



Vers une prévision du risque ruissellement par la modélisation hydrologique

Conférence technique territoriale organisée par le CEREMA
Les inondations par ruissellement : de la prévision à la cartographie
de l'aléa – Juin 2023





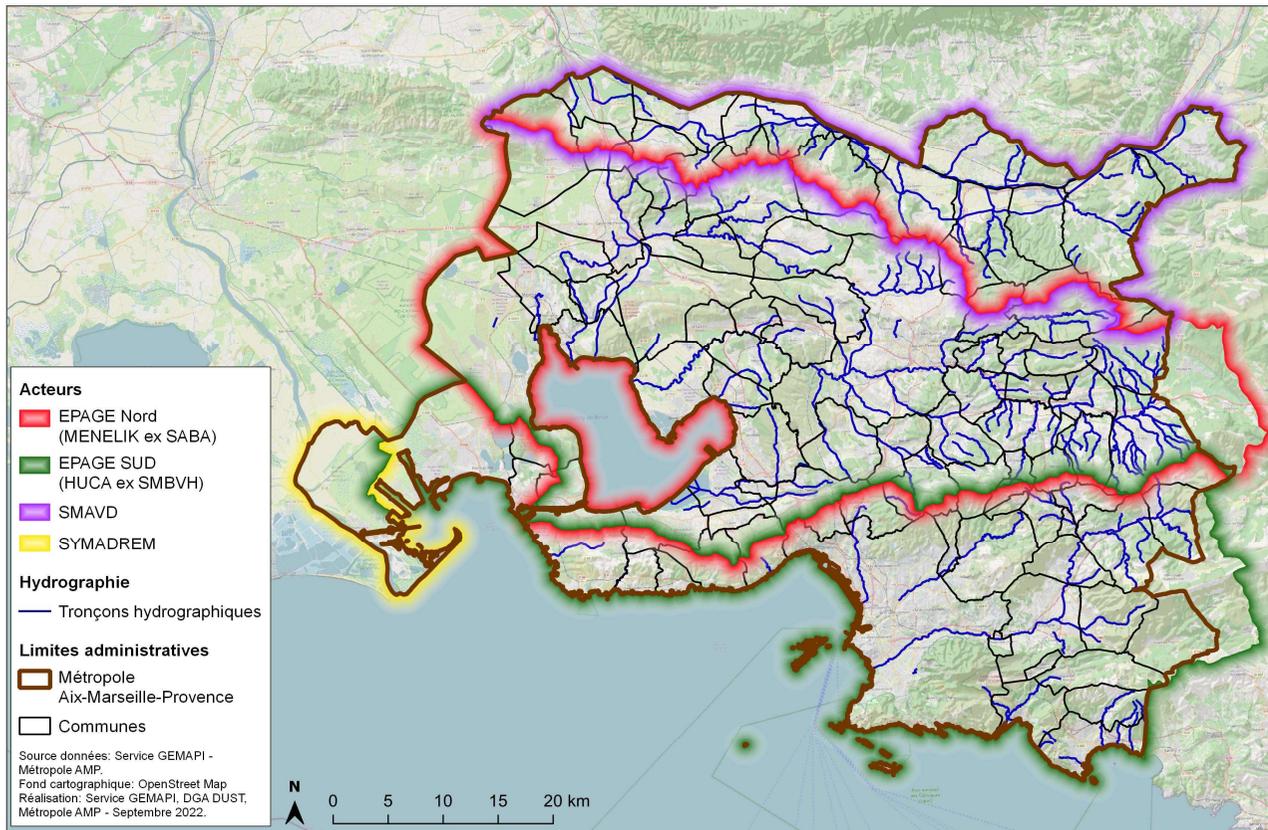
L'AMBITION METROPOLITAINE

Conférence technique territoriale organisée par le CEREMA
Les inondations par ruissellement : de la prévision à la cartographie de l'aléa – Juin 2023

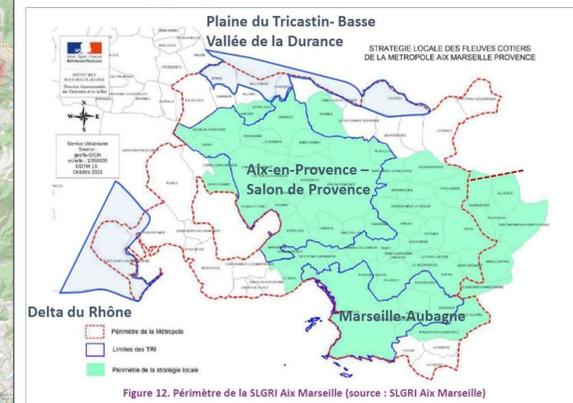


L'organisation territoriale de la GEMAPI à la Métropole

Organisation de la compétence GEMAPI sur le territoire de la Métropole Aix-Marseille-Provence.



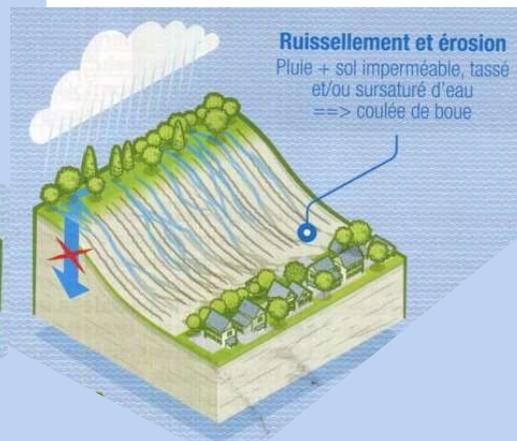
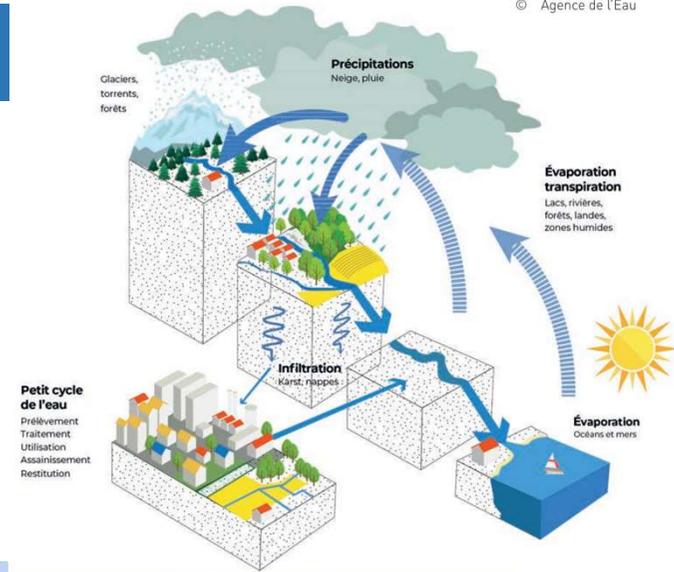
- 92 communes
- 3 200 km²
- 1,9 millions d'habitants
- 4 grands BV :
 - Mer,
 - Etang de Berre,
 - Durance
 - Delta du Rhône
- Près de 3000 km de cours d'eau
- 4 TRI



Les grands principes de la GEMAPI

UNE NECESSAIRE APPREHENSION GLOBALE DES PHENOMENES

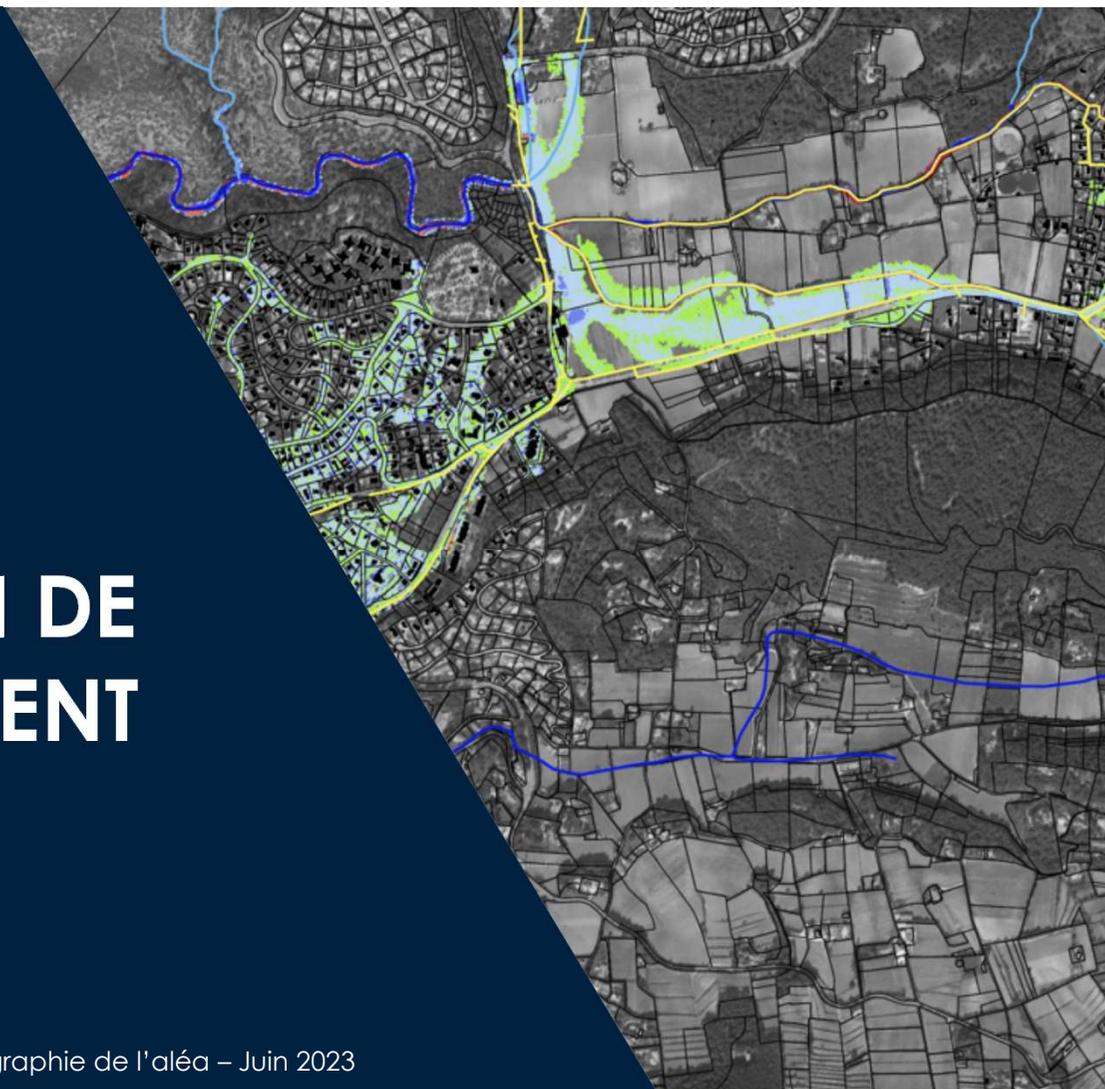
↳ Les grand et petit cycles de l'eau - Infographie Agam, © Agence de l'Eau





CARACTERISATION DE L'ALEA RUISSELLEMENT

Conférence technique territoriale organisée par le CEREMA
Les inondations par ruissellement : de la prévision à la cartographie de l'aléa – Juin 2023



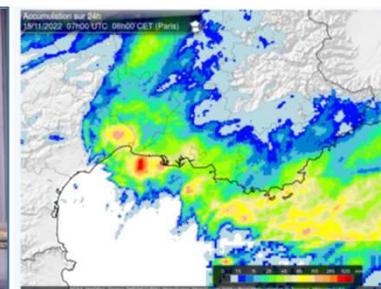
Un aléa ruissellement prégnant

- **Un territoire concerné par les épisodes méditerranéens**

- Des aléas météoriques de grande ampleur :
 - **150 à 250mm en quelques heures** (Septembre 1993 et 2000, Décembre 2003, Octobre 2021),
 - **150 à 350 mm en quelques jours** (Janvier 1978)



Aix, 22 Sept 1993

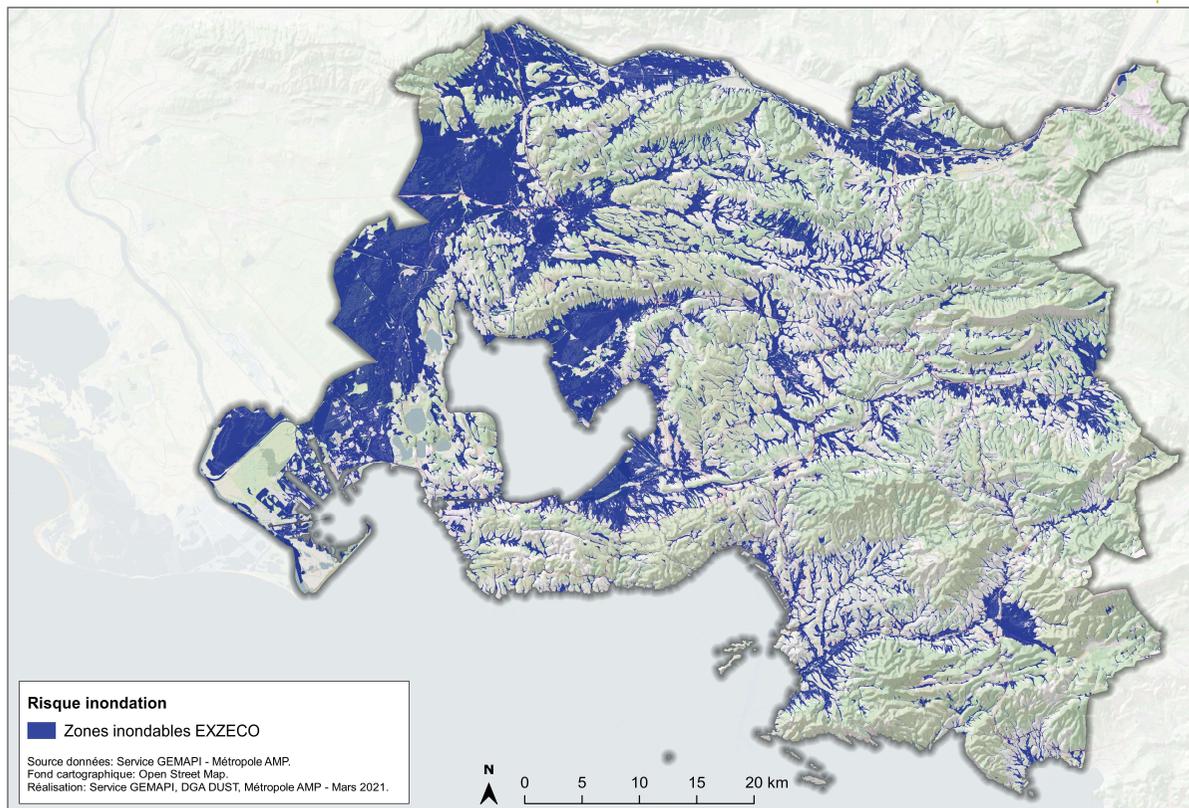


- **Réponses de la Métropole :**

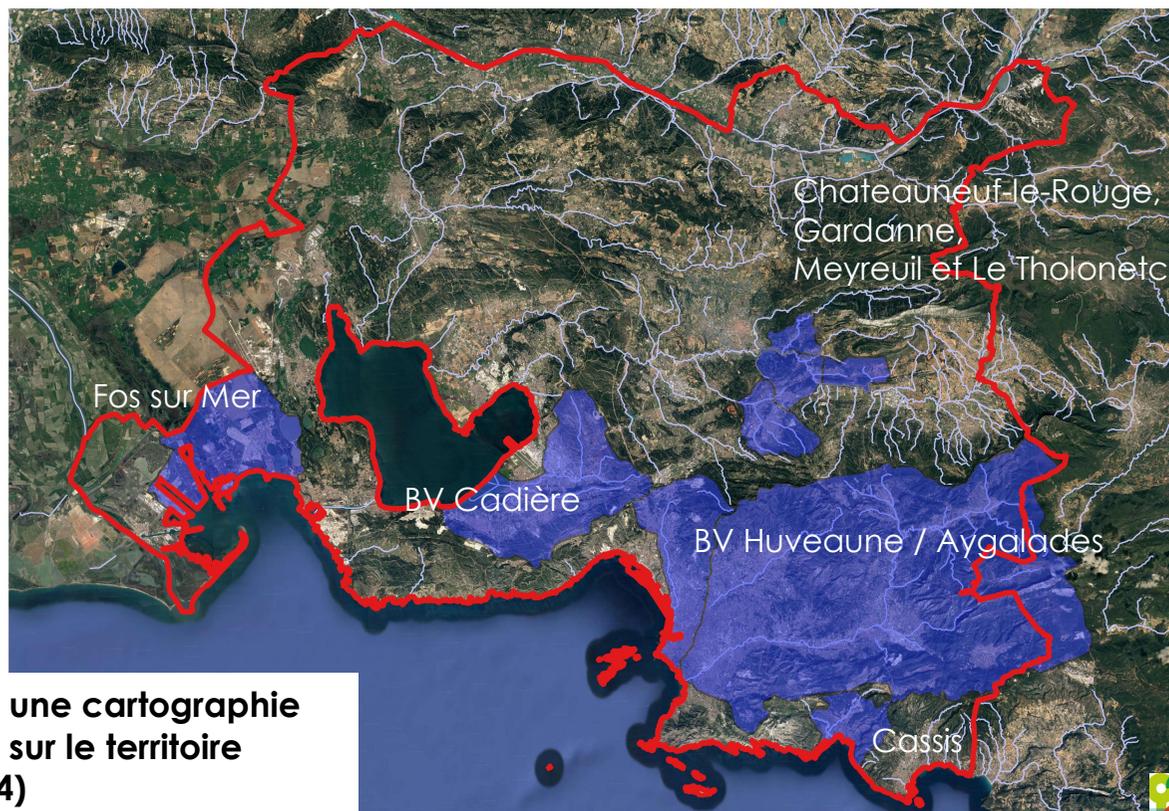
- Essor de la **Cellule de veille hydrométéorologique** (Astreinte GEMAPI)
- Création d'une **cellule de Modélisation**
- **Partenariats R&D**

Caractérisation de l'aléa ruissellement sur le territoire métropolitain

Déinition des espaces potentiellement inondables (EXZECO) sur le territoire de la Métropole Aix-Marseille-Provence.



Caractérisation de l'aléa ruissellement sur le territoire métropolitain



Territoires couverts par une cartographie de l'aléa ruissellement sur le territoire (premier semestre 2024)

Conférence technique territoriale organisée par le CEREMA - Les inondations par ruissellement : de la prévision à la cartographie de l'aléa – Juin 2023

Caractérisation de l'aléa ruissellement sur le territoire métropolitain

Engagement dans plusieurs projets de recherche et développement :

- Partenariat avec **CEREMA** : Analyse de l'aléa ruissellement sur l'ensemble du territoire métropolitain – Cartino 2D.
- Travail sur 3200 km² de la Métropole
 - Reproduire des évènements historiques avec des approches automatiques – Cartino 2D
 - Plus de 50 scénarios mélangeant Pluie, Humidité, Occupation du Sol
 - Couvrir une large gamme d'évènements pour l'alerte des inondations intégrant les problématiques changement climatique, feux de forêts, désimperméabilisation
- Projet de Partenariat avec **INRAE** : Développement d'outils d'expertise et de gestion des crises hydrométéo (contrat CIFRE)
- Projet de Partenariat avec **CEREGE** pour projet pilote de cartographie géologique et hydraulique d'infiltrabilité du territoire de la Métropole Aix-Marseille Provence





MODELISATIONS HYDROLOGIQUES

Conférence technique territoriale organisée par le CEREMA
Les inondations par ruissellement : de la prévision à la cartographie de l'aléa – Juin 2023



Modélisations hydrologiques

- **Caractéristiques générales**

- Modèles continus, globaux à semi-globaux conceptuels Karstique (MPBK) et Non Karstique (MPBNK 1C/2C)
- Equation générale :

Composante « Rapide »
liée à Humidité du « sol »
et du « karst »

$$Q = Q_R + Q_H + \sum_{i=1}^{i=2} \varepsilon_i Q_{L_i}$$

Composante « Hortonienne »
liée à l'intensité des pluies 1h,
2h et 3h et l'humidité du sol

Composantes « Lentes »
alimentant phases
récessives

Modélisations hydrologiques

- **Données d'entrée des modèles hydrologiques**

- Pluies de bassin 1H (= pas de temps)
 - ❖ Observées : Antilope / Comephore
- Données SIM* (chaîne Safran Isba Modcou de Météo France)
 - ❖ Hu2 (W/Wsat) horaire (moyenne de bassin)
 - ❖ Evaporation quotidienne (moyenne de bassin)
- Débits observés (réseau DREAL et MAMP/SERAMM)

** 1 point modélisé pour 64 km²*



Modélisations hydrologiques

- **Focus sur la production hortonienne : motivations**

- Réactions hydrologiques parfois importantes sur sol et karst secs
 - Urbanisation
 - Fortes pentes (talwegs)
 - Géologie
- Nécessité d'une production dépendant de l'intensité des pluies (à l'instar du **GRSDi** ; Perodo et al, 2022)

Modélisations hydrologiques

- **Focus sur la production hortonienne : descriptif**

- S'appuie sur une batterie de seuils de pluies 1h, 2h et 3h
 - déclenchement / tout ruissellement
 - selon humidité du sol (paramètre Hu2 de SIM – Météo France)
- $C_R = \text{Fonction (intensité pluie, Hu2)}$
- L'eau ruisselante est dirigée vers un réservoir H_{hort} qui se vidange au taux : $Q_h = a_h \times H_{hort}$

Modélisations hydrologiques

- **Focus sur la production hortonienne : descriptif**

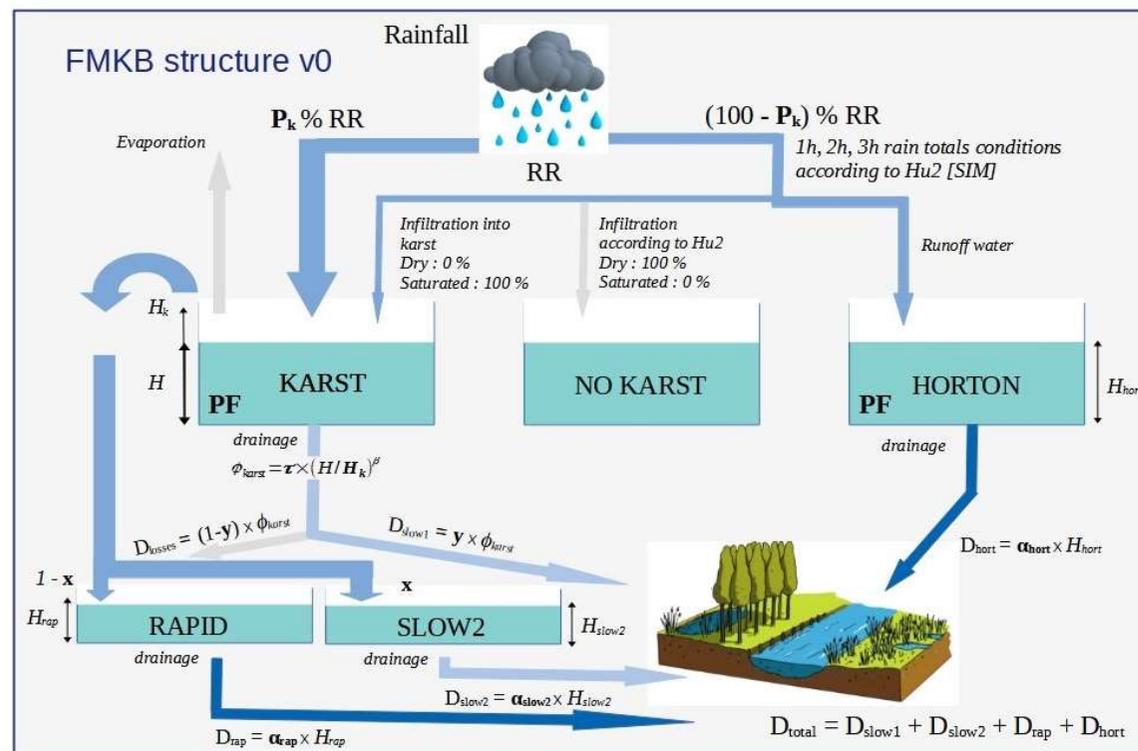
- Une batterie de seuils de pluies 1h, 2h et 3h
 - ❖ 2 Seuils SECS (Hu2 SIM) par cumul de pluie (1h, 2h et 3h) :
 - Seuil inf : la pluie (1h ou 2h ou 3h) commence à ruisseler
 - Seuil sup : toute la pluie (1h ou 2h ou 3h) ruisselle
 - ❖ 2 Seuils HUMIDES (Hu2 SIM) par cumul de pluie (1h, 2h et 3h)
 - ❖ Au total, par bassin, 12 seuils

	Echelle de temps	SEUILS HUMIDES	SEUILS SECS
Seuils INF	1H	2	5
	2H	3	7.5
	3H	3.5	8.75
Seuils SUP	1H	27.5	68.75
	2H	41.25	103.125
	3H	48	120.325

Exemple à Roquevaire

Modélisations hydrologiques

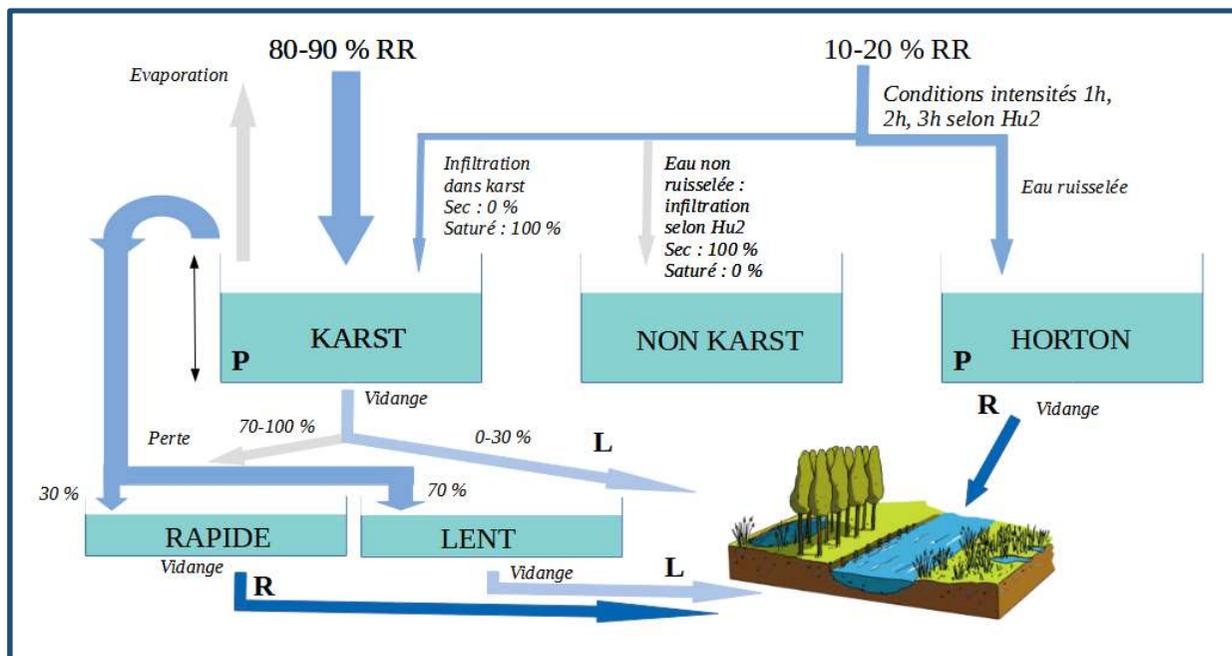
- Zoom sur le modèle **MPBK** : *Modèle de Prévission sur Bassins Karstiques*



- Bassin :**
Fraction karstique (P_k) + fraction ruisselante ($1 - P_k$)

Modélisations hydrologiques

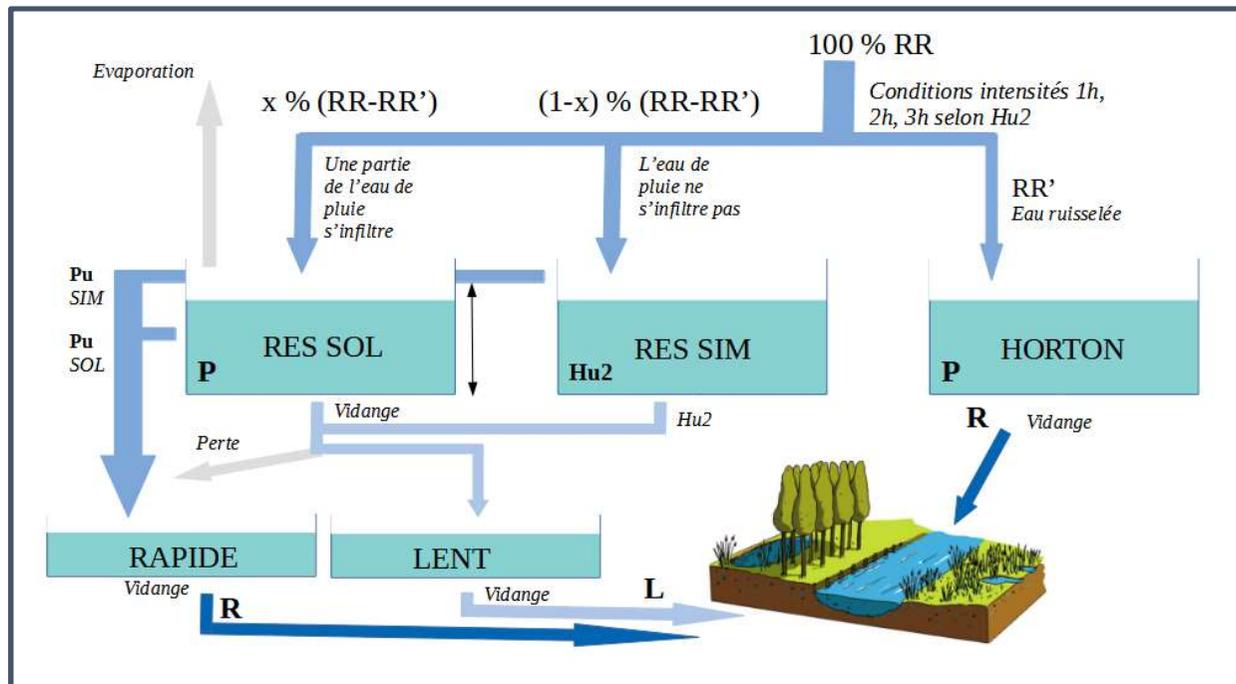
- Zoom sur le modèle **MPBK** : *Modèle de Prévision sur Bassins Karstiques*



- **Bassin :**
Fraction karstique (P_k) + fraction ruisselante ($1-P_k$)

Modélisations hydrologiques

- Zoom sur le modèle **MPBNK** : *Modèle de Prévion sur Bassins Non Karstiques*





Modélisations hydrologiques

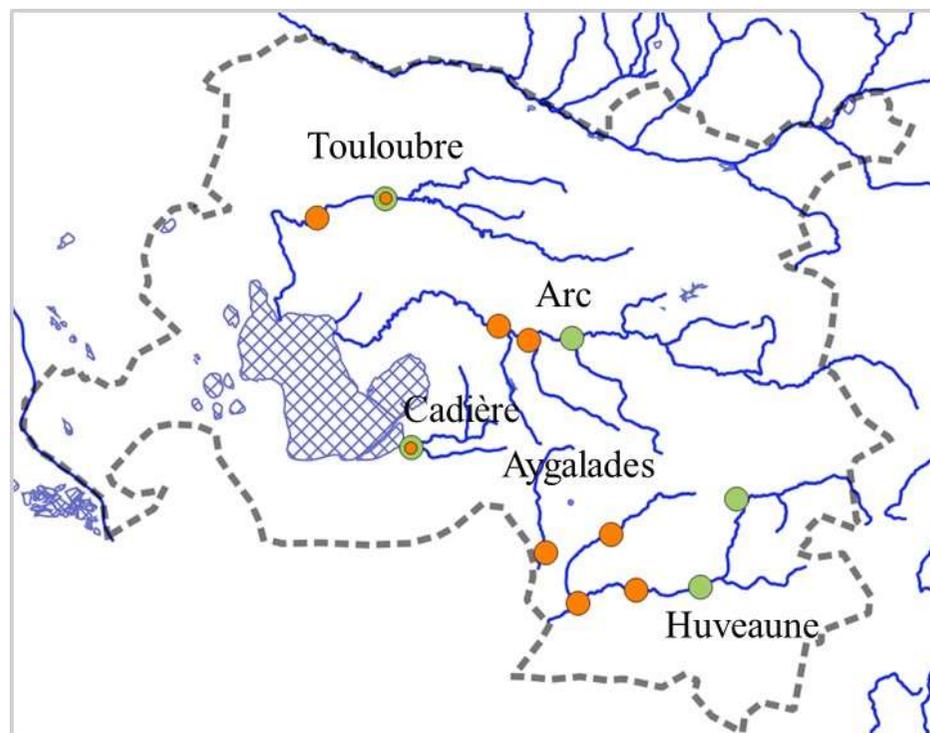
- **Calage**

- Manuelle à partir d'une IHM excel (interactivité)
- Quantitative : multicritère (NASH, EQM, POD/FAR...)
- Qualitative : visuelle
- Physique : crues sèches vs humides

Modélisations hydrologiques

- Couverture de la modélisation

- MPBNK 1C
- MPBK
- MPBK et MPBNK 1C



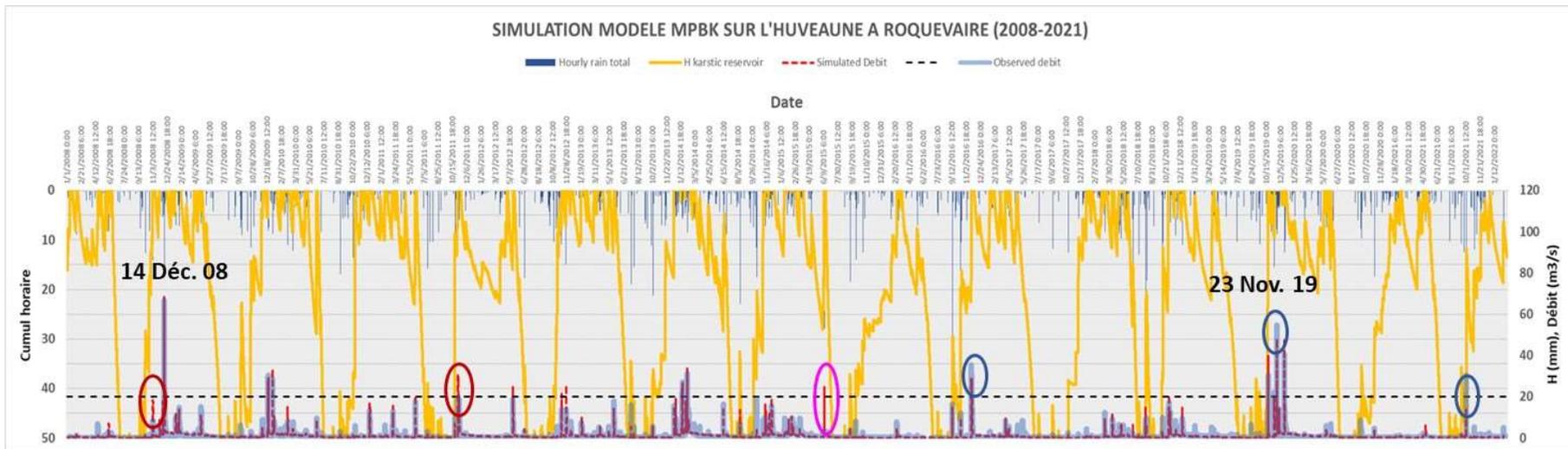
Modélisations hydrologiques

- **Performances : généralités**

- Correctes sur Meyreuil, Roquefavour, Roquevaire, Aubagne, St Marcel :
Nash ~ 0.7 – 0.85
- Moyen sur Touloubre/Cadière : Nash ~ 0.4-0.7
- Médiocre ailleurs : Nash < 0.4
- Des capacités de détection intéressantes : POD (pic/jaune) > 70 % en général

Modélisations hydrologiques

- Exemples de mise en oeuvre
 - HUVEAUNE à Roquevaire (MPBK)



○ Surestimation ○ Sous-estimation ○ Pb mesure

Modélisations hydrologiques

- Exemples de mise en oeuvre

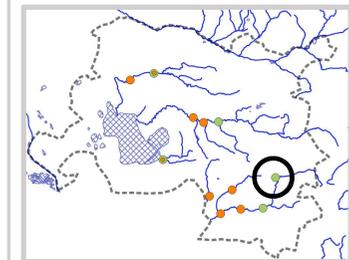
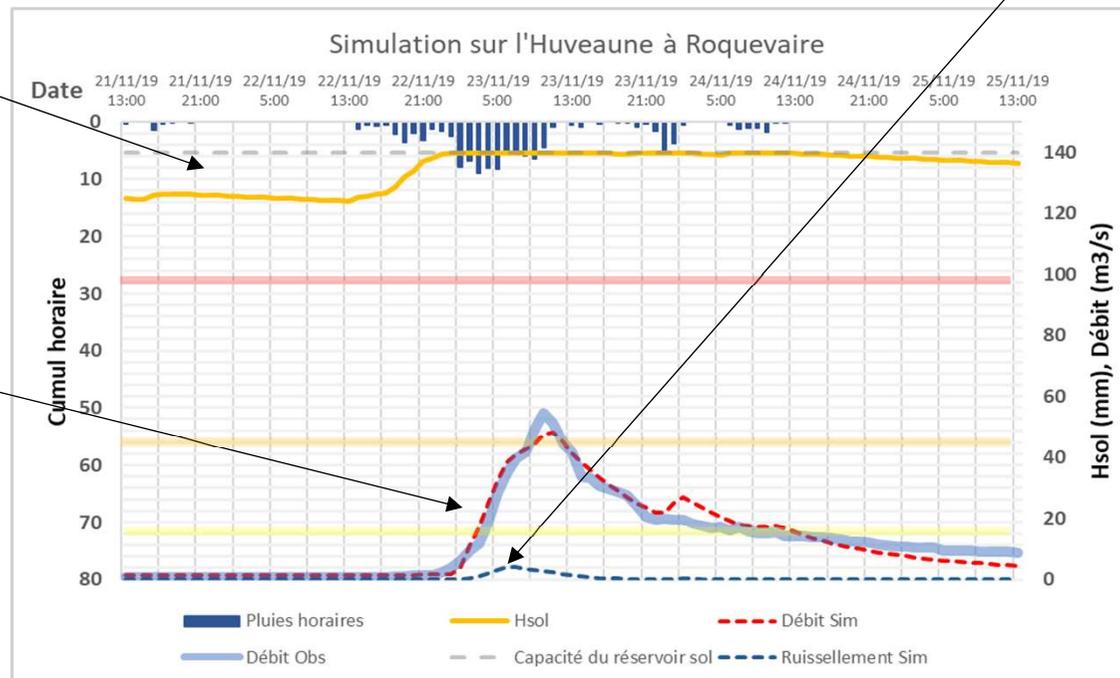
- HUVEAUNE à Roquevaire (MPBK)

Débit de ruissellement

Crue karstique !

Réservoir karst proche saturation

Débit total



**Crue du 23
Novembre 2019**

Modélisations hydrologiques

- Exemples de mise en oeuvre

- HUVEAUNE à Roquevaire (MPBK)**

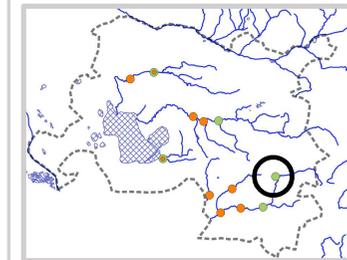
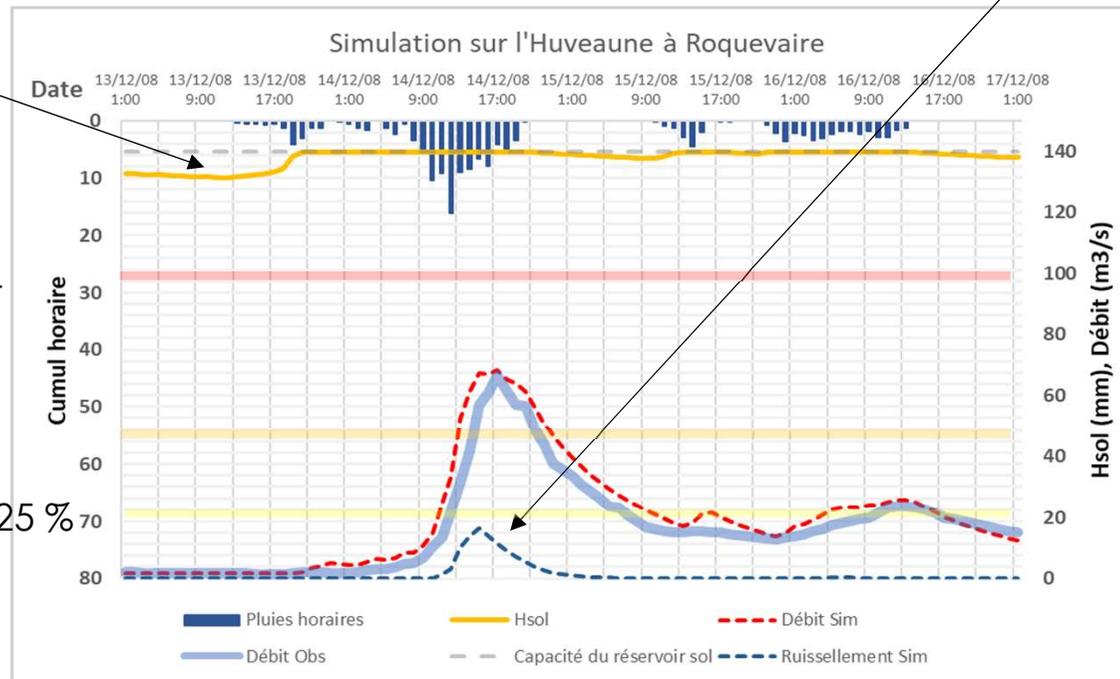
Débit de ruissellement

Réservoir karst proche saturation

Crue principalement karstique

Contribution ruissellement (dont surfaces saturées) ~ 25 %

Pic du 14 décembre 2008



Modélisations hydrologiques

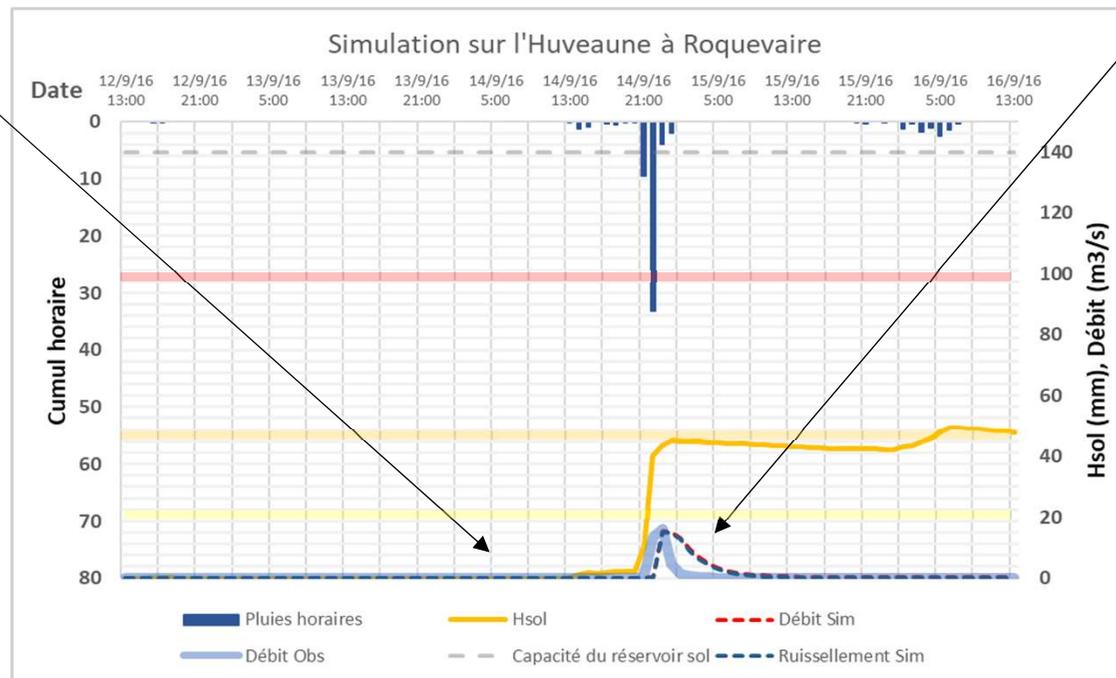
- Exemples de mise en oeuvre

- ❖ **HUVEAUNE à Roquevaire (MPBK)**

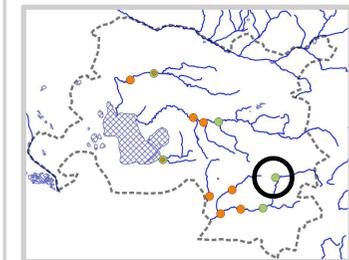
Réservoir karst vide

Pic purement hortonien

Pic du 14 septembre 2016



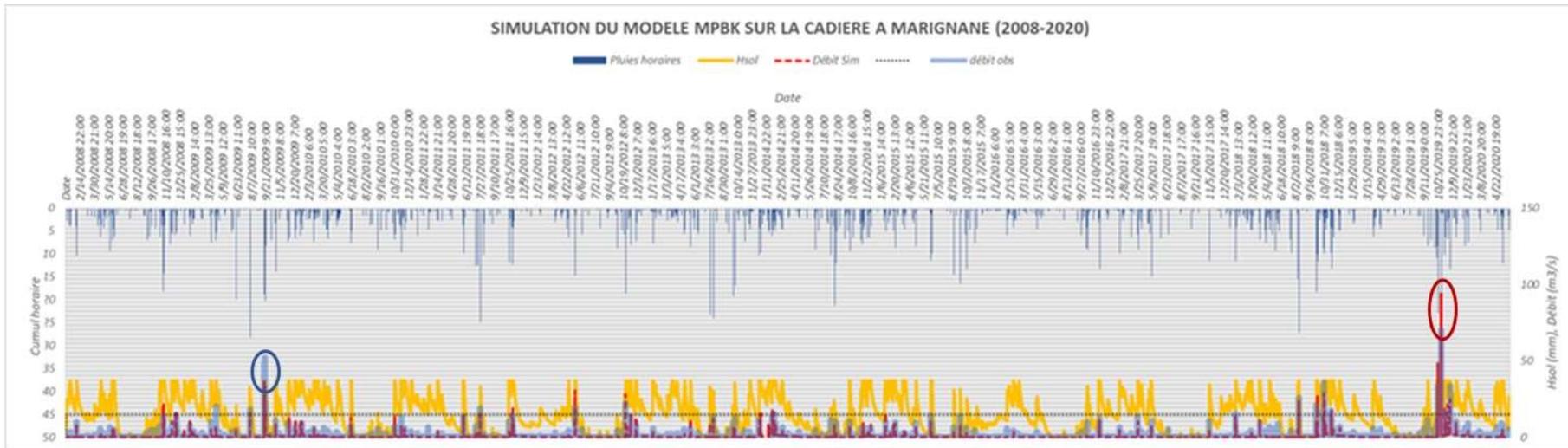
Débit de ruissellement = débit total



LAMETROPOLE
AIX-MARSEILLE-PROVENCE

Modélisations hydrologiques

- Exemples de mise en oeuvre
 - ❖ **CADIERE à Marignane (MPBK)**

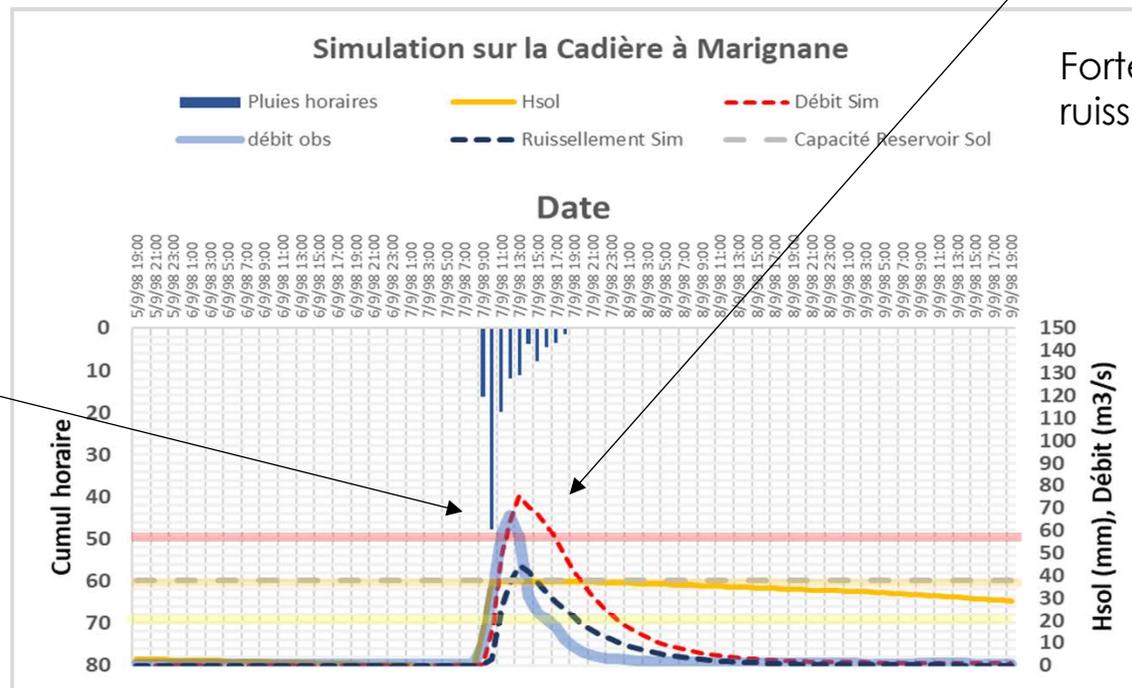


○ Surestimation ○ Sous-estimation ○ Pb mesure

Modélisations hydrologiques

- Exemples de mise en oeuvre

 - ❖ **CADIÈRE à Marignane (MPBK)**

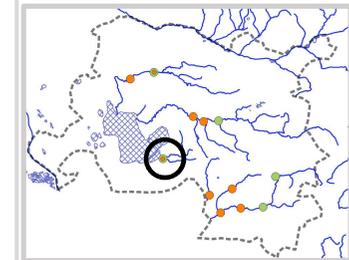


Débit de ruissellement

Forte contribution du ruissellement (> 50 %)

Débit total

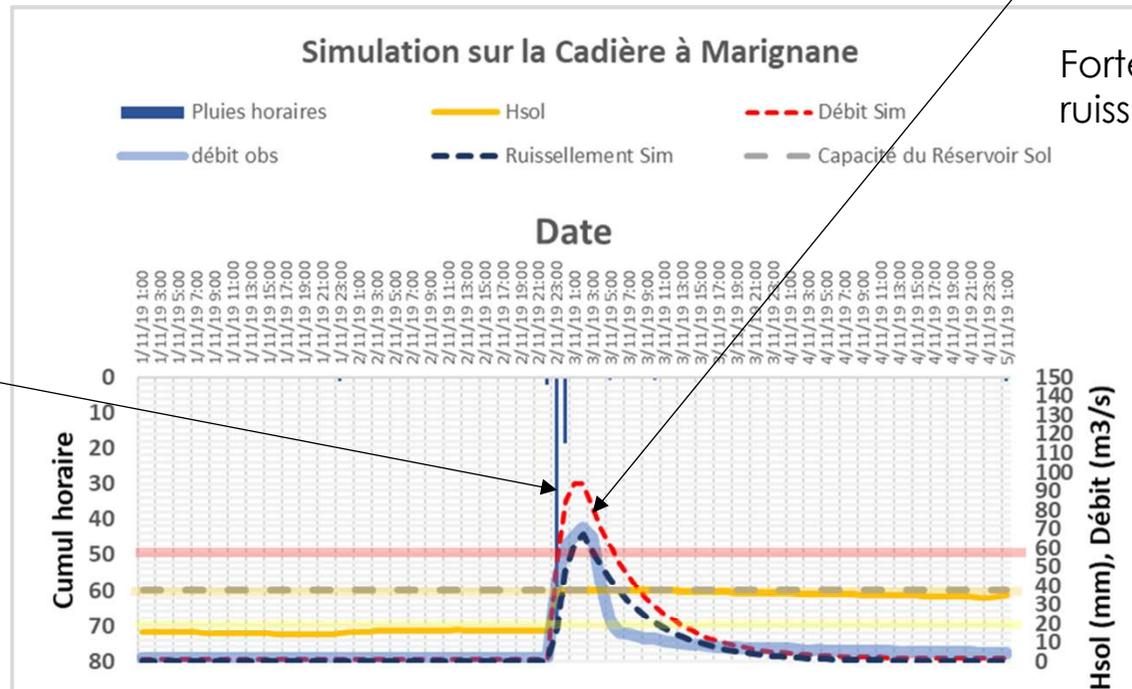
Crue du 7 septembre 1998



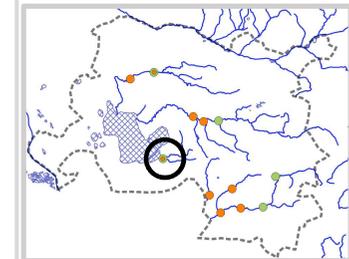
Modélisations hydrologiques

- Exemples de mise en oeuvre

 - ❖ *CADIÈRE à Marignane (MPBK)*

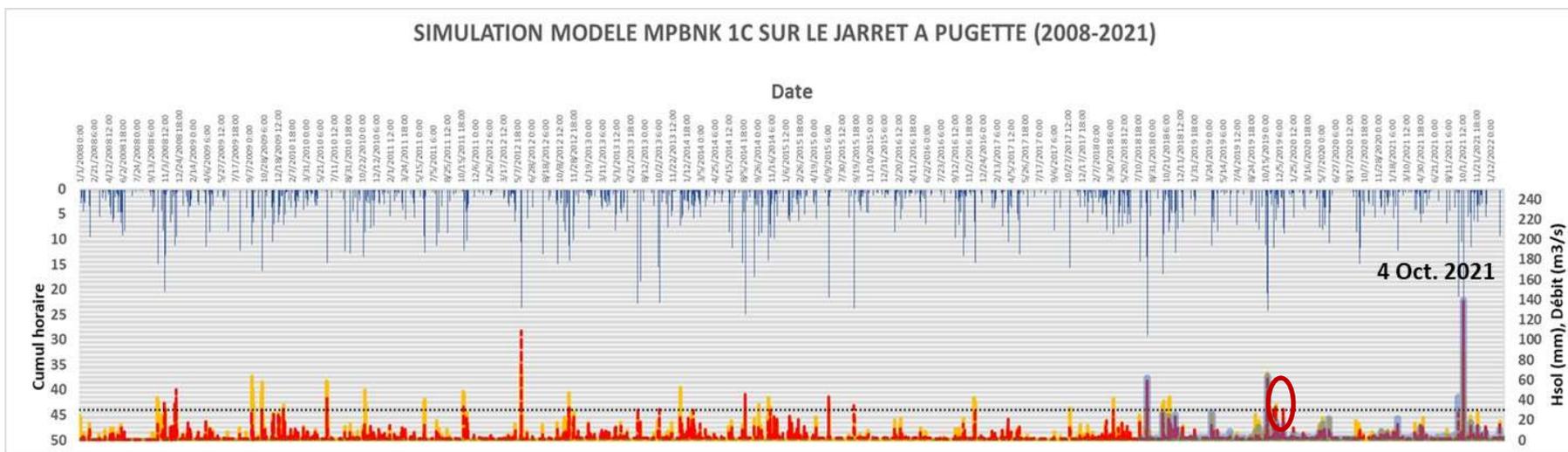


Crue des 2 et 3 novembre 2019



Modélisations hydrologiques

- Exemples de mise en oeuvre
 - JARRET à Pugette (MPBNK)



Surestimation



Sous-estimation

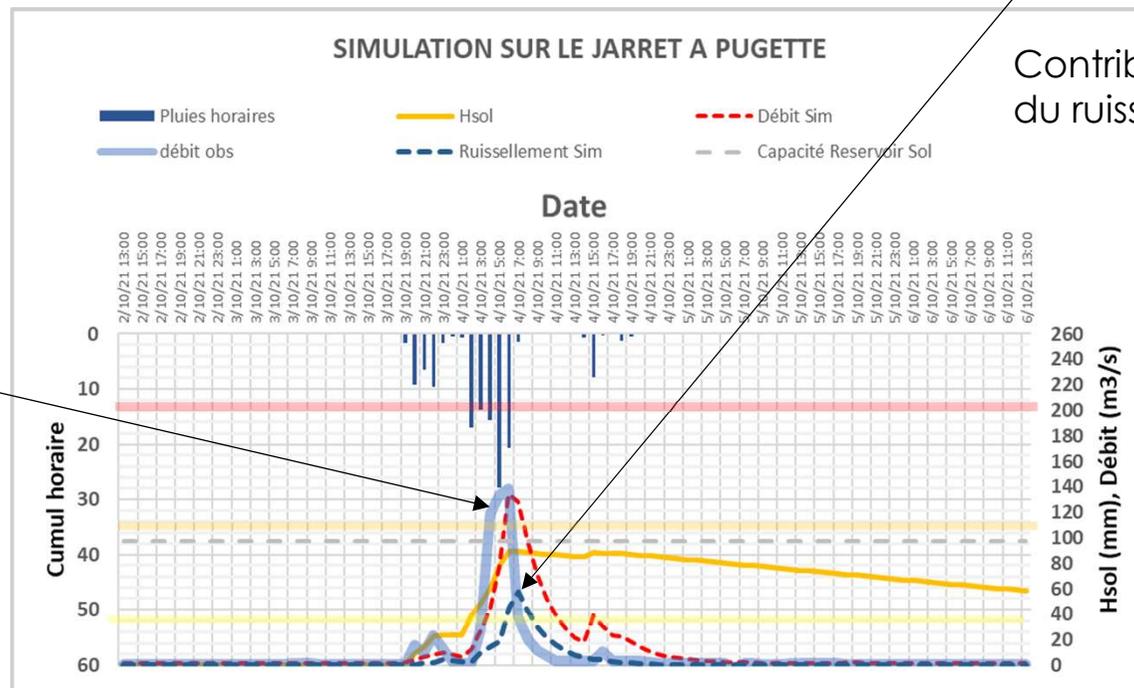


Pb mesure

Modélisations hydrologiques

- Exemples de mise en oeuvre

 - JARRET à Pugette (MPBNK)

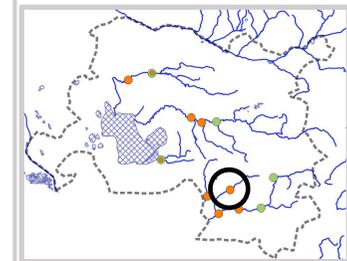


Débit de ruissellement

Contribution significative du ruissellement (~ 40 %)

Débit total

Crue du 4 Octobre 2021



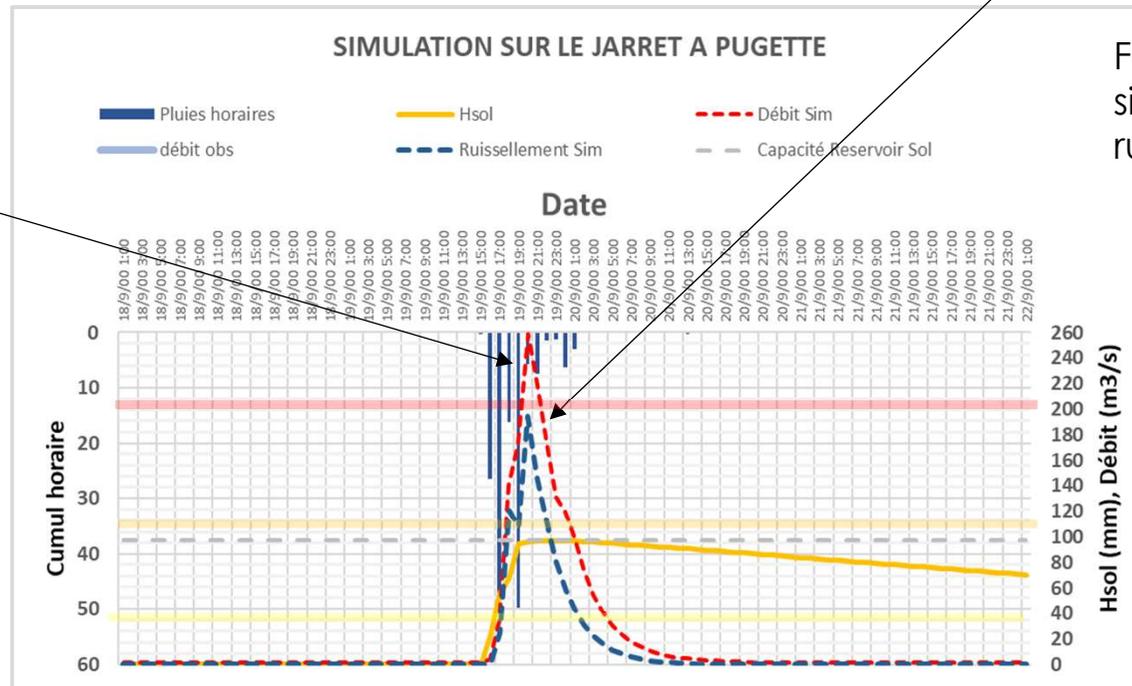
Modélisations hydrologiques

- Exemples de mise en oeuvre

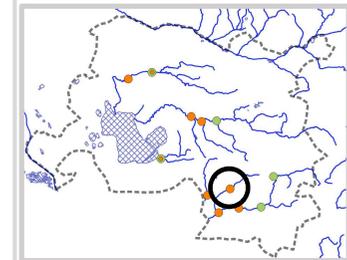
- ❖ **JARRET à Pugette (MPBNK)**

Débit total

Débit de ruissellement



Forte contribution significative de ruissellement (75 %)



LAMETROPOLE
AIX-MARSEILLE-PROVENCE

**Crue du 19
septembre 2000**

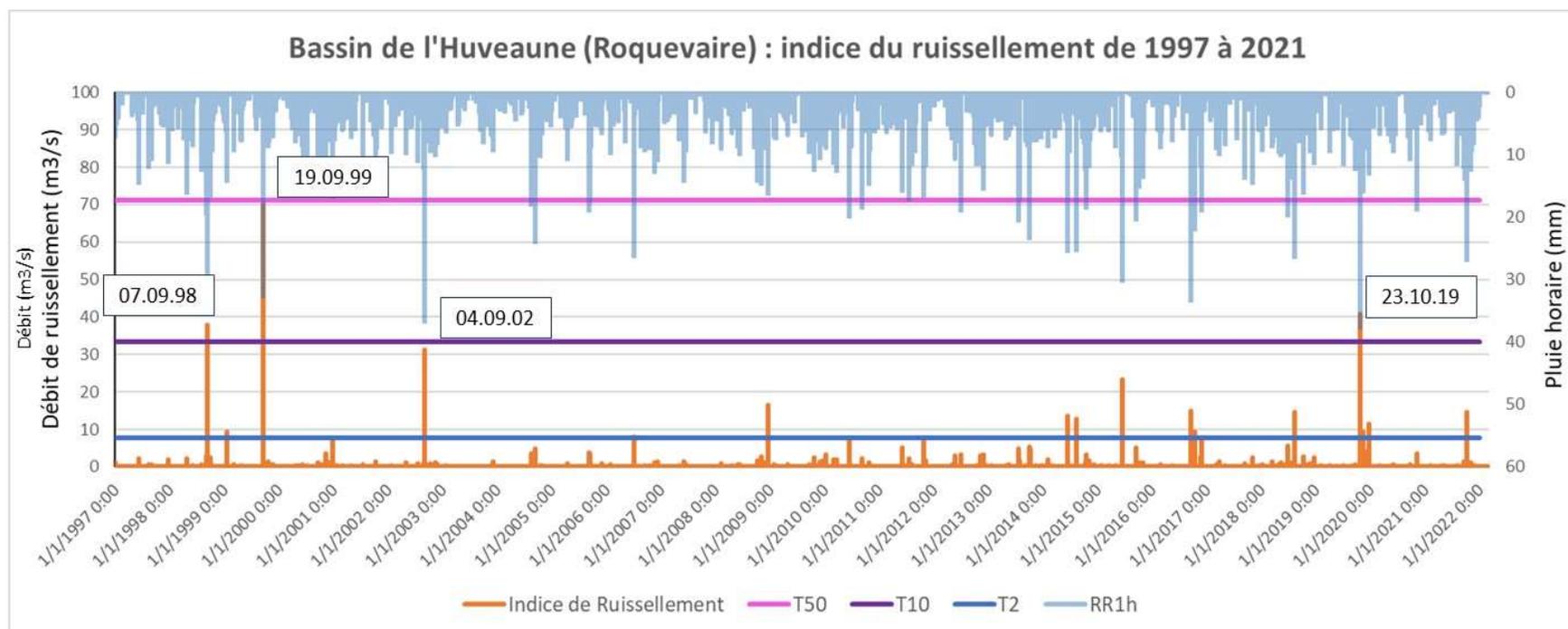


Diagnostic du ruissellement

- **Le diagnostic du ruissellement**
 - Exploitation du débit hortonien
 - Chronique sur 25 ans (1997-2021)
 - Approche type « AIGA » (INRAE / Météo France)
 - Caractérisation en période de retour : 2, 10 et 50 ans

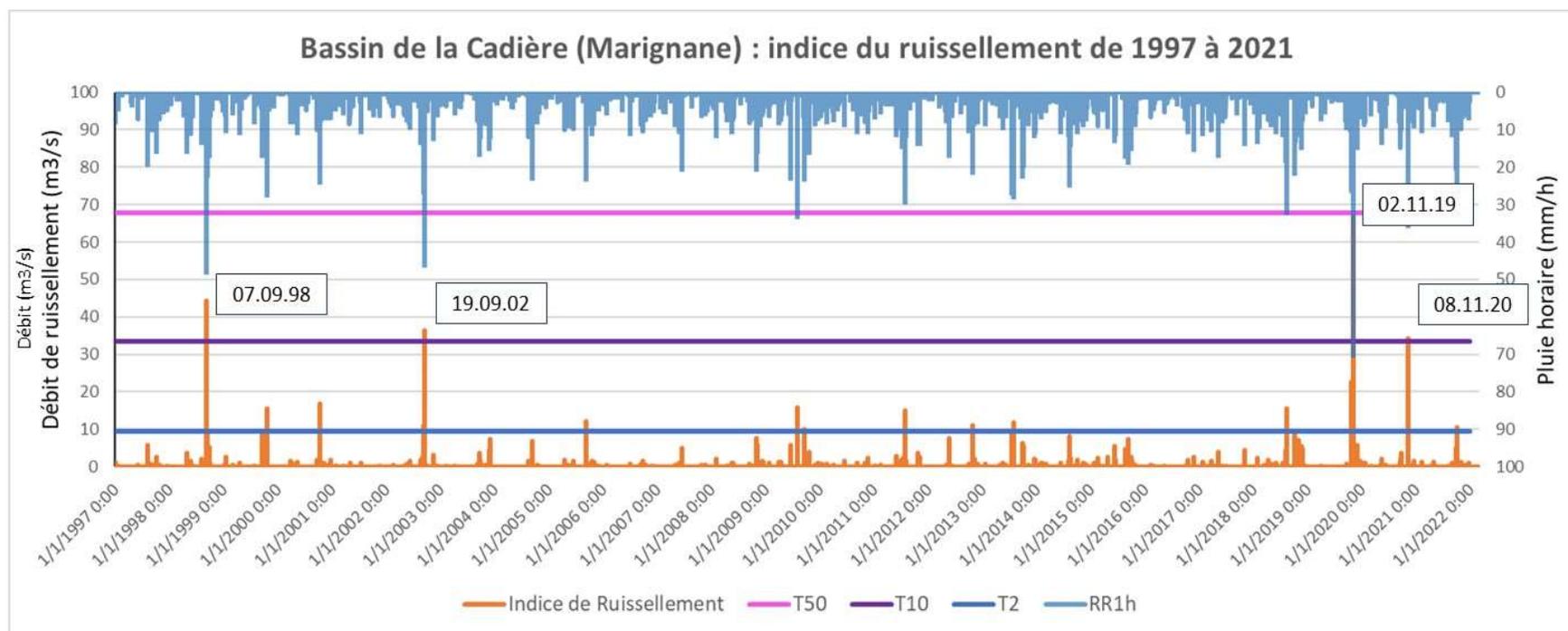
Diagnostic du ruissellement

- Exemple sur l'Huveaune (Roquevaire)



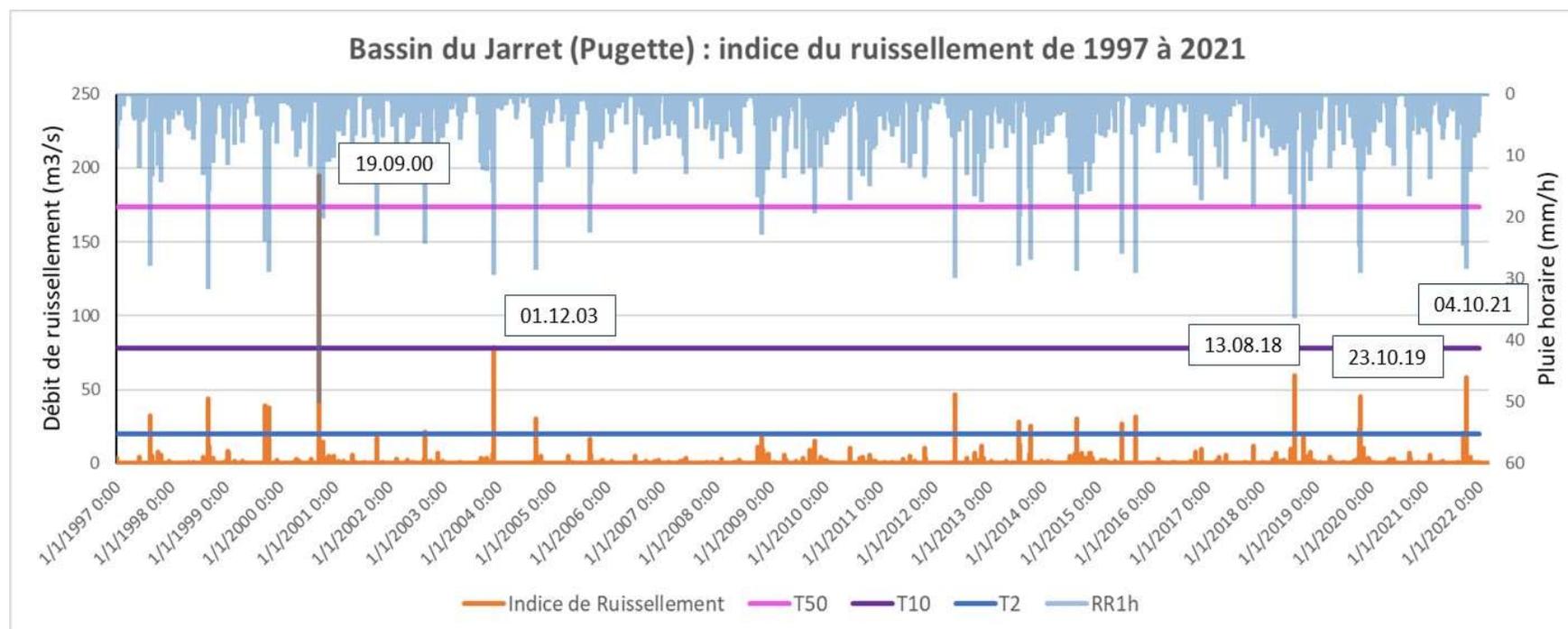
Diagnostic du ruissellement

- Exemple sur la Cadière (Marignane)



Diagnostic du ruissellement

- Exemple sur le Jarret (Pugette)





Projet d'application temps réel

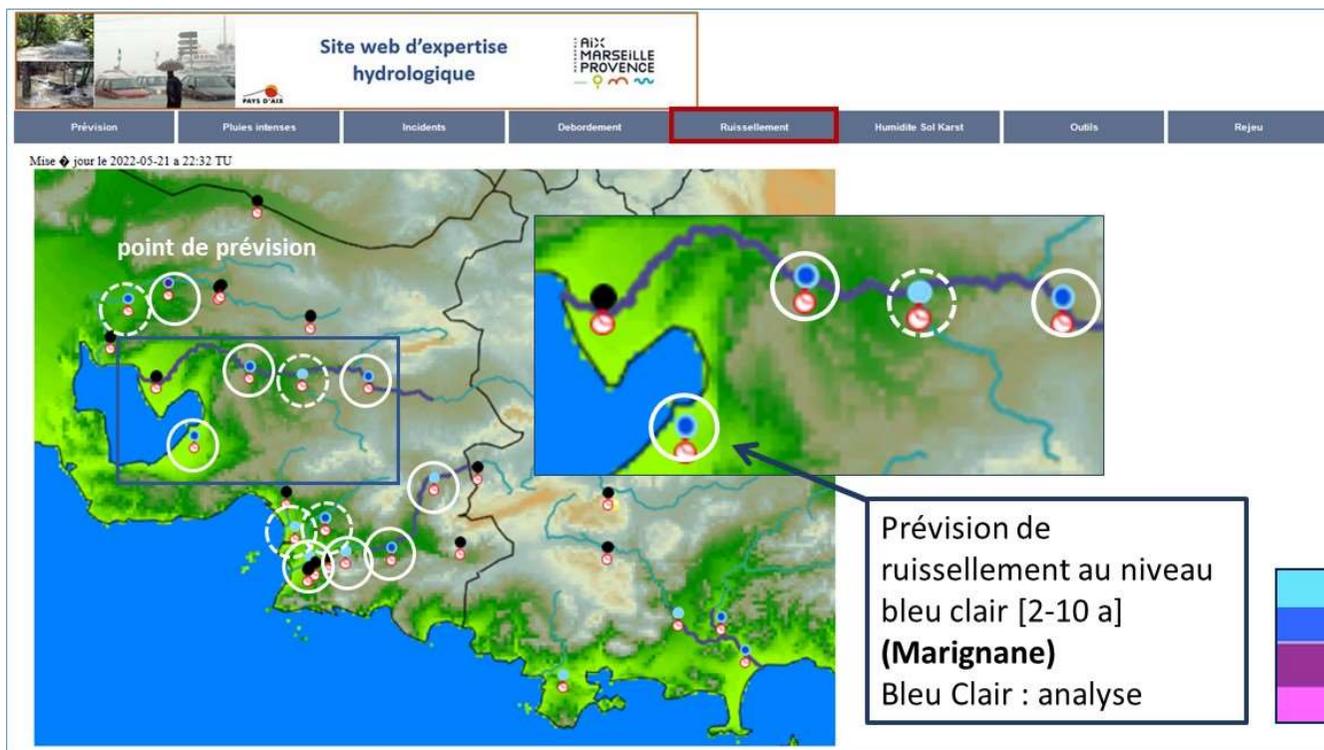
- **Aspects généraux**

- Construction envisagée plateforme inspirée du SPC ME
- Traitant aussi le ruissellement (mise en œuvre des modélisations hydrologiques et du diagnostic)
- Alimentée en temps réel par données SIM (Hu2, Evaporation), pluies observées et prévues



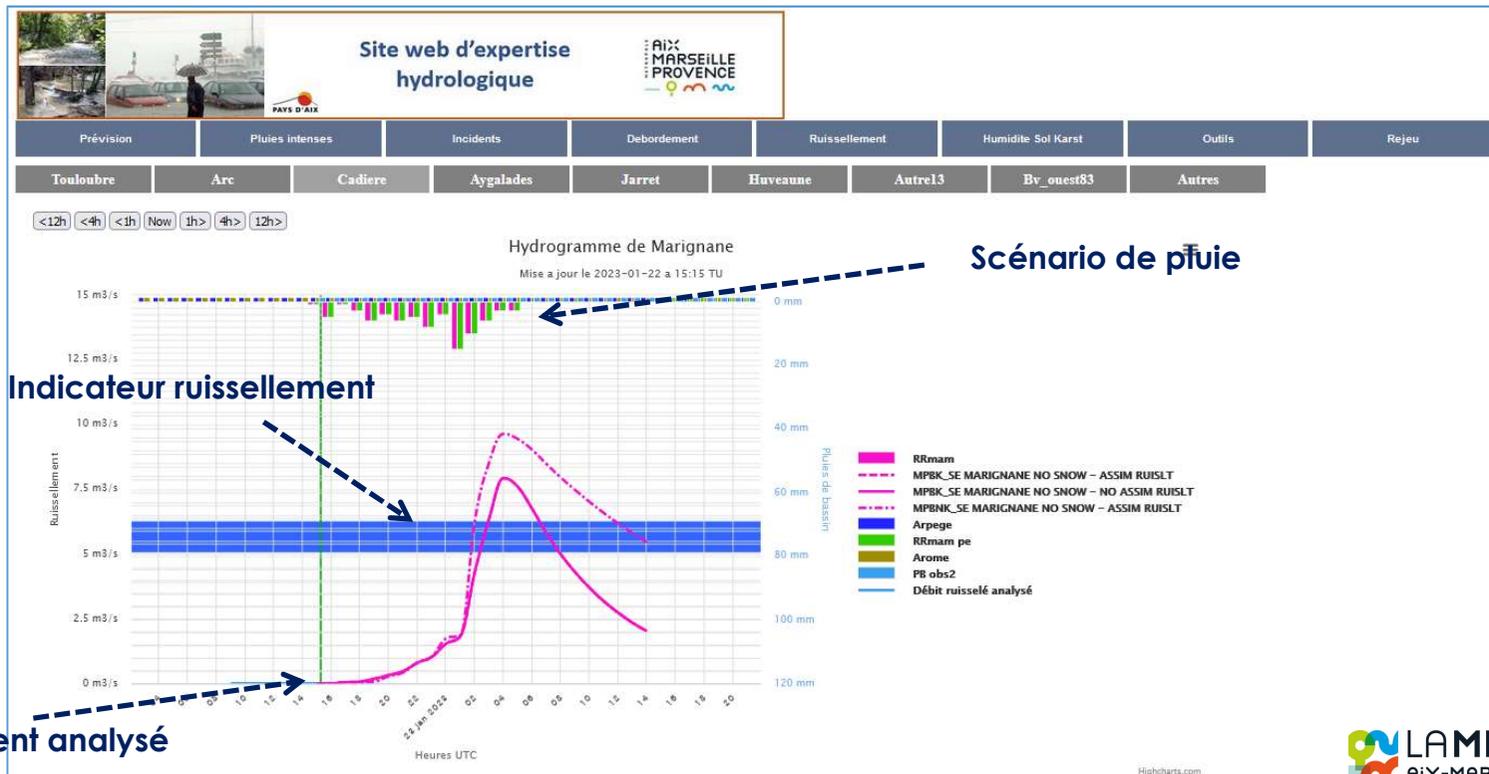
Projet d'application temps réel

- L'IHM : supervision du ruissellement



Projet d'application temps réel

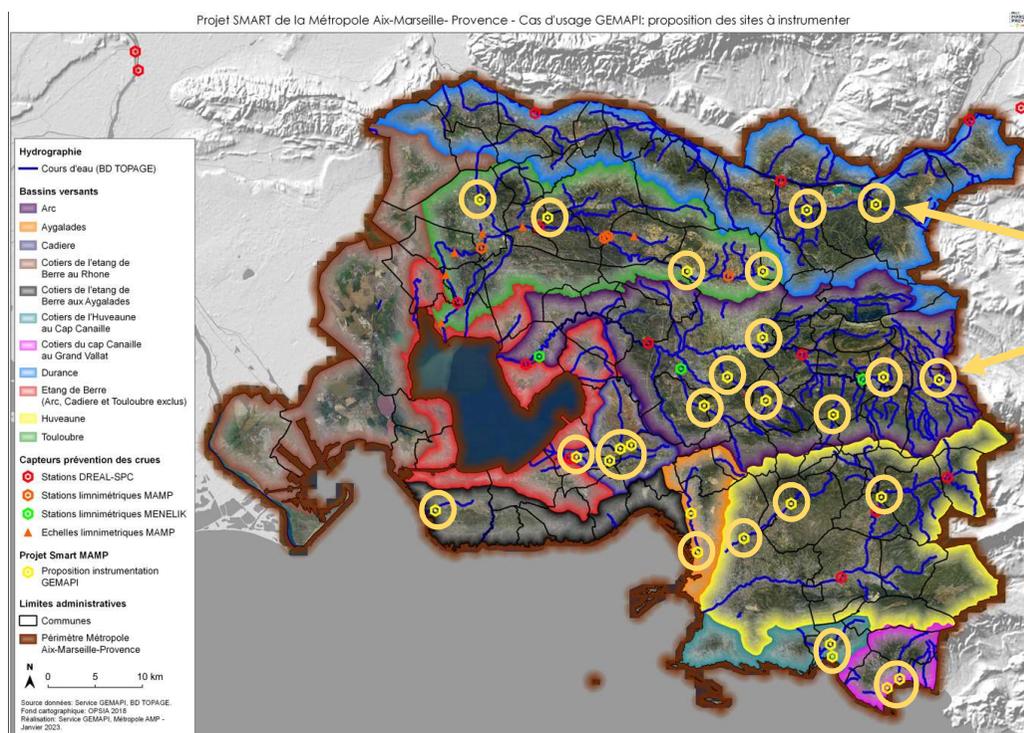
- L'IHM : hydrogramme ruissellement prévu à Marignane



2 a

Projet SMART Métropole (volet Gemapi)

- Installation de nouveaux capteurs (période 2 ans)



SMART



DISCUSSIONS

Conférence technique territoriale organisée par le CEREMA
Les inondations par ruissellement : de la prévision à la cartographie de l'aléa – Juin 2023

