



# Vers une anticipation à échéance 1-6h des risques de pluies intenses quasi-stationnaires

François Bouttier - CNRM, Météo-France

Motivations :

- identifier les **ingrédients physiques** d'orages méditerranéens, par sensibilité ensembliste
- faisabilité d'un outil de **prévision immédiate des orages quasi-stationnaires**

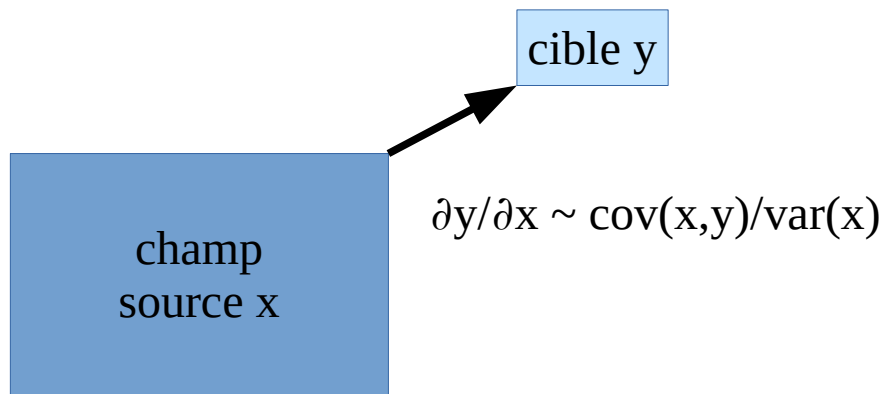
## Concept de la sensibilité ensembliste

Les orages intenses méditerranéens sont souvent en **limite de prévisibilité, même à 0-6h d'anticipation** :

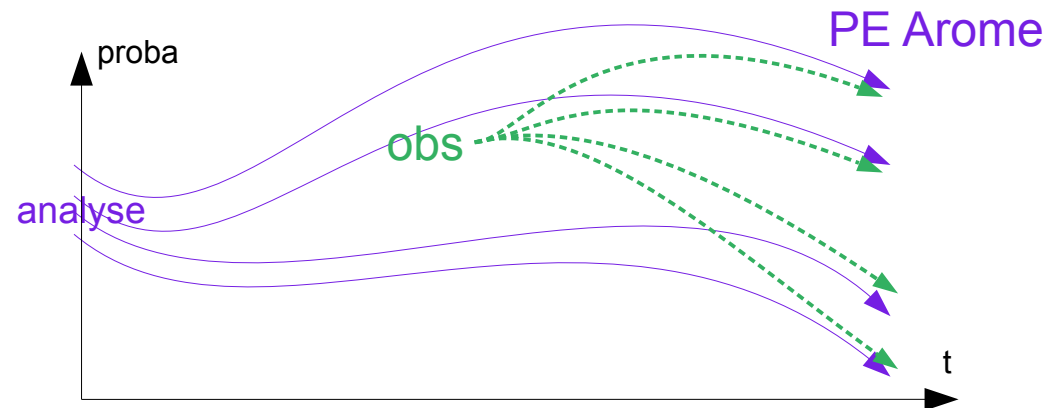
- délais de production des **Prévisions d'ensembles (PE) météo** >2h → tardifs pour les alertes
- les premières échéances des **modèles numériques** peinent à converger vers des scénarios réalistes
- la **Prévision Immédiate (PI)** par extrapolation d'images radar est peu adaptée aux orages quasi-stationnaires (évolution non lagrangienne)

*On va combiner 2 techniques de post-traitement des prévisions d'ensemble Arome de Météo-France :*

La sensibilité ensembliste  
pour identifier les ingrédients des orages



Le filtrage particulaire  
pour la PI des précipitations



# étape 1: cadrage spatio-temporel

Pour ne traiter qu'un seul événement à la fois

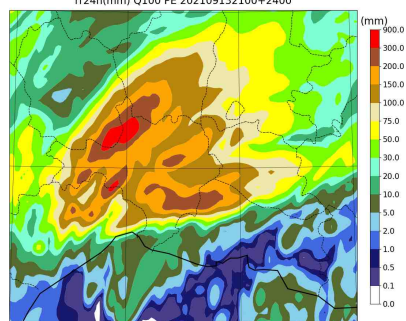
**Les grandes lignes** des événements convectifs sont souvent prévisibles >12h à l'avance :  
-> déf manuelle d'une **boîte cible** où "quelque chose risque de se produire"

*exemple ici :*

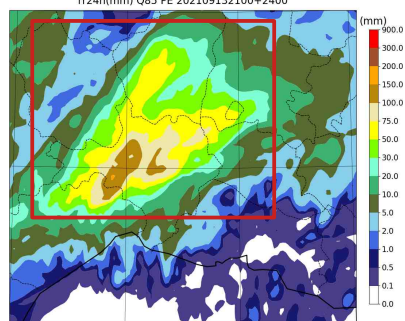
- cas du Gard, 14 sept 2021
- fonction cible  $y = \text{Max}(\text{cumul pluie sur 3h})$

Quantiles de pluie 24h prévus par PE la veille:

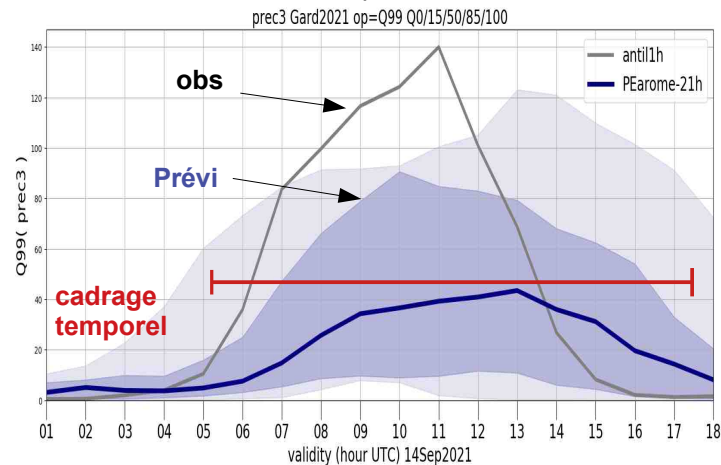
**Qmax(rr24) - pire intensité**



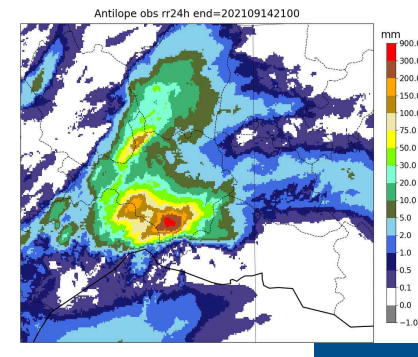
**Q85(rr24) - cadrage spatial**



évolution des cumuls de pluie horaire sur la zone



vérité :  
observation Antilope de rr24



## étape 2: calcul d'objets

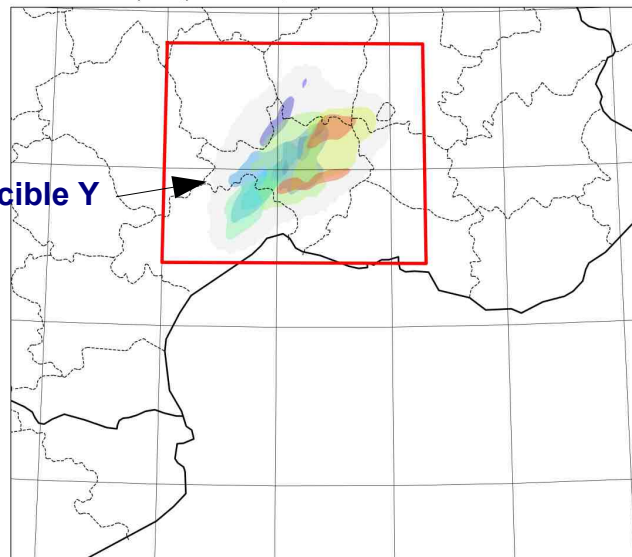
4/13

cible="+ forte pluie prévue", source="alimentation d'air en basses couches"

**Objet cible Y : enveloppe des plus fortes pluies prévues**

en couleurs :  
+ fortes pluies des membres de la PE

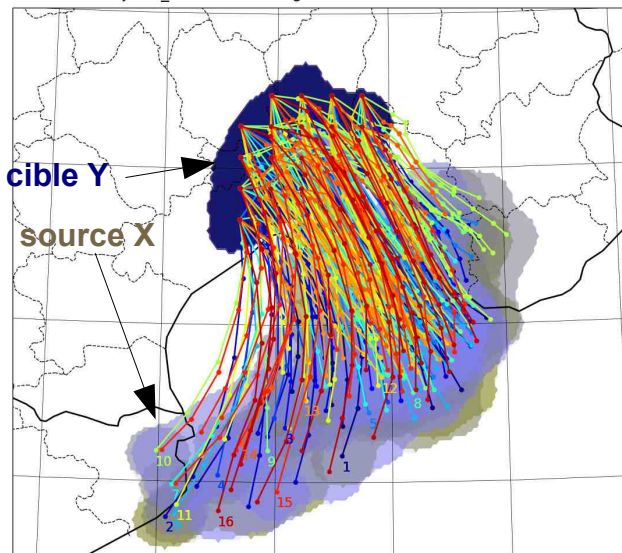
paint(prec3>30.0) PEarome 2021091321+13



**Objet source X : engendré par rétrotrajectoires ensemblistes 5h avant**

1 couleur de trajectoire par membre

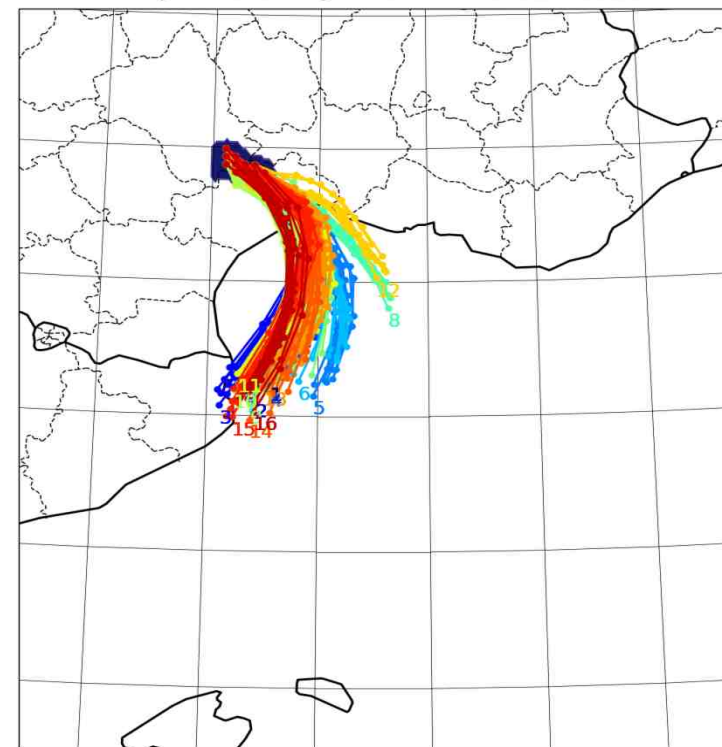
objects\_src-mb01-16-lag5h PEarome 2021091321+13



On tient compte des incertitudes sur:

- les timings de X et de Y
- l'impact: enveloppe des pluies Y
- le vent: rétrotrajectoires sur 0-6h

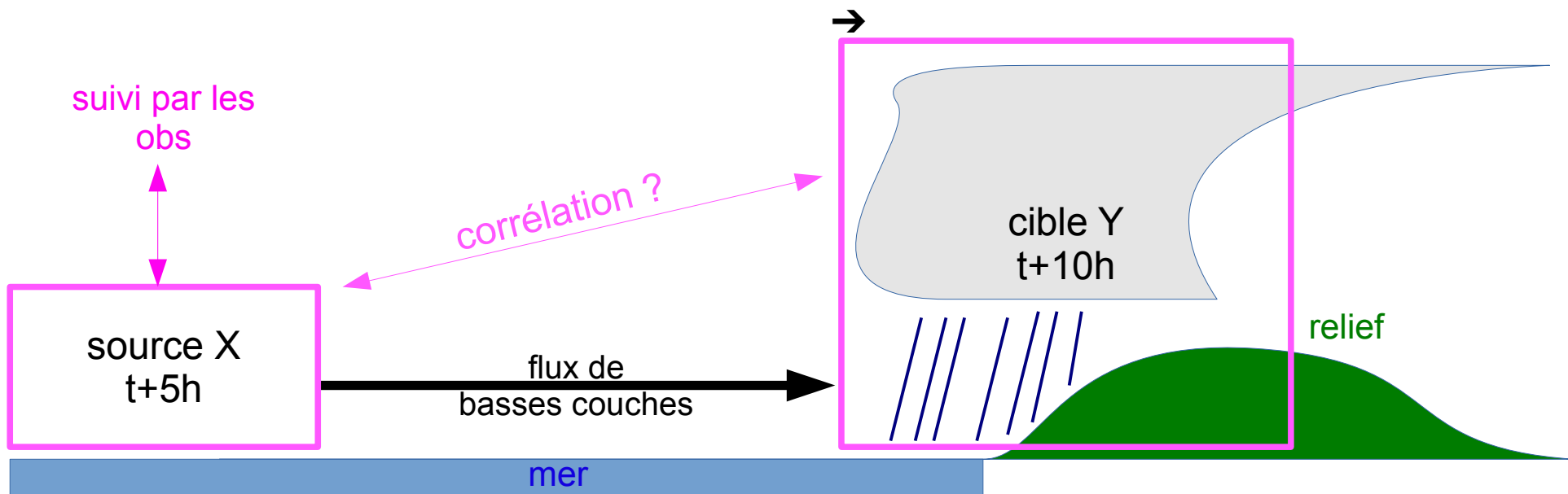
backtraj-mb01-16-lag5h PEarome 2021091321+6



### étape 3 : calcul de corrélations (X,Y) croisées entre différentes échéances

Modèle conceptuel de l'orage quasi-stationnaire :

- *déclenchement répétitif de cellules convectives*
- *système peu mobile → forts cumuls → crues/inondations*
- *rétroaction locale complexe entre pluies et environnement (plages froides)*
- ***influence fréquente de l'alimentation amont: air de basses couches, humidité, instabilité***  
***( corrélations + incertitudes ) = propagation des erreurs au fil de la prévision***

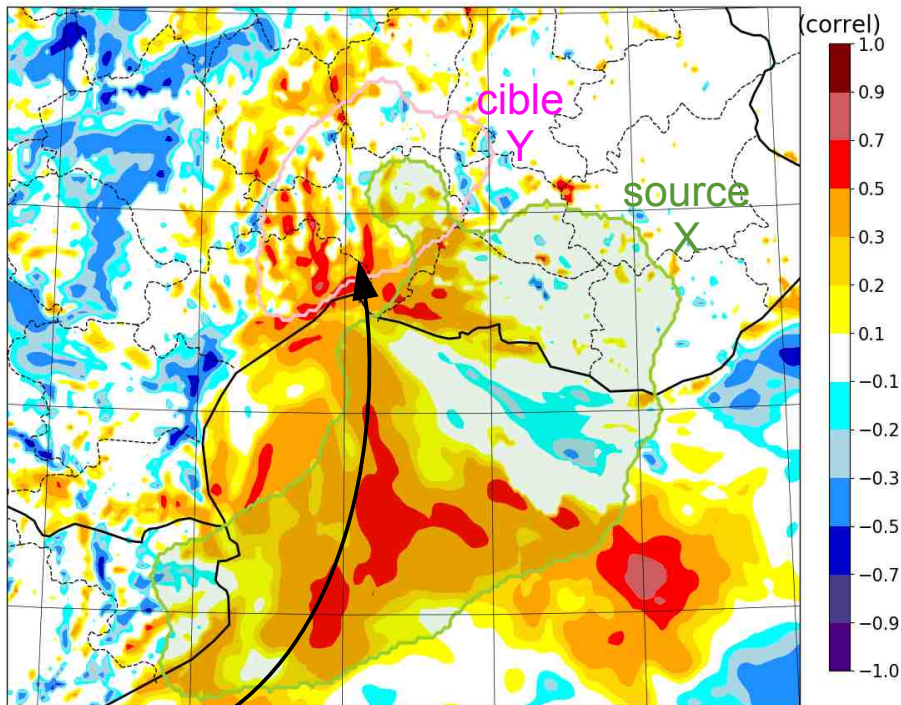


## étape 3: calcul des corrélations = zones à valeur prédictive

### Corrélations : entre

- les rr3 dans l'objet cible Y
- différents paramètres de X : ici ff10m
- + filtrage des zones d'incertitude significative (=observables)

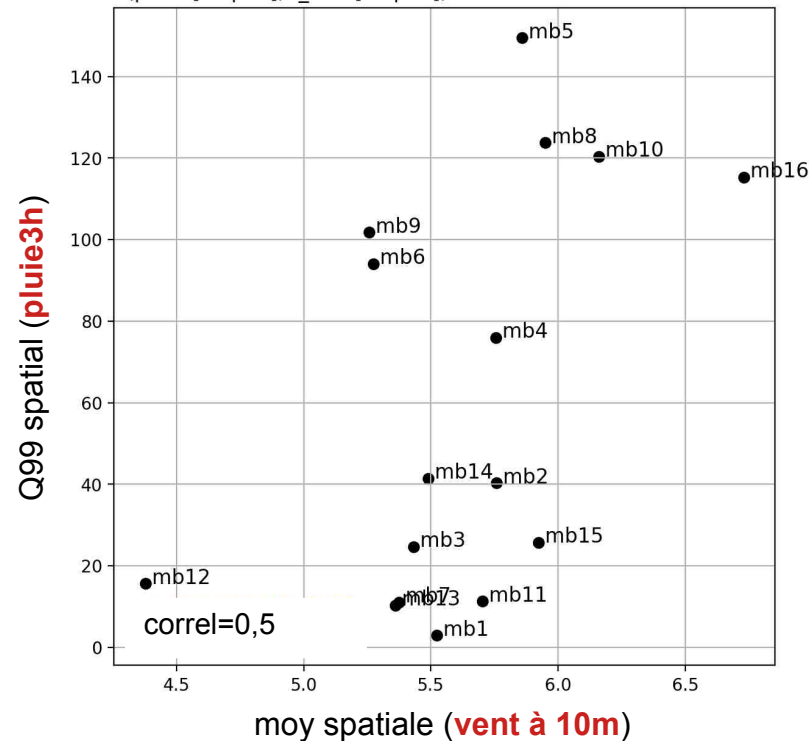
correl prec3-ff\_10m lag5h 16mb sourcetime:202109132100+08



### Dispersion des prévisions Arome :

montre les membres les + actifs et la relation entre ingrédients et pluies

distrib (prec3[step13],ff\_10m[step08]) base=202109132100 method=static

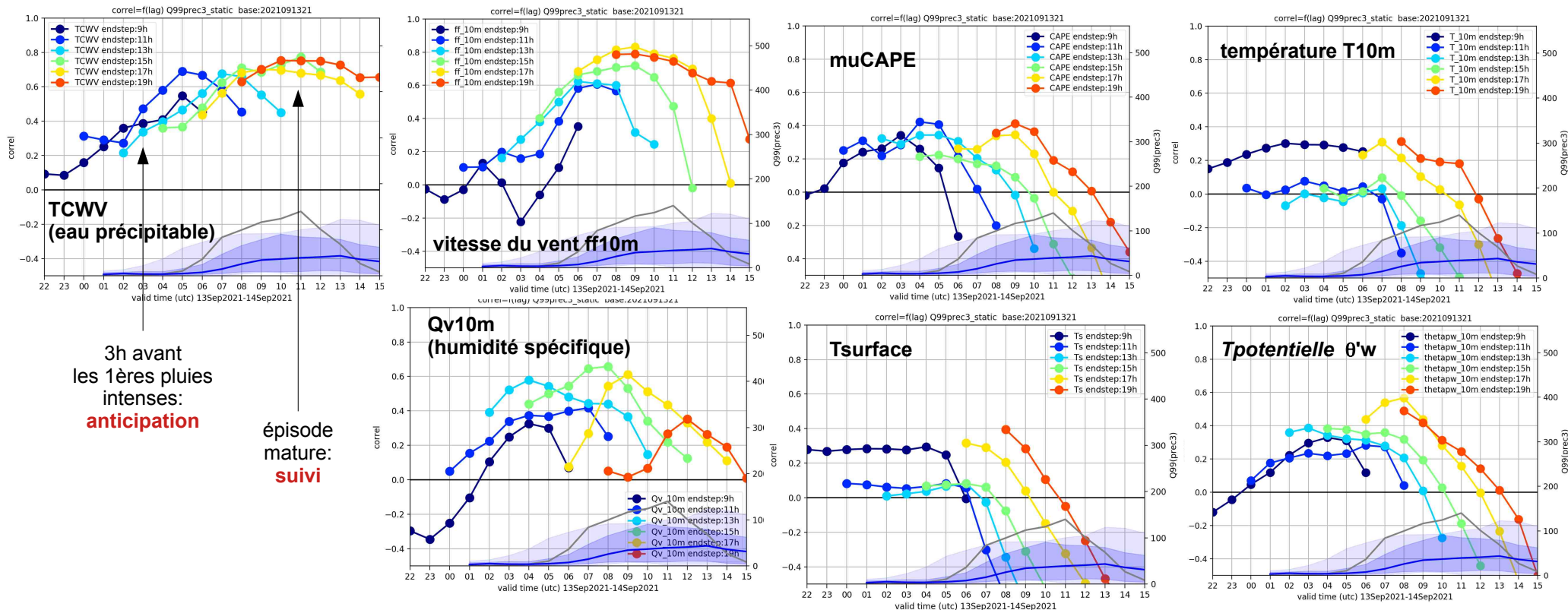




# corrélations: dépendance temporelle à (Tsource, Tcible) dans la prévision d'ensemble

- 1 courbe par heure source
- 1 couleur par heure cible

Les corrélations ne sont significatives que pour certains paramètres et jusqu'à ~6h avant l'événement



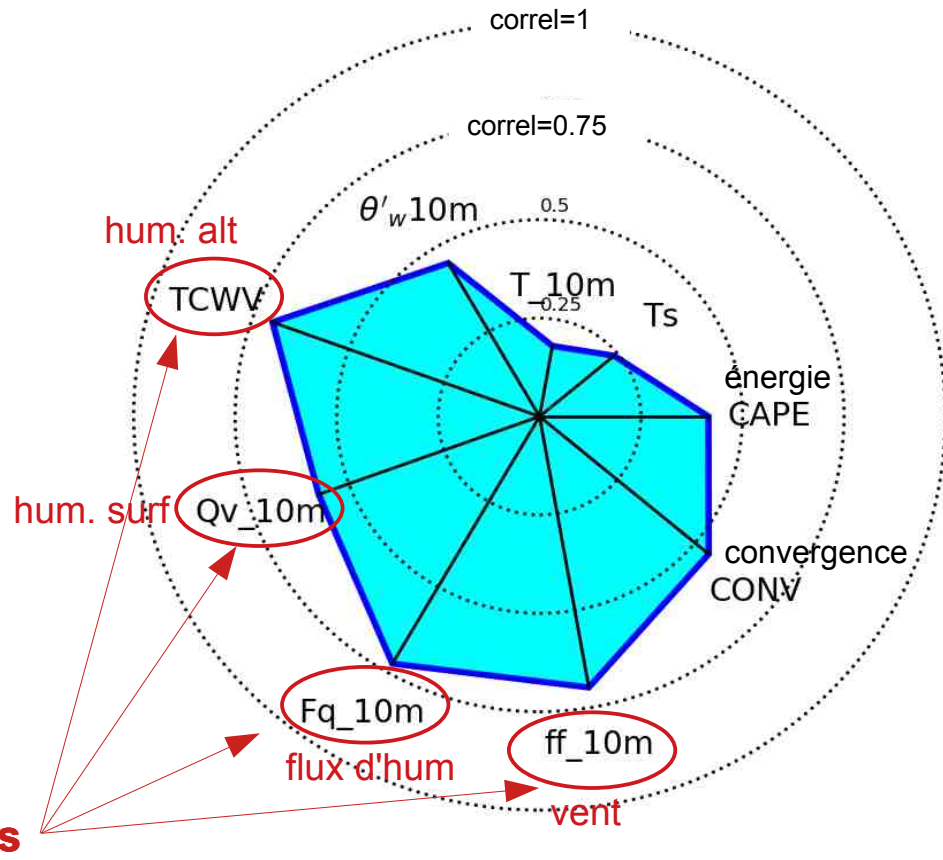
## corrélations: visualisation synthétique

On montre les meilleures corrélations pertinentes pour anticiper le déclenchement de l'épisode

2 objectifs :

- orienter l'expertise humaine
- sélectionner les paramètres à valeur prédictive: à la fois *sensibles* et *incertains*

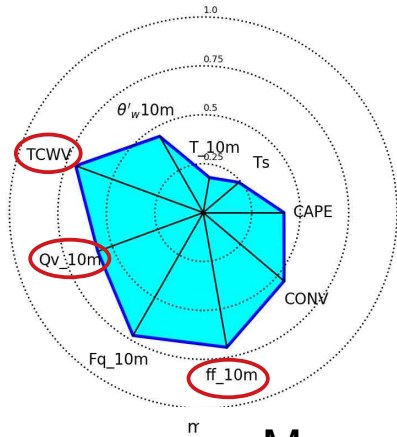
*NB. les paramètres physiquement déterminants mais assez prévisibles ne seront pas sélectionnés*



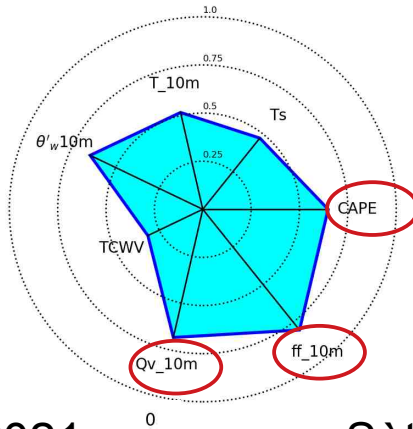


# différents cas de fortes pluies = différents ingrédients-clés

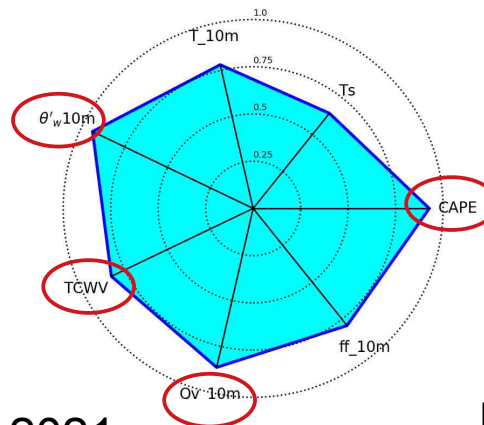
## Gard2021



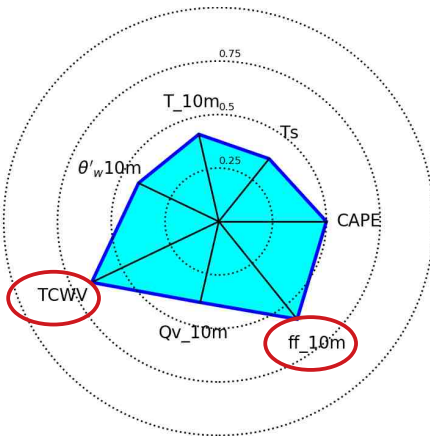
## Gard2020



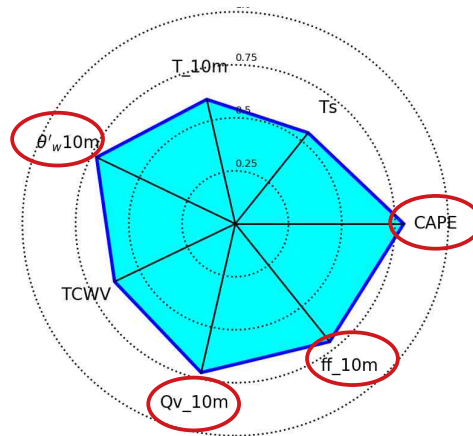
## Alex2020



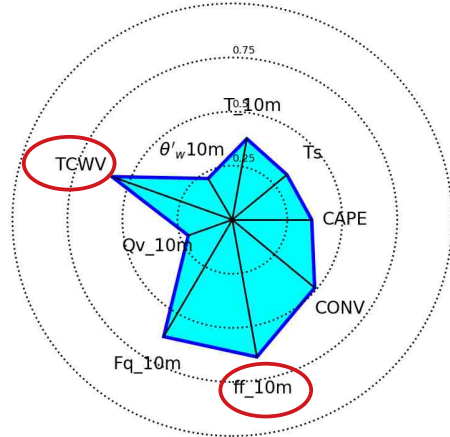
## Marseille2021



## Sète2021



## Montpellier6sep2022



## étape 4: correction de la prévision 0-6h avec les observations récentes

---

### Idée:

- si X est corrélé avec Y quelques heures plus tard
- et que l'obs de X est différente de sa dernière prévision
- alors on peut corriger la prévision de Y en temps réel

### Conditions :

- **présence d'une corrélation** significative entre X et Y
- accès à des **observations fraîches** de X (ici on utilise des analyses)

### Méthode utilisée : **filtrage particulaire** de la prévision d'ensemble

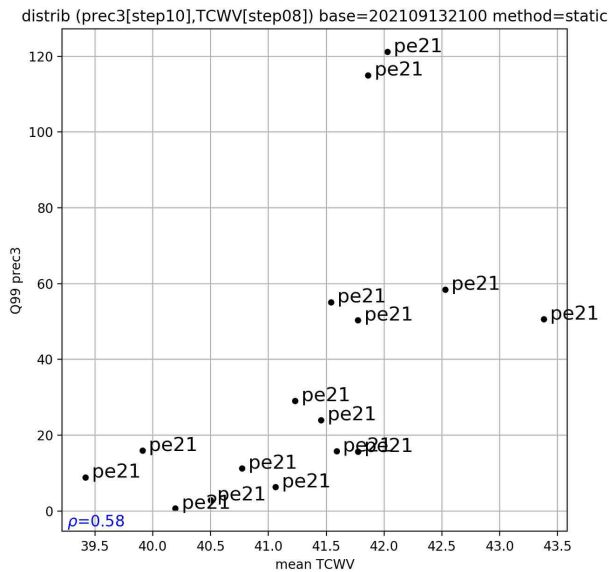
- réduction de dimension
- pondération adaptative "bayésienne" des membres

→ *mise à jour rapide et sans couture de la prévision d'ensemble*

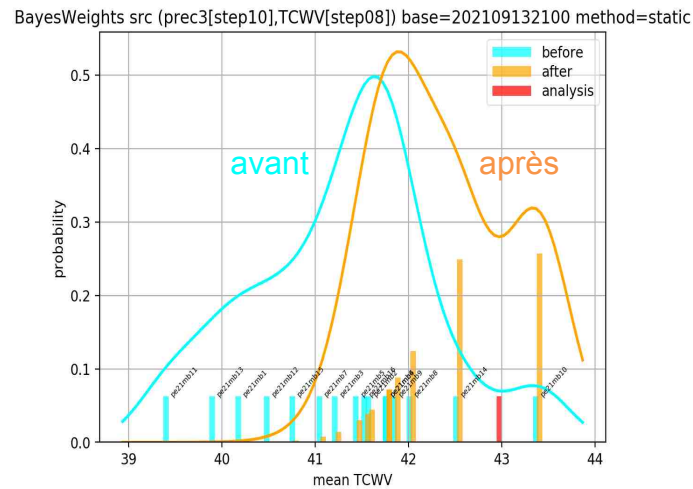
# filtrage particulaire de la prévision d'ensemble

sur ce cas avec analyses d'eau précipitable TCWV :

*corrélations PE Arome  
entre TCWV et pluie*

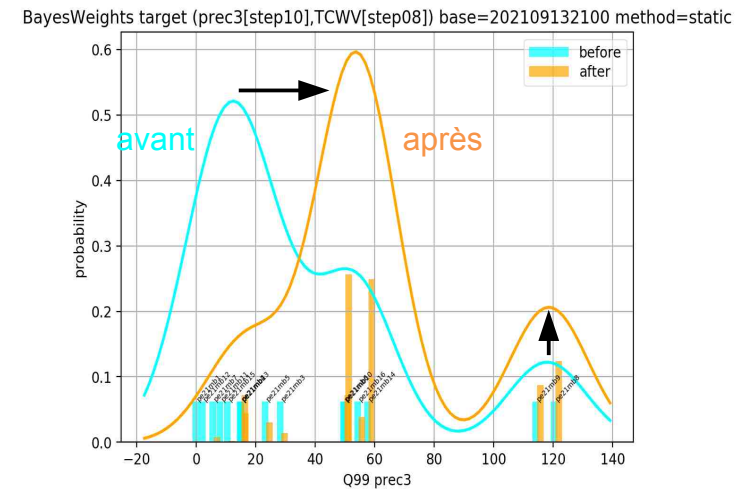


*mise à jour de la TCWV :  
augmentation à 5utc  
(analyse en **rouge**)*



distribution de probabilité de TCWV

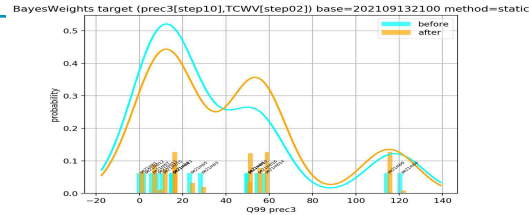
*mise à jour avant l'événement:  
doublement de  
la probabilité & intensité  
des plus fortes pluies*



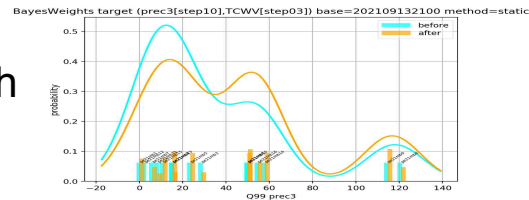
distribution de probabilité de pluie

# filtrage particulaire: évolution au fil des observations

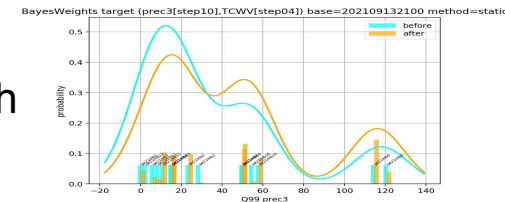
màj 0h



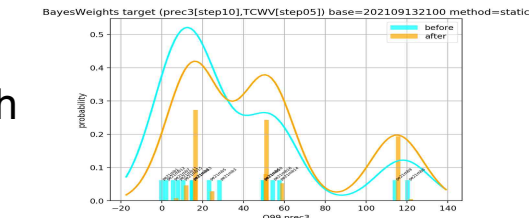
1h



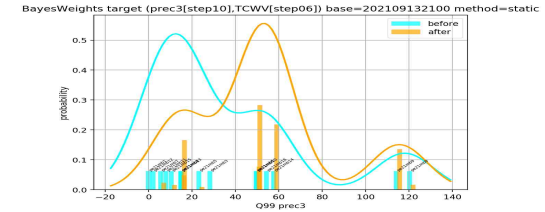
2h



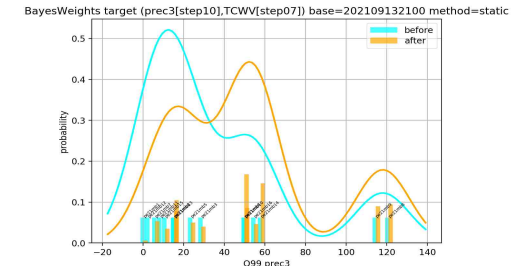
3h



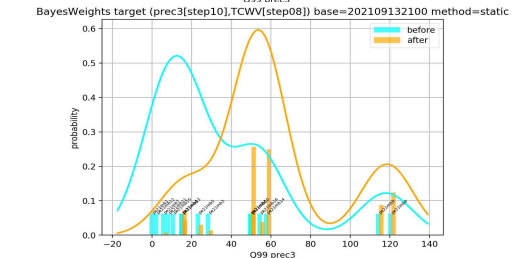
4h



5h



6h



heure de prévision fixée

mise à jour horaires par les observations

sur ce cas, élimination des membres "mous" et mise en relief des meilleurs scénarios

## Conclusions

---

- démonstration d'un **outil visuel de surveillance**, quelques heures en amont des épisodes de fortes pluies quasi-stationnaires
- comportement satisfaisant sur plusieurs cas
- 1 étude de faisabilité comme outil de **prévision immédiate** des pluies à échéance 0-6h

### Perspectives:

- tester l'utilisation directe des observations : satellites et radars
- validation objective à consolider
- adaptation aux orages mobiles (ex: Corse 18/8/22) plus difficile