctionnement du modèle multi-agents

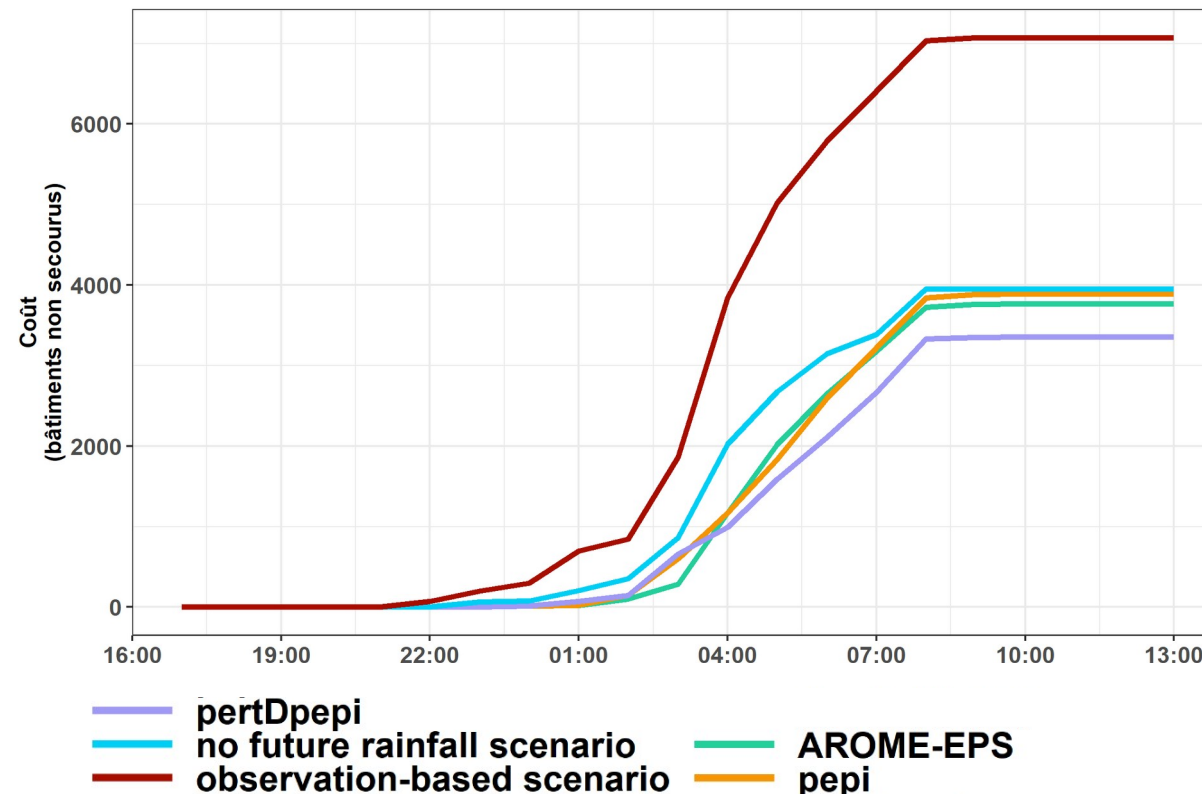
Sorties du modèle

Evaluation de l'efficacité

Résultats

Conclusion

Fonction coût: nb de bâtiments non secourus à



Conclusions

Performance des prévisions d'ensemble de pluie testées

- ✚ Plus-value des prévisions particulièrement visible en cas de moyens d'intervention illimités
- ✚ La plus-value des prévisions est moins importante en cas de moyens limités (fausses alarmes, interventions concentrées sur les principaux impacts,..).
- ✚ Les décisions basées sur les prévisions ne sont jamais plus mauvaises que celles basées sur les observations de terrain.
- ✚ Les décisions basées sur un scénario de pluie future nulle sont parfois presque aussi efficaces qu'avec les prévisions de pluies

Réalisme du modèle multi-agents

- ✚ Plusieurs pistes d'amélioration :
 - Modèle d'impacts basés sur la population touchée
 - Fonction cout, et évaluation du « gain » lié aux interventions rapides
 - Temps de trajets et perturbations liées aux itinéraires inondés
 - Durées d'intervention et réaffectation des équipes

Objectif

Fonctionnement du modèle multi-agents

Sorties du modèle

Evaluation de l'efficacité

Résultats

Conclusion

Pour plus de détails, cf. article soumis à Journal of Hydrology:

Charpentier-Noyer, M. , Payraastre, O. , Gaume, E. , Nicolle, P. , Bouttier, F. , Fleury, A. and Marchal, H.,

An Agent-Based Modeling of Rescue Operations for the Evaluation of Short-Range Flash Flood Ensemble Forecasts.

<https://ssrn.com/abstract=4637790> or

<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4637790>