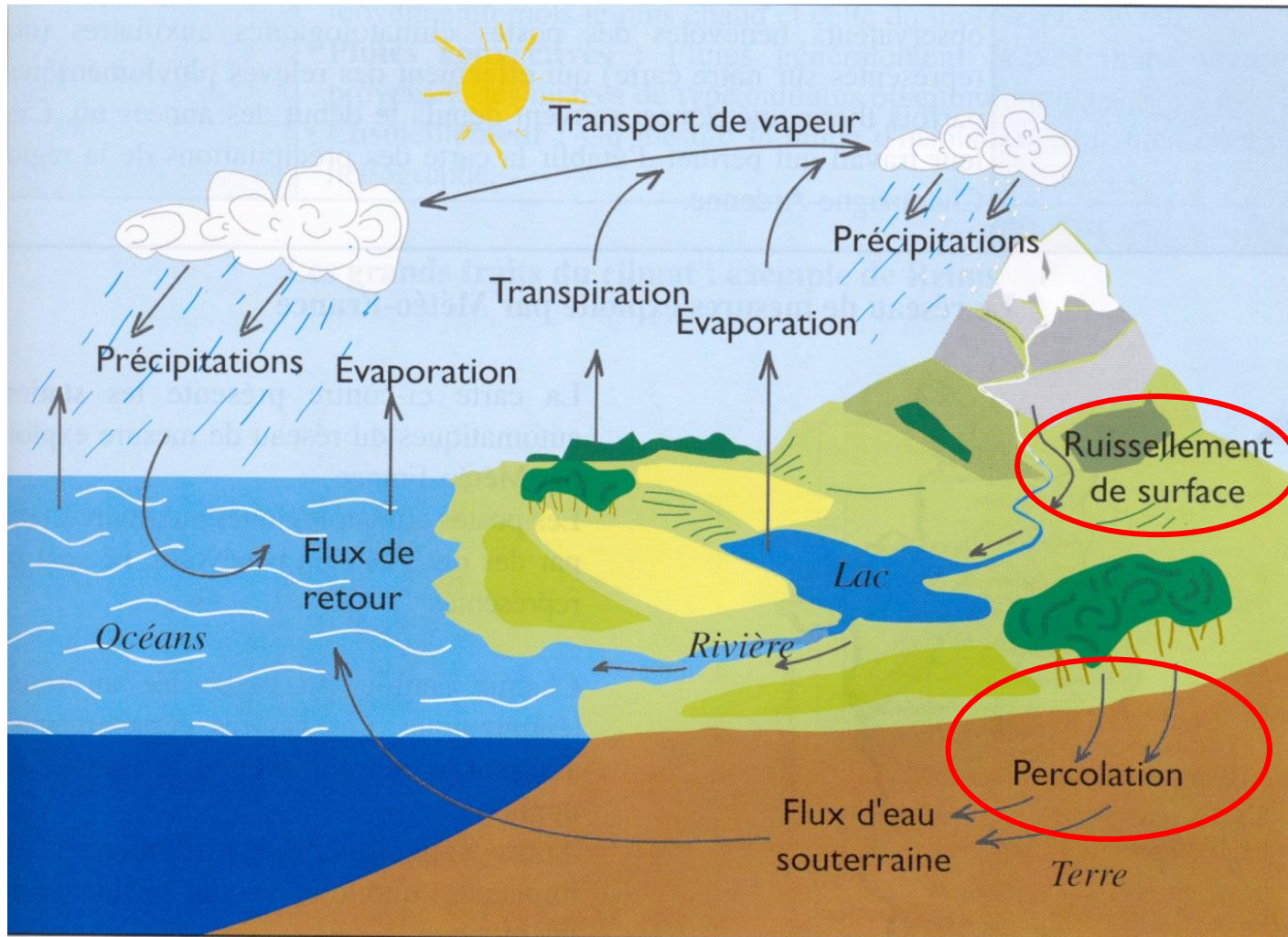


La fréquence des crues lentes et son évolution dans le climat futur

- Processus hydrologiques
- Types de crues
- Détection des évolutions en France
- Evolution du risque de crue dans un contexte de changement climatique

Processus hydrologiques

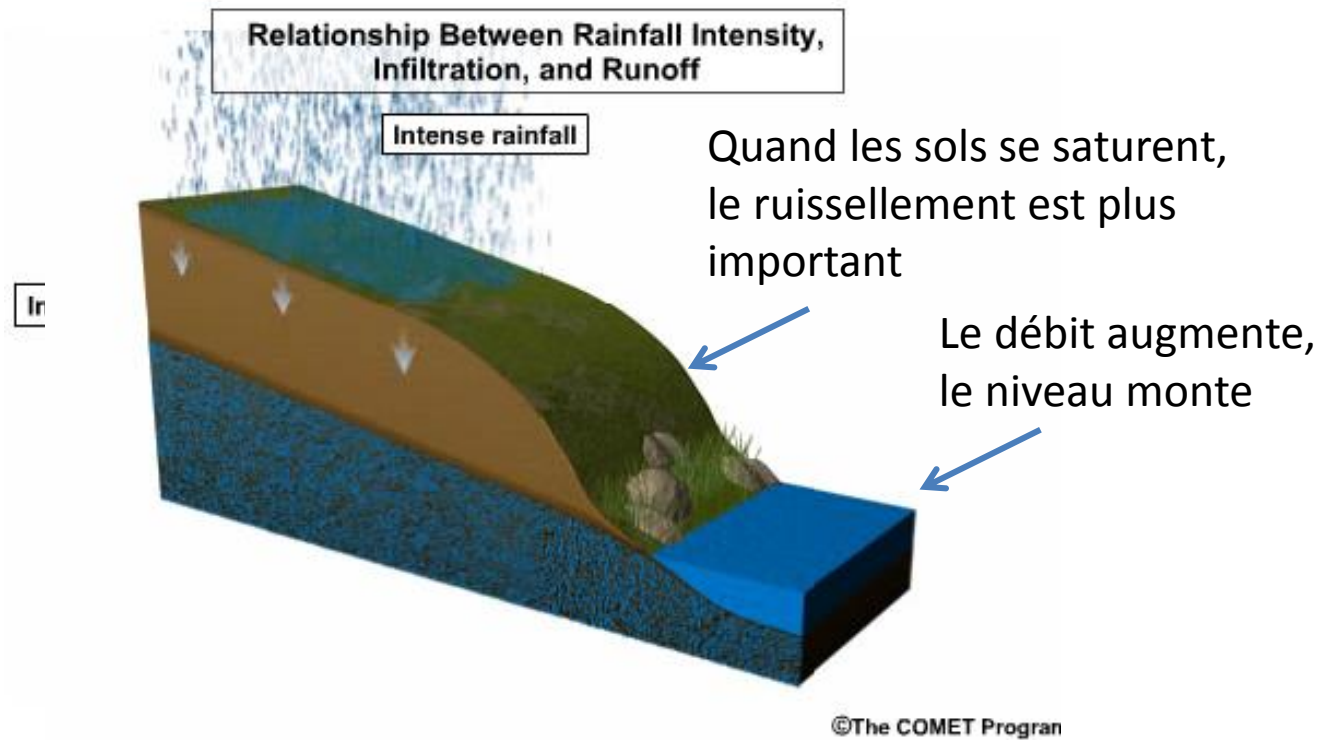
Bilan hydrique: de la pluie aux débits...



Bilan hydrique: de la pluie aux débits...

Ruissellement de surface

Infiltration



Types de crue

Crues rapides → temps de réaction très court entre les précipitations et la crue

Crues lentes → un délais entre précipitations et crue est lié aux processus de transfert

Les crues sont souvent référencées en fonction de leur fréquence ou période de retour:

→ une crue décennale (période de retour 10 ans) génère peu de dégâts

→ Certaines structures (ponts, barrages...) doivent être résilientes à des crues de période de retour élevée: 100 ans, 10 000 ans, plus....

Types de crue

Crues rapides → temps de réaction très court entre les précipitations et la crue

Crues lentes → un délais entre précipitations et crue est lié aux processus de transfert

Une crue est soit liée à un événement extrême, soit liée à une combinaison d'événements (qui peuvent être assez fréquents ou extrêmes)

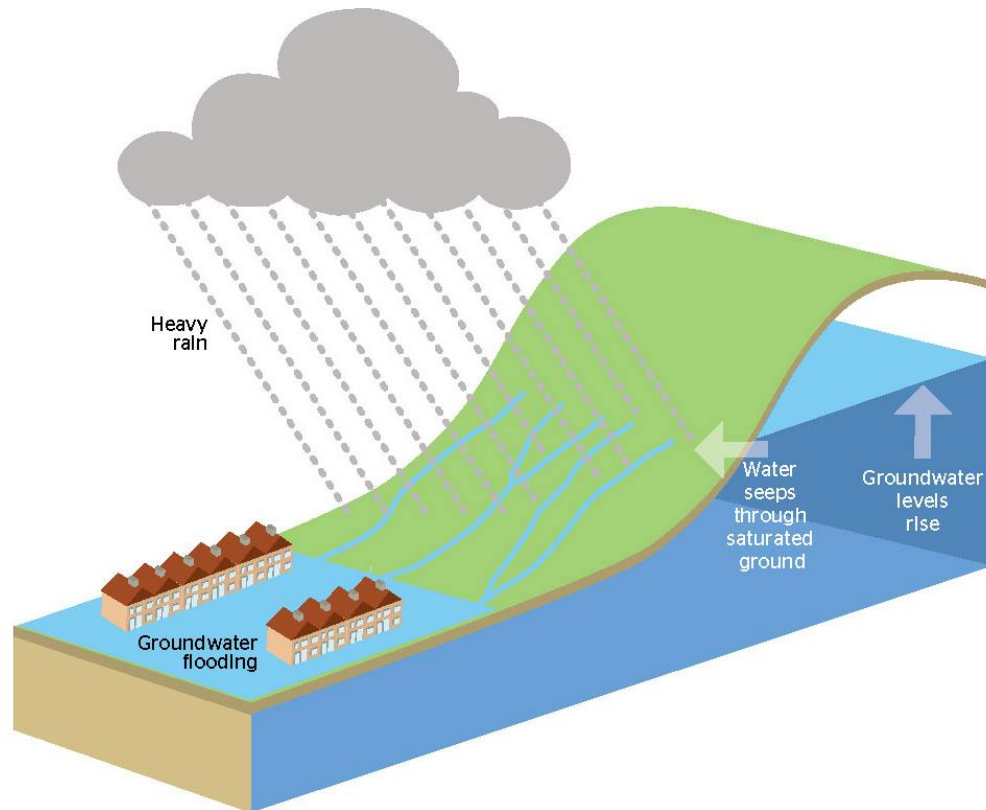
Exemple

- Précipitations extrêmes → peut générer des crues rapides mais aussi lentes
- Combinaison
 - Précipitation + sols saturés et/ou nappes affleurantes
 - Précipitation + important manteau neigeux
 - Précipitation + forte marée
 - Confluence de hautes eaux sur 2 affluents liés à différents évènements précipitants

Aggravation par des causes anthropiques : imperméabilisation/occupation des sols/endiguement

Exemple: crue de nappes

Dans ce cas, l'eau ne coule pas uniquement dans le lit des rivières, mais, de plusieurs points d'affleurement de la nappe (sources)



Exemple: crue de nappes

Dans ce cas, l'eau ne coule pas uniquement dans le lit des rivières, mais, de plusieurs points d'affleurement de la nappe (sources)

Mais peuvent empêcher l'eau de s'évacuer



Les digues protègent du débordement de l'eau de la rivière

Exemple: crue de nappes

Crue de la Somme en 2001

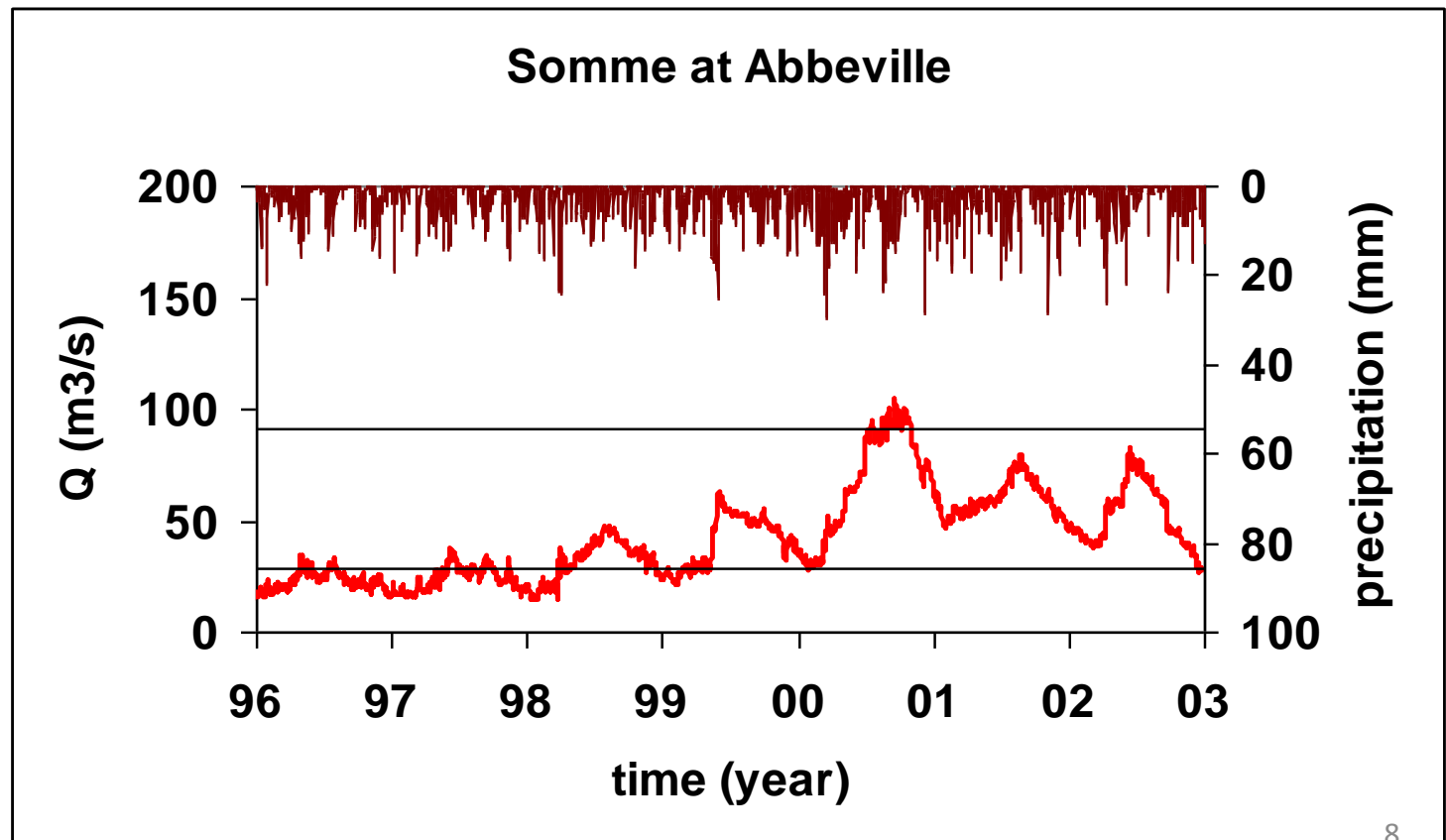
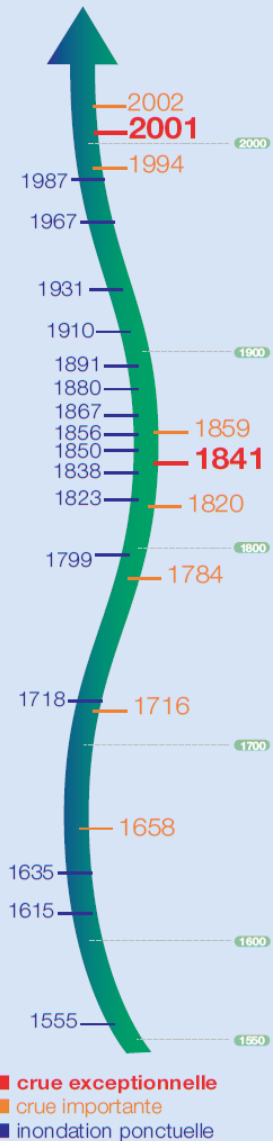
Très lente....

Période de retour: 120 ans

Débits > débit décennal durant 6 mois!

Certaines zones ont été inondées plus de 3 mois

LES PRINCIPALES CRUES
SUR LA VALLÉE DE LA SOMME

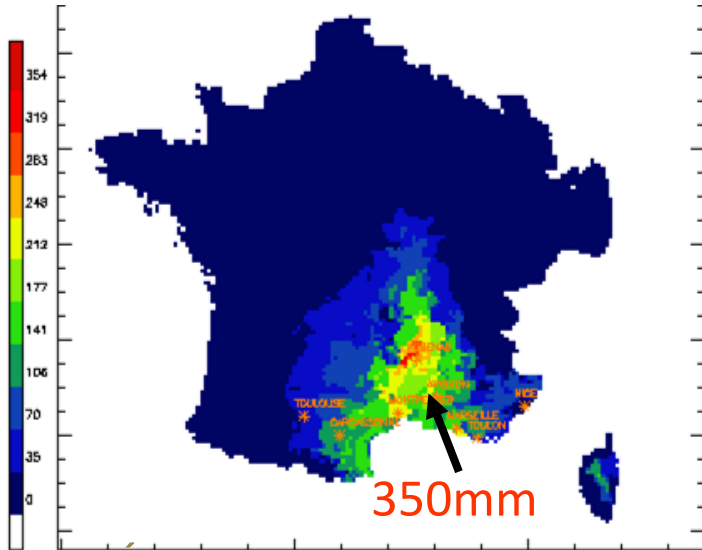


Types de crue

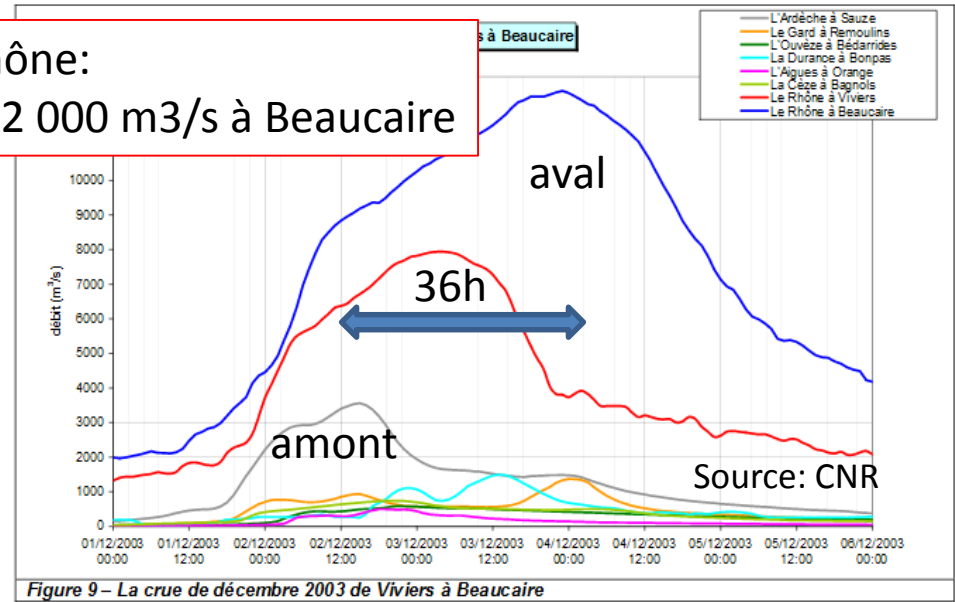
Exemple: crues lentes liées à des précipitations extrêmes + sols humides

Déroulement des crues du Rhône et Loire de Décembre 2003

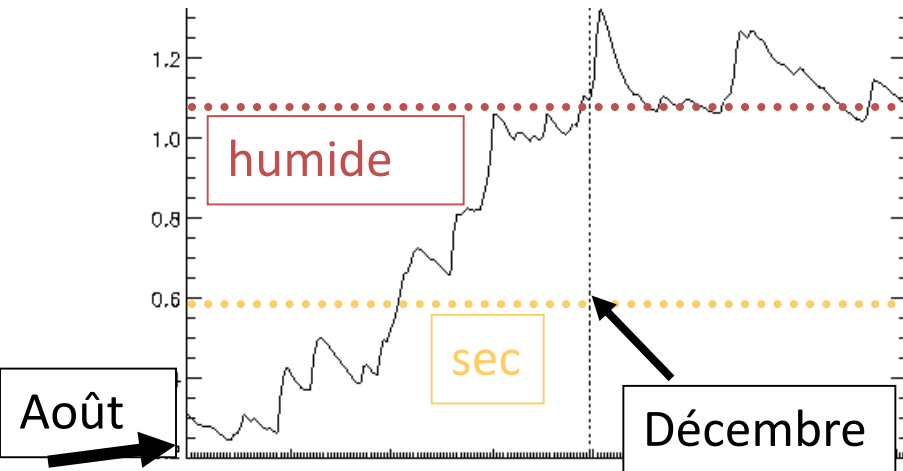
Précipitations cumulées en 2 jours



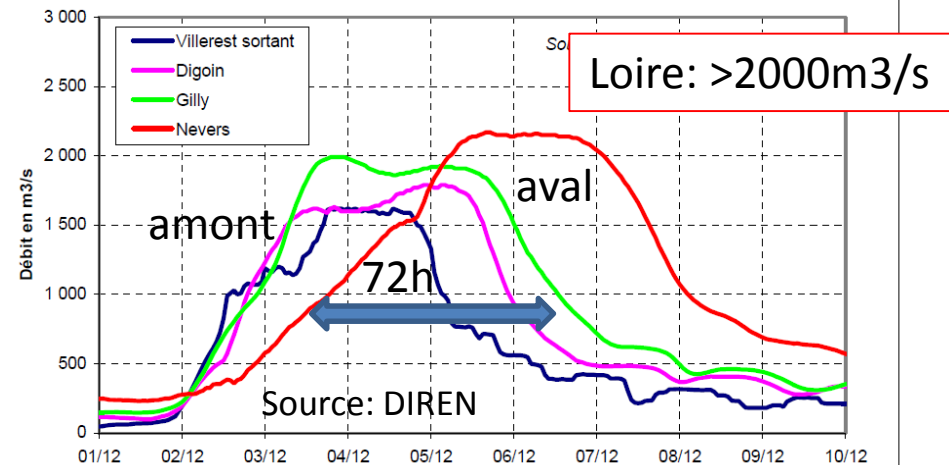
Rhône:
+12 000 m³/s à Beaucaire



Évolution du contenu en eau moyen

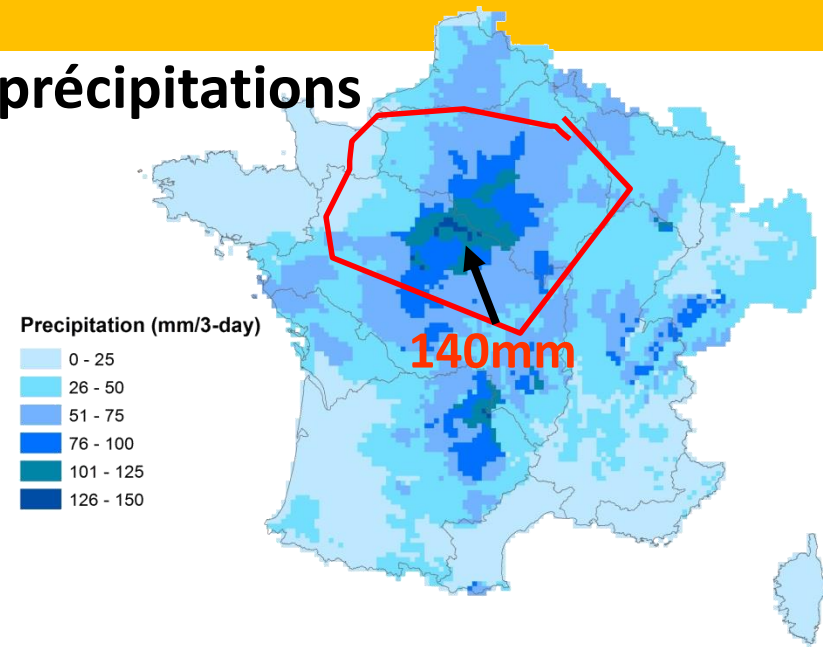


Débit de la Loire en aval de Villerest - crue de décembre 2003



Types de crue

Exemple: crues lentes liées à des fortes précipitations sur sols humides

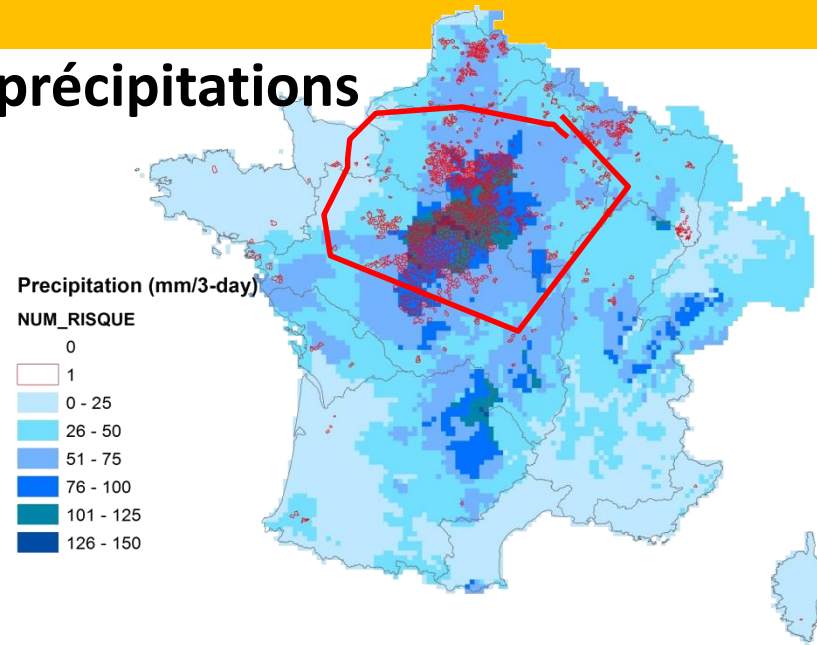


Précipitations sur 3 jours

Source Safran, François Besson, Météo-France

Types de crue

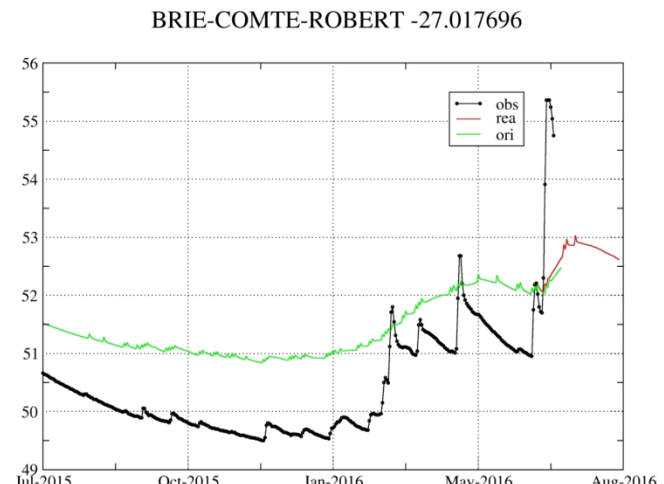
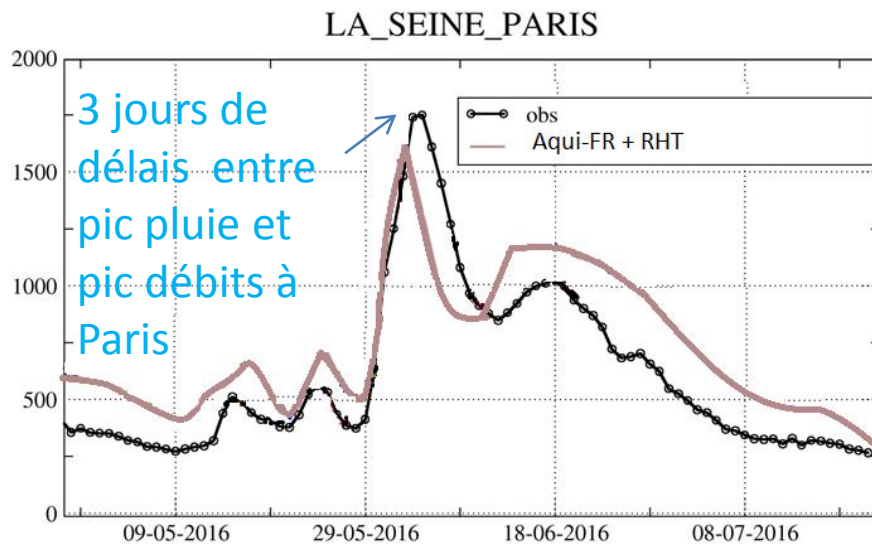
Exemple: crues lentes liées à des fortes précipitations sur sols humides



Précipitations sur 3 jours

Source Safran, François Besson, Météo-France

+ villes catnat inondation



La fréquence des crues lentes et son évolution dans le climat futur

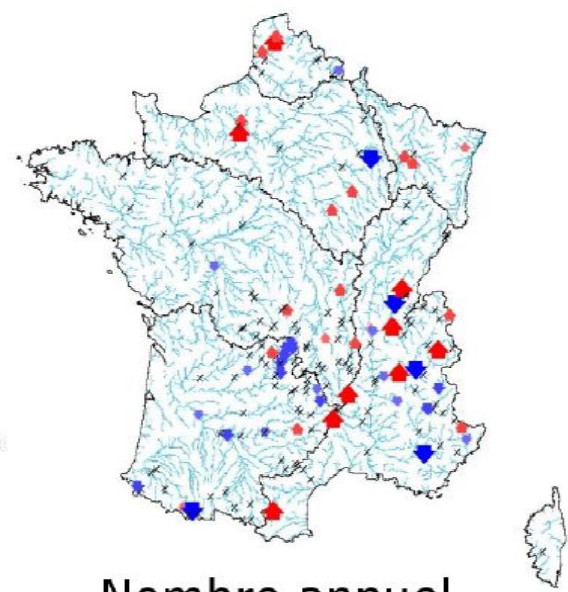
- Processus hydrologiques
- Types de crues
- **Détection des évolutions en France**
- Evolution du risque de crue dans un contexte de changement climatique

Détection des impacts sur les débits de crue en France

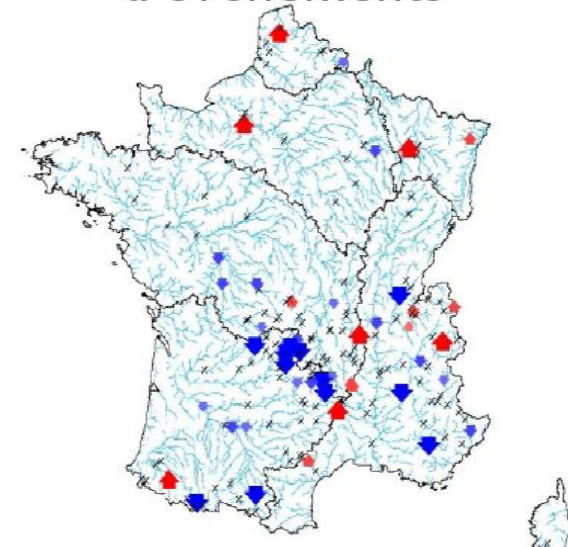
MAXAN

Changement sur la moyenne
(significativité)

- ▼ 10%
- ▾ 5%
- ▴ 1%
- ▲ 1%
- ◆ 5%
- ◇ 10%
- × non significatif



Nombre annuel
d'évènements

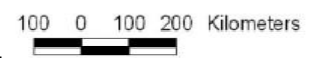


Ordres de grandeur
(MAXAN, $\alpha=0.1$):
~15% à la hausse
~15% à la baisse
~70% stationnaires

**Pas de tendance
généralisée**

**Peu de cohérence
spatiale**

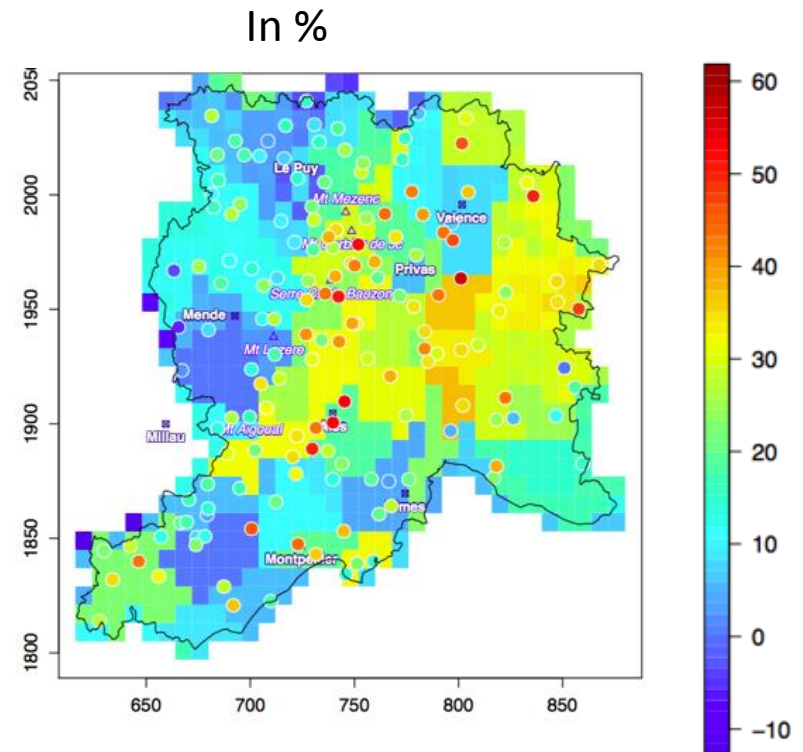
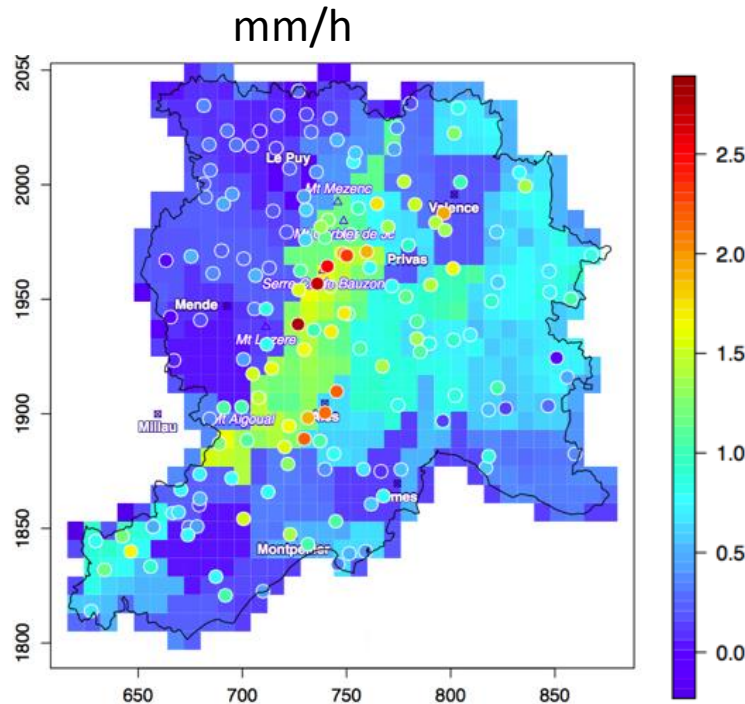
Renard, 2006



Pas de tendance nette

Tendance sur les précipitations extrêmes dans le sud de la France

Augmentation observée entre 1985-2014



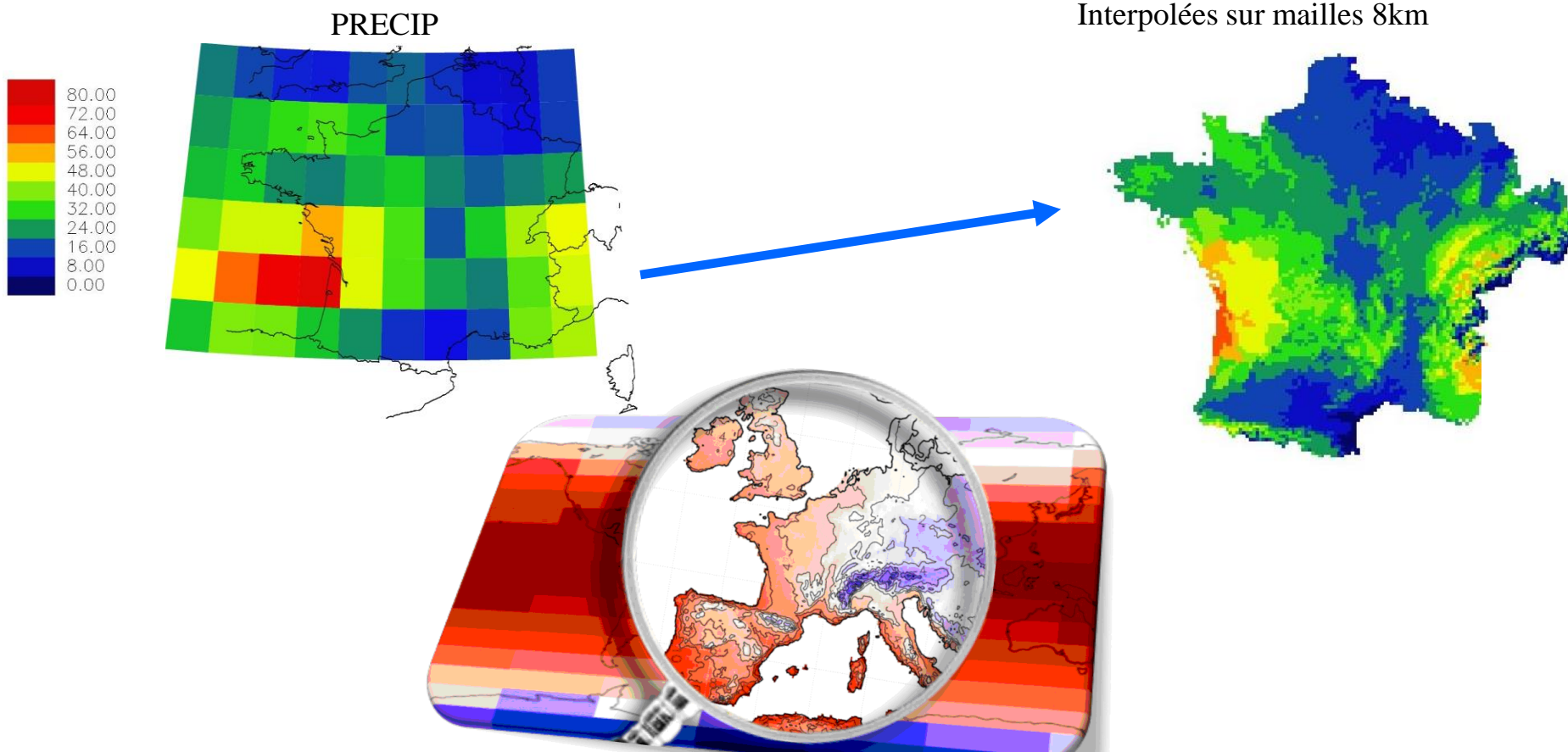
La fréquence des crues lentes et son évolution dans le climat futur

- Processus hydrologiques
 - Types de crues
 - Détection des évolutions en France
 - **Evolution du risque de crue dans un contexte de changement climatique**
-
- utilisation de plusieurs modèles de climat et plusieurs scénarios GES
 - Utilisation d'une ou plusieurs **méthodes de régionalisation/correction** des modèles de climat
 - Utilisation d'un ou plusieurs modèles d'impact : **modèles hydrologiques**
 - Analyser les incertitudes

Projections climatiques

Méthodes de régionalisation/correction

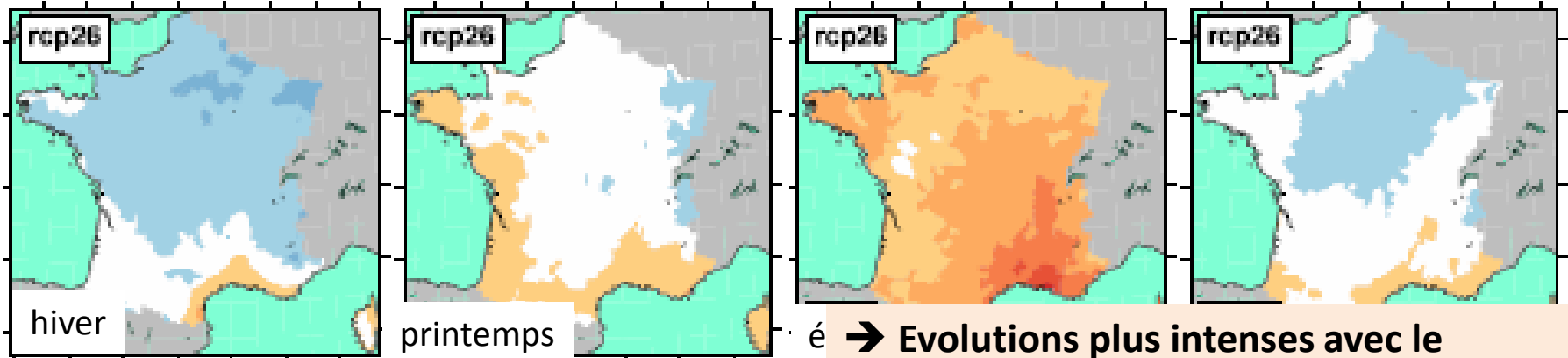
- ➔ Nécessité de régionaliser et de débiaiser
- ➔ Pour les crues: besoin de bien représenter les extrêmes, mais aussi la persistance des jours de pluies



Besoin de régionaliser les informations brutes des modèles pour les exploiter en hydrologie

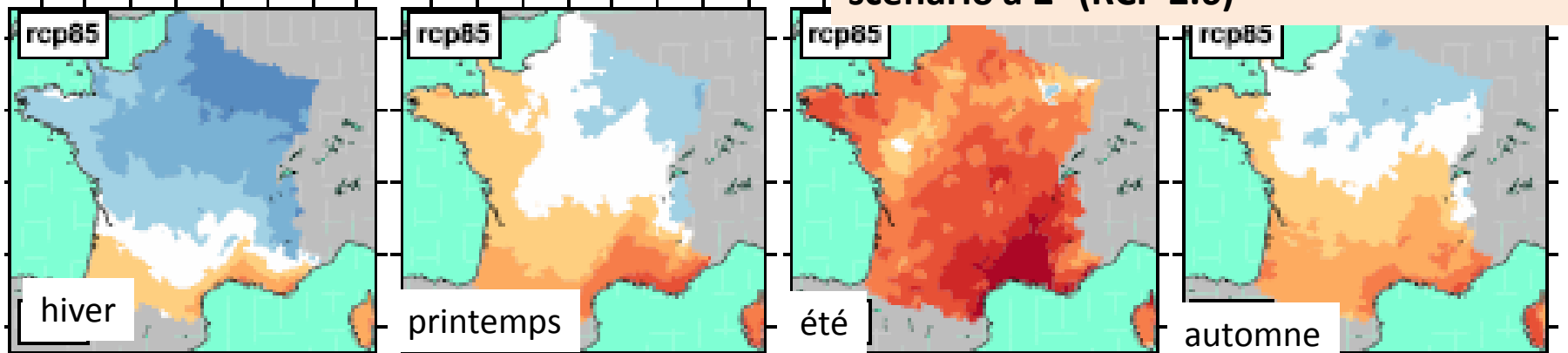
Projections climatiques

Evolution des précipitations à l'horizon 2100: projections régionalisées
Scénario de concentration en Gaz à effet de serre 2° (RCP 26)



→ Evolutions plus intenses avec le scénario tendanciel (RCP 8.5) qu'avec le scénario à 2° (RCP 2.6)

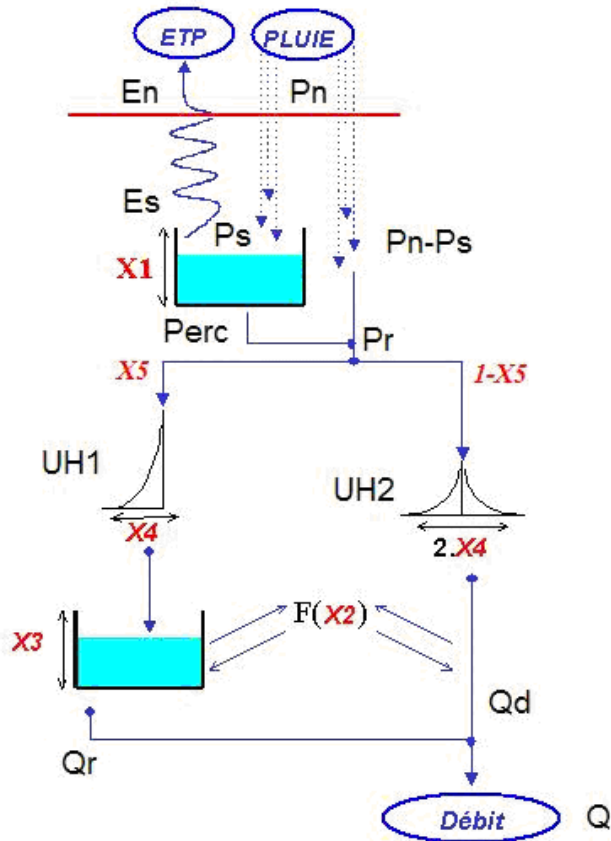
Scénario de concentration en Gaz à effet de serre 8.5 (RCP 8.5)



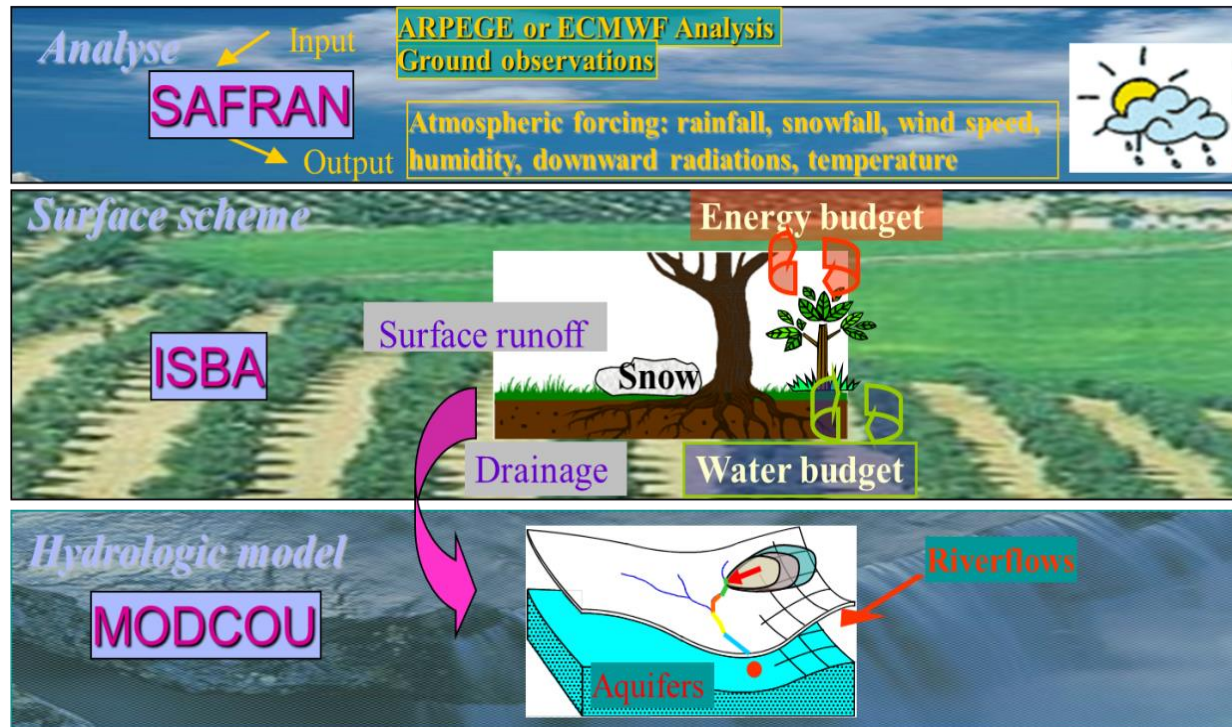
Projections climatiques

Exemple de modèles hydrologiques:

modèle hydrologique GR4J



modèle hydrométéorologique SIM



Perrin 2002



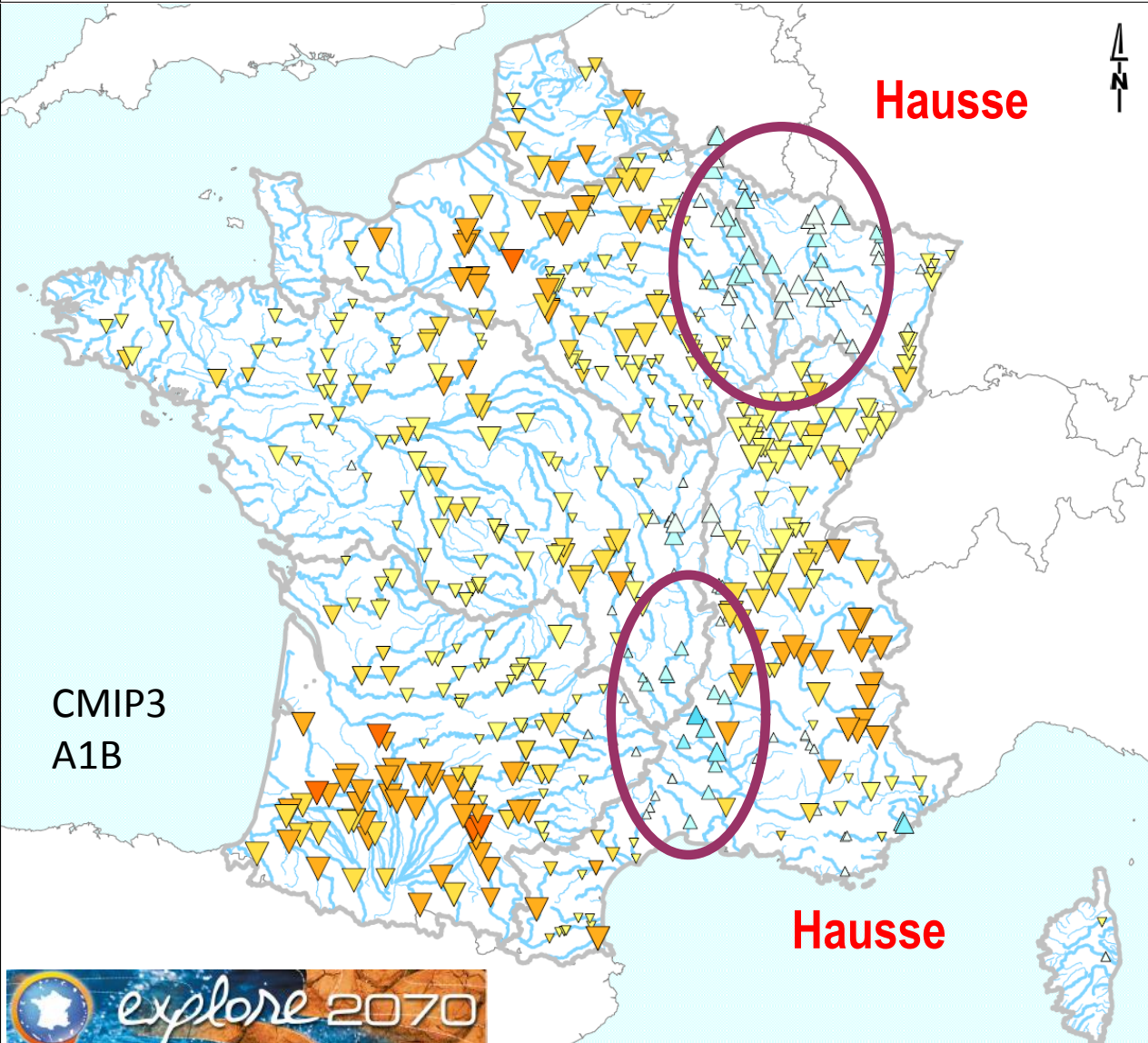
Habets et al., JGR, 2008



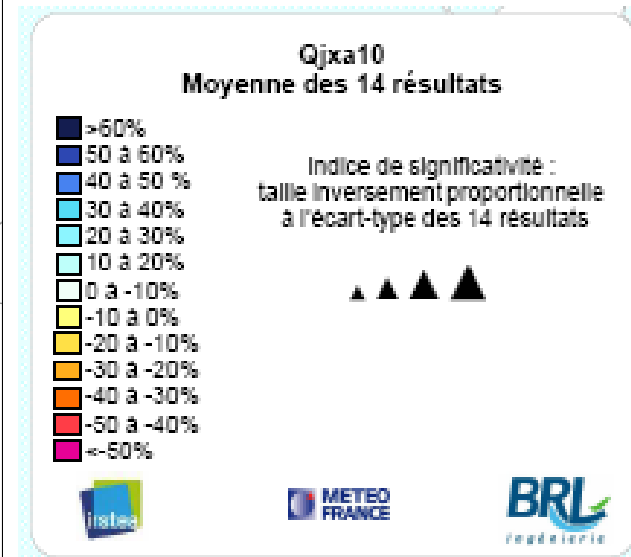
Projections climatiques

Evolution des crues décennales à l'horizon 2070

Débit journalier maximal annuel de période de retour 10 ans : Evolution possible entre 1961-90 et 2046-65



Crues (QJXA10)



7 projections climatiques,
2 modèles hydrologiques,
1 méthode de régionalisation

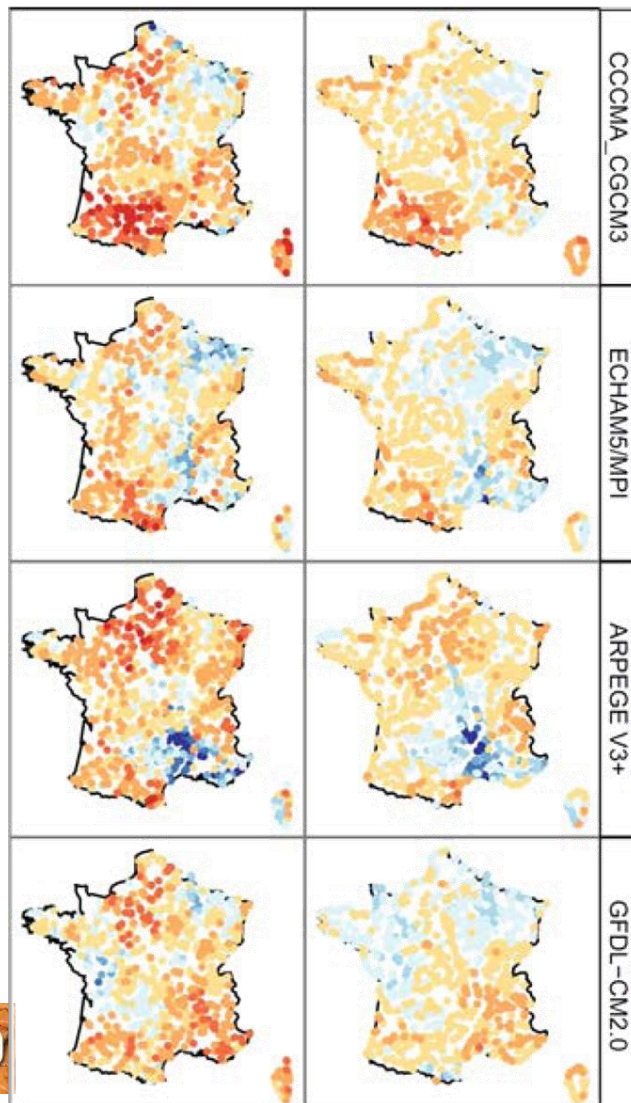
Projections climatiques

Evolution des crues décennales à l'horizon 2070

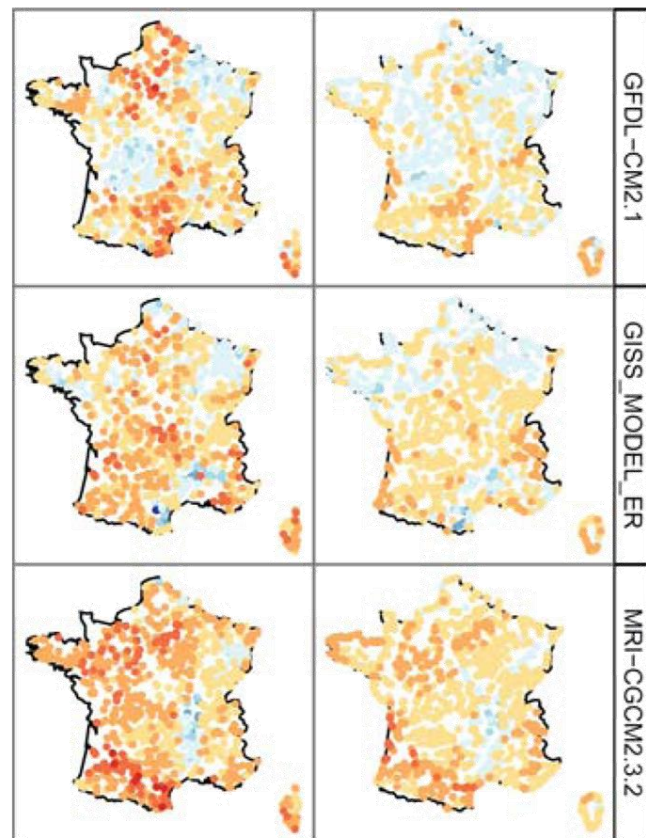
Illustration des incertitudes

- Selon les modèles de climat, il peut y avoir des augmentations des crues plus étendues
- Dispersion entre les modèles hydrologiques

GR4J	ISBA-MODCOU
------	-------------



GR4J	ISBA-MODCOU
------	-------------



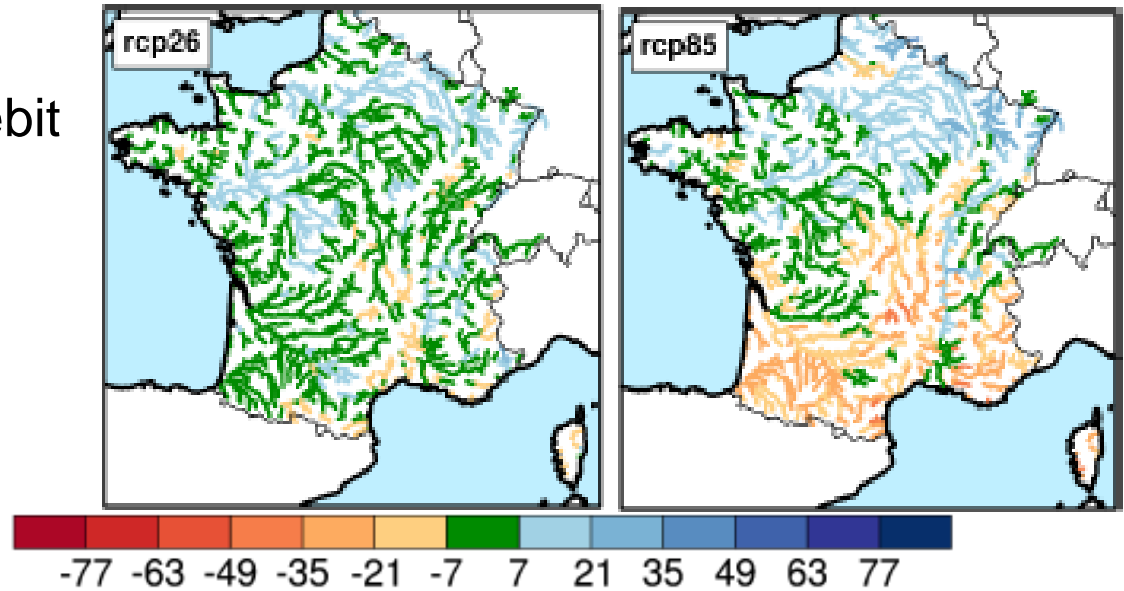
CMIP3
A1B



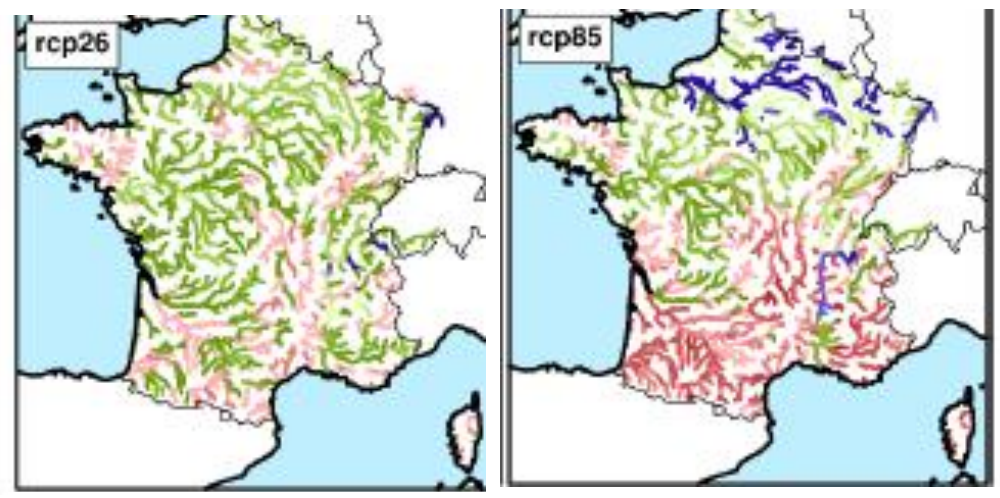
Projections climatiques

Evolution des crues décennales à l'horizon 2070

Evolution du débit de la crue décennale %



Evolution de la fréquence de l'actuelle crue décennale



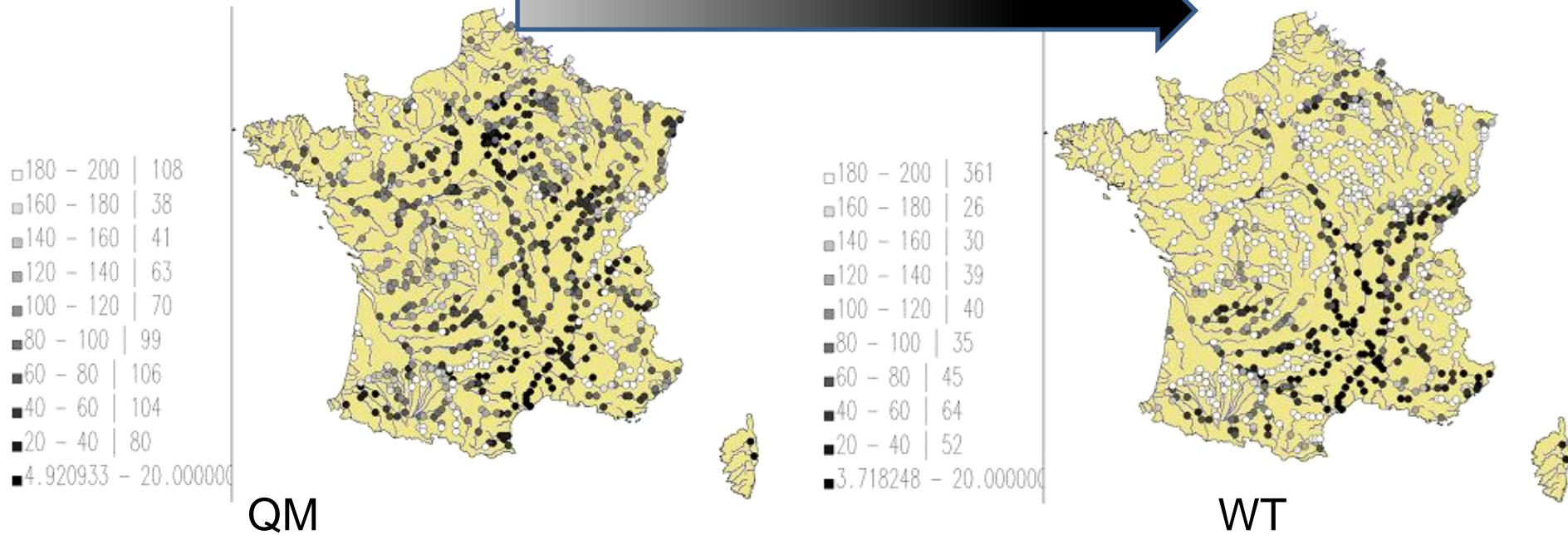
CMIP5



Evolution de la période de retour des crues centennales

Moins fréquentes

Plus fréquentes



2035–2064 versus 1971-2000

1 projection climatique,
1 modèle hydrologique,
2 méthodes de régionalisation

Illustration des Incertitudes liées aux méthodes de régionalisation

L'évolution des crues centennales semble plus nette que celle des crues décennales

Cohérent avec Alfieri et al., 2015 sur l'Europe

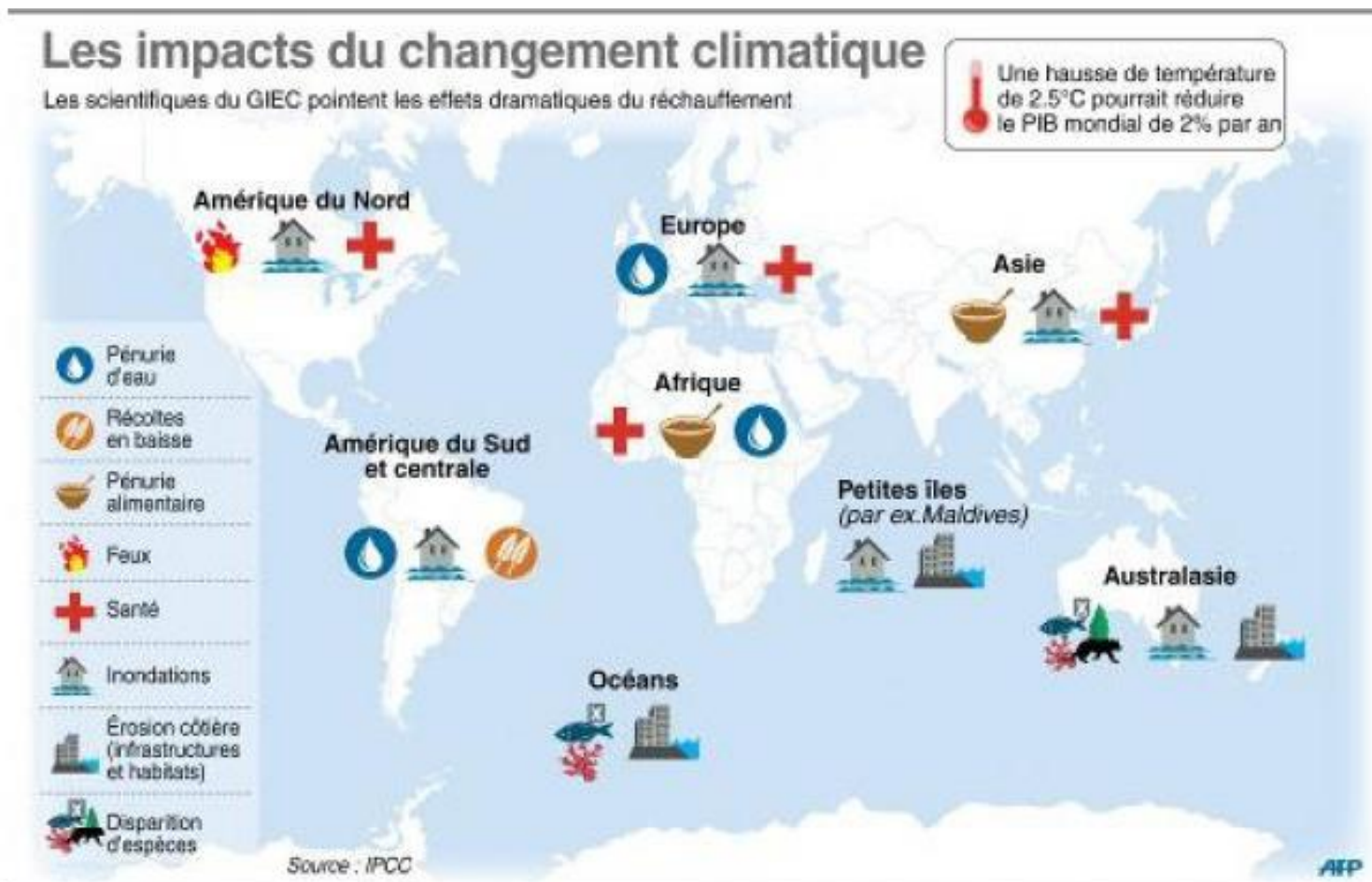
Impact de l'occupation des sols sur la genèse des crues

Aggravation des crues :

- Imperméabilisation
 - Disparition des zones humides
 - Disparition de zones tampons: haies, bosquets, prairie
 - Endiguement...
 - Perte de réserve utile des sols (compaction, croute de battance, appauvrissement en MO)
- ➔ Contribue à l'incertitude sur l'estimation de l'évolution des crues
- ➔ Permet d'envisager des méthodes d'adaptation

Projections climatiques

Le risque de crues est plus étendu sur une grande partie du globe du fait du changement climatique



Conclusion:

Certitudes et Incertitudes associées à la projection des extrêmes hydrologiques

Quantification difficile car:

- Difficultés à estimer les extrêmes de précipitation
- Difficultés à anticiper la combinaison d'événement générant une crue

Cependant:

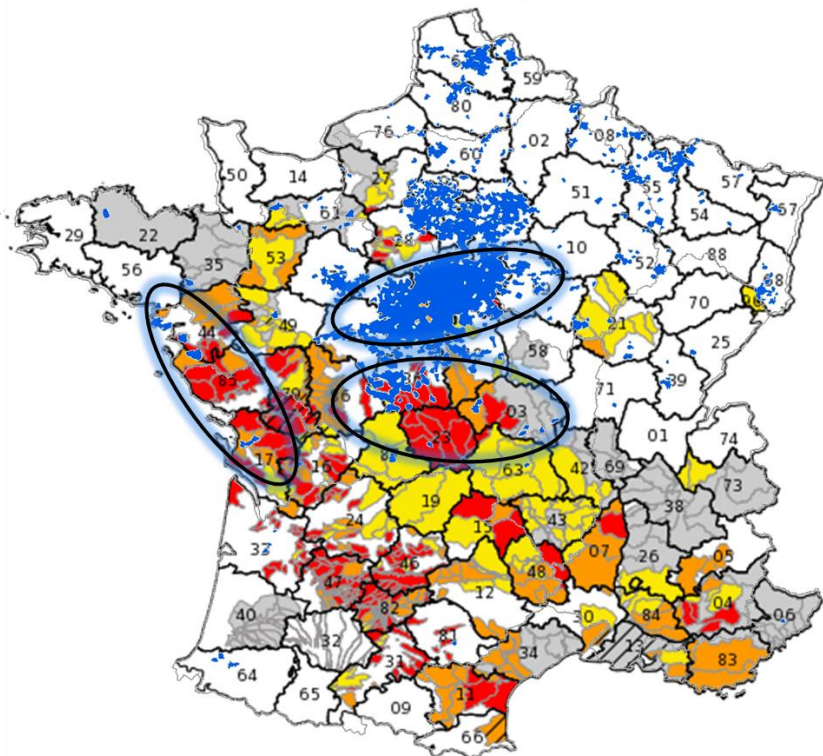
- Connaissance d'extrêmes passés à différentes échelles spatiales et temporelles
- Evidence d'une intensification des précipitations extrêmes

➔ Même dans un contexte de sécheresses plus fréquentes, le risque de crues lentes ne diminuera pas

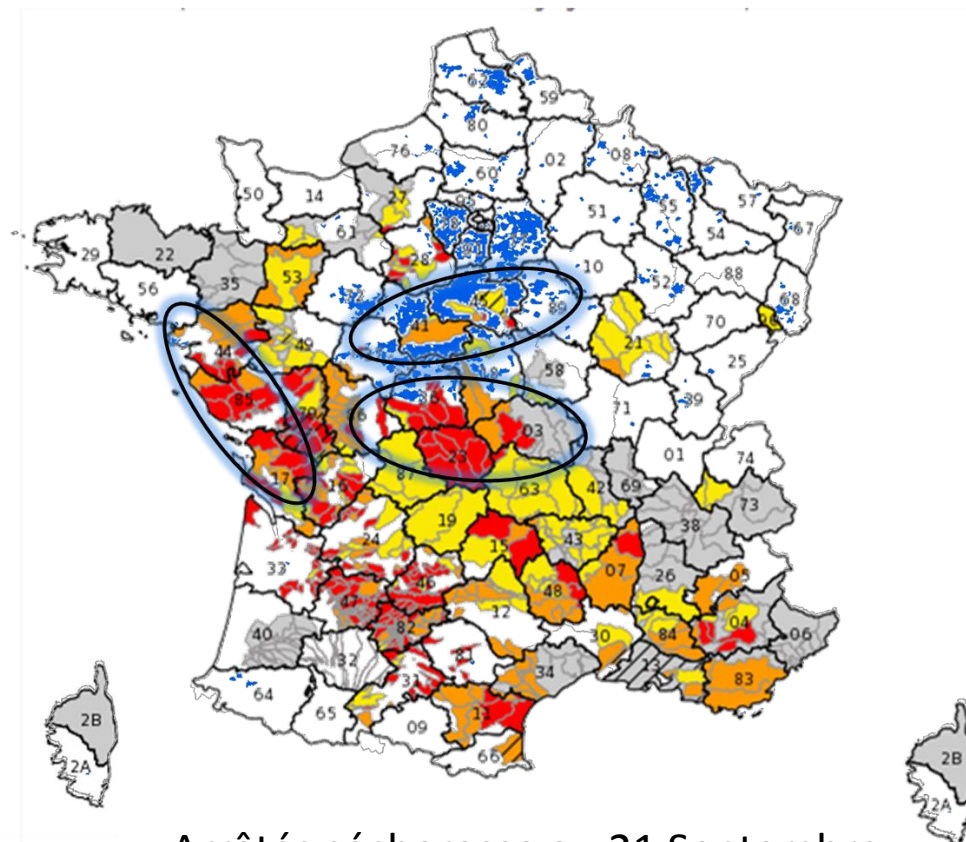
Conclusion:

2016 une année contrastée, représentative du climat à venir?

Des villes inondées en Juin ont été déclarées en sécheresse 4 mois après....



Cat nat inondation
(en majorité en Mai-Juin 2016)



Arrêtés sécheresse au 21 Septembre

Restrictions par département

- Vigilance
- Alerte
- Alerte renforcée
- Crise