

# Incertitudes en hydrologie

- Principe des modèles hydrologiques
- Incertitudes liées aux conditions atmosphériques :
- Incertitudes liées aux processus physiques:
- Incertitudes associées à l'anthropisation:

# Principe des modèles hydrologiques

Hydrosystème

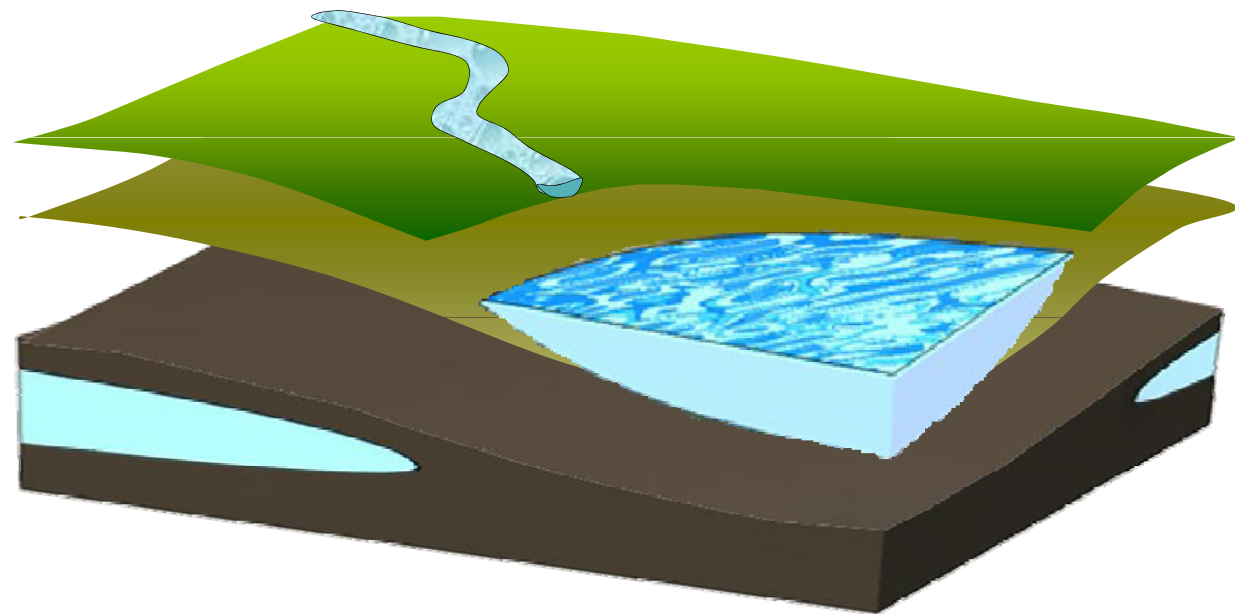
Lac/Océan

Rivières

Surface

Zone non saturée

Aquifères

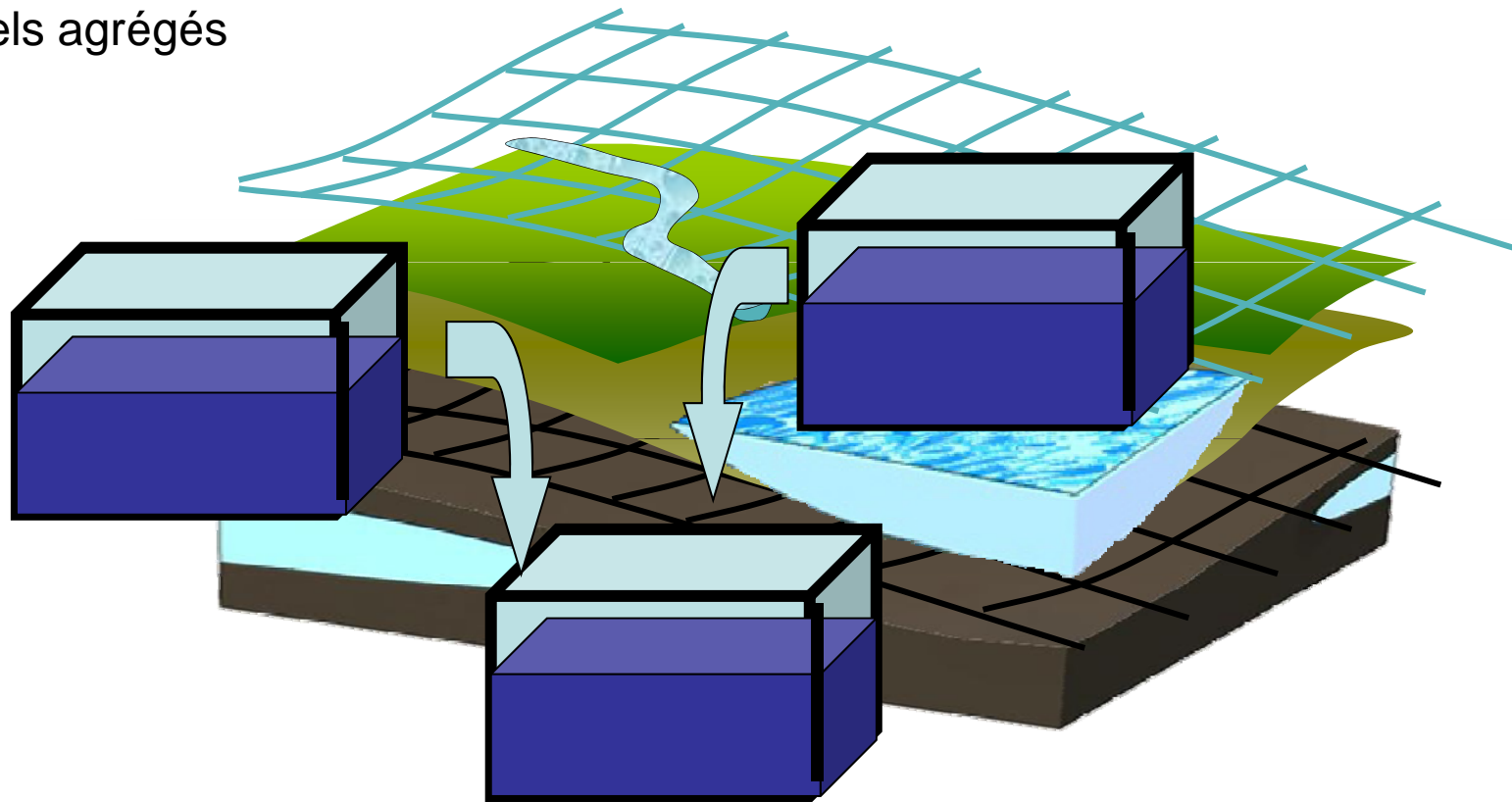


# Principe des modèles hydrologiques

## Hydrosystème

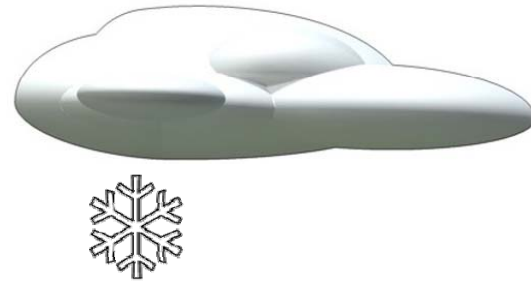
2 grands types de modèles

- distribués représentant l'ensemble des éléments
- conceptuels agrégés



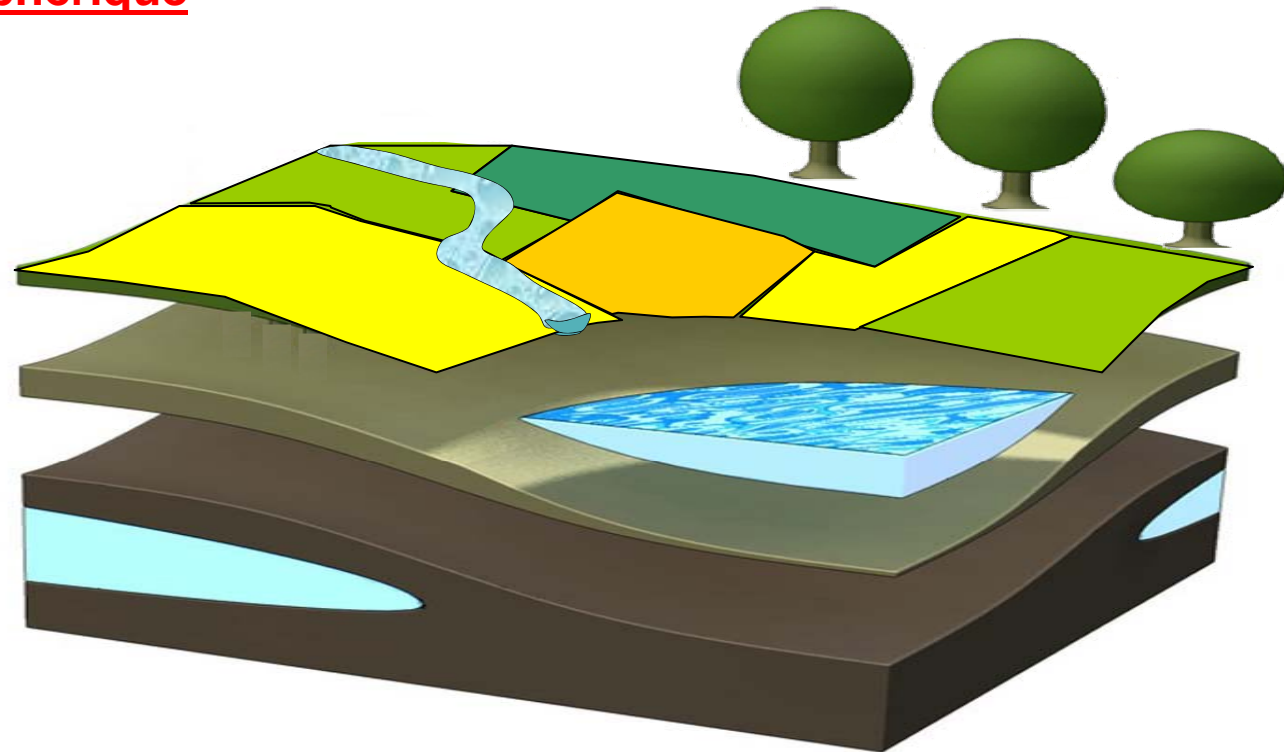
Sources d'incertitudes → Rouge

# Principe des modèles hydrologiques

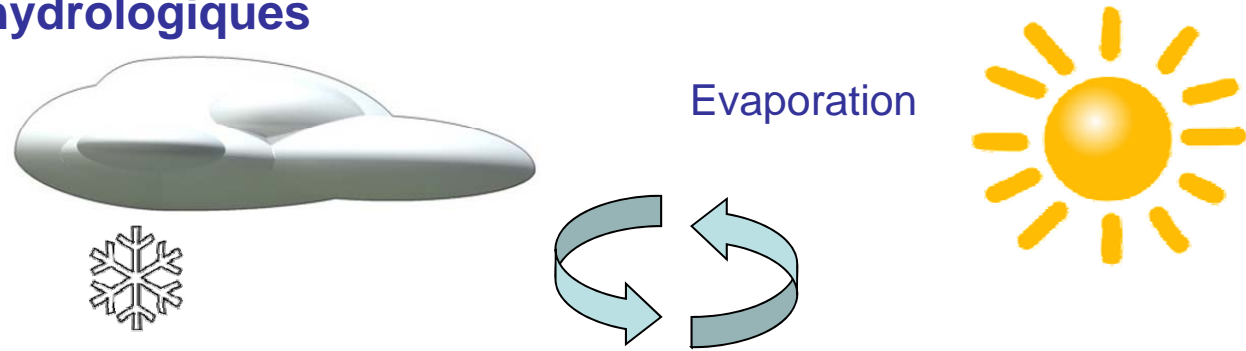


Conditions atmosphérique

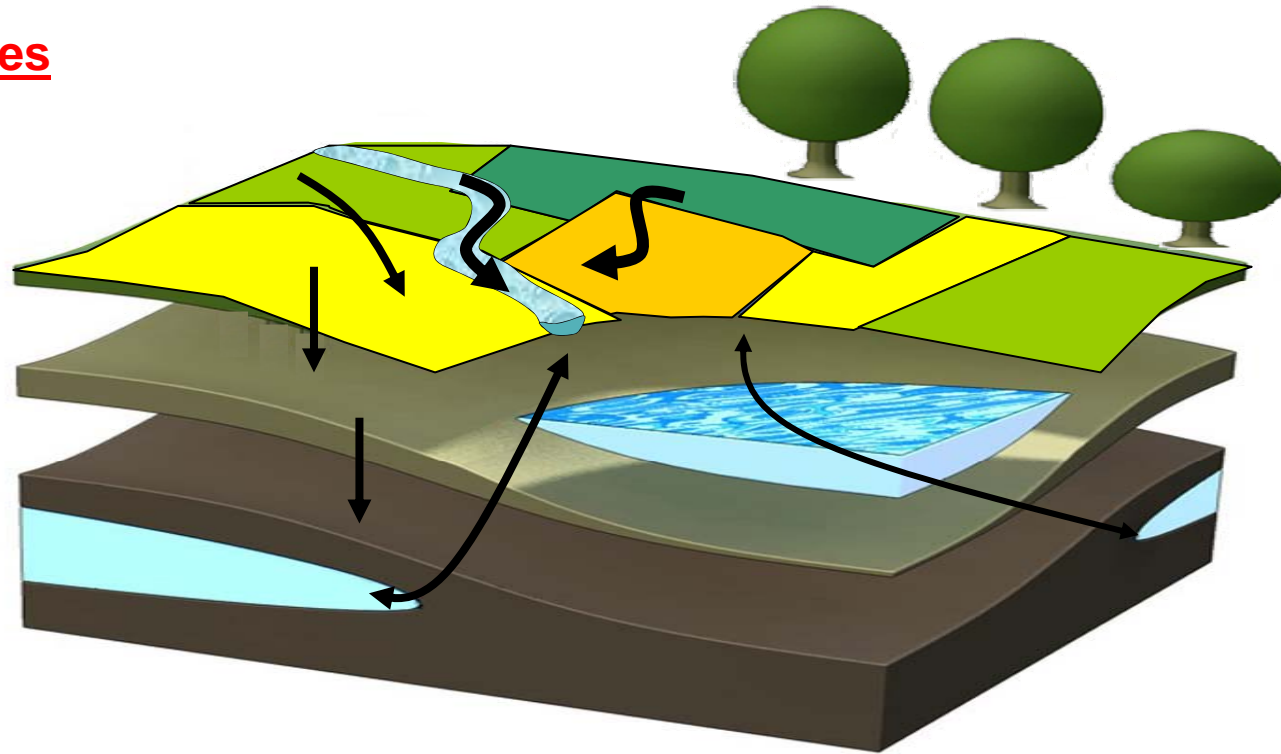
Occupation du sol



# Principe des modèles hydrologiques



## Processus physiques



### 1. Bilan Hydrique

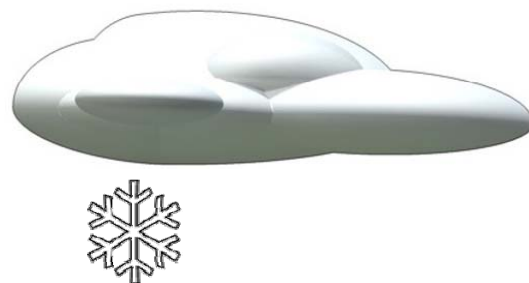
- Evaporation
- Ruissellement
- Infiltration

### 2 Transfert dans la ZNS

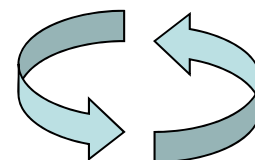
### 3 Ecoulement en rivière

### 4 Interactions nappe-surface

# Principe des modèles hydrologiques

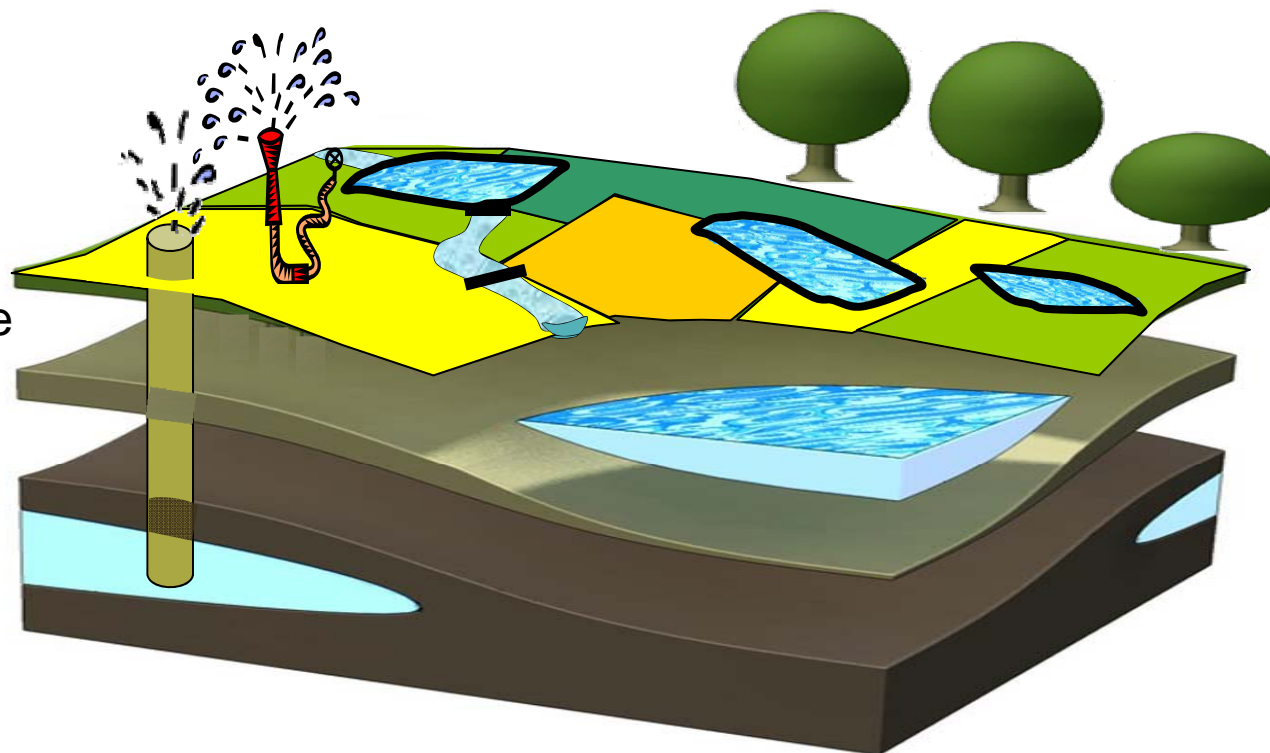


Evaporation



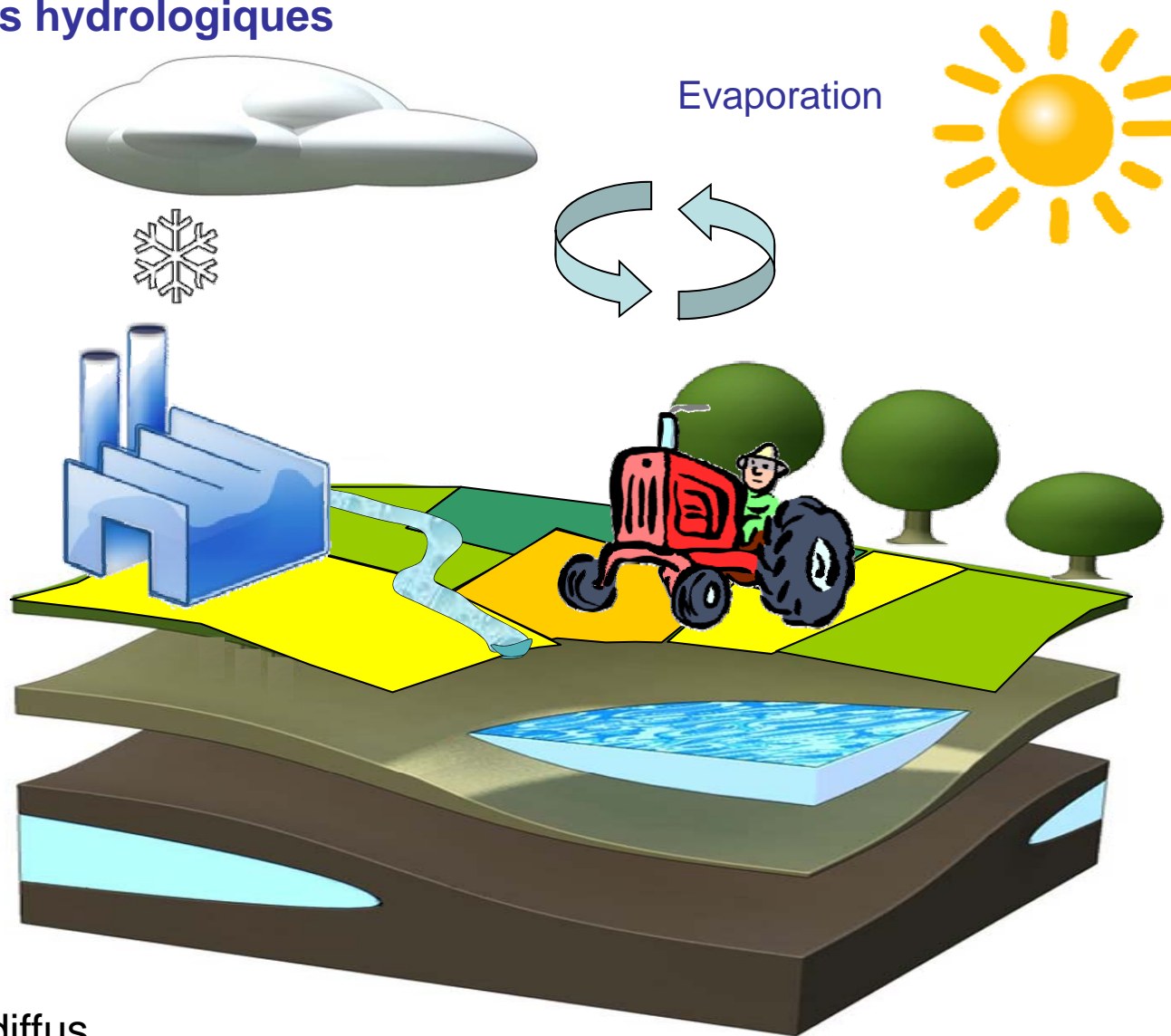
## Anthropisation

- Pompages en nappe
- Prélèvements en rivière
- Seuils
- Barrages
- Retenues Collinaires



# Principe des modèles hydrologiques

## Pollution



Transfert de polluants diffus  
Transfert de polluants ponctuels

## **Incertitudes liées aux conditions atmosphériques**

Quelques points sensibles en hydrologie:

### **Forte sensibilité aux précipitations**

Les répartitions spatiale et temporelle des précipitations sont très importantes

### **notamment pour les extrêmes hydrologiques**

- Dépend des extrêmes atmosphériques mais aussi
  - de la persistance de situations sèches / humides
  - de la conjonction d'événements sur des affluents



## Incertitudes liées aux conditions atmosphériques

Quelques points sensibles en hydrologie:

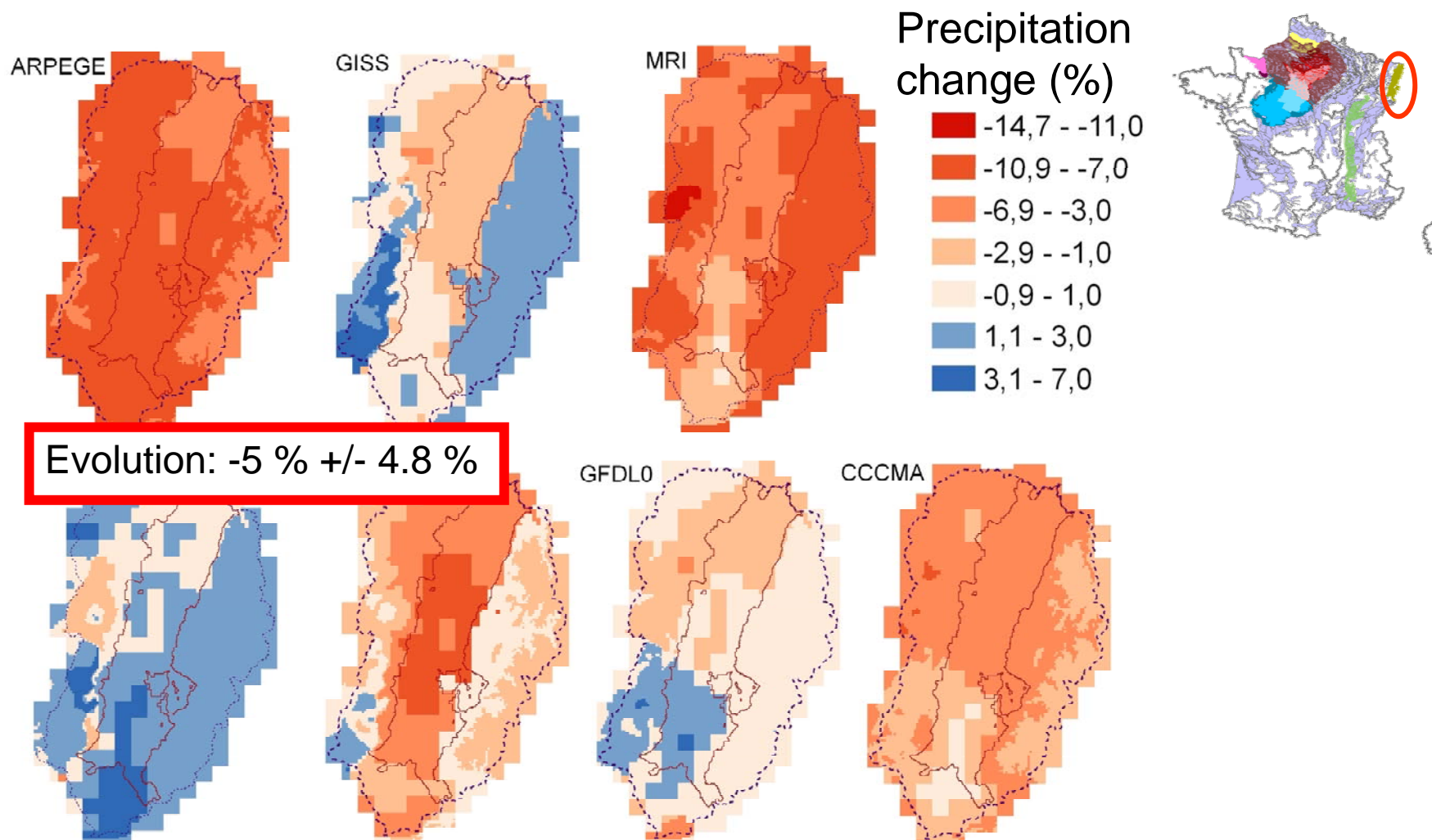
### Estimation de l'évaporation

- En hydro(géo)logie: souvent représentation simplifiée du bilan hydrique basée sur l'ETP
  - **Pb estimation de l'ETP**: qu'est-ce que l'ETP sous changement climatique ?  
Prise en compte de l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub>? Quid des impacts indirects par exemple sur l'indice foliaire, pas du tout pris en compte par les modèles simplifiés
- **consistance dans le forçage atmosphériques**, parfois « perdue » par les méthodes de désagrégation
  - Classique : inconsistance entre précipitations, humidité, rayonnements
  - Variations brusques de température d'un jour à l'autre
  - Perturbe l'estimation du bilan hydrique (surestimation de l'ETR ou du flux de rosée) et de l'ETP

# Incertitudes liées aux conditions atmosphériques

## Incertitude liées aux projections climatiques

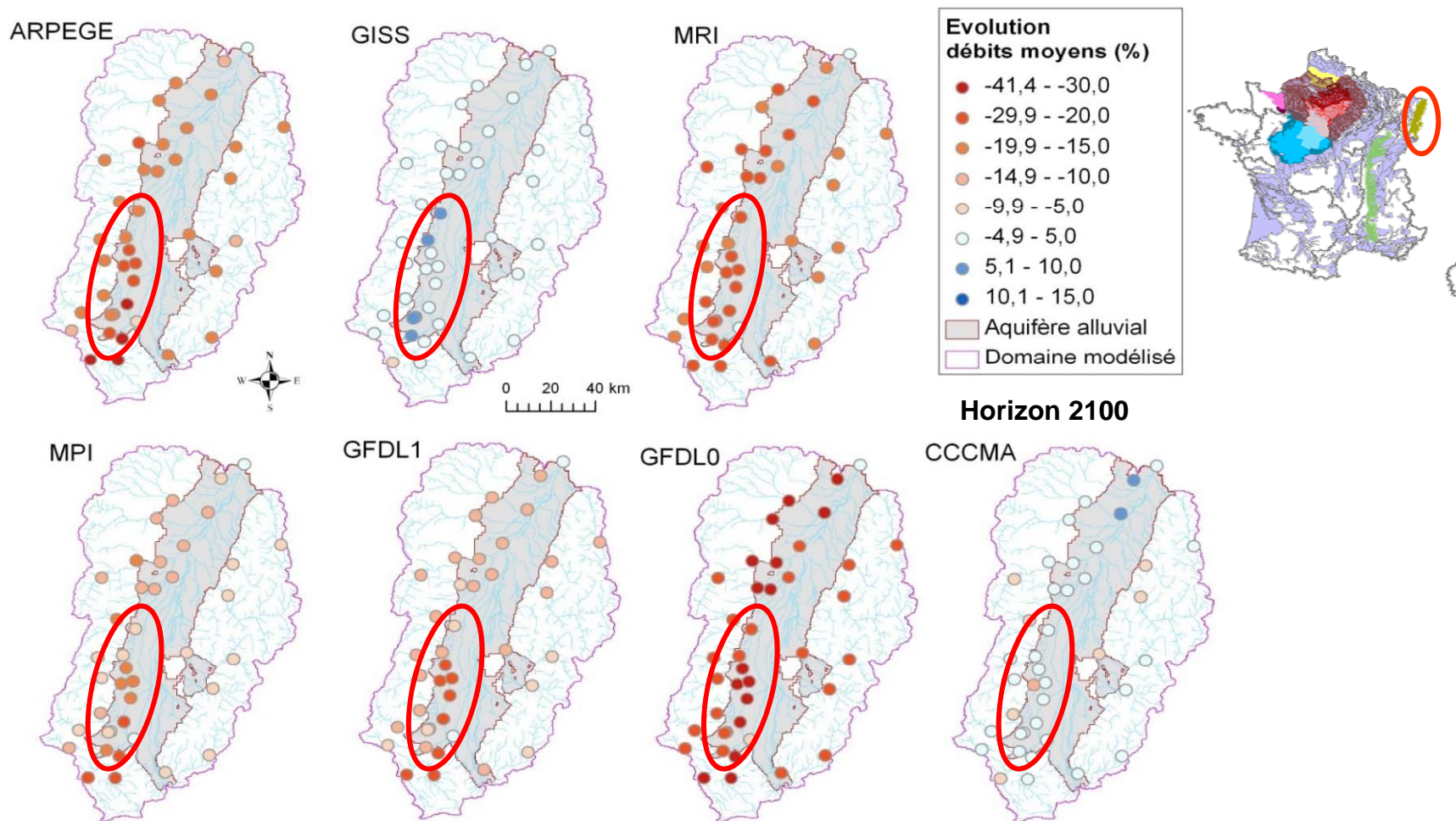
Evolution des précipitations entre 2050 et 2000 projetées par 7 modèles de climat de CMIP3 désagrégées par la méthode des régimes de temps



# Incertitudes liées aux conditions atmosphériques

Incertitude liées aux projections climatiques

→ Impact sur les débits

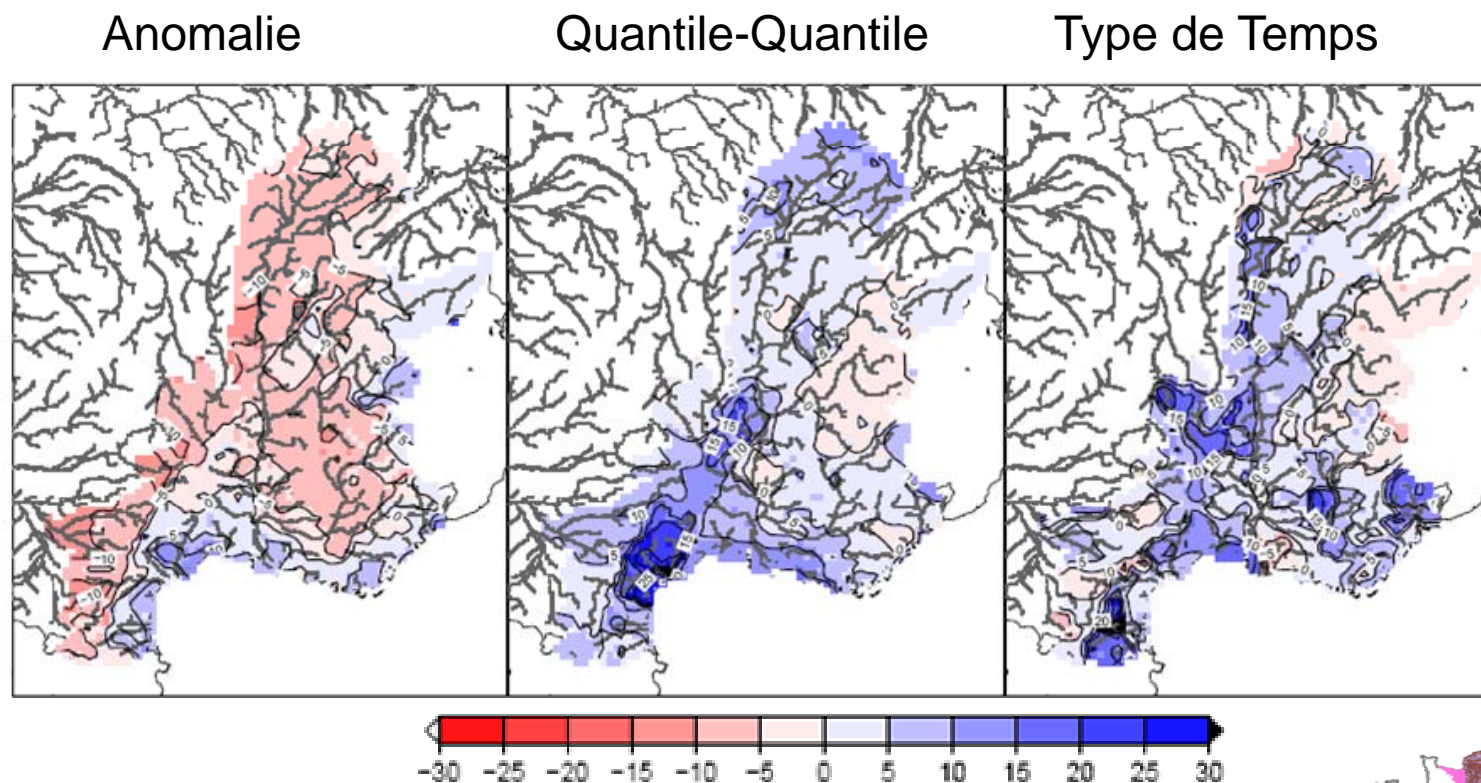


Evolution des débits: +10% à -30% sur certaines stations

## Incertitudes liées aux conditions atmosphériques

Incertitude liées aux méthodes de désagrégation

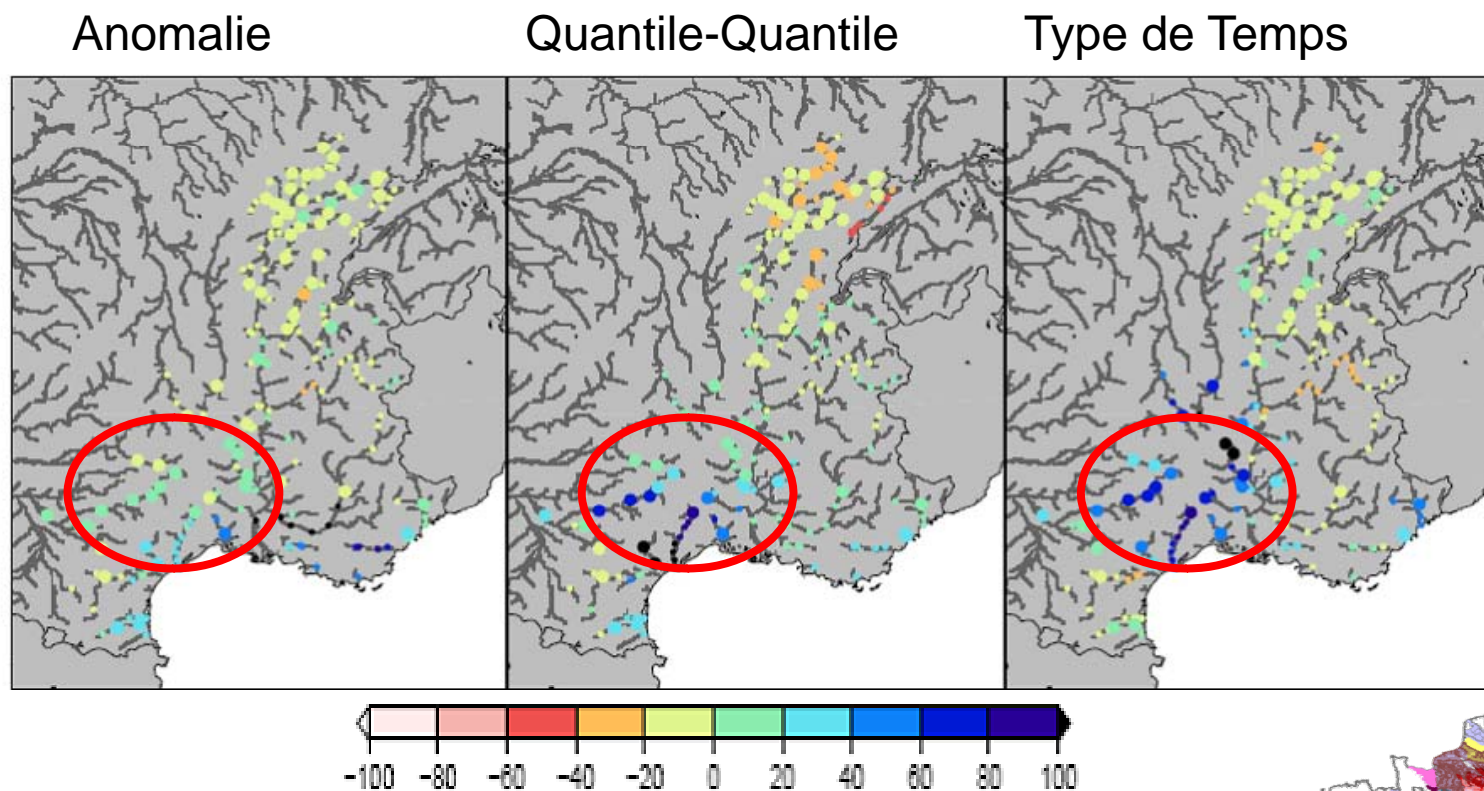
Evolution des précipitations intenses (Q95) entre 2050 et 2000 projetées par 1 modèle de climat désagrégé par 3 méthodes des régimes de temps



## Incertitudes liées aux conditions atmosphériques

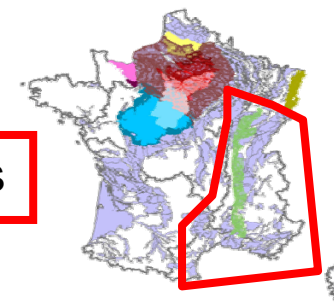
Incertitude liées aux méthodes de désagrégation

→ Evolution des crues décennales (QJXA10) entre 2050 et 2000 projetées par 1 modèle de climat désagrégé par 3 méthodes des régimes de temps



Evolution des crues décennales: +0% à +80% sur certaines stations

Quintana-Segui et al., 2011



## Incertitudes liées aux processus physiques

### Problèmes quantitatifs

- calcul de l'ETR (estimation du stress hydrique), estimation des flux d'eau ruisselés/infiltrés
    - fortement dépendant des propriétés du sol, de la végétation, voir, de la présence d'aquifères sub-affleurants
  - Transfert de l'eau dans l'hydrosystème:
    - fortement dépendant des propriétés hydrodynamiques des aquifères et rivières, de la présence d'ouvrage
- Il est préférable pour une étude d'impact d'avoir plusieurs modèles hydrologiques (GICC Rhône, GICC REXHYSS, ANR Vulnar, Explore 2070...)
- L'incertitude associée aux modèles hydro(géo)logiques est généralement inférieure à celle associée aux modèles de climat ou aux méthodes de désagrégation sur les débits moyens, mais, conséquente sur les extrêmes

## Incertitudes liées aux processus physiques

### Problèmes quantitatifs

Cependant, la grande majorité des modèles hydro(géo)logiques prennent mal en compte (voir négligent) les processus associés à la proximité des aquifères:

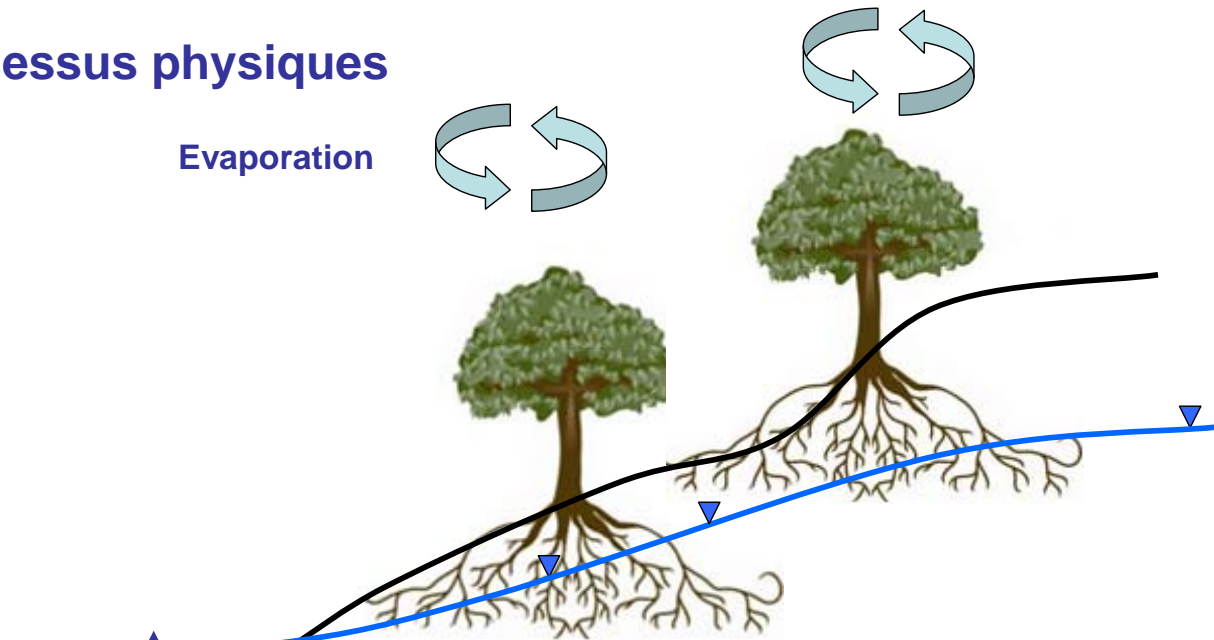
- Reprise évaporative (ou prélèvement direct ou indirect de la végétation dans la nappe) → négligée alors que conséquent sur les nappes alluviales
  - Echanges nappe-rivière → souvent considérés uniquement comme un apport de la nappe à la rivière
- Une modification du niveau piézométrique aura des conséquences importantes sur les flux d'eau

# Incertitudes liées aux processus physiques

Problèmes quantitatifs

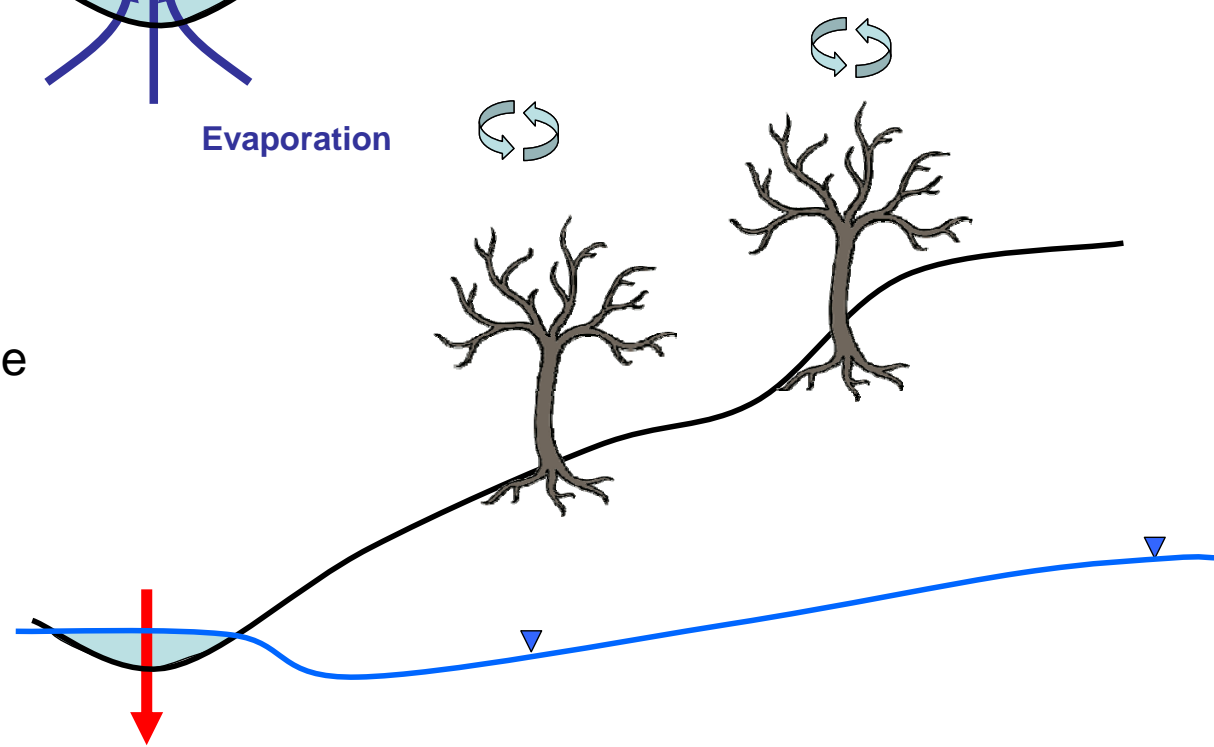
Aujourd'hui

→ Prise en compte implicite de l'impact des nappes



Sous changement climatique

→ Quelle validité si les conditions changent ?



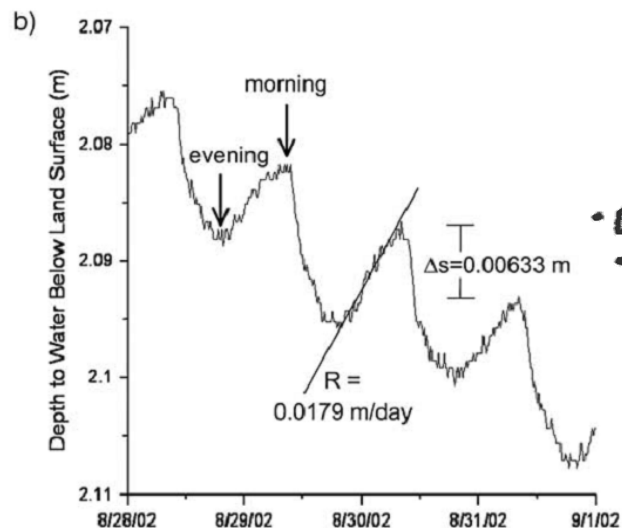


# Incertitudes liées aux processus physiques

Problèmes quantitatifs

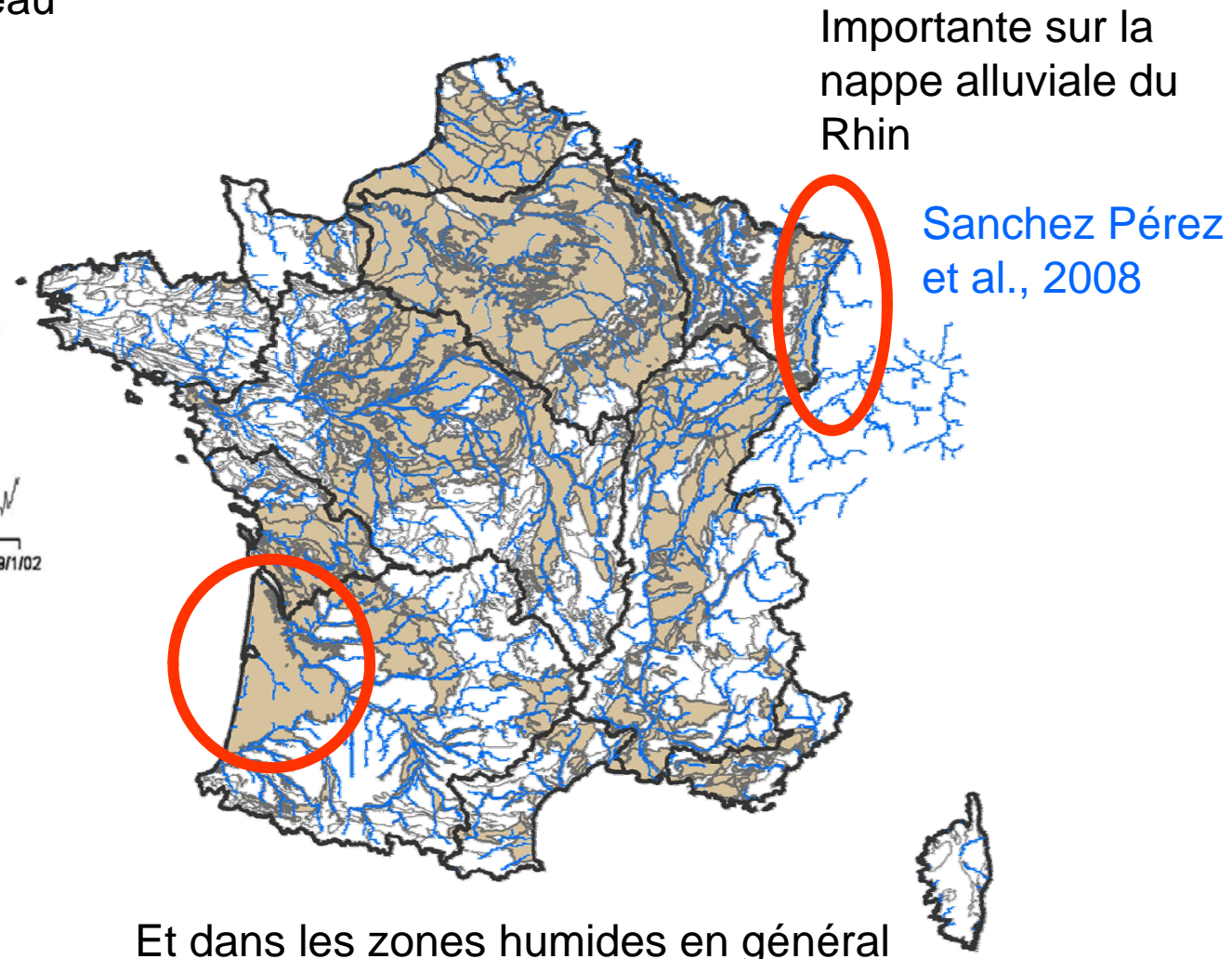
## Reprise Evaporative

Evolution diurne du niveau piézométrique



~50% de l'évapotranspiration sur le bassin du Tagon

Guillot, 2011, Ephyse



## Incertitudes liées aux processus physiques

Problèmes quantitatifs

**Estimation des interactions nappes-rivières** (et des inversions de flux)

$$Q_{\text{nap-riv}} = \max \left( \underline{K} / \underline{e} \cdot \underline{S} \cdot (\underline{H}_{\text{nap}} - \underline{H}_{\text{riv}}), \underline{Q}_{\text{lim}} \right)$$

→ Dépend de

- la charge piézométrique  $H_{\text{nap}}$  (hydrogéologie),
- La hauteur d'eau en rivière  $H_{\text{riv}}$  (hydraulique)
- Des propriétés du lit de la rivière  $K/eS$ ,  $Q_{\text{lim}}$  (paramètres)

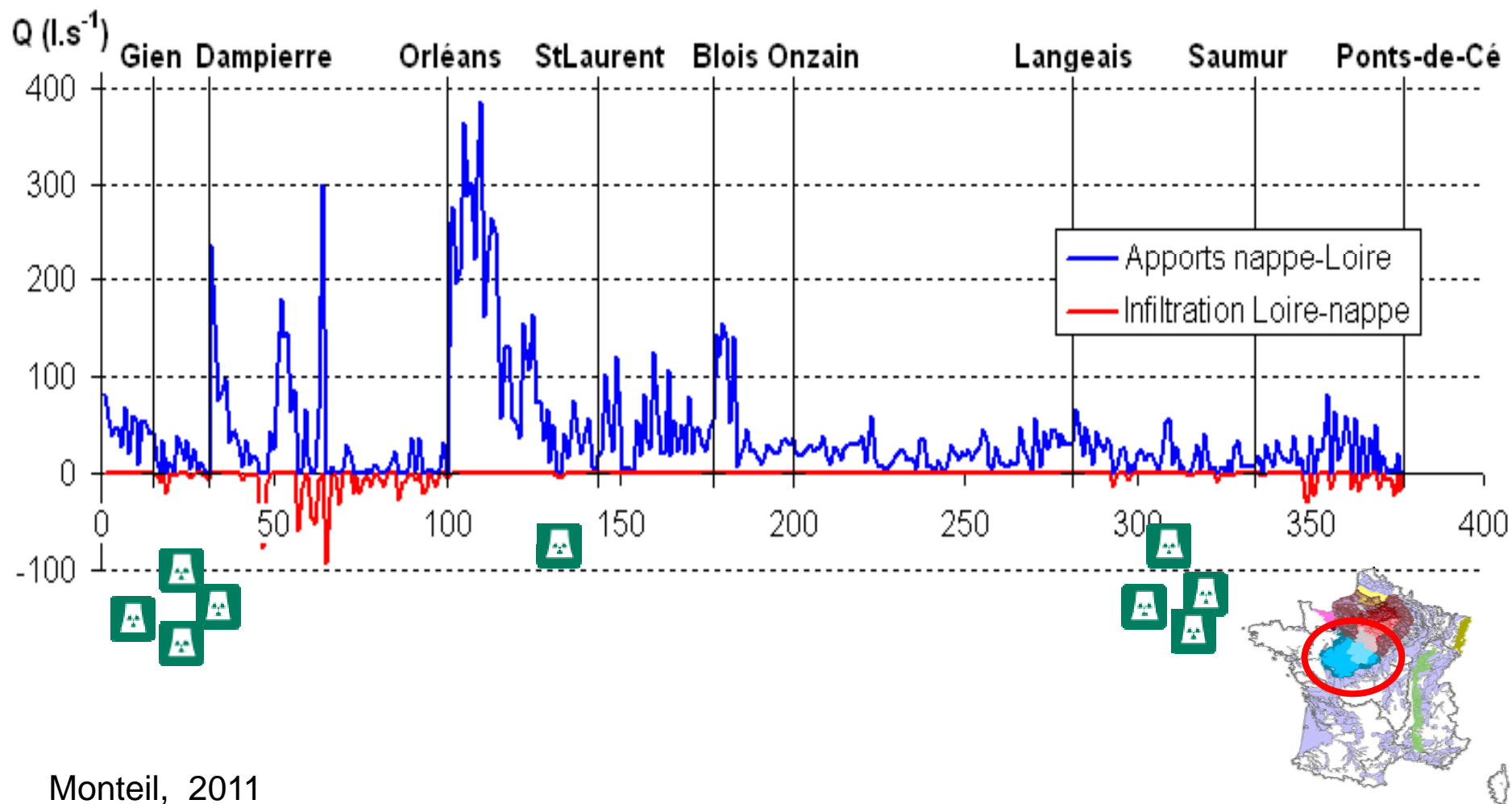
→ Mal connus Travaux en cours (ANR Vulnar, Piren Seine, Onema Naprom)

## Incertitudes liées aux processus physiques

Problèmes quantitatifs

**Estimation des interactions nappes-rivières** (et des inversions de flux)

Exemple: estimation des échanges sur la Loire



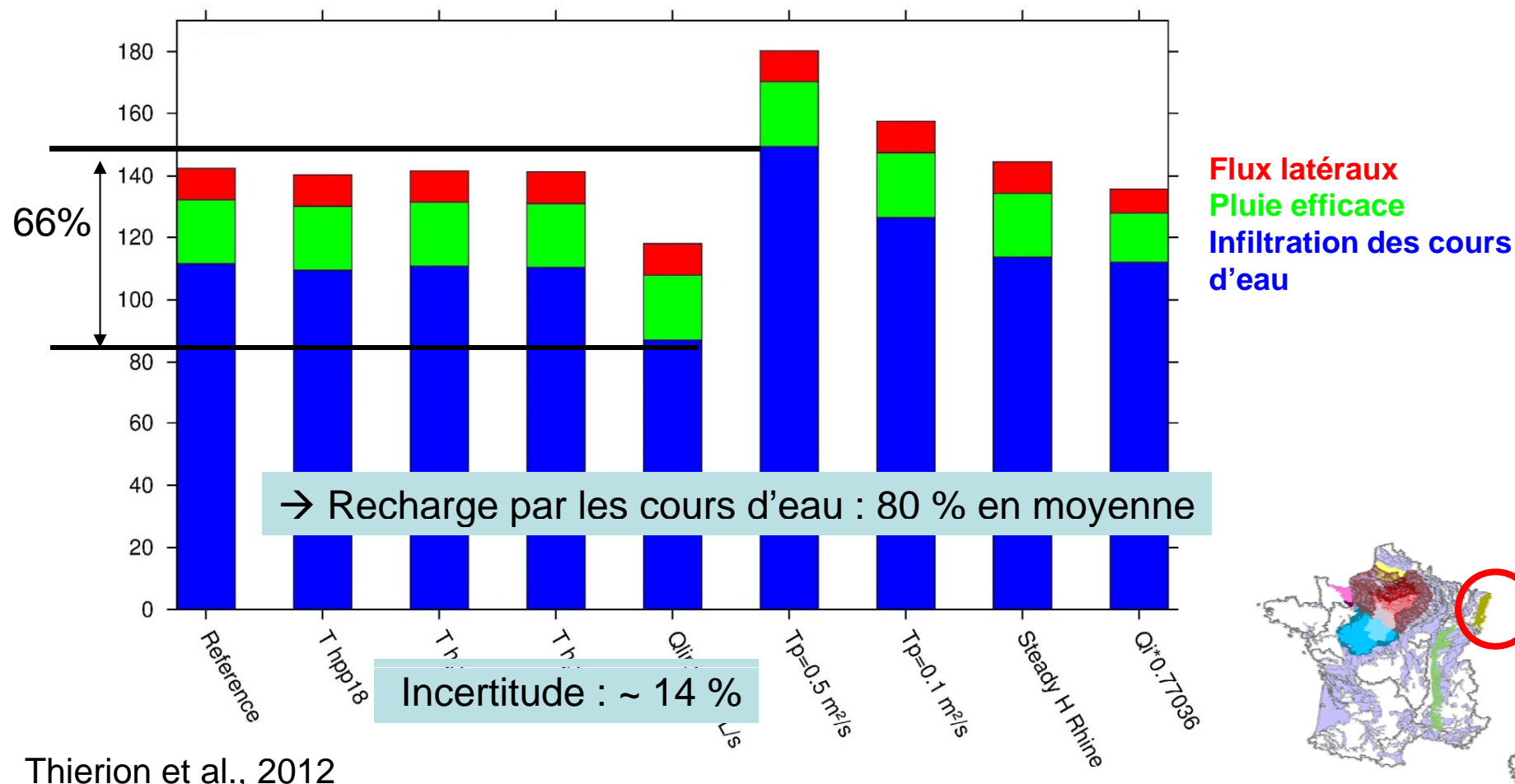
# Incertitudes liées aux processus physiques

Problèmes quantitatifs

**Estimation des interactions nappes-rivières** (et des inversions de flux)

Sensibilité des estimations des échange nappes-rivières aux paramètres sur le Rhin

## Bilans de la recharge de l'aquifère



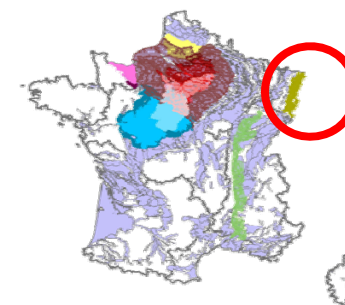
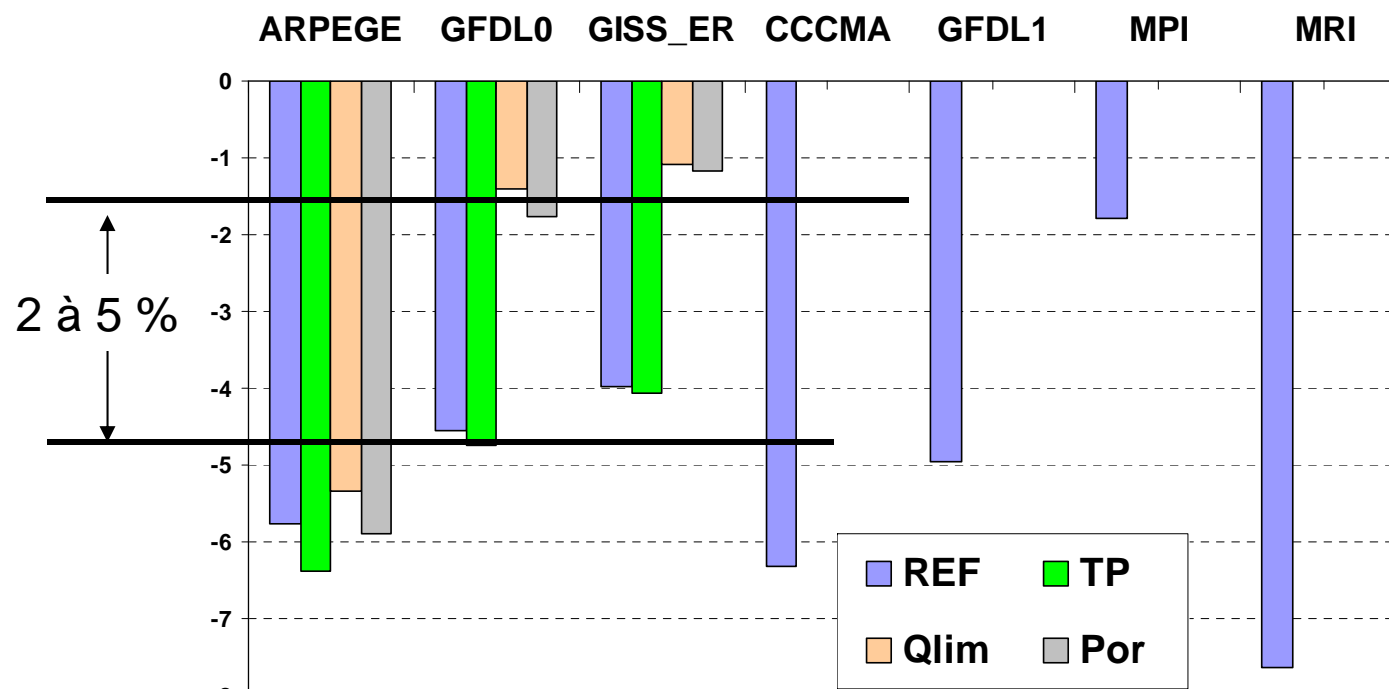
## Incertitudes liées aux processus physiques

Problèmes quantitatifs

**Estimation des interactions nappes-rivières** (et des inversions de flux)

Estimation des interactions nappes-rivières et des inversions de flux

### Evolution des échanges nappes-rivières sous changement climatique



Malgré des différences dans les processus simulés  
(ou dans leur intensité)  
→ Réponse similaire au changement climatique

## Incertitudes liées aux processus physiques

### Problèmes qualitatifs

- Evolution des flux émis sous changement climatique
  - La lixiviation des polluants dépend des précipitations en général et du bilan hydrique en particulier
  - Question: l'évolution des flux d'eau est elle compensée par une évolution inverse des concentrations ?
- Evolution des temps de transfert/ interaction avec les processus de dégradation/adsorption
  - L'évolution de la profondeur de la nappe en particulier peut jouer sur les temps de transfert → potentiellement plus/moins de temps pour l'adsorption/désorption voir dégradation, en fonction des conditions du milieu

## Incertitudes associées à l'anthropisation

### Impacts directs sur l'hydrosystème

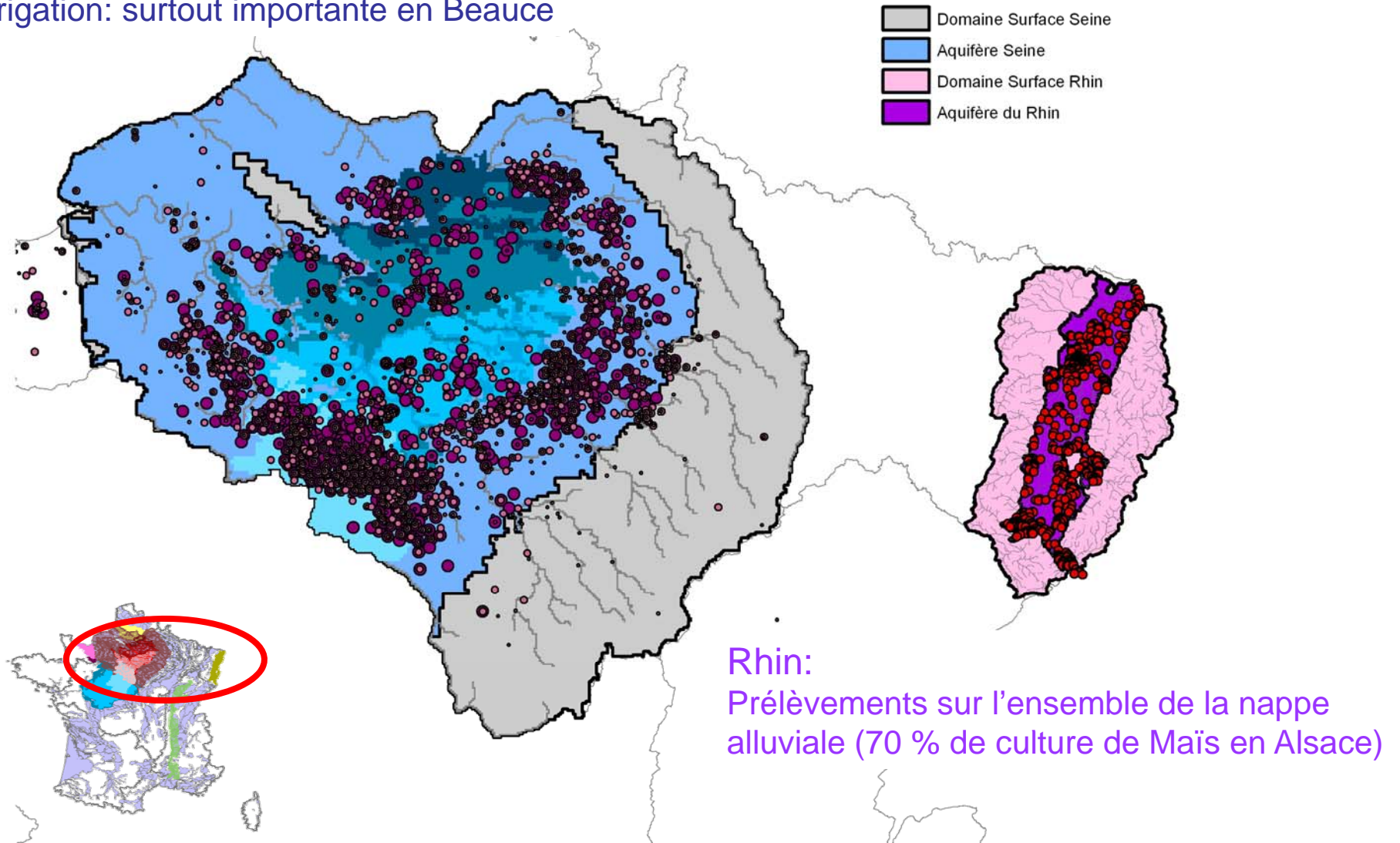
modification et impacts des prélèvements en nappe et en rivière, des barrages, des seuils (modifications des hauteurs d'eau en rivière → impact sur nappe-rivière)

# Incertitudes associées à l'anthropisation

## Prélèvements en nappe

Seine:

Irrigation: surtout importante en Beauce



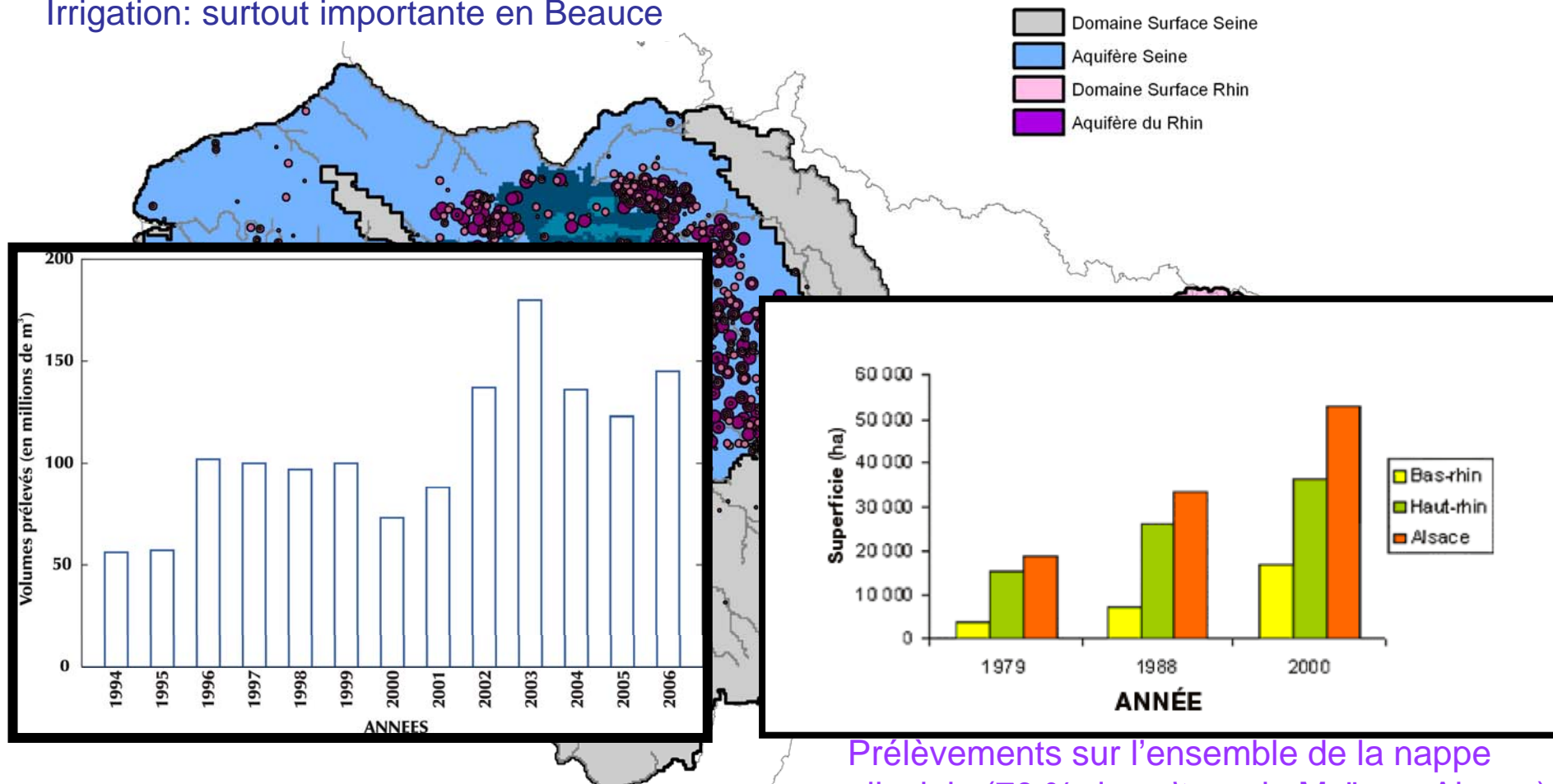


# Incertitudes associées à l'anthropisation

## Prélèvements en nappe

Seine:

Irrigation: surtout importante en Beauce



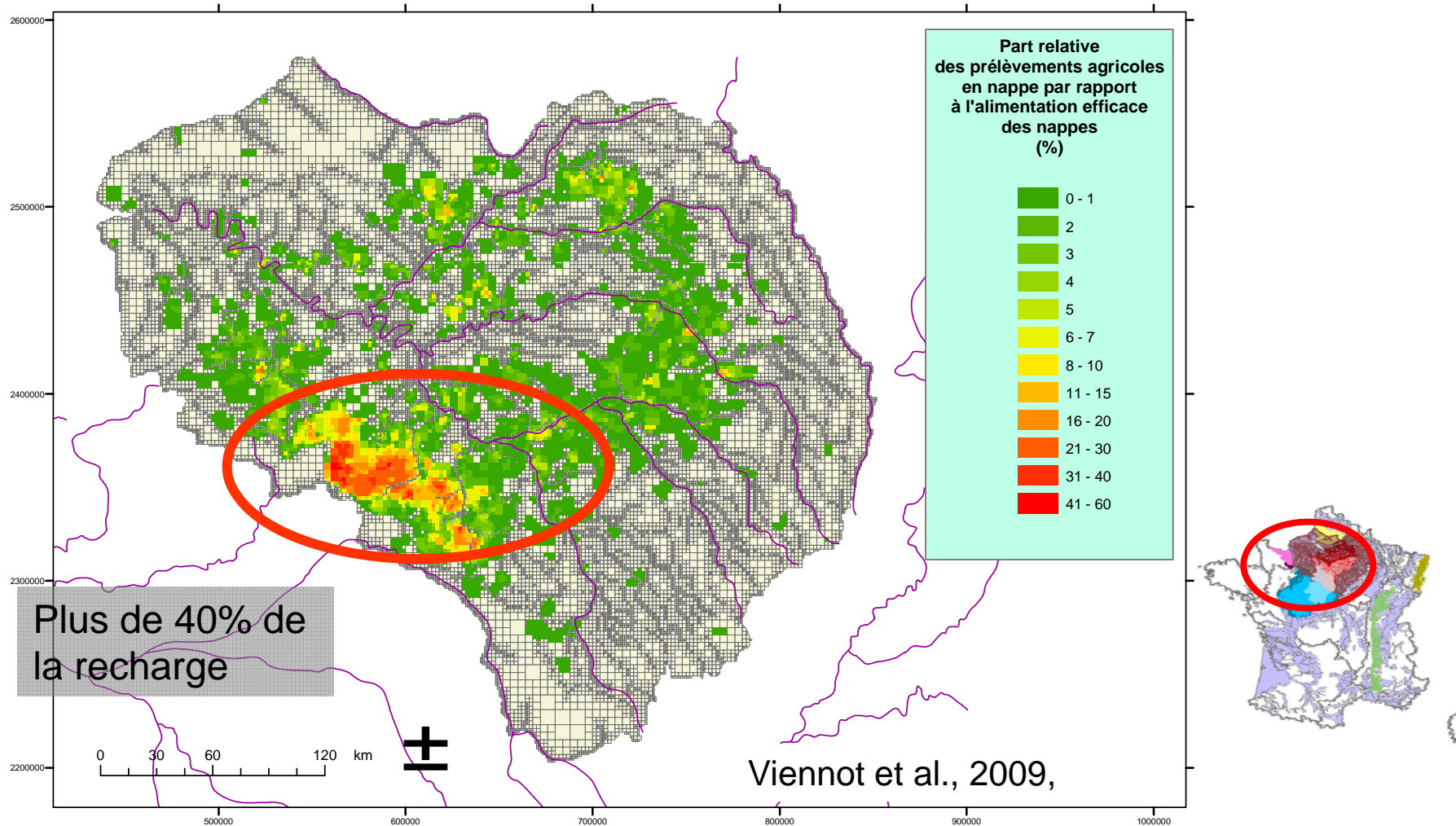
Prélèvements sur l'ensemble de la nappe alluviale (70 % de culture de Maïs en Alsace)

Tendance à l'augmentation des prélèvements agricoles sur les 2 bassins, Variables en fonction des années sur la Seine

# Incertitudes associées à l'anthropisation

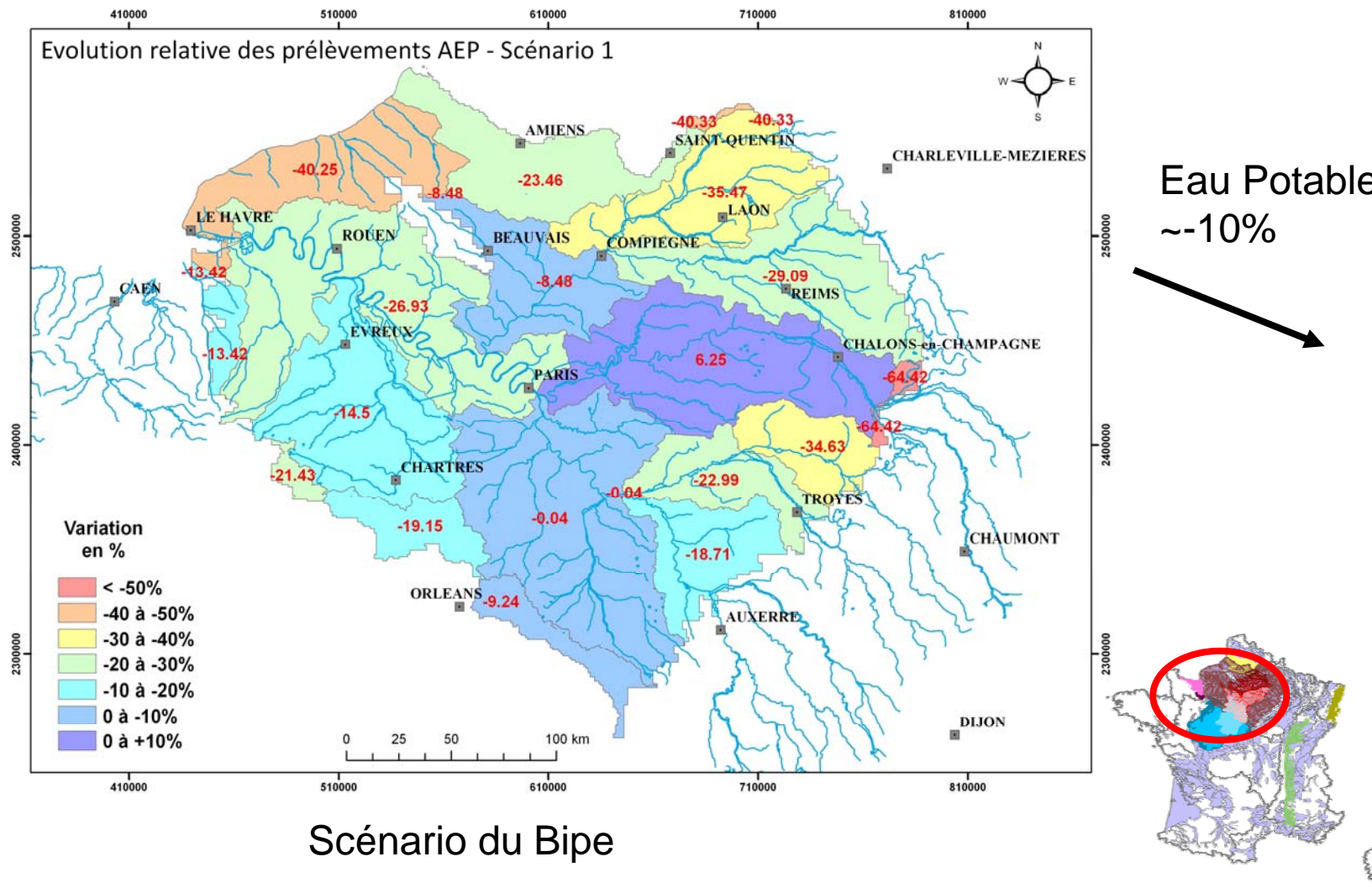
## Prélèvements en nappe

### RAPPORT PRELEVEMENTS AGRICOLES / INFILTRATION MOYENNE



# Incertitudes associées à l'anthropisation

## Evolution des prélèvements en nappe

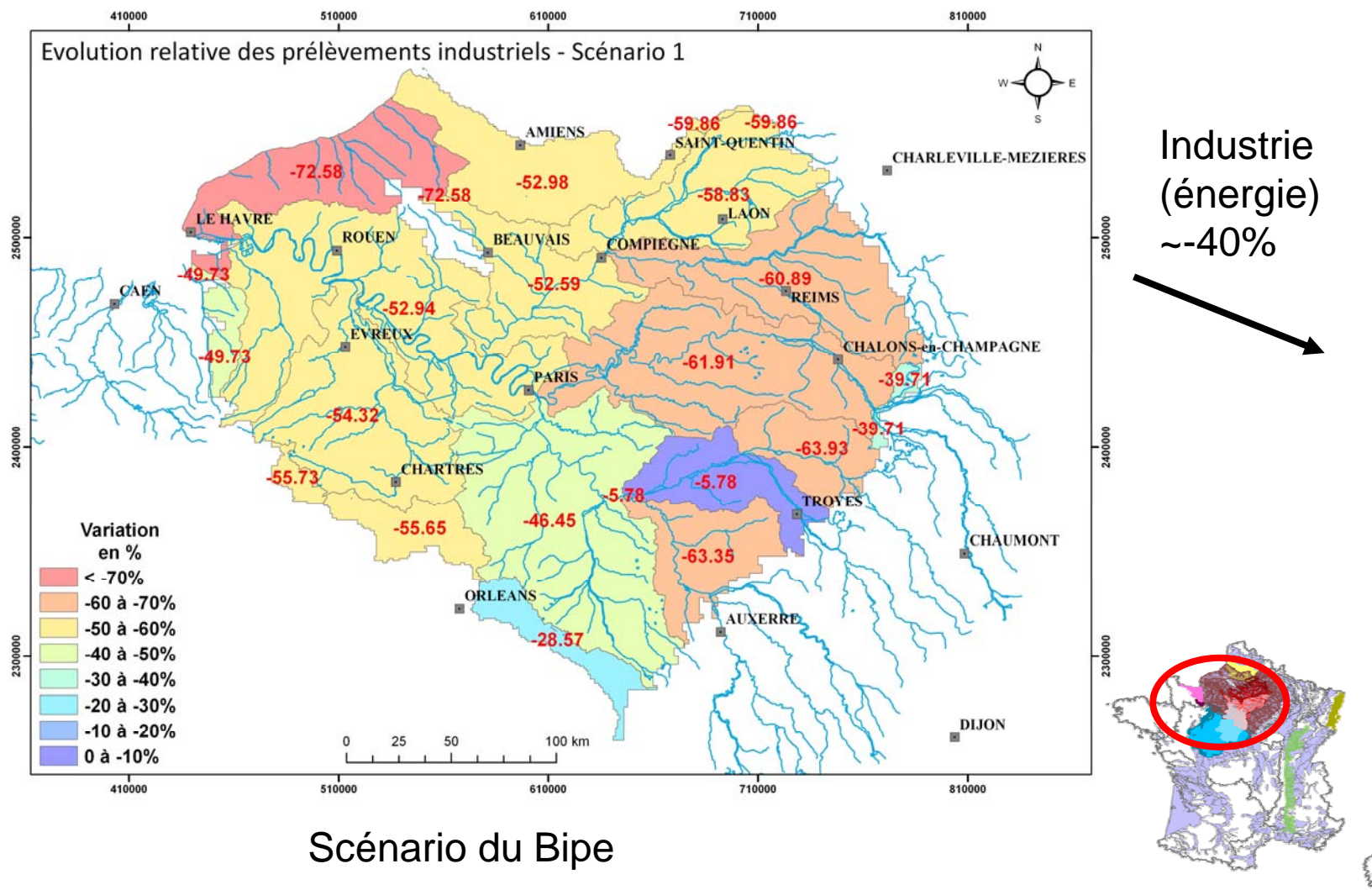


Scénario du Bipe



# Incertitudes associées à l'anthropisation

## Evolution des prélèvements en nappe

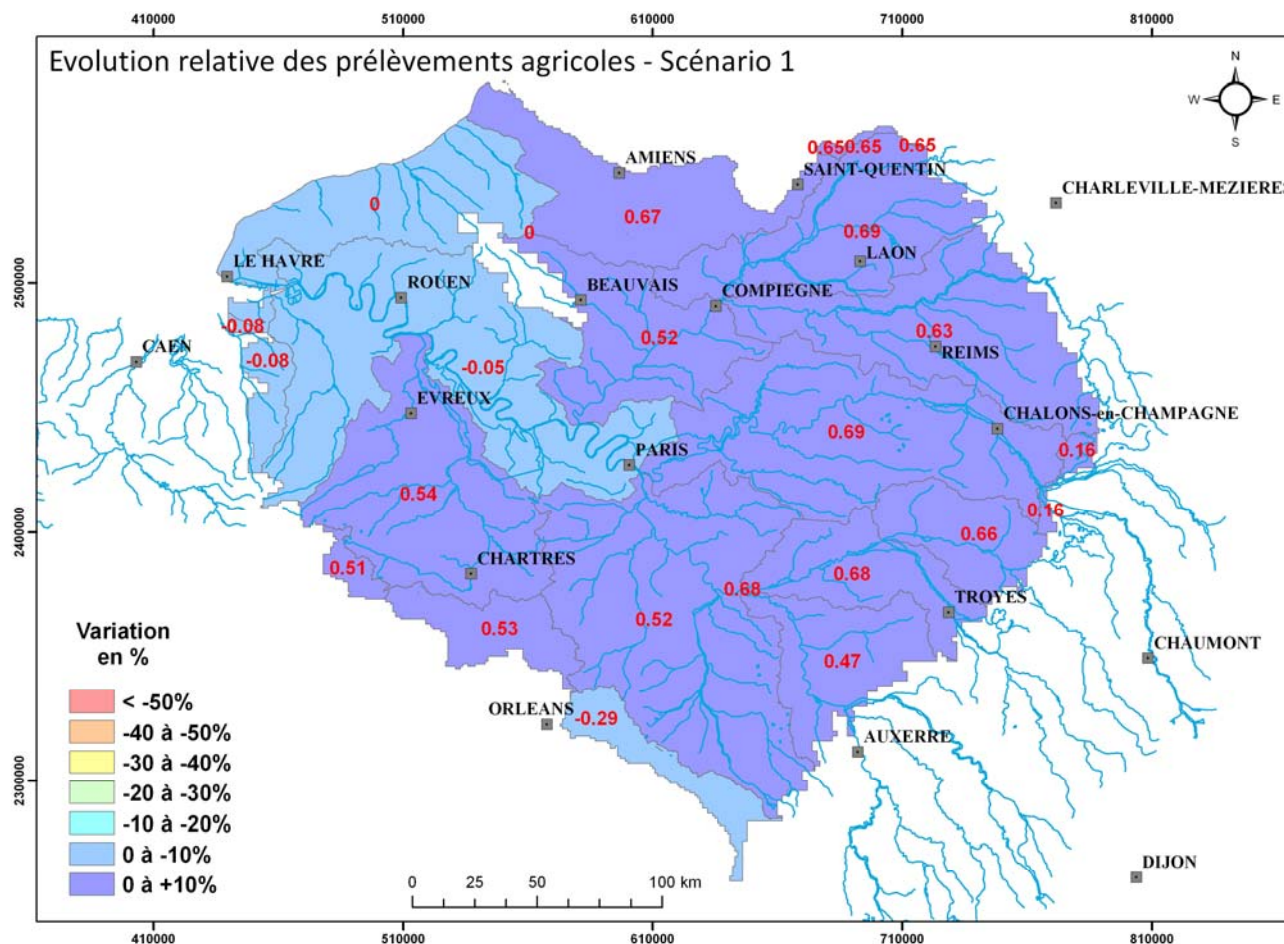


Scénario du Bipe

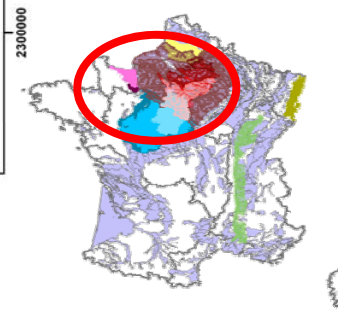


# Incertitudes associées à l'anthropisation

## Evolution des prélèvements en nappe



Agricole  
Pas d'évolution

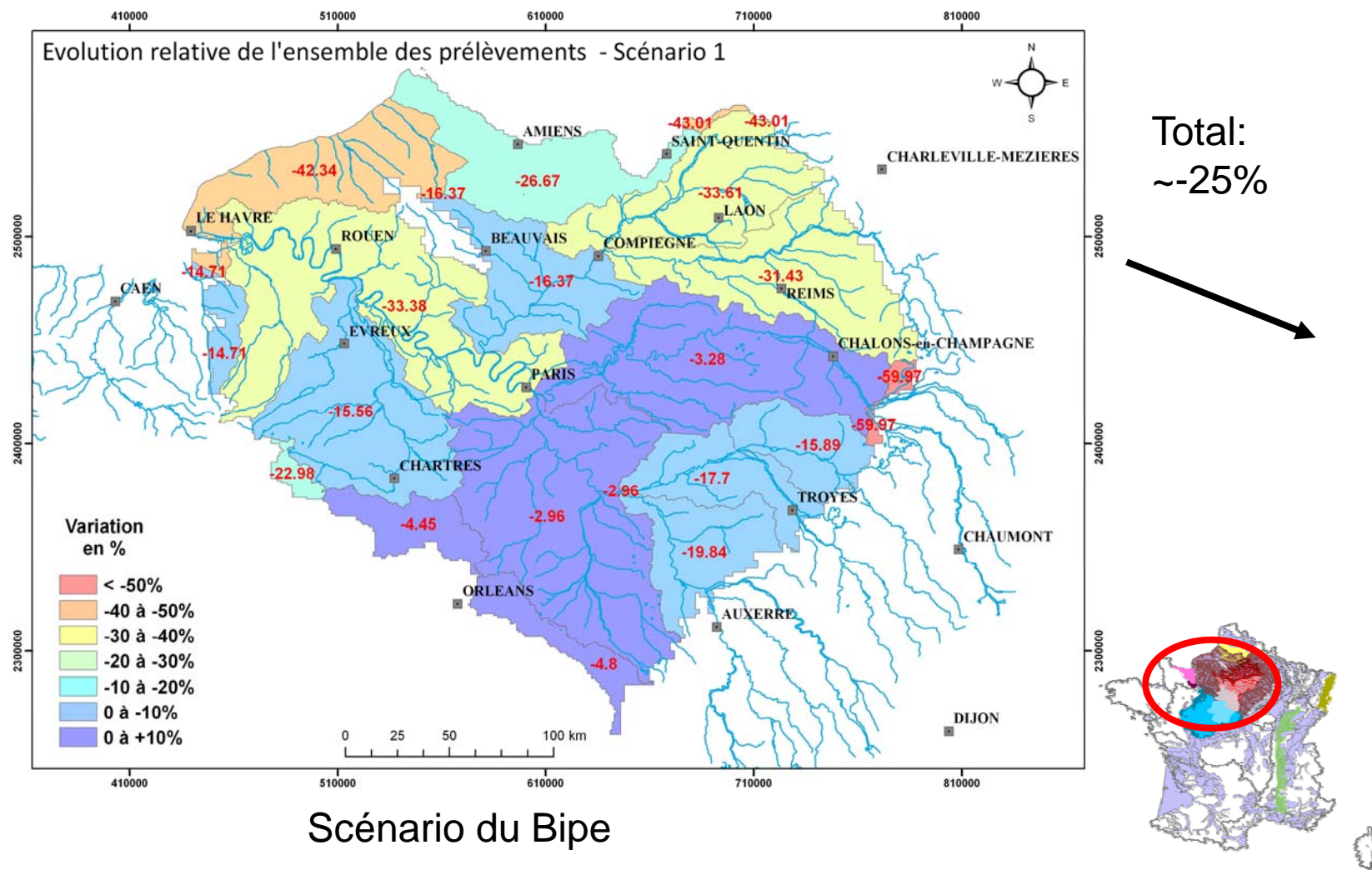


Scénario du Bipe



# Incertitudes associées à l'anthropisation

## Evolution des prélèvements en nappe

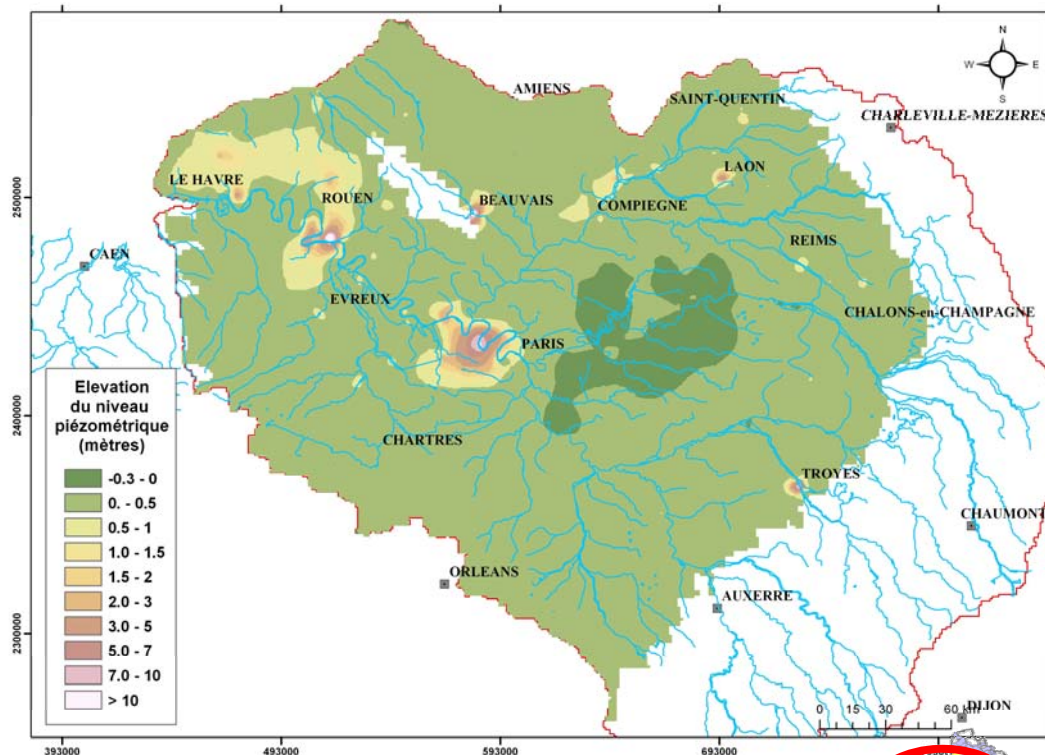


Scénario du Bipe

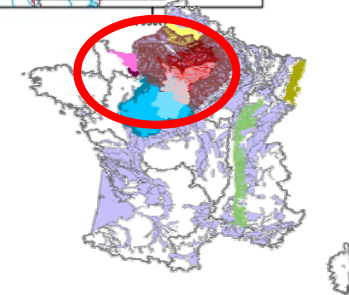


# Incertitudes associées à l'anthropisation

## Impact de l'évolution des prélèvements en nappe



Aquifère	
Calcaires de Beauce.	
Calcaires de Brie et Sables de	
Calcaires de Champigny	
Lutétien/Yprésien	
Thanétien	+ 8.1 m
Craie	+ 16.0 m



Scénario du Bipe



## **Incertitudes associées à l'anthropisation**

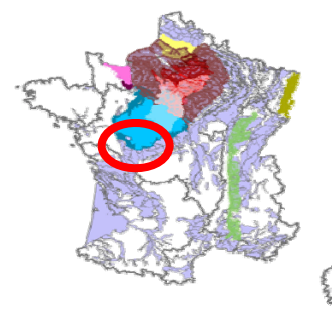
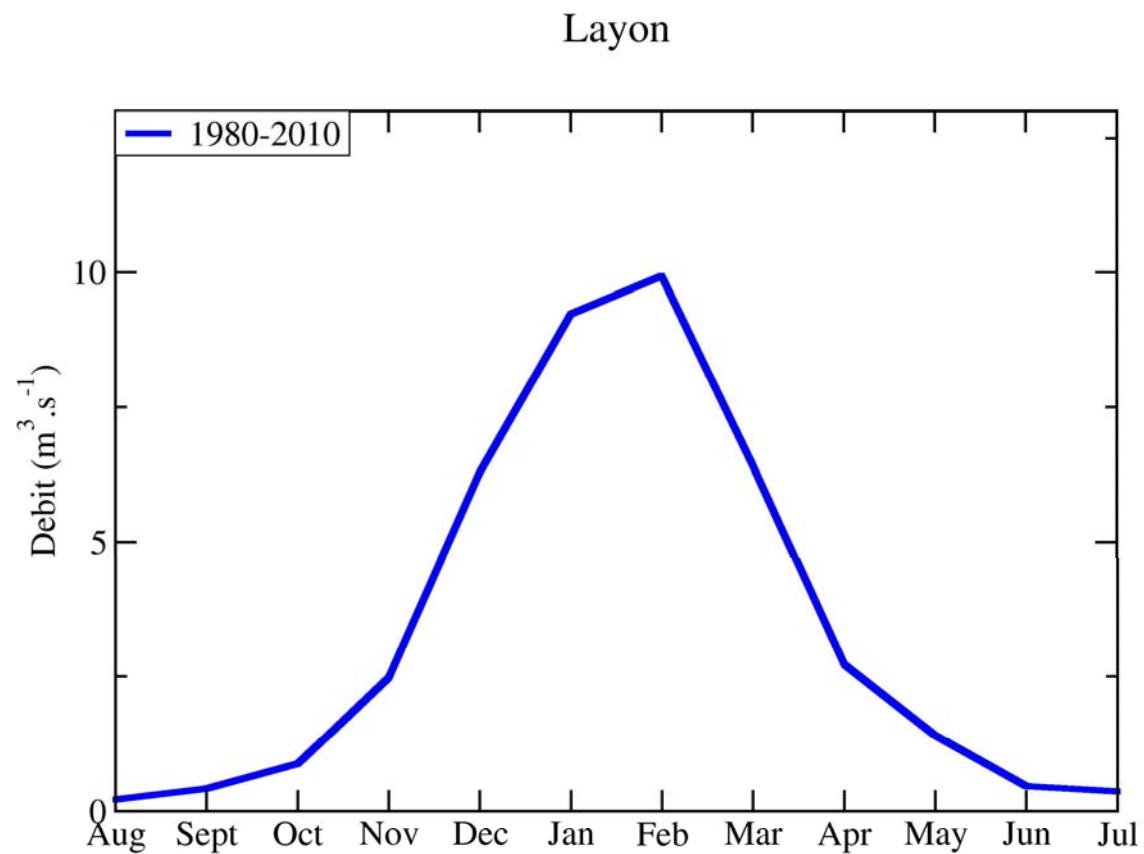
### Evolution des prélèvements agricoles

- Développement de l'irrigation
- Volonté de création de retenues collinaires (lac/étang de surface limitée) pour prélever de l'eau en hiver pour la rendre disponible l'été
- Développement de scénarios d'extension et de gestion des remplissage avec la Dreal Pays de la Loire



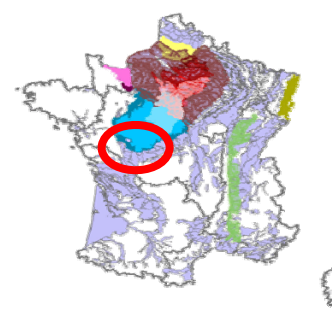
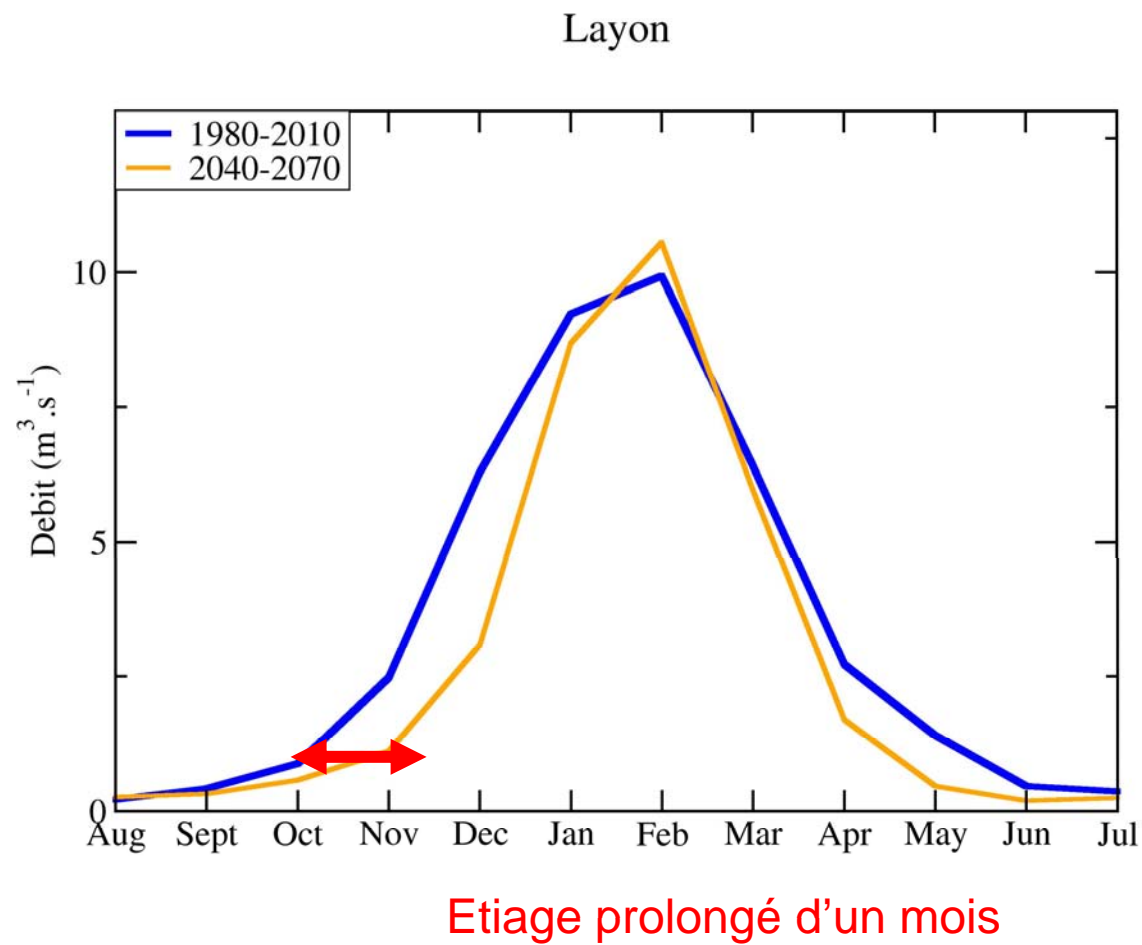
## Incertitudes associées à l'anthropisation

Evolution des prélèvements agricoles, impact des retenues collinaires



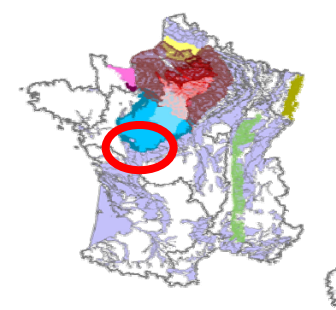
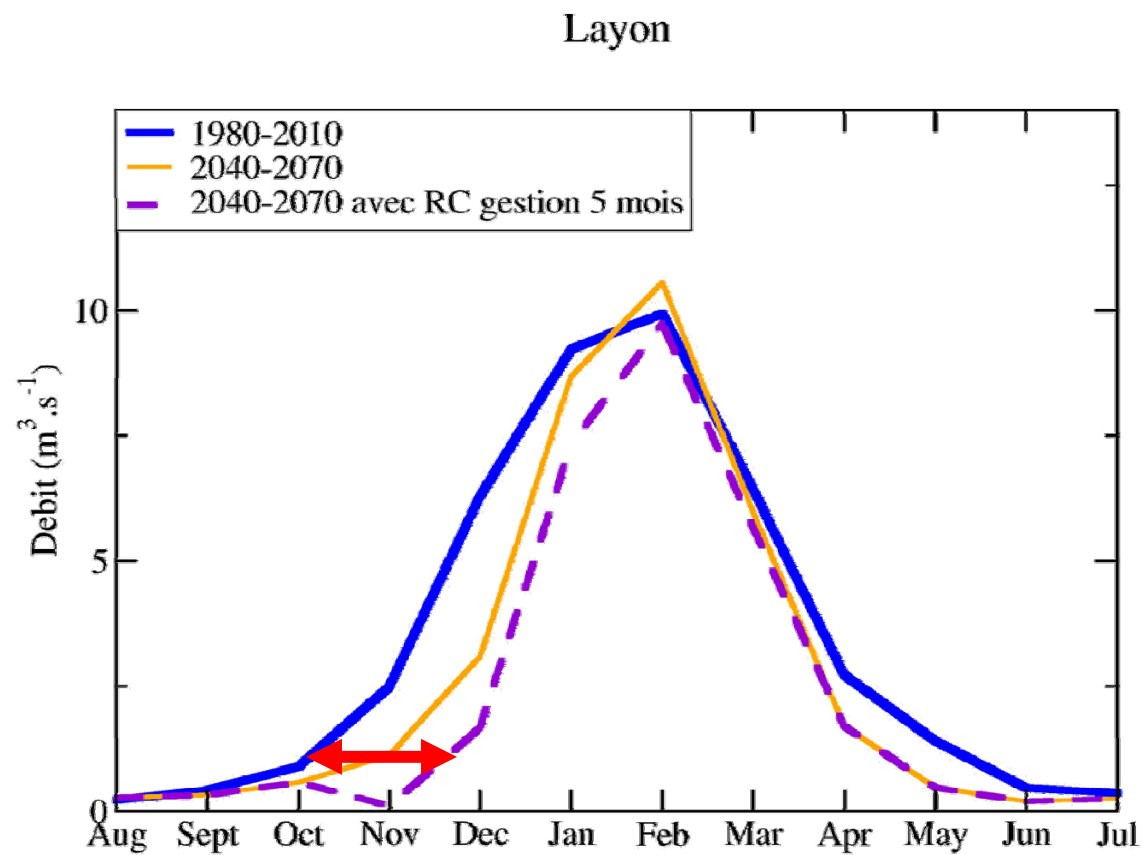
## Incertitudes associées à l'anthropisation

Evolution des prélèvements agricoles, impact des retenues collinaires



## Incertitudes associées à l'anthropisation

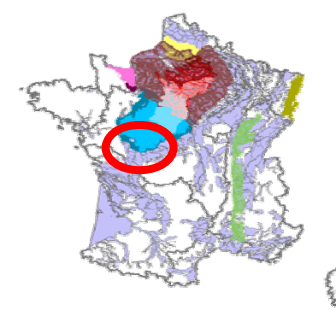
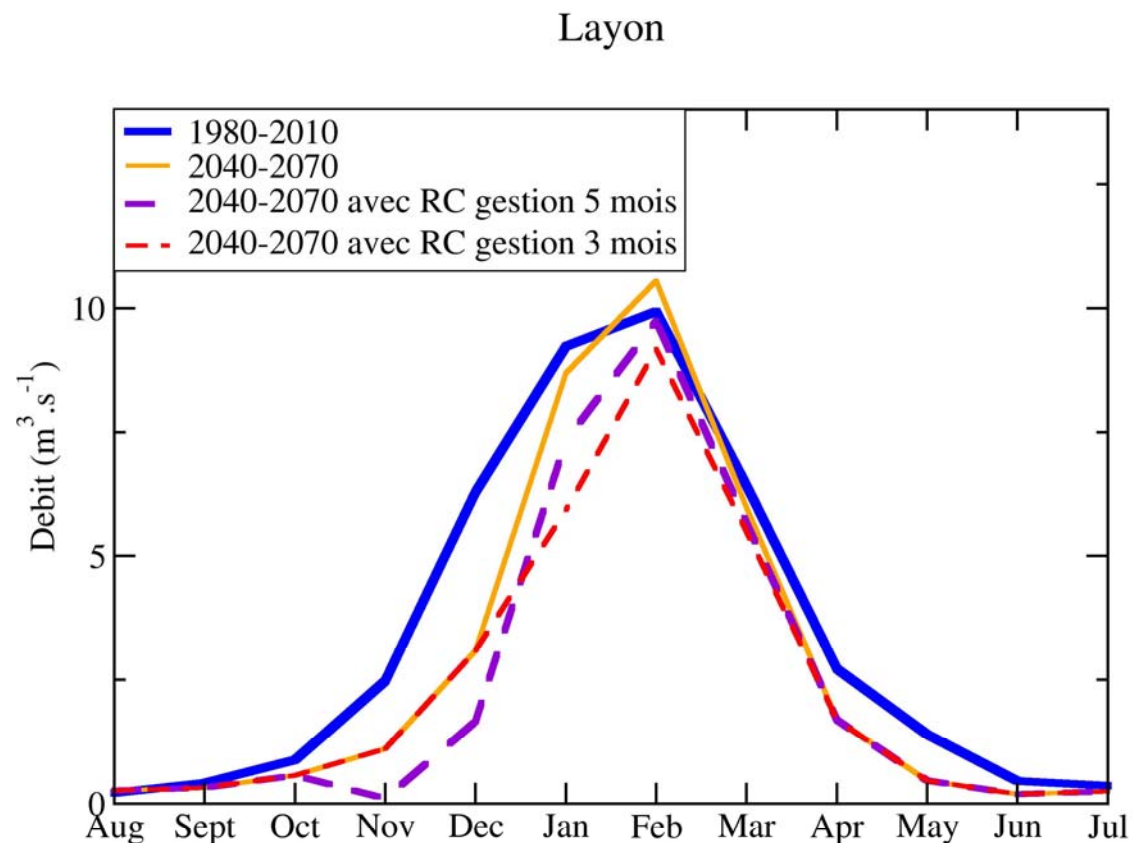
Evolution des prélèvements agricoles, impact des retenues collinaires



Etiage prolongé de 2 mois

## Incertitudes associées à l'anthropisation

Evolution des prélèvements agricoles, impact des retenues collinaires



- Modification du mode de remplissage =
- impacts plus limités sur les étiages
  - Risques d'échec de remplissage accrus
  - Forts impacts sur les crues hydromorphes

## Incertitudes associées à l'anthropisation

Impacts indirects sur l'hydrosystème

Evolution des occupations des sols,  
et des pratiques agricoles

L'occupation du sol et des pratiques agricoles ont un rôle majeur sur l'hydrologie

Objet de nombreux travaux pluridisciplinaires

(exemple, Labex Basc: Biodiversité, Agroécosystèmes, Climat, Société)

Impact sur l'hydrologie sur 2 BV français étudié dans le cadre du projet ANR ORACLE

→ Liens direct avec l'étude de l'évolution des pollutions diffuses

## Conclusion

### Quantification des incertitudes

Toujours incomplètes

ANR Vulnar : Modèles de climat, scénarios SRES, paramètres hydrodynamiques

Analyse de l'évolution de la recharge de la nappe

Variance	SRES (A1B,A2, B1)	GCM	Paramètres hydrodynamiques
2050		95	4
2100	71	29	0

GICC Rexhyss : Modèles de climat, méthodes de désagrégation, modèles hydro, période

Variance	GCM	Desag	Hydro	Période
	42	36	72	11

## Conclusion

### Quantification des incertitudes

Toujours incomplètes

ANR Vulnar : Modèles de climat, scénarios SRES, paramètres hydrodynamiques

Analyse de l'évolution de la recharge de la nappe

Variance	SRES (A1B,A2, B1)	GCM	Paramètres hydrodynamiques
2050		95	4
2100	71	29	0

GICC Rexhyss : Modèles de climat, méthodes de désagrégation, modèles hydro, période

Variance	GCM	Desag	Hydro	Période
	42	36	72	11
Sans CLSM	78	56	48	20

## Conclusion

Il reste beaucoup de travail à faire pour inclure l'ensemble des incertitudes

Notamment

- améliorer les processus physiques et la caractérisation du milieu
- Mieux prendre en compte l'anthropisation

Sans parler du travail amont des climatologues/régionalisateurs