



# Risques hydrométéorologiques en Méditerranée

## *Le programme HyMeX*

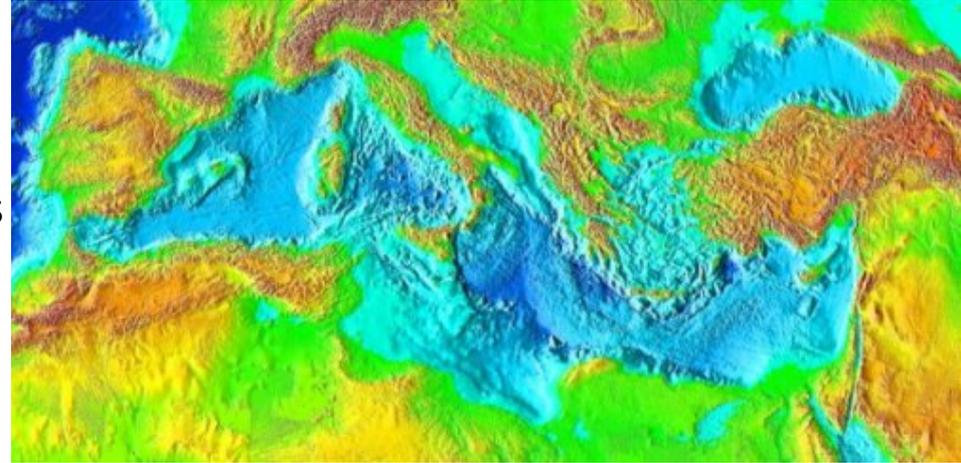
Véronique Ducrocq  
CNRM, Toulouse

[www.hymex.org](http://www.hymex.org)

# La région Méditerranée

---

- ➔ une zone de transition entre le climat tempéré des latitudes moyennes et le climat plus chaud de l'Afrique du nord
- ➔ une mer semi-fermée entourée de montagnes et de régions littorales très urbanisées
- ➔ un pourtour méditerranéen vulnérable : de petits bassins versants, une urbanisation littorale importante

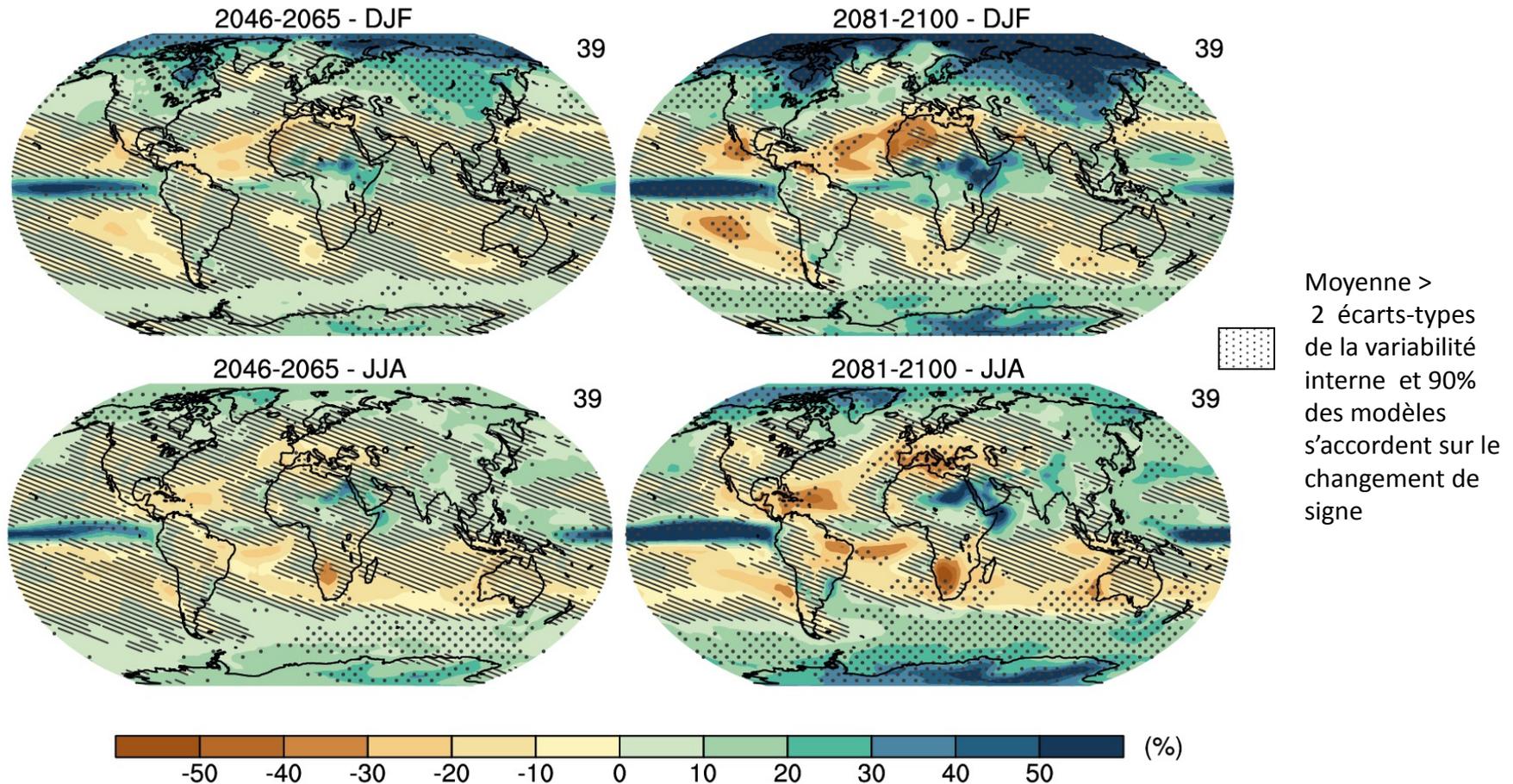


⇒ Forte variabilité spatiale et temporelle des conditions climatiques, océaniques et hydrologiques

⇒ Une région soumise aux risques hydrométéorologiques (pluie intense et crues rapides, sécheresse et feux de forêts)

⇒ Une des régions au monde les plus sensibles au changement climatique (“hot spot”)

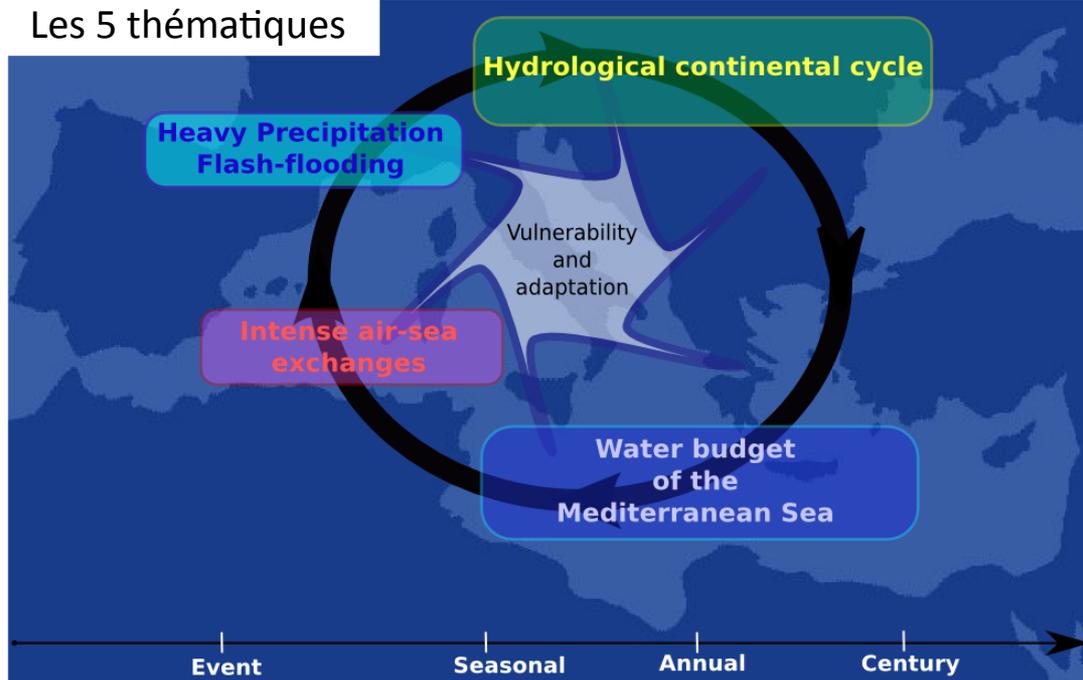
# Un hot spot du changement climatique



Variation en pourcentage des précipitations moyennes pour l'hiver et l'été par rapport à la période 1985-2005 - moyenne simulations multi-modèles CMIP5  
Rapport WGI AR5, IPCC 2013

## *Le cycle de l'eau en Méditerranée*

- ➔ **Prévision et évolution avec le changement climatique** des risques hydrométéorologiques
- ➔ **Vulnérabilité socio-économique** et **capacité d'adaptation** des populations méditerranéennes face aux risques hydrométéorologiques



- ➔ Un programme sur 10 ans (**2010-2020**), coordonné par **Météo-France** et le **CNRS**
- ➔ Le programme HyMeX est une composante du metaprogramme **MISTRALS**
- ➔ Un programme **interdisciplinaire** (océan, atmosphère, hydrologie continentale, SHS)
- ➔ Près de **400 scientifiques** d'une **vingtaine de pays** impliqués dans le programme.
- ➔ Plus de **300 articles** publiés dans des revues scientifiques internationales

# Les campagnes de mesures

## Deux campagnes de mesures internationales en Méditerranée nord-occidentale

➔ Sept-Nov 2012: pluies intenses et crues rapides

~200 instruments déployés en France, Italie, Espagne, sur terre, au-dessus et dans la mer (Ducrocq et al, 2014)

➔ Fev-Mars 2013: impact du Mistral sur circulation océanique dans le Golfe du Lion (Estournel et al, 2016)

+ campagnes de mesures hydrologiques sur les bassins du Gard et de l'Ardèche chaque automne de 2012 à 2015

(Braud et al, 2014)

+ Enquêtes hydrologiques et sociologiques après évènement majeur (Ruin et al, 2014)

*En France : Var juin 2010, Cévennes automne 2014, Cannes octobre 2015*



*Des modèles pour guider les déploiements, l'interprétation des observations...*

- *Compréhension des processus*
- *Variabilité saisonnière et interannuelle*



Atmosphère  
Océan  
Hydrologie  
Socio-économie



Laboratoire numérique  
Prévision  
Climat régional  
Impacts

- *Validation des modèles*
- *Utilisation des observations dans les modèles*
- *Amélioration des modélisations*

*... des observations pour améliorer les modèles*



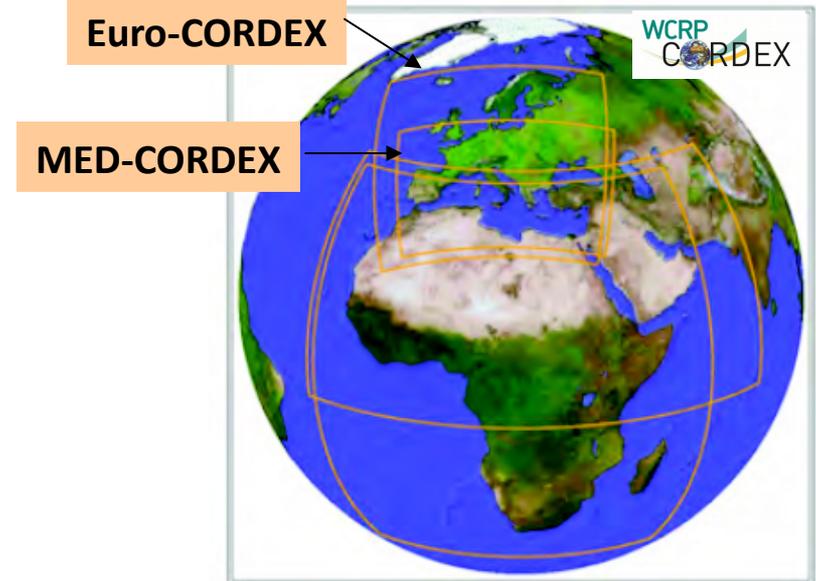
→ un domaine dédié à la Méditerranée dans le cadre de CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment)

→ Production de simulations climatiques régionales :

- à partir des **réanalyses ERA-Interim** pour la validation des modèles de climat régionaux
- à partir des simulations CMIP5 (6 modèles de climat globaux) pour **scénarios RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6** - période 1950-2100

- avec 12 modèles régionaux couplés océan-atmosphère à 50-25 km et 4 modèles atmosphériques à 12 km (entre-autres)

⇒ **Données disponibles sur les bases de données HyMeX/Med-CORDEX**  
([www.hymex.org/database](http://www.hymex.org/database), [www.medcordex.eu](http://www.medcordex.eu))



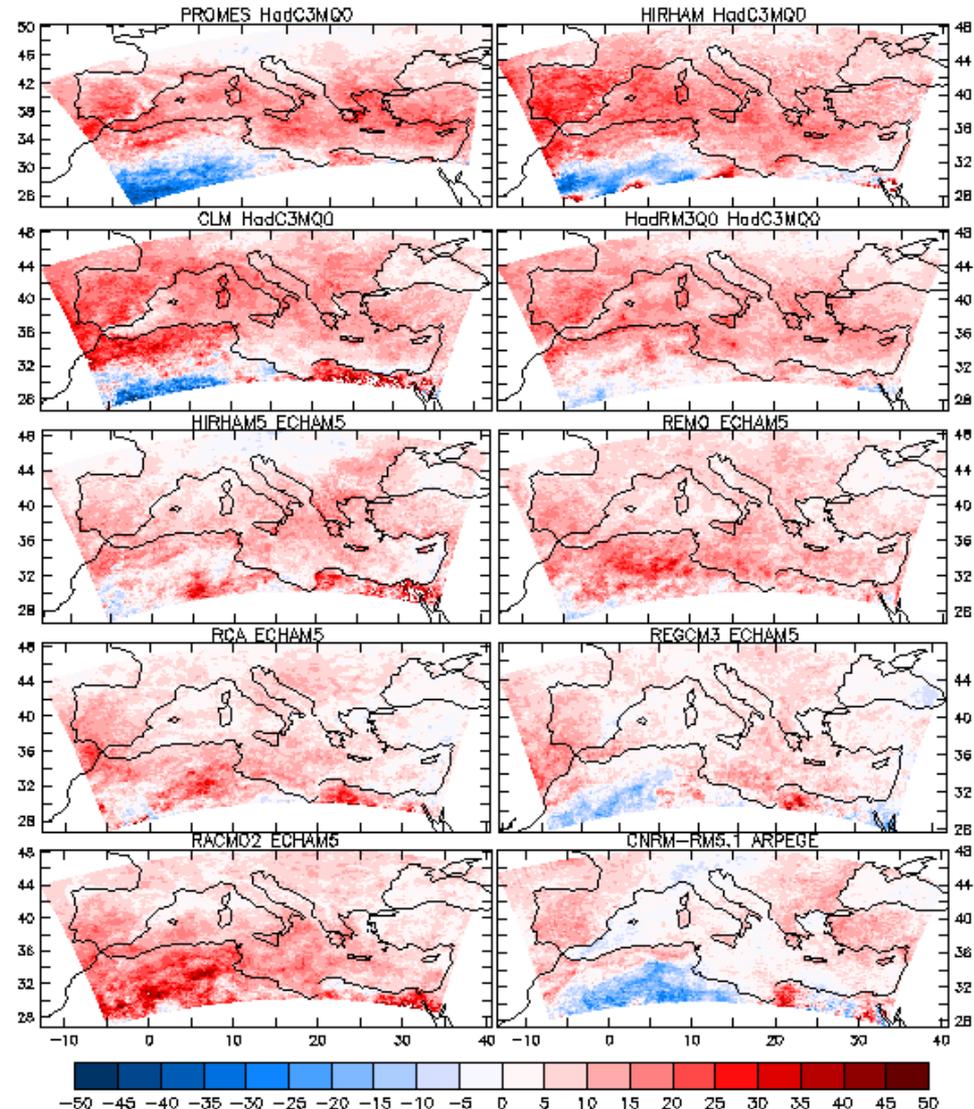


**Changement climatique  
et  
sécheresses-ressources en eau**

# Changement climatique - sécheresse

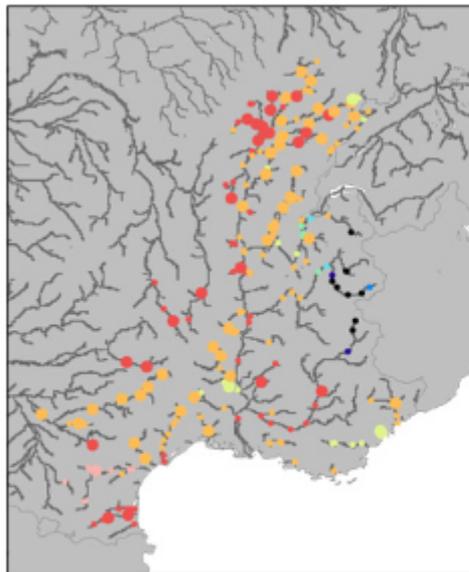
**Des périodes sans pluie plus longues, entre 5 à 15 j/an en moyenne sur la Méditerranée selon les simulations climatiques régionales**

Changement (%) de durée des périodes sèches entre les périodes 2021-2050 et 1951-1980 pour le scénario d'émission AR4 A1B  
Source : E. Sanchez

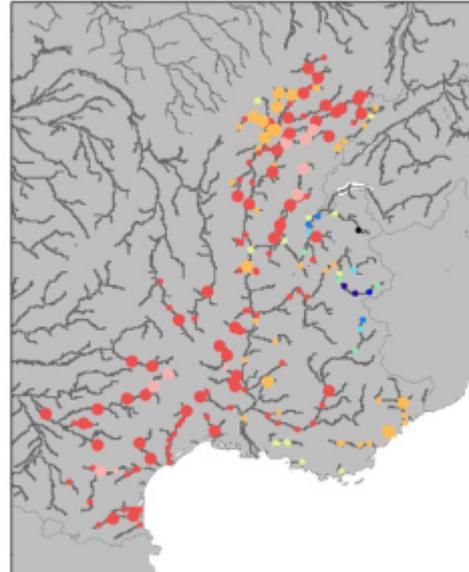


# Impacts sur les débits

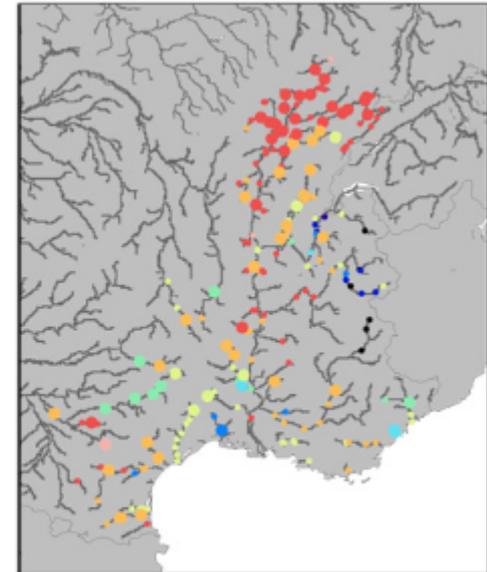
Durées de retour pour la période 2035-2065 pour la valeur du débit mensuel minimal annuel correspondant à une durée de retour de 5 ans sur la période 1970-2000



Méthode des anomalies



Méthode quantile-quantile



Méthode régimes de temps

Modèle hydrologique : SIM, Forçages climatiques : ARPEGE-climat - 50 km, scénario AR4 A2

## Des basses eaux pour les cours d'eau plus fréquentes

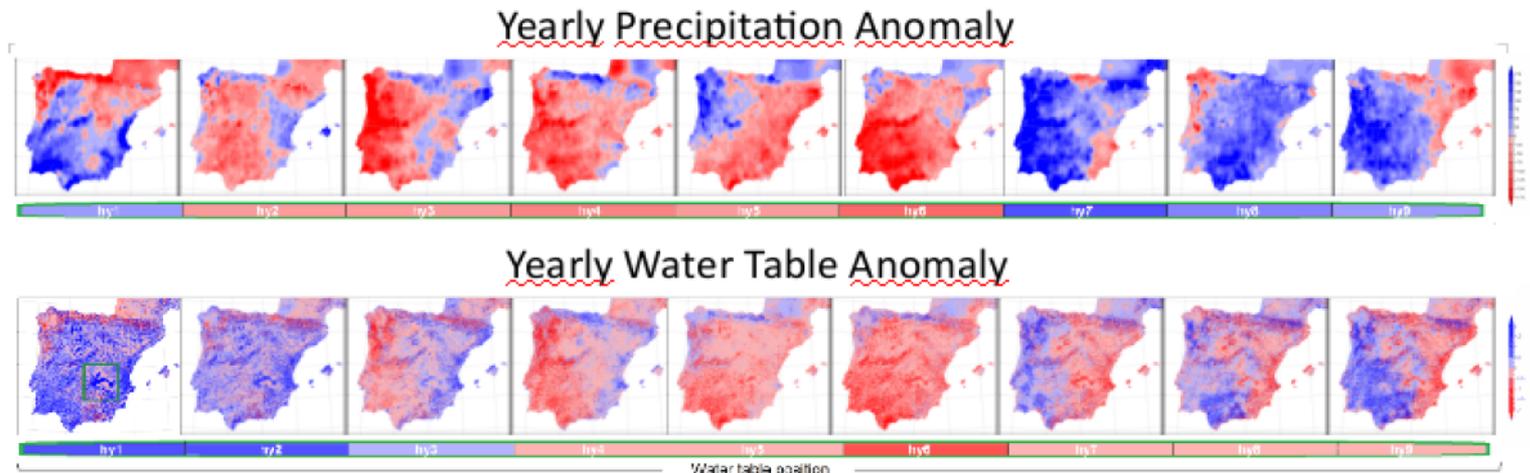
# Résultats et Perspectives

➤ Des périodes de sécheresse plus longues et plus fréquentes

➤ **Importance de la prise en compte des différentes incertitudes** pour l'évaluation de l'évolution avec le changement climatique des sécheresses et des impacts hydrologiques à l'échelle régionale : scénarios d'émission, modèles climatiques, méthodes de descente en échelle, modèles d'impacts

➤ **Perspectives** : amélioration de la modélisation hydrologique pour l'étude de l'évolution de la ressource en eau : meilleure prise en compte des nappes souterraines et des facteurs anthropiques (barrages, irrigation)

Le couplage des nappes souterraines avec la surface introduit un effet de mémoire

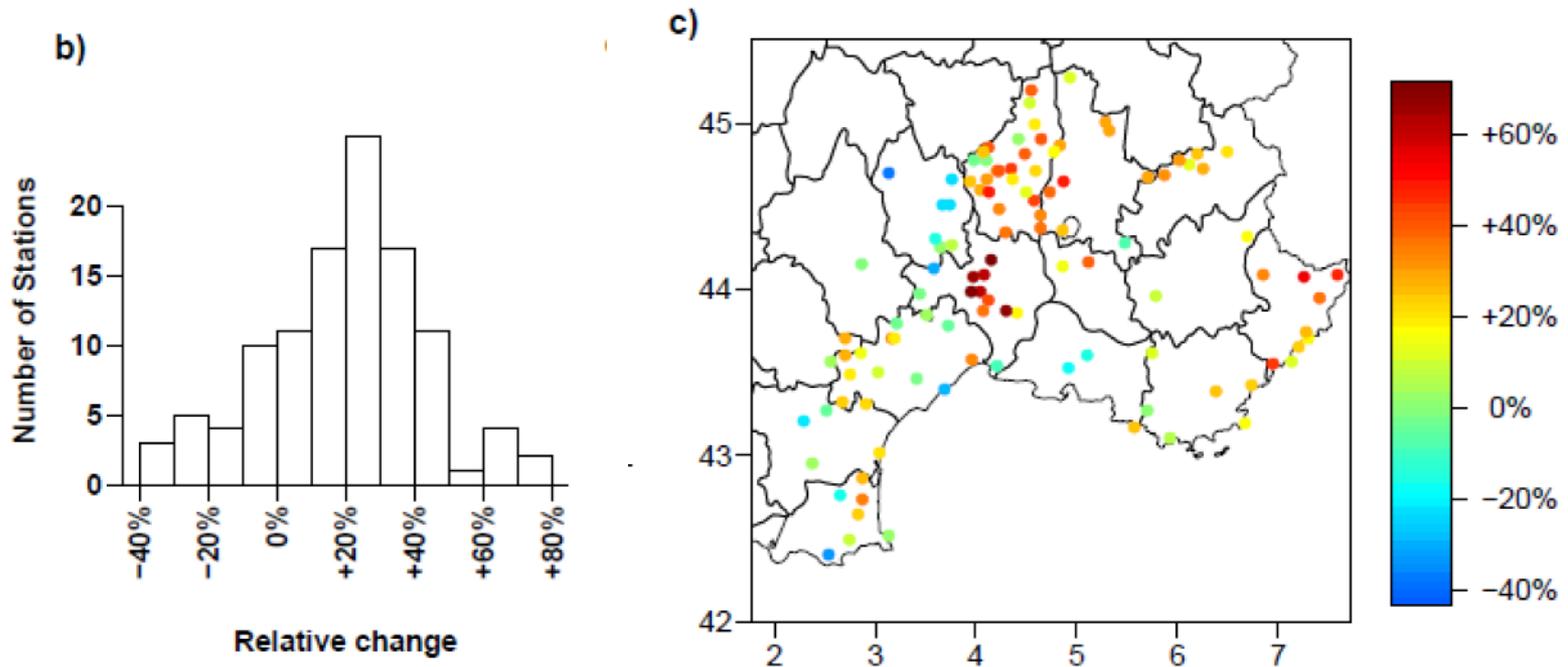




**Changement climatique  
et  
pluie intenses - crues rapides**

# Tendances - pluies intenses

Variation relative des maxima annuels de cumuls quotidiens de pluie entre 1961 et 2015



**Augmentation moyenne de l'intensité est significative : ~20%**

**Des évènements extrêmes plus intenses sur les dernières décennies**

# Projections climatiques régionales - pluies intenses

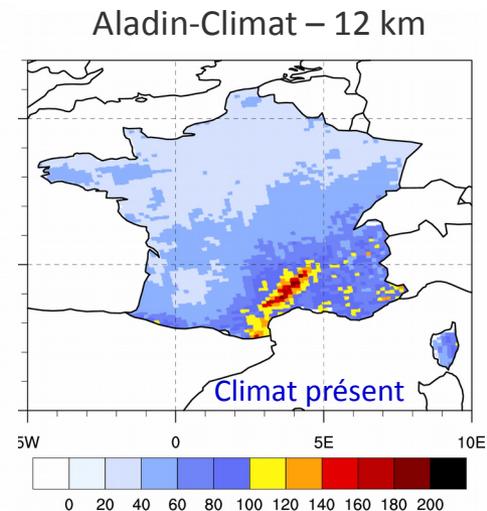
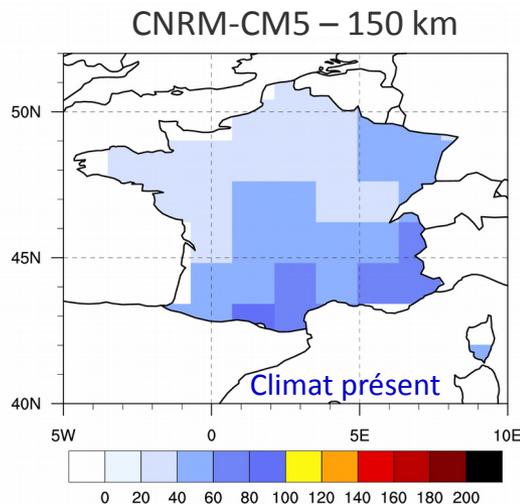
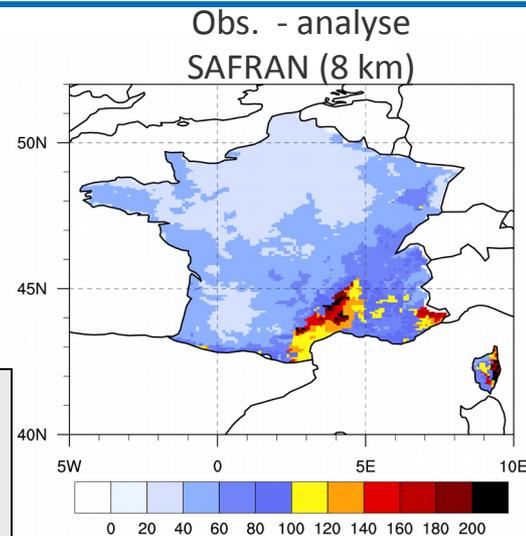
## ➔ Climat présent :

- Les modèles climatiques régionaux ne permettent pas encore de reproduire les forts cumuls journaliers de précipitations observés
- mais , **simulation réaliste à l'échelle de l'arc méditerranéen**

## ➔ Climat futur, modèles climatiques régionaux (Euro-CORDEX, Med-CORDEX):

- Augmentation des événements extrêmes en intensité et en fréquence dans un climat plus chaud
- **Augmentation limitée**, typiquement quelques % par degré de réchauffement pour l'intensité

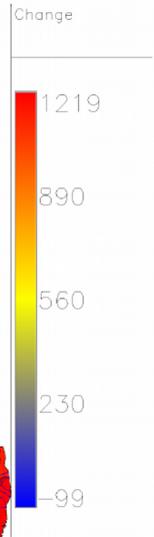
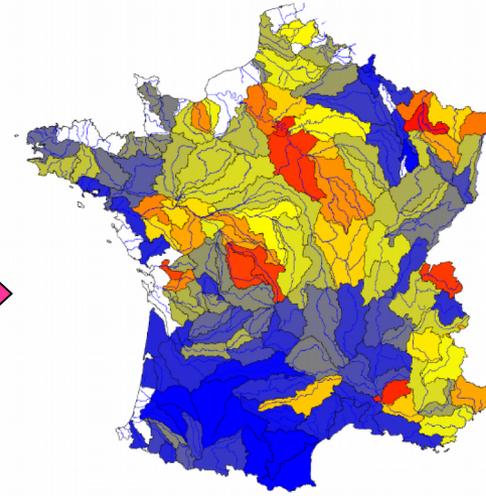
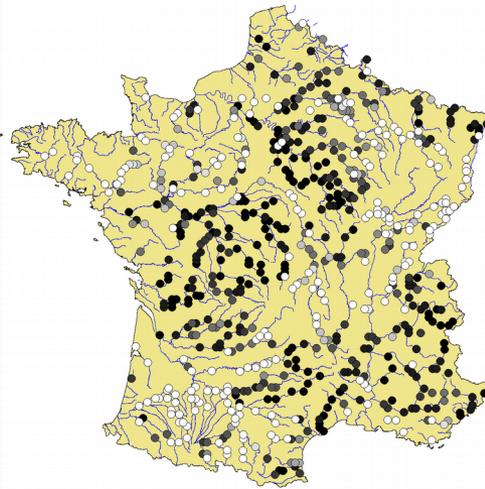
Quantile 99.9% des précipitations journalières sur 30 ans (Sept à Nov)



# Analyse économique de l'évolution des inondations

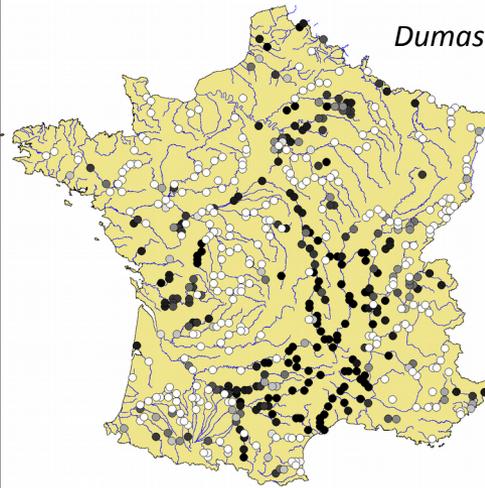
Méthode quantile-quantile  
(Déqué, 2007)

□ 180 - 200	217
□ 160 - 180	10
■ 140 - 160	20
■ 120 - 140	11
■ 100 - 120	23
■ 80 - 100	30
■ 60 - 80	42
■ 40 - 60	63
■ 20 - 40	126
■ 0 - 20	211

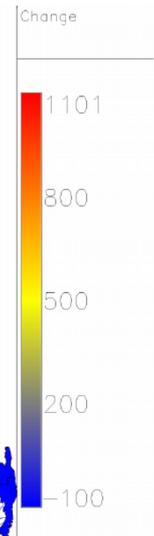
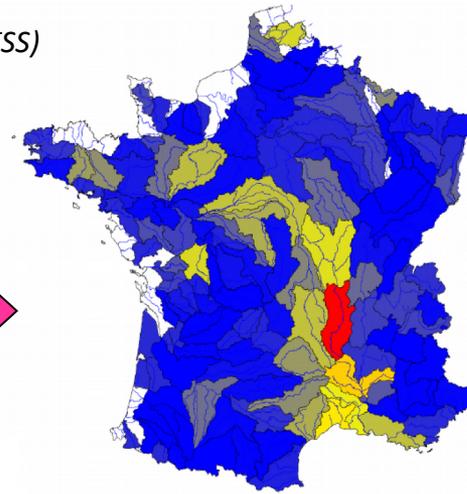
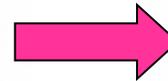


Méthode régime de temps  
(Boé et al, 2006)

□ 180 - 200	260
□ 160 - 180	7
■ 140 - 160	16
■ 120 - 140	13
■ 100 - 120	18
■ 80 - 100	19
■ 60 - 80	23
■ 40 - 60	44
■ 20 - 40	66
■ 0 - 20	287



*Dumas et al, 2013 (NHESS)*



Durées de retour pour la valeur centennale  
actuelle pour 2035-2064

Evolution (%) des coûts des dommages  
des inondations

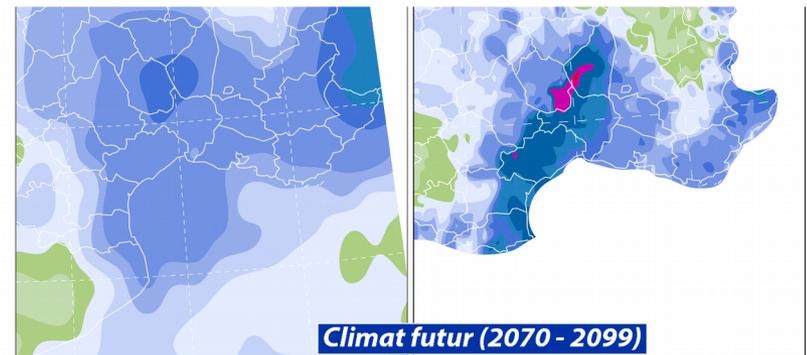
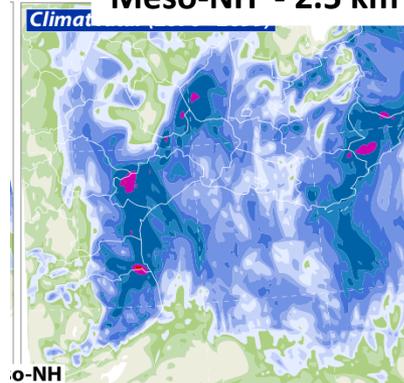
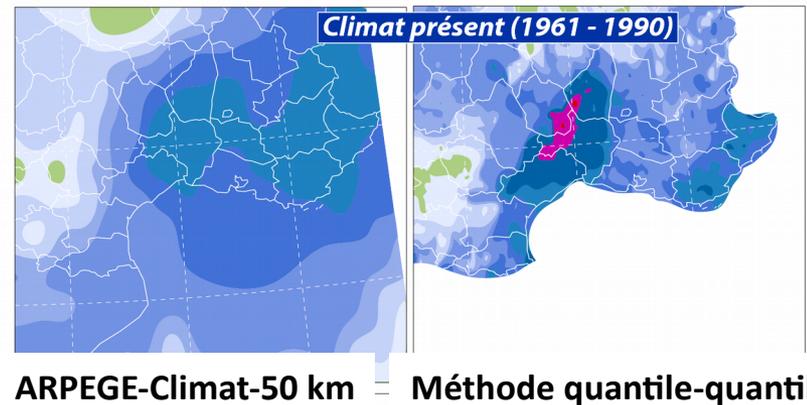
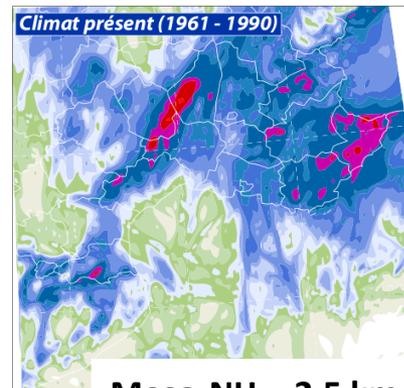
# Perspectives – modélisation explicite de la convection pour le climat régional

➔ Les méthodes statistiques de descente d'échelle sont **sources d'incertitudes importantes**

➔ les moyens de calcul permettent d'envisager des **modèles de climat régionaux avec des mailles de qq km** permettant **de représenter explicitement** les systèmes orageux à l'origine des pluies intenses

## Perspectives :

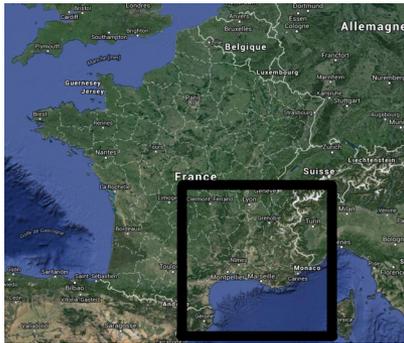
un domaine **Alpes-Méditerranée nord-occidentale** pour les prochains exercices Euro-CORDEX/MED-CORDEX **simulé à une résolution de 2-3 km.**



Beulant A-L, Joly B, Nuissier O, Somot S, Ducrocq V, Joly A, Sevault F, Deque M, Ricard D, 2011. Statistico-dynamical downscaling for Mediterranean heavy precipitation. Q. J. R. Meteorol. Soc. 137, 736 – 74

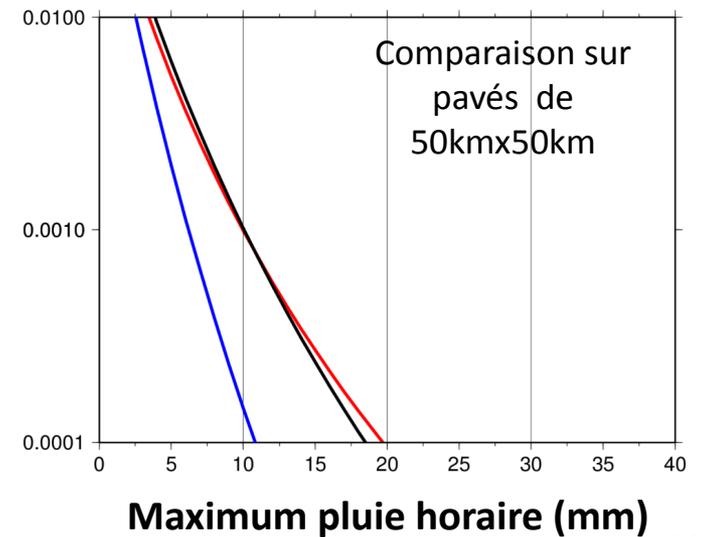
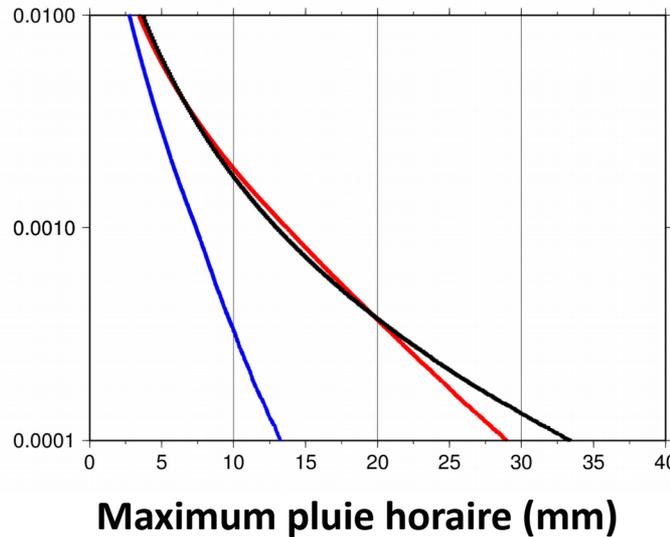
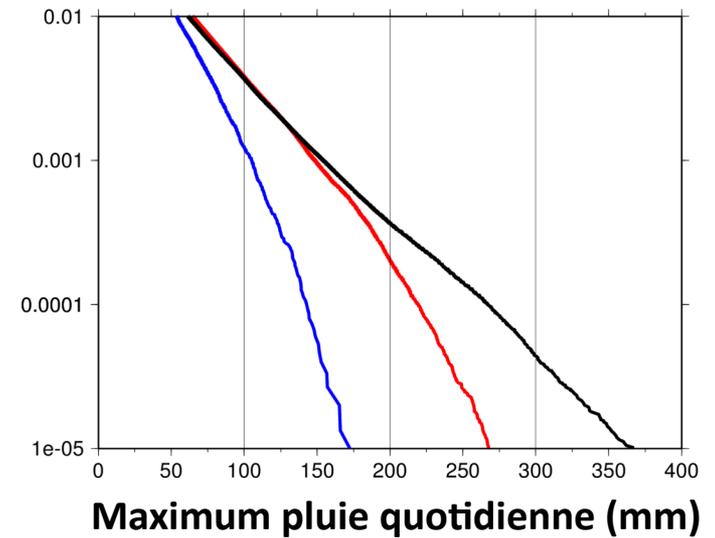
# Comparaison ALADIN(12 km) vs AROME (2.5km)

## Probabilités de dépassement de seuil



**ALADIN – 12 km**  
**AROME – 2.5 km**  
**Observations radar - 1 km**  
**(ré-analyse COMEPHORE)**

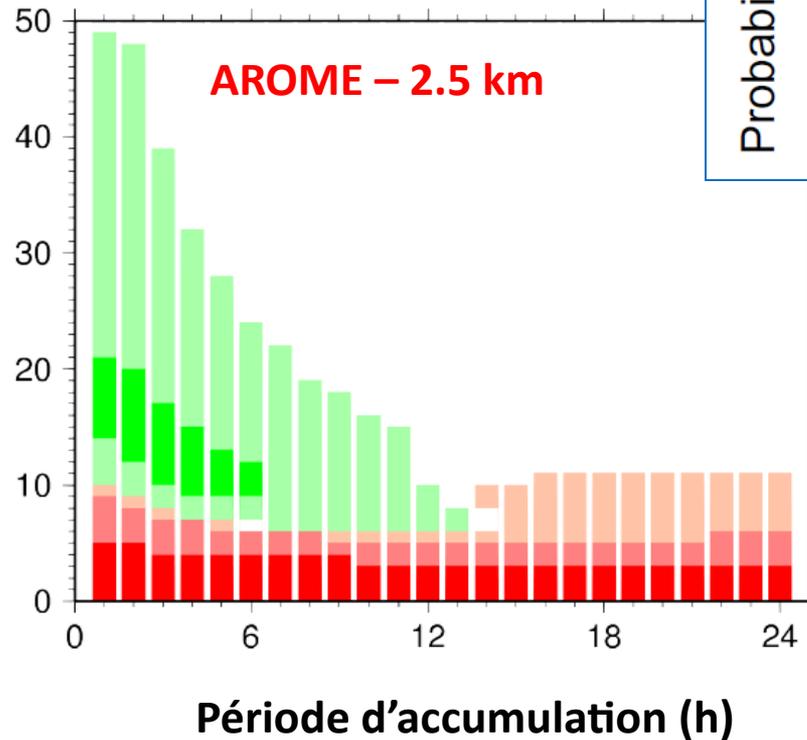
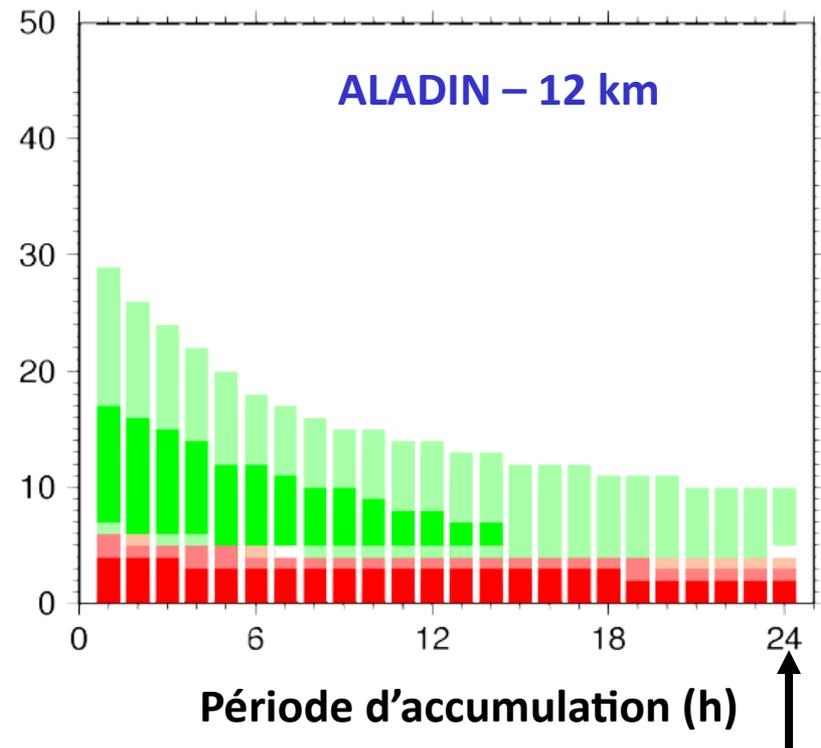
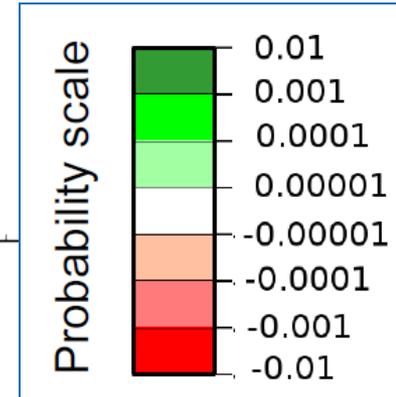
**Domaine AROME**  
**Période 1997-2006**



# Réponse au changement climatique ALADIN(12 km) vs AROME (2.5km)

## Changement de fréquence par intensité de pluie (mm/h)

(scénario RCP8.5, 2089-2100 vs 1989-2000)

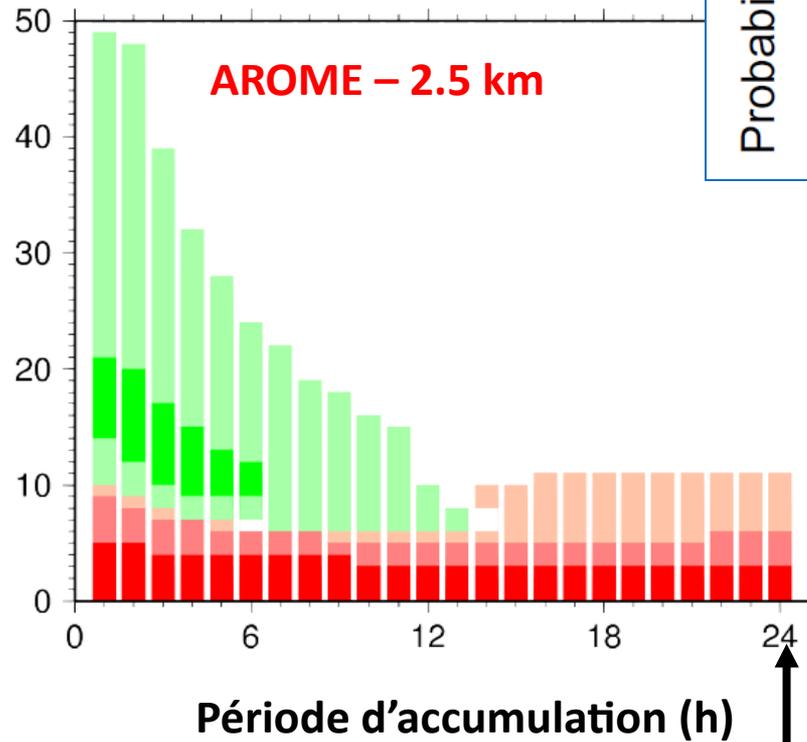
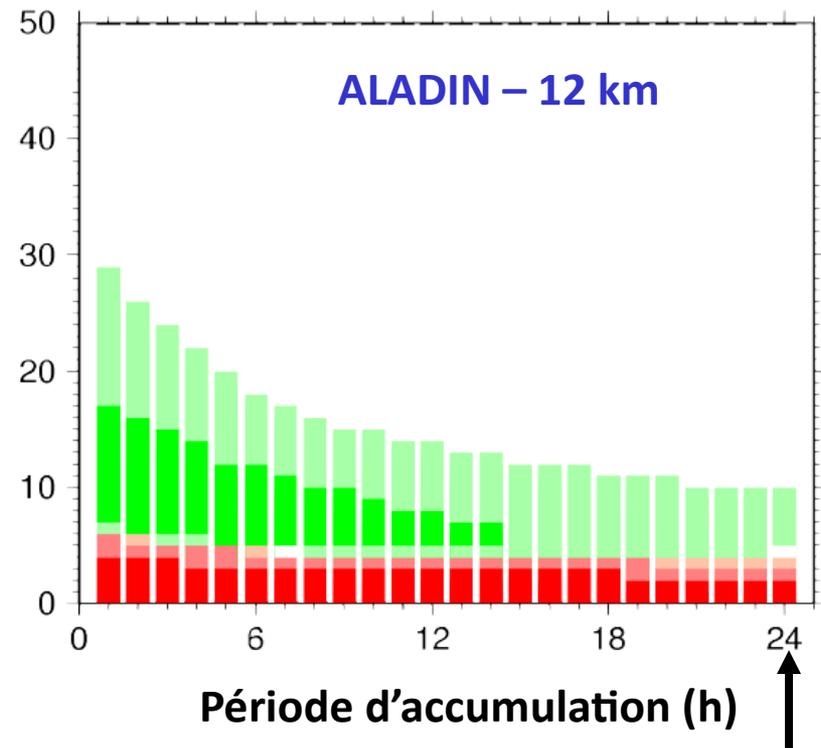
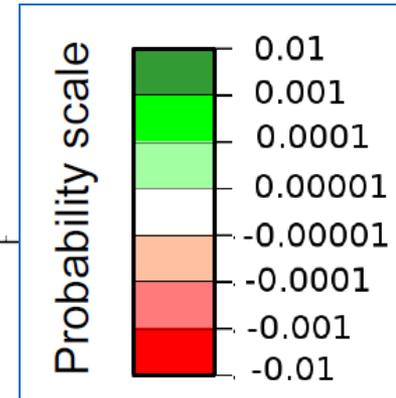


**Moins souvent des pluies faibles**  
**Plus souvent des pluies fortes**

# Réponse au changement climatique ALADIN(12 km) vs AROME (2.5km)

## Changement de fréquence par intensité de pluie (mm/h)

(scénario RCP8.5, 2089-2100 vs 1989-2000)



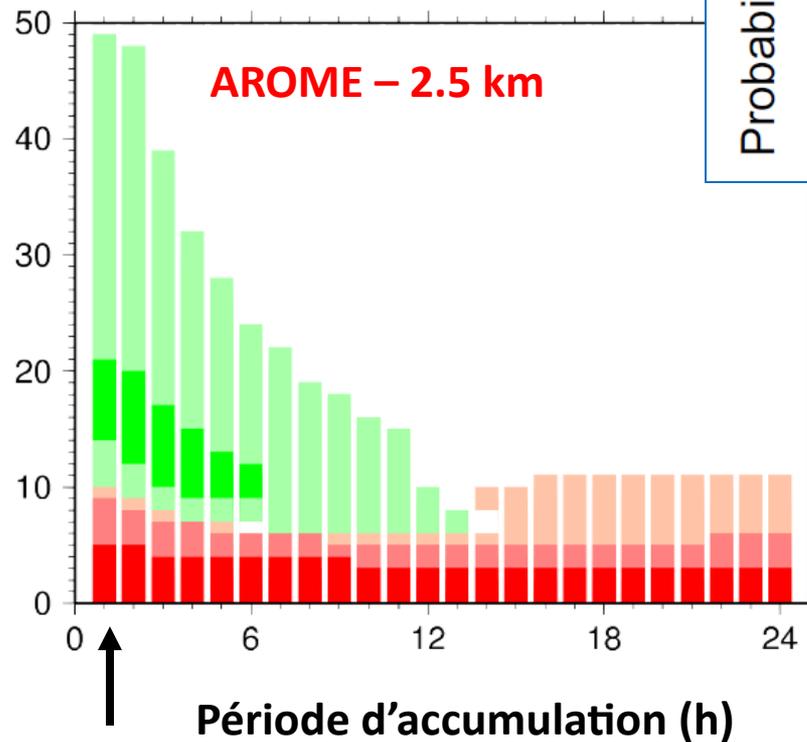
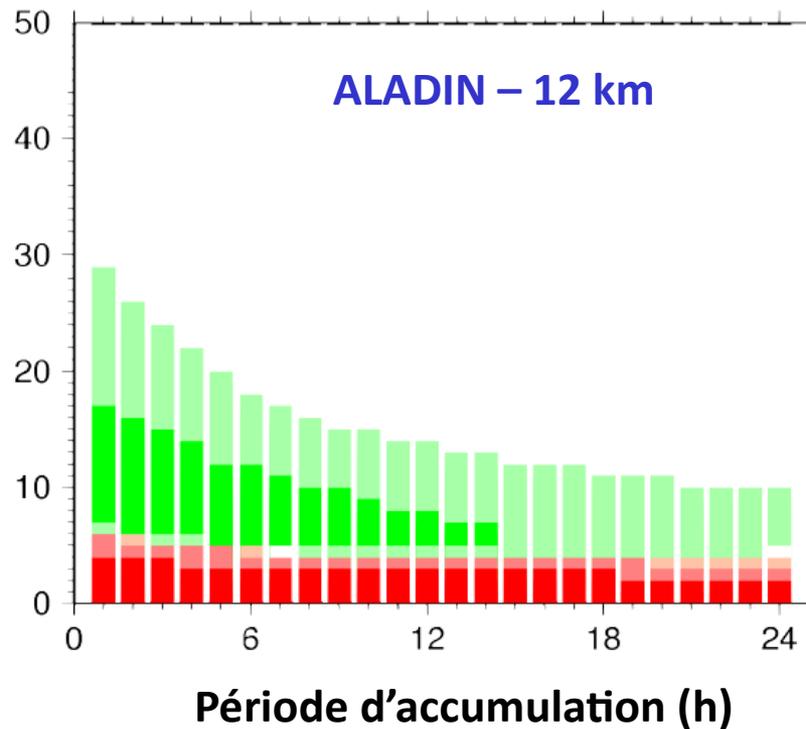
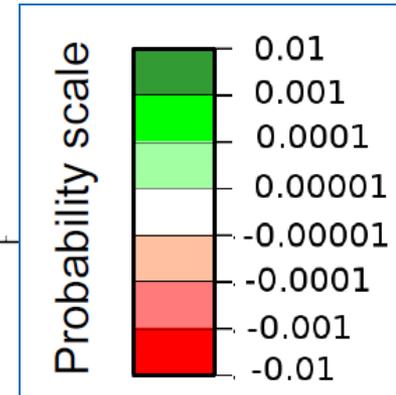
**Moins souvent des pluies faibles**  
**Plus souvent des pluies fortes**

**Moins souvent des pluies faibles**  
**Moins souvent des pluies fortes**

# Réponse au changement climatique ALADIN(12 km) vs AROME (2.5km)

## Changement de fréquence par intensité de pluie (mm/h)

(scénario RCP8.5, 2089-2100 vs 1989-2000)



Des pluies horaires plus fortes avec AROME

Plus souvent des pluies horaires fortes avec le changement climatique

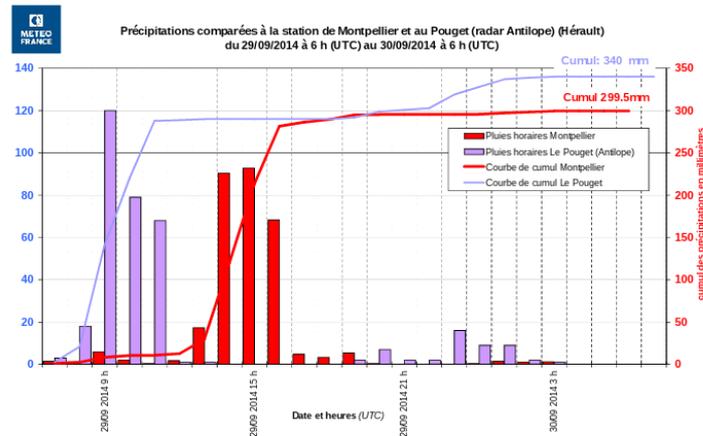
# Conclusion

- ➔ De nouvelles simulations climatiques régionales qui devraient permettre :
  - de fournir un forçage en pluie pour les modèles d'impacts représentant la variabilité spatio-temporelle des pluies méditerranéennes et adapté aux échelles des bassins méditerranéens
  - d'étudier l'évolution de l'intensité des pluies intenses aux pas de temps infra-journalier

3 octobre 2015 :  
Mandelieu : 115 mm en 1h  
156 mm en 2 h



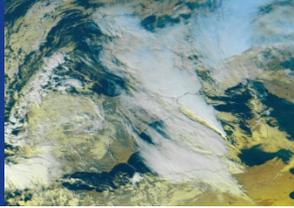
29 septembre 2014 :  
Montpellier : 97 mm en 1 h  
280 mm en 6 h



6-7 octobre 2014 :  
Pradels-le-Lez : 95 mm en 1 h  
225 mm en 3h



**HyMeX**



**Merci de votre attention**