

■ Régions • Auvergne-Rhône-Alpes • Bourgogne-Franche-Comté • Centre-Val de Loire • Nouvelle-Aquitaine • Occitanie • Pays de la Loire  
 Départements • Allier • Ardèche • Cher • Creuse • Indre-et-Loire • Loir-et-Cher • Loire • Haute-Loire • Loire-Atlantique • Loiret • Lozère • Maine-et-Loire • Nièvre • Puy-de-Dôme • Saône-et-Loire • Haute-Vienne  
 ■ Villes, Agglos et Métropoles • Agglomération de Nevers •



• Angers Loire Métropole • Blois • Bourges • Châteauroux • Clermont Communauté • Limoges • Montluçon • Moulins Communauté • Nantes Métropole • Orléans • Roannais Agglomération • Saint-Etienne-Métropole • Saint-Nazaire • Saumur Val de Loire • Tour(s)plus • Vichy • Vierzon  
 ■ SICALA • Allier • Cher • Indre-et-Loire • Haute-Loire • Maine-et-Loire • Nièvre • Saône-et-Loire



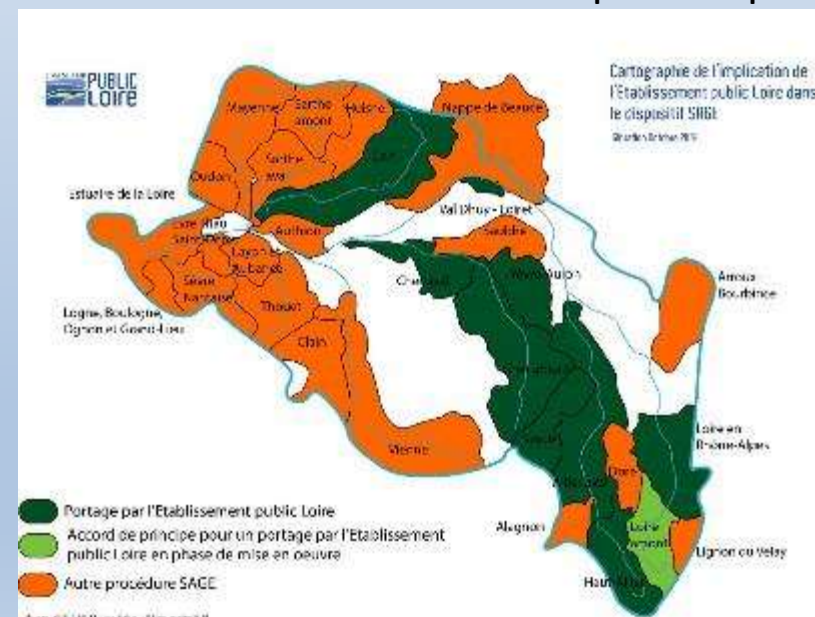
8 mars 2017



## **Le contexte et les objectifs de la démarche**



- Actions de l'EP Loire depuis 2007 visant l'adaptation aux impacts du changement climatique du bassin fluvial ([en savoir +](#)), avec la volonté de :
  - Utiliser et partager les connaissances scientifiques déjà acquises
  - Les intégrer opérationnellement dans certaines de ses interventions (gestion des barrages de Naussac et de Villerest, portage de SAGE)
- Objectif de l'opération. **Assurer la restitution des données disponibles relatives aux impacts du changement climatique, sur les territoires des 9 SAGE portés par l'Etablissement pour :**
  - Informer des connaissances existantes et des impacts potentiels du changement climatique
  - Mettre à disposition les connaissances pour faciliter leur réutilisation éventuelle sur les territoires
  - Sensibiliser aux enjeux de l'adaptation
- Elaboration (2016-2017) par le Comité de bassin Loire-Bretagne d'un plan de bassin d'adaptation au changement climatique ([en savoir +](#)).



- Bilan et restitution des connaissances actuelles sur le territoire du SAGE
- Sensibilisation de la CLE aux impacts possibles du Changement Climatique
- Transcription en termes d'enjeux du SAGE

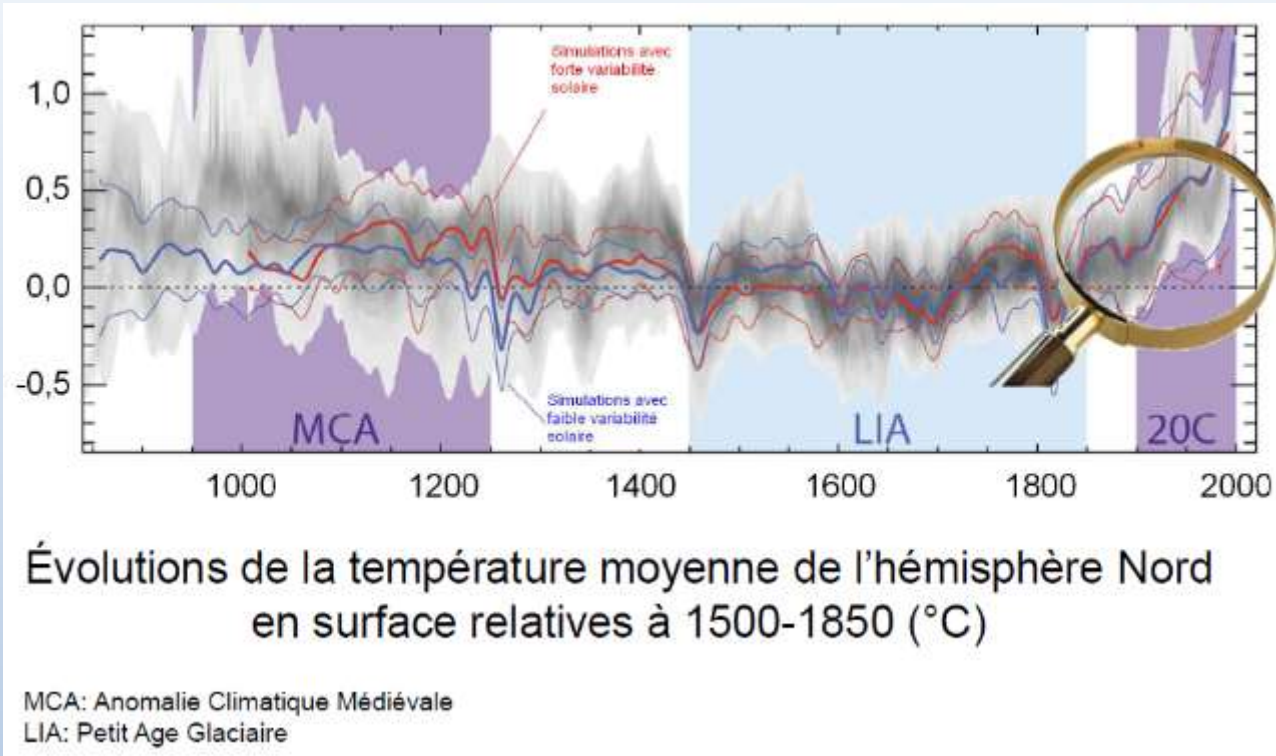
### **Quelques clés de lecture :**

- L'étude du Climat  $\neq$  Prévisions météorologiques
- Ne pas se focaliser sur les valeurs absolues (tendances ? points de convergences entre les projections climatiques ?)
- Vocabulaire utilisé par la suite :
  - ✓ Temps Présent : 1961 à 1990/2000
  - ✓ Horizons des projections climatiques : Milieu du Siècle (MS horizon 2065) / Fin du Siècle (FS horizon 2100)



**Qu'apprend-t-on des observations ?**





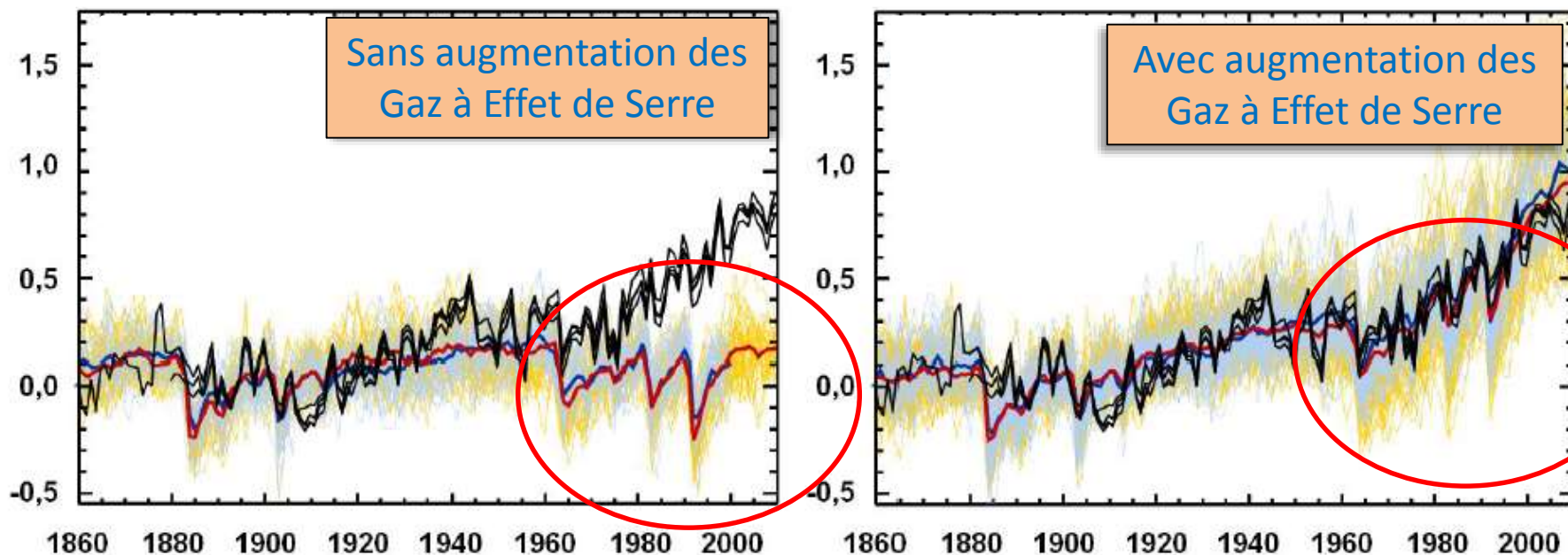
(GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat , 2013)

- Réchauffement du système climatique = sans équivoque / depuis 1950
- Chacune des trois dernières décennies = successivement plus chaude à la surface de la Terre que toutes les décennies précédentes depuis 1850.
- Concentrations de CO<sub>2</sub> = +40% depuis la période préindustrielle.



# Gaz à Effet de Serre (GES) à l'origine du réchauffement climatique = hypothèse fondatrice

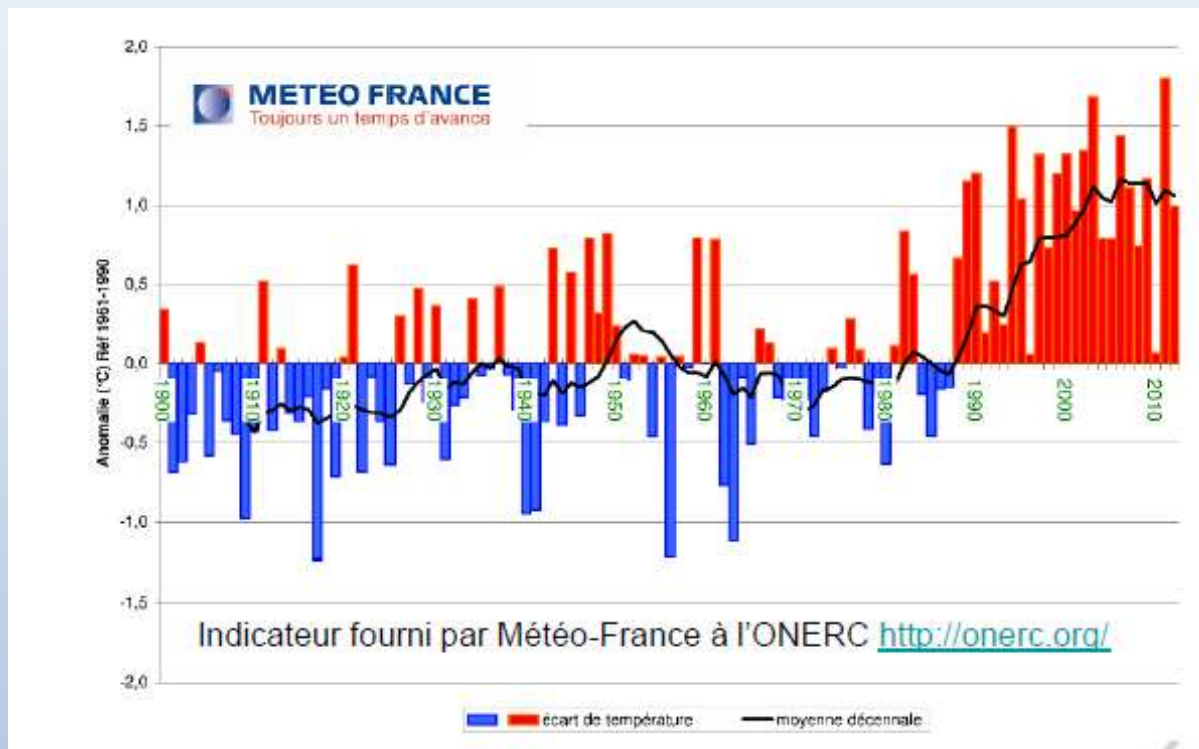
Température moyenne: anomalies relatives à 1880-1919 (°C)



- Observations
- Simulations « ancienne version » (2007)
- Simulations « nouvelle version » (2013)

## Evolution de la température moyenne sur la période 1900-2012

### Anomalie par rapport à la période 1961-1990



### Année 2011 :

- ✓  $T^{\circ} \text{ moy} = T^{\circ} \text{ moy} (1961-1990) + 1.8^{\circ} \text{C}$
- ✓ Année la plus chaude en France métropolitaine depuis 1900, battant le précédent record de 2003 (+1.7°C).



## Evolution des températures moyennes annuelles et d'avril à septembre dans le Val de Loire de 1948 à 2010

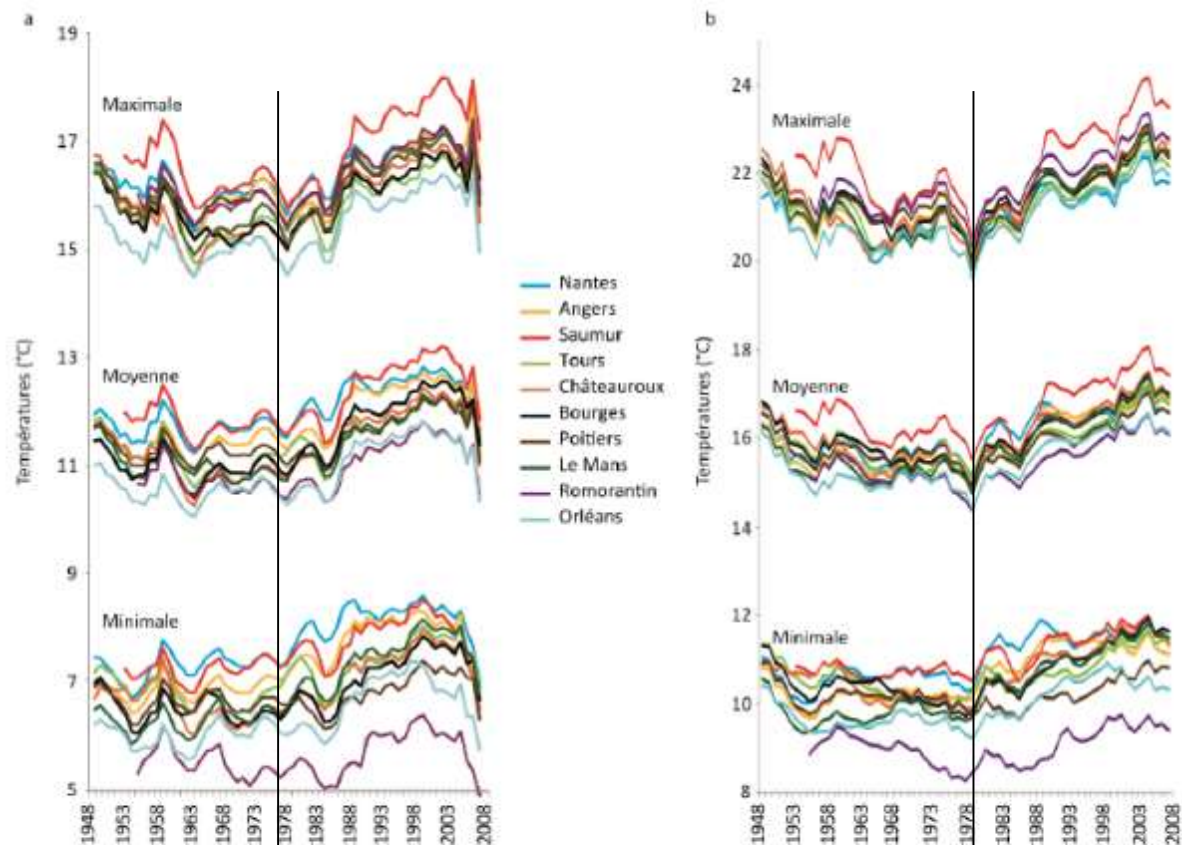


Figure VIII.1. Evolution des températures moyennes annuelles (a) et sur la saison végétative d'avril à septembre (b) (selon une moyenne mobile calculée sur une fenêtre de 5 ans) dans le Val de Loire de 1948 à 2010

Données : [Météo-France]

↗ T° moy annuelle de l'air : **+0.8°C à +1.5°C** depuis 1980 dans le **Centre-Ouest**.

Tendance moins évidente en fin de période (série d'hivers rigoureux).

↗ T° min de l'air : **+0.6°C à Poitiers** et **+1.2°C au Mans**.

↗ T° de la Loire :

✓ **+0.8°C** en **moyenne annuelle et estivale** au cours du siècle

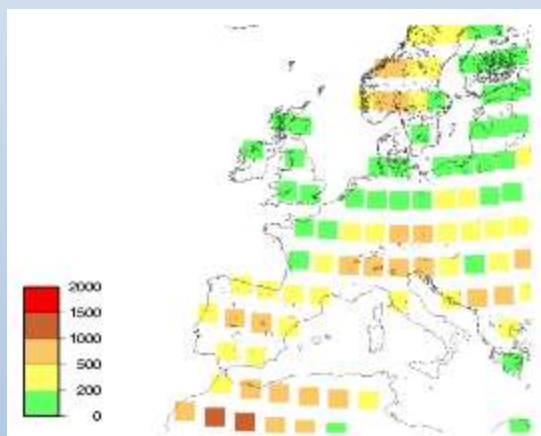
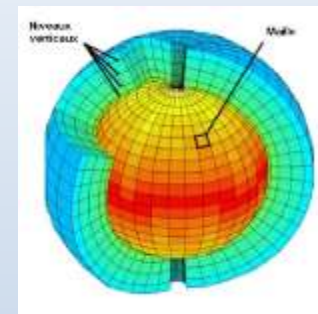
✓ **2003** = année record pour **T° de la Loire** ≈ **30°C sur 7 jours** (Moatar et Gailhard, 2006 ; Gosse et al. 2009)

## **Etude d'impact : processus et incertitudes associées**

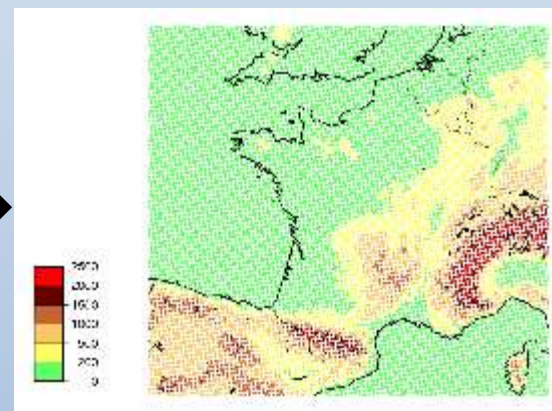
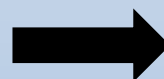


#### 4 Etapes principales :

- Choix du scénario d'évolution de concentration GES et aérosols
- Modélisation du climat à large échelle
- Régionalisation des résultats du modèle



Modèle CNRM-CM3 (2004, GIEC 2007)  
 Topographie à **350km de résolution**



Modèle ALADIN-Climat (2010)  
 Topographie à **10km de résolution**

Le relief vu par les  
 modèles climatiques  
 (source : Météo France)

- Intégration des projections climatiques dans un modèle hydrologique (Pluie + ETP => Débit ?).

⇒ Des incertitudes à chaque étape.



<https://vimeo.com/85531294>

### **Ce qu'on peut retenir :**

- ⇒ Chaque projection climatique = même chance de survenue.
- ⇒ Des projections dispersées.
- ⇒ Nécessité de traiter plusieurs projections climatiques.
- ⇒ Inertie du système climatique : effet non-immédiat de nos actions de réduction en termes d'émission de GES



- Des précisions?
- Quelles réalités du changement climatique sur votre territoire?
- Avez-vous déjà constaté des évolutions?

## **Etudes / Données existantes sur les impacts du changement climatique**

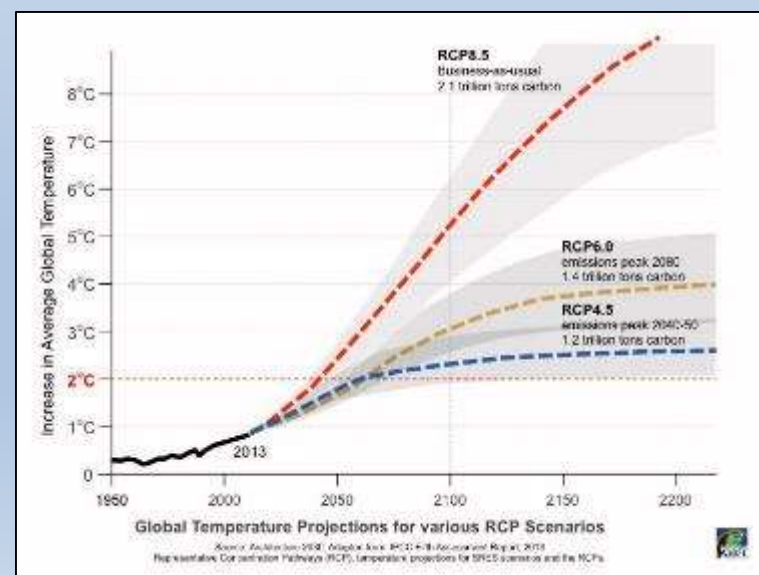
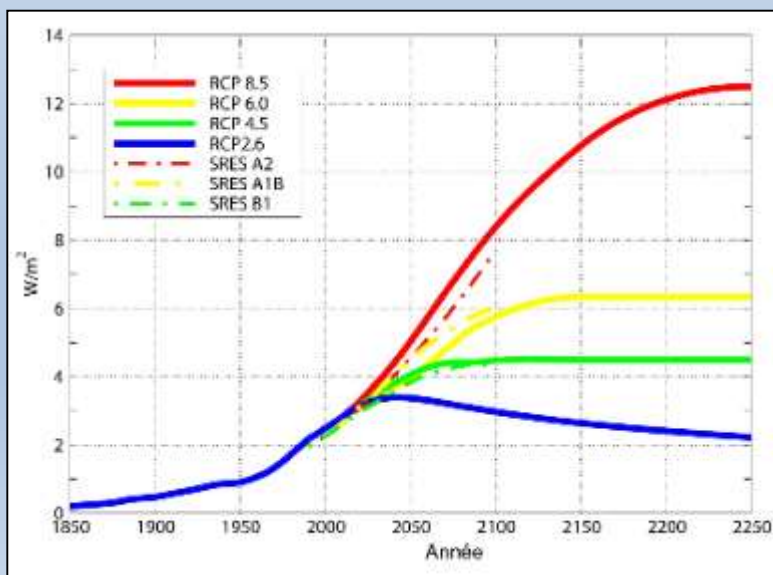


## 2 principales études sur le bassin de la Loire

- **Explore 2070** (portée par le Ministère de l'Environnement) : à l'échelle de la France et Outre-Mer
- **ICC Hydroqual** (portée par l'EP Loire) : à l'échelle du bassin de la Loire et ses affluents

### Des hypothèses communes :

- ✓ Projections climatiques du GIEC (4<sup>ème</sup> rapport – 2007)
- ✓ Scénario d'émission de gaz à effet de serre A1B (médian en termes d'évolution thermique)



## La principale différence : **nombre de scénarios climatiques intégré**

- 7 projections dans Explore 2070
- 14 projections dans ICC Hydroqual
- 6 projections communes aux 2 projets





## La transcription en termes d'impacts :

- Evolution des précipitations, températures, ETP (données restituées à l'échelle mensuelle)
- Evolution des eaux de surface (calcul de l'impact sur les débits)
- Peu d'éléments sur les eaux souterraines : une indication du taux de recharge (à l'échelle du bassin versant)
- Evolution thermique de l'eau (à l'échelle du bassin de la Loire et ses affluents).



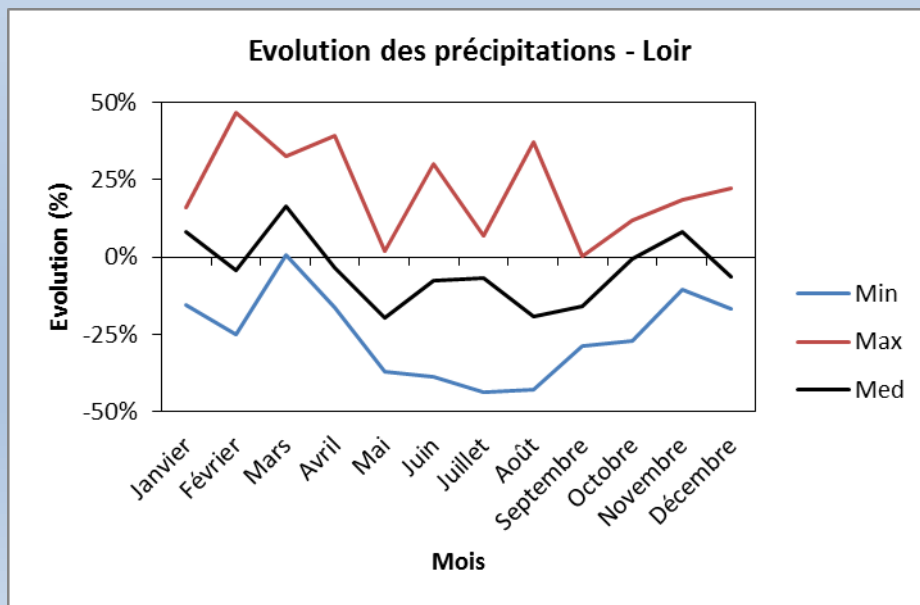
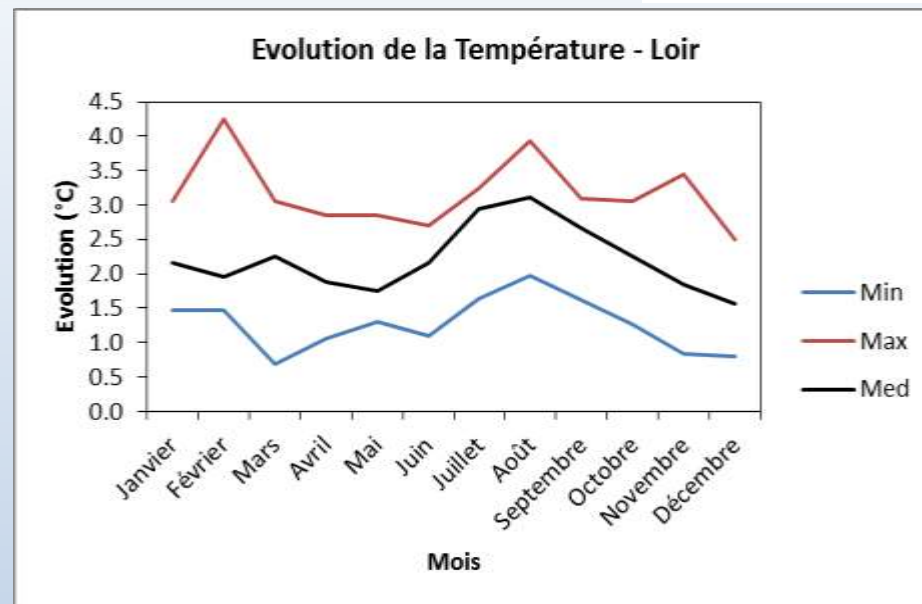
**Les effets du Changement  
Climatique en termes d'impact sur  
le territoire du SAGE**



Réchauffement de l'ordre de 2.2 à 2.3°C en Milieu du Siècle.

+ important en été et début d'automne.

+ prononcé en 2100 avec +4°C en août.



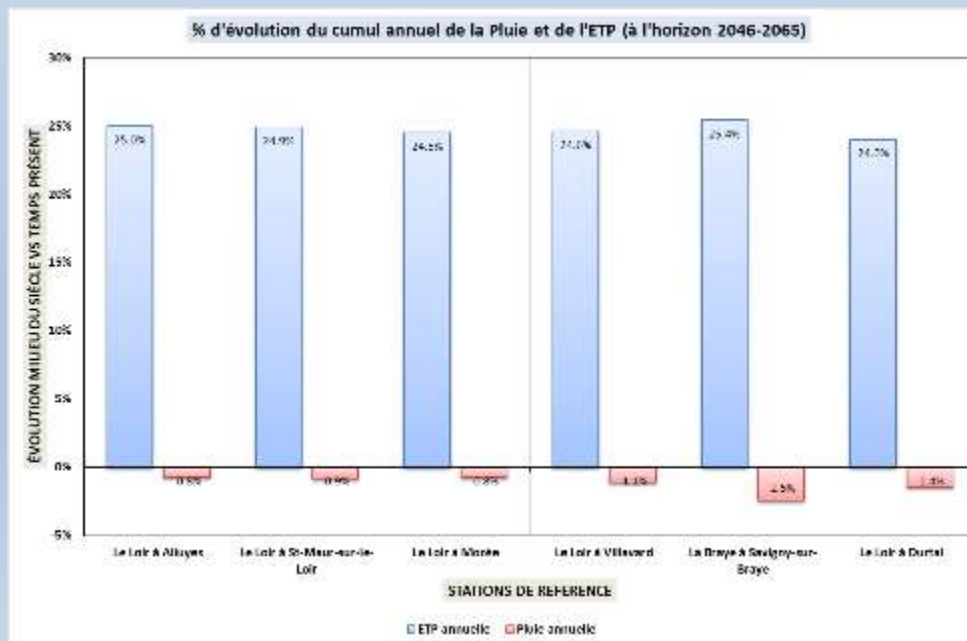
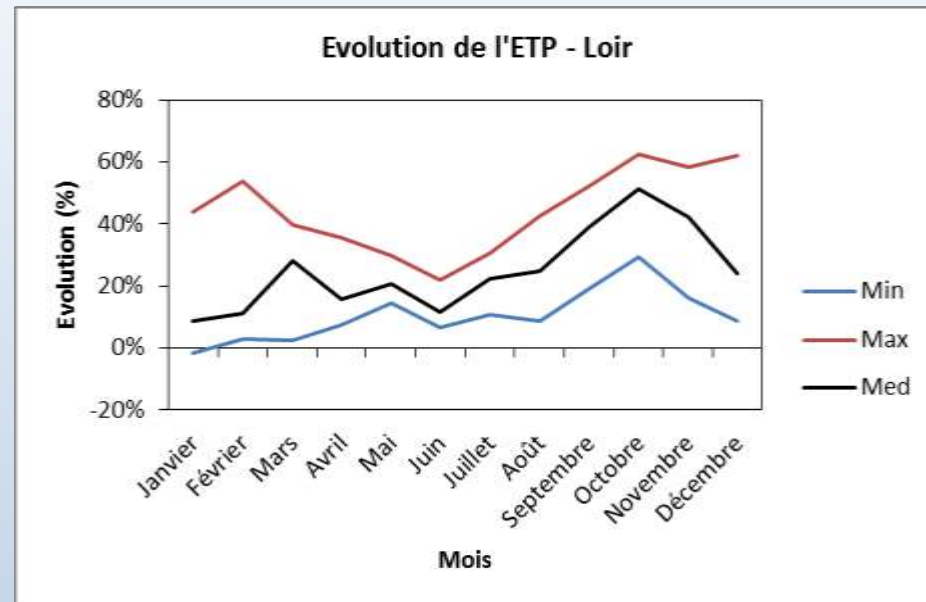
Légère ↘ du cumul annuel pour le scénario médian (-0.8 à -2.5%) en Milieu du Siècle.

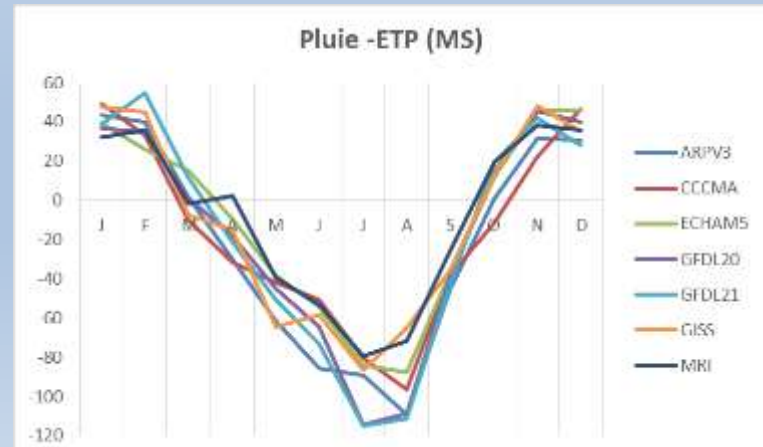
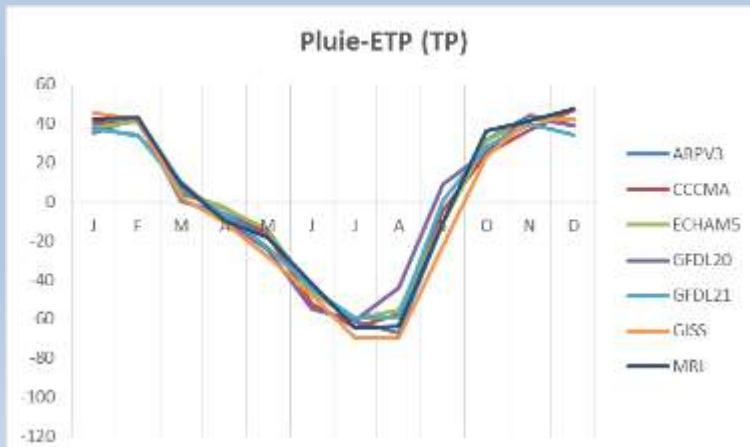
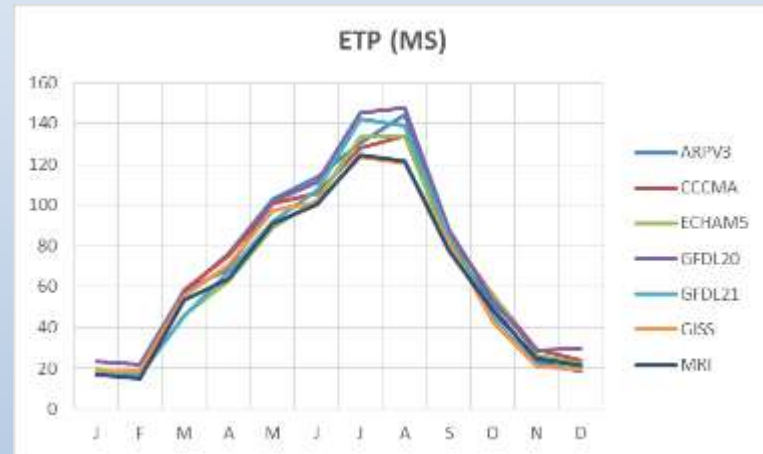
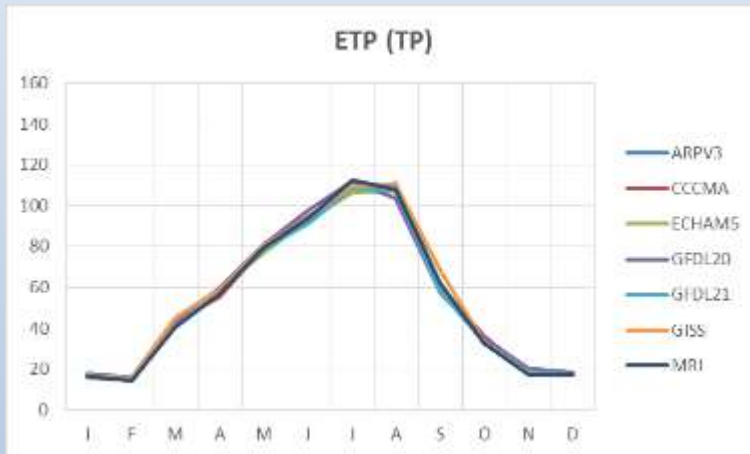
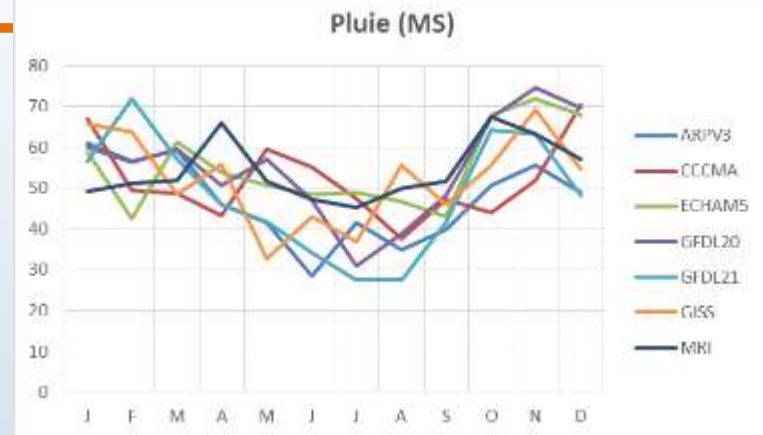
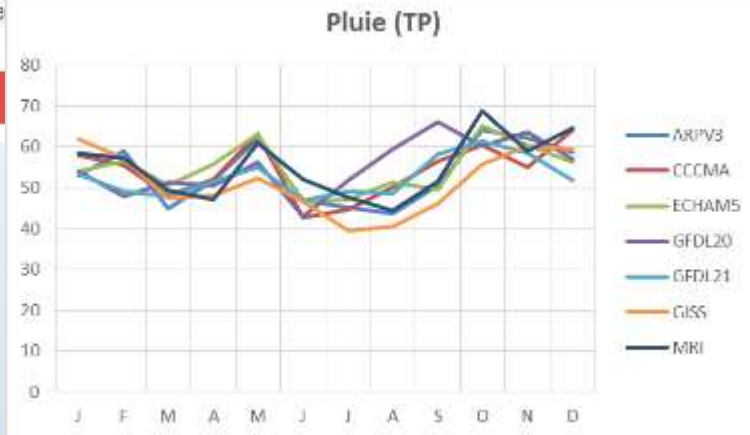
↘ des précipitations au printemps et en été en Milieu du Siècle.

# L'évolution du climat (ETP)

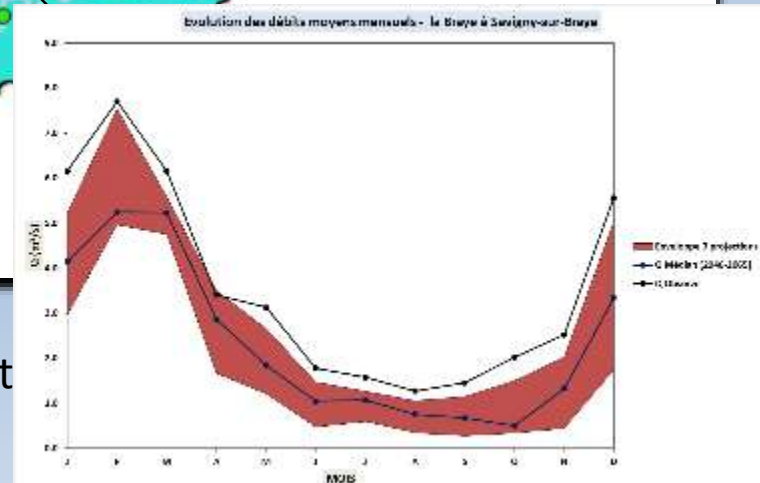
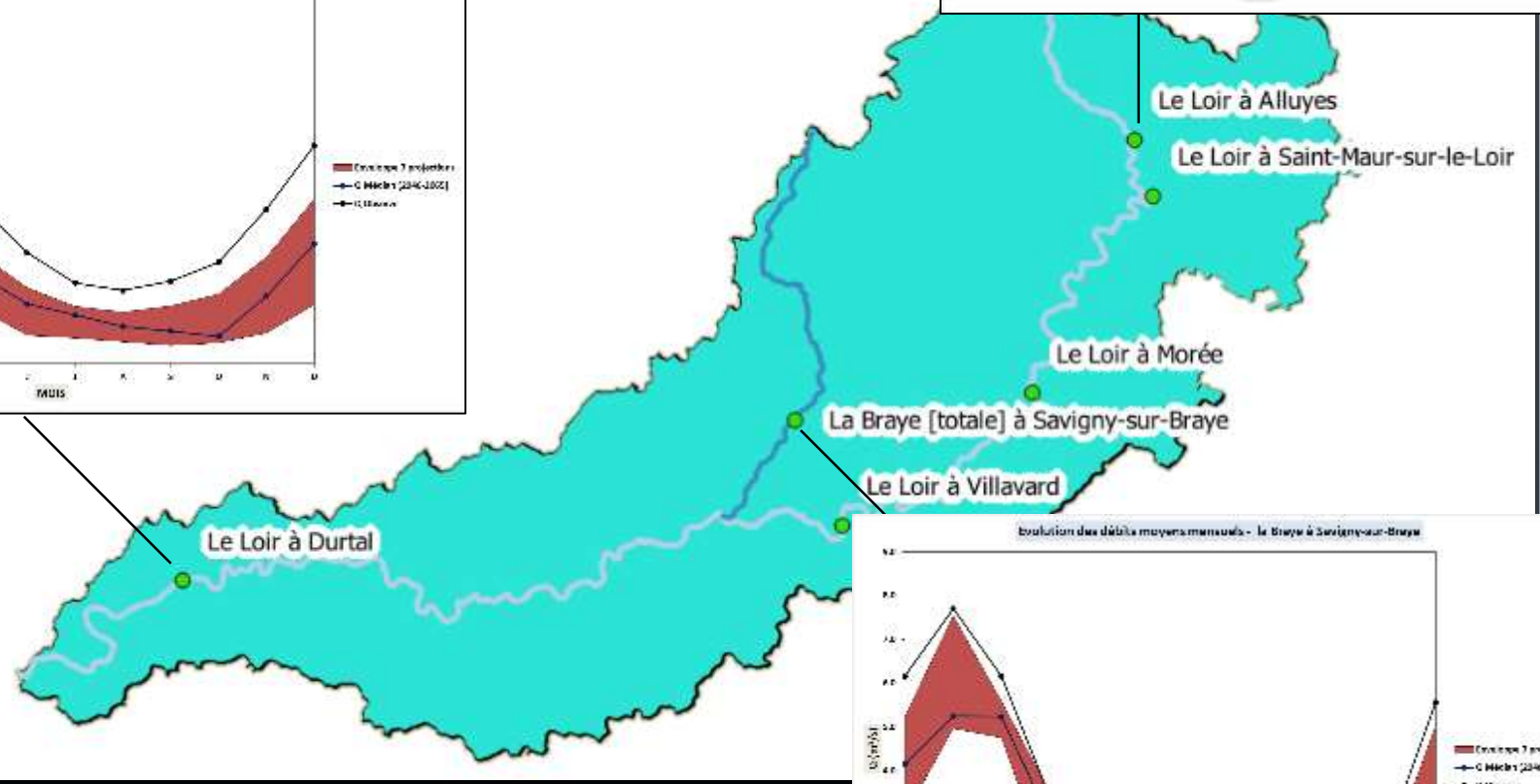
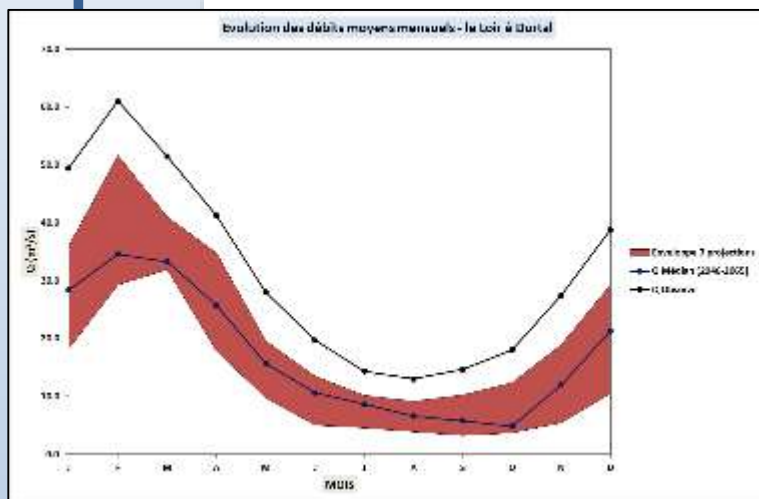
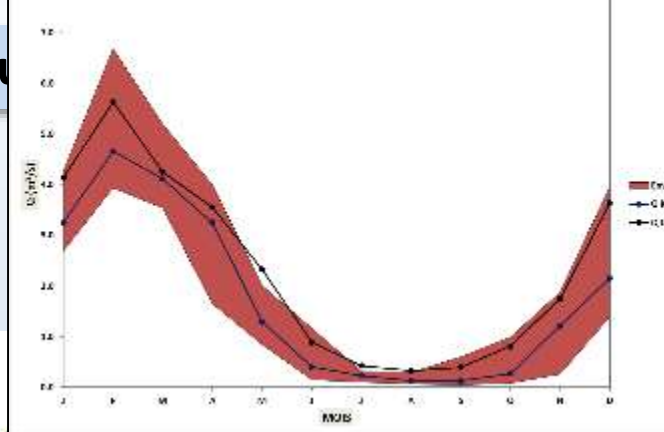
Forte ↗ de l'ETP annuelle (+24.5%).

↗ très marquée en été et surtout en automne.





# Les impacts sur les débits des cours d'eau



- Restitution au niveau de 6 stations (horizon Milieu du Siècle)

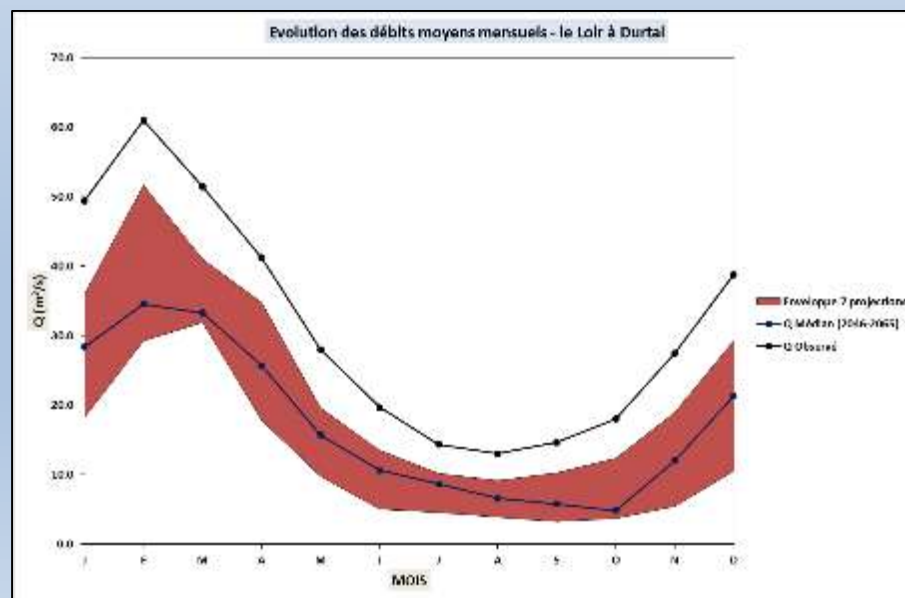
## Sur l'ensemble des stations (source : Explore 2070) :

↘ généralisée des débits moyens mensuels (scénario médian) :

juin à octobre	↘ robuste
novembre à mars	signal plus dispersé
septembre-octobre	↘ maximale

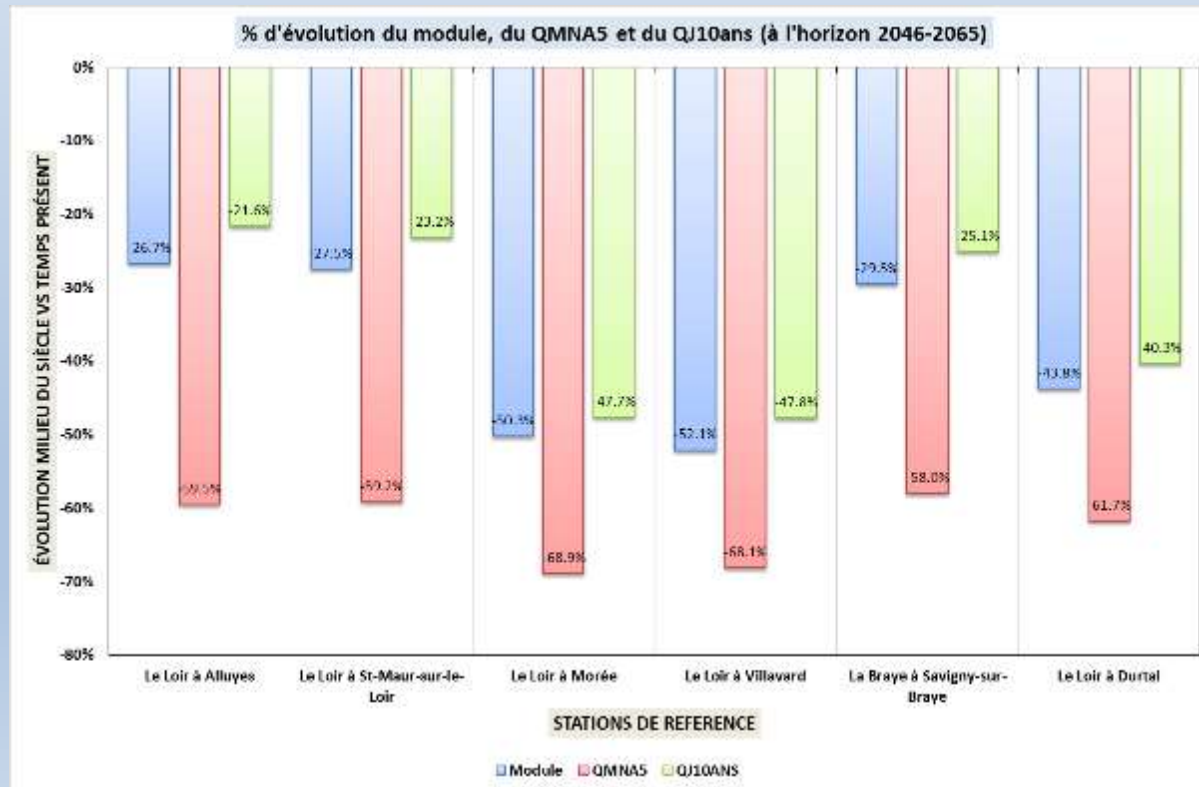
Décalage de l'étiage = +0.4 à +0.8 mois

Etiages plus sévères et prolongés sur la période automnale



## Un signal baissier convergent à l'échelle du bassin versant (scénario médian)

- ▾ **Indice écoulement annuel : -52.1 à -26.7 %** -> (Module)
- ▾ **Indice étiage : -68.9 à -58 %** -> (QMNA5)
- ▾ **Indice crue : -47.8 à -21.6%** -> (QJ10 ans)





## Petit décalage de la saison des crues

↘ QJ10ans généralisée avec le scénario médian

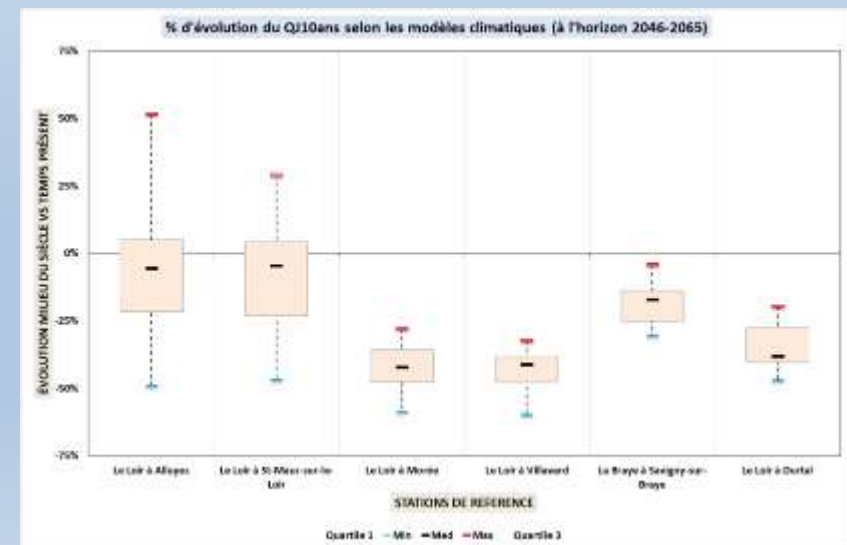
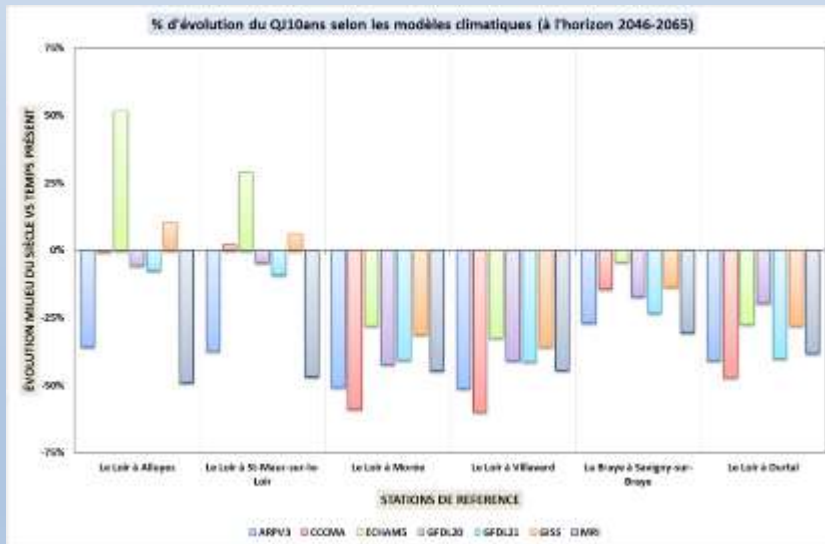
Forte dispersion pour 2 stations

Un signal convergent à la baisse pour une majorité de projections et de stations

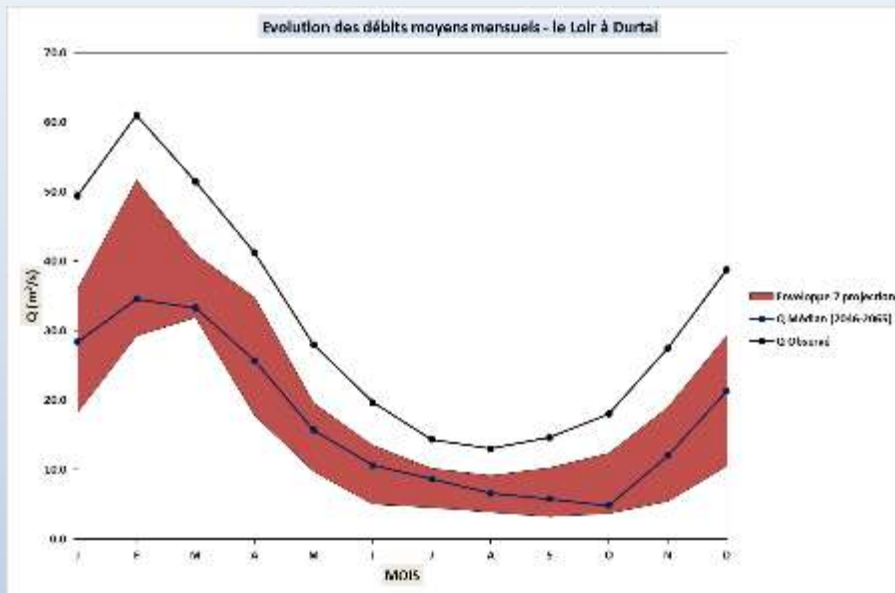
Temps présent



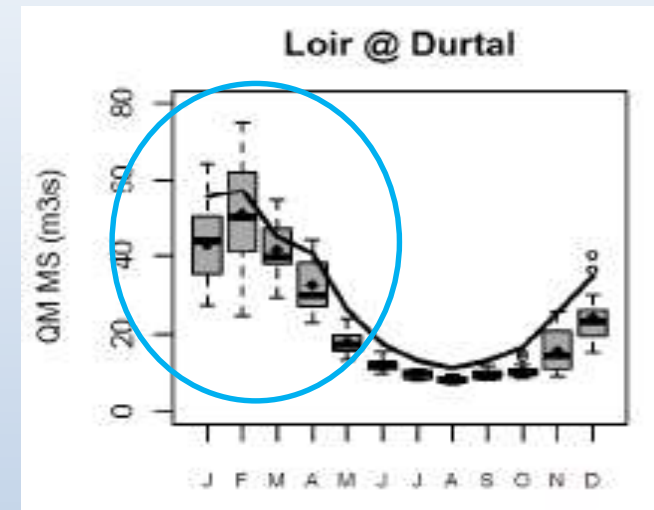
Milieu du Siècle



## Un exemple concret des incertitudes inhérentes au nombre de projections considérées : le Loir à Durtal



Source (Explore 2070 – 7 projections)

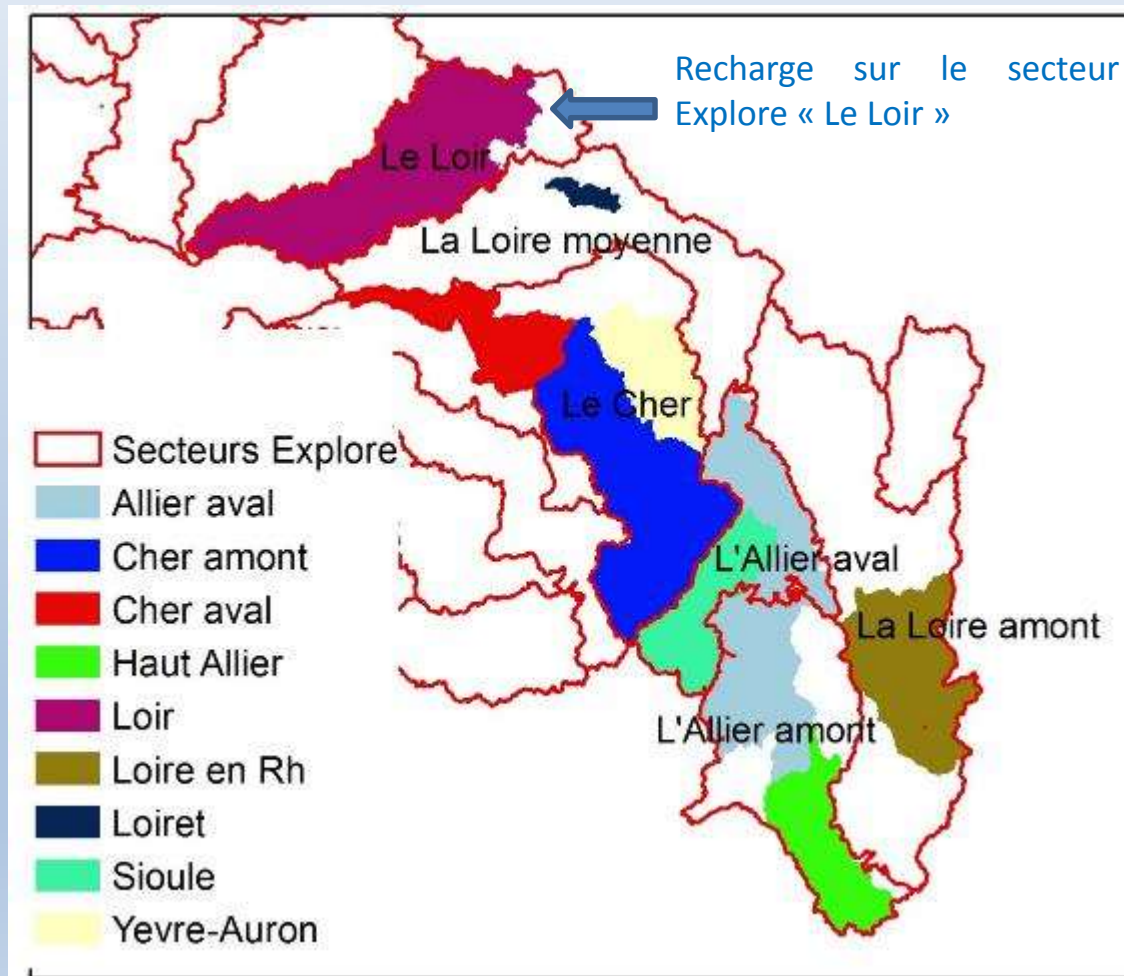


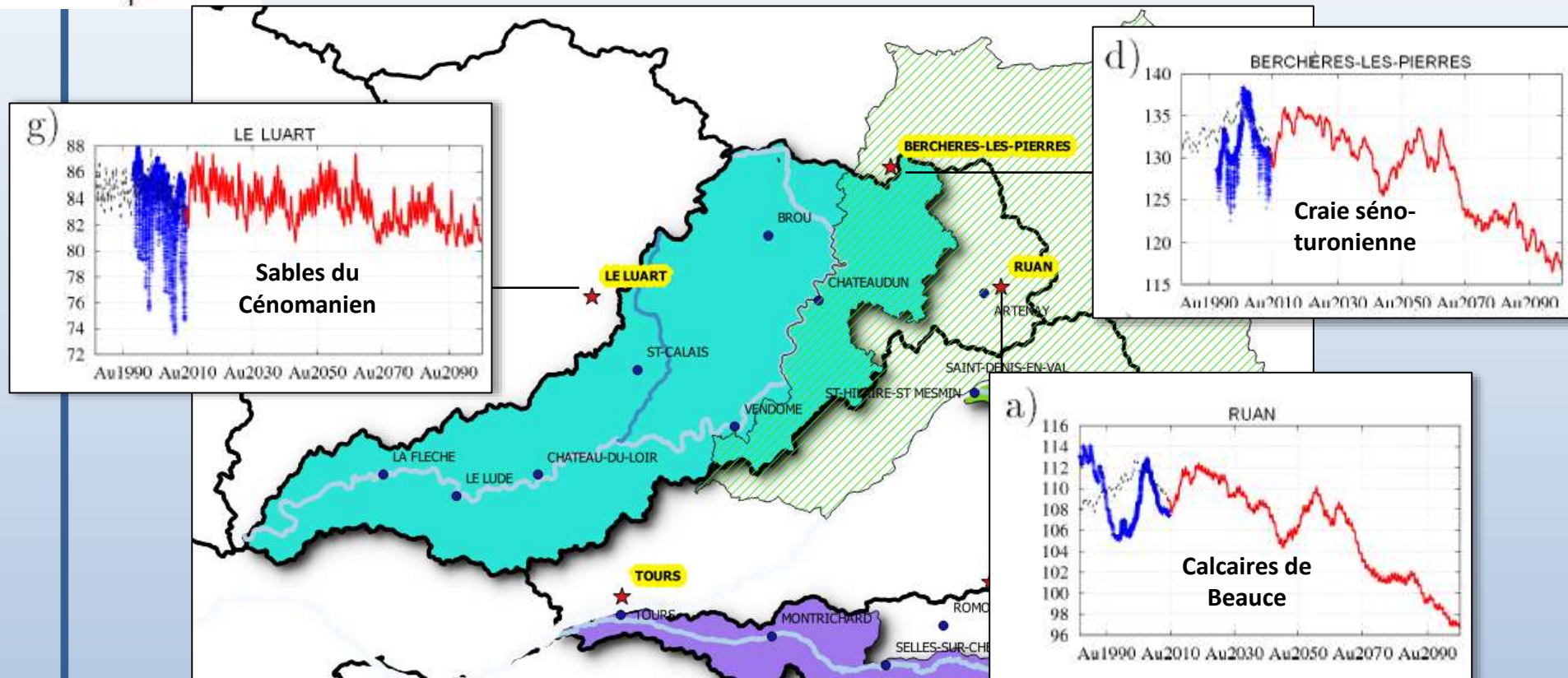
Source (ICC Hydroqual – 14 projections)

Indicateur statistique	Explore 2070 (7 projections)	ICC Hydroqual (14 projections)
Module	<b>-43.8% MS</b> [-61.3% à -28.8%]	<b>-23% MS</b> -31.7% FS
QMNA 5	<b>-61.7% MS</b> [-73.5% à -35.9%]	<b>-22.8% MS</b> -32.9% FS
QJ10ans	<b>-38.2% en MS</b> [-47.1% à -19.6%]	<b>-2.2% en MS</b> -8.9% en FS

↘ Indice eaux souterraines : -40.1% à -23.7%

-> (Recharge)





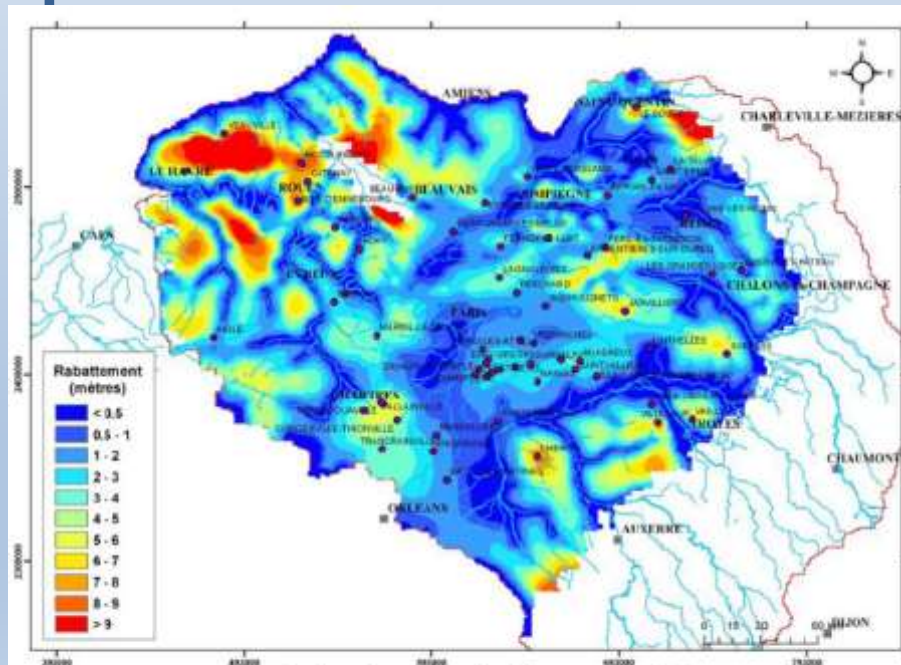
3 aquifères (calcaires de Beauce, craie du Séno-Turonien, et sables du Cénomaniens) :

- ↘ des niveaux d'eau (< minima historiques)
- plus marquée à partir de 2050-2070
- baisse la + forte avec Arpège -10 m en 100 ans à Ruan

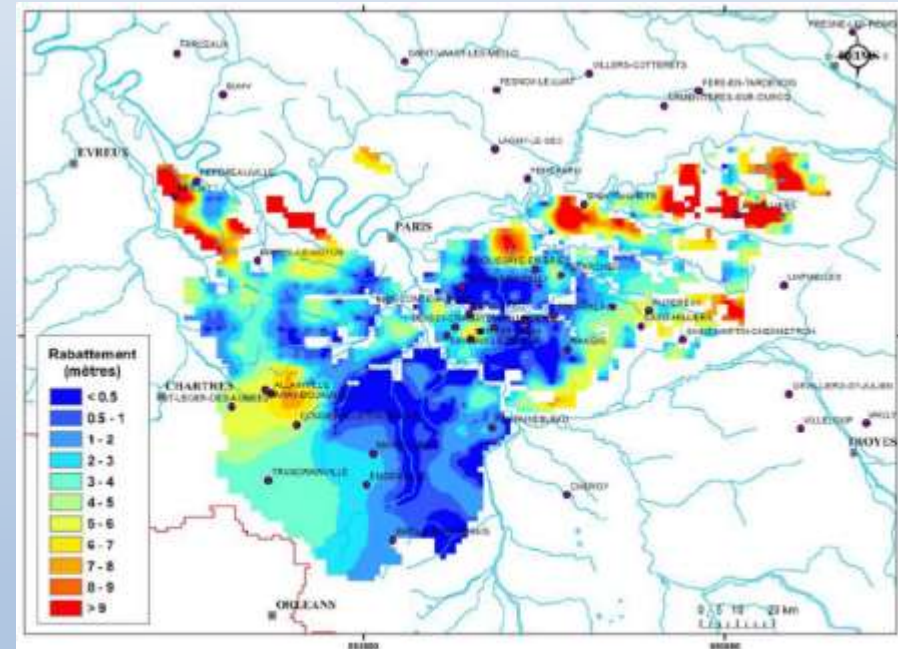
(source : Explore 2070 – bassin parisien)

## Impact significatif sur la piézométrie du bassin

↘ **recharge** (notamment sur les grandes zones de plateaux : pays de Caux, plaine de Beauce)



Nappe de la craie - Baisse du niveau moyen de la nappe sur la période 2046-2065 (moyenne des sept modèles de climat) par rapport à la période de référence (1961-1990) (EXPLORE 2070)



Calcaires de Beauce - Baisse du niveau moyen de la nappe sur la période 2046-2065 (moyenne des sept modèles de climat) par rapport à la période de référence (1961-1990) (EXPLORE 2070)

(source : Thèse d'Agnès Ducharne - CNRS à l'UMR METIS)

Besoins en eau pour l'irrigation : ↗ 50 à 60% en Beauce (horizon 2100)

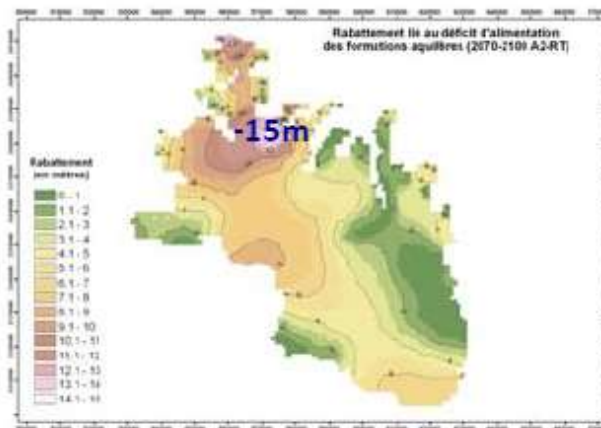
↘ recharge d'environ 1/3 (horizon 2100)

## Irrigation en Beauce

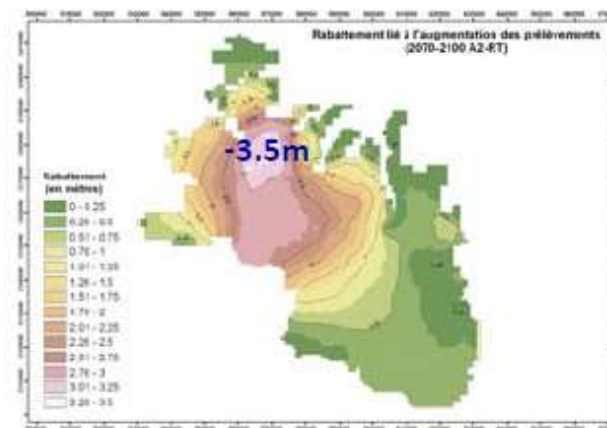
### Baisse de la nappe de Beauce à l'horizon 2100

simulée par un modèle hydrogéologique sous scénario A2 régionalisé

1. Déficit de recharge (-37%)  
tel que simulé par modèle hydrogéologique  
sans changer l'irrigation



2. Augmentation de l'irrigation (+54%)  
tel que simulé par modèle agronomique  
sans déficit de recharge

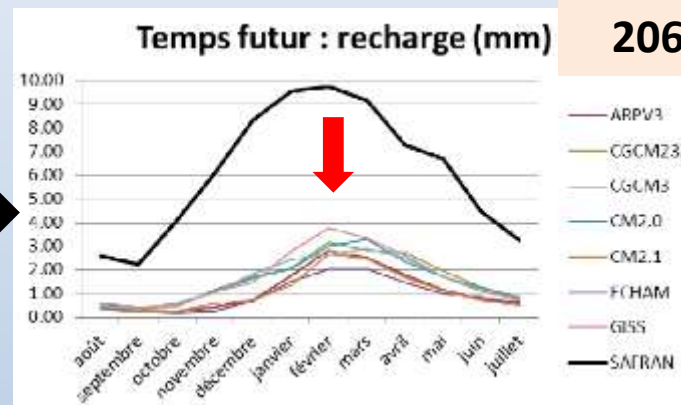
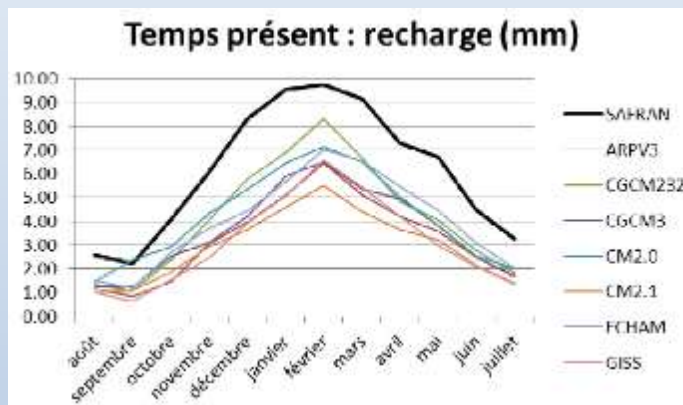


## Focus sur le bassin de la Conie à Molitard (Explore 2070) :

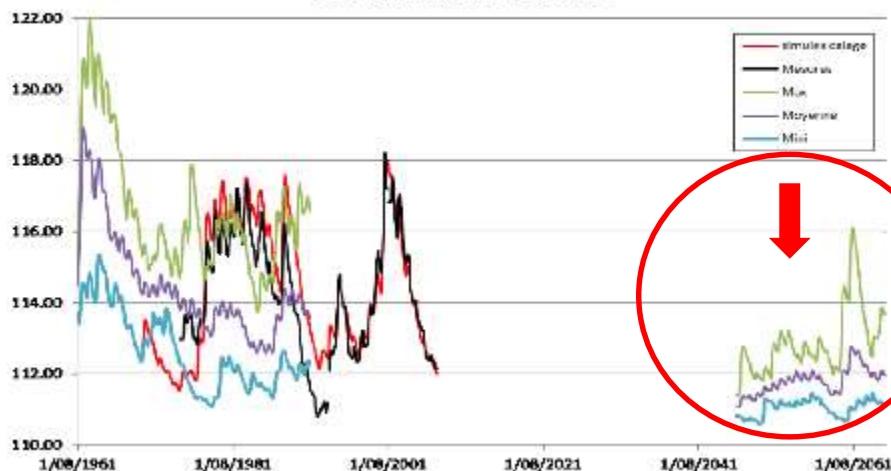
↘ pluie efficace

Très forte ↘ de la recharge : -62 à -46%

Horizon  
2065



### Evolution des niveaux piézométriques au droit de l'Indicateur de Beauce

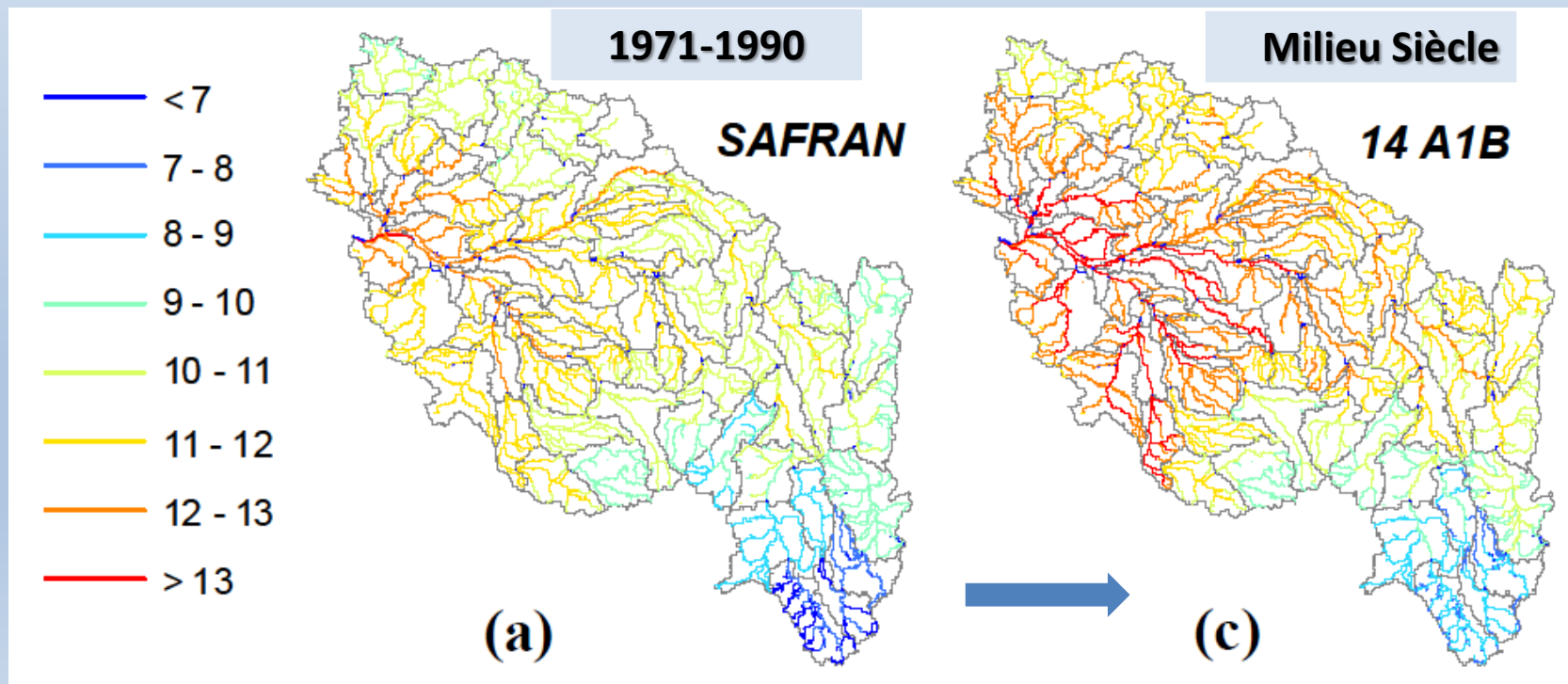


↘ débits en moyenne : -90 à -74%

(Source : ICC Hydroqual / moyenne des simulations)

- Réchauffement **moyen** : **+2.1°C en Milieu Siècle à +2.9°C en Fin Siècle.**
- Réchauffement **plus important** sur la **Loire amont et l'Allier**, comparativement aux cours d'eau septentrionaux (Sarthe, le Loir ou le Maine)
- **2 pics** au printemps et en automne

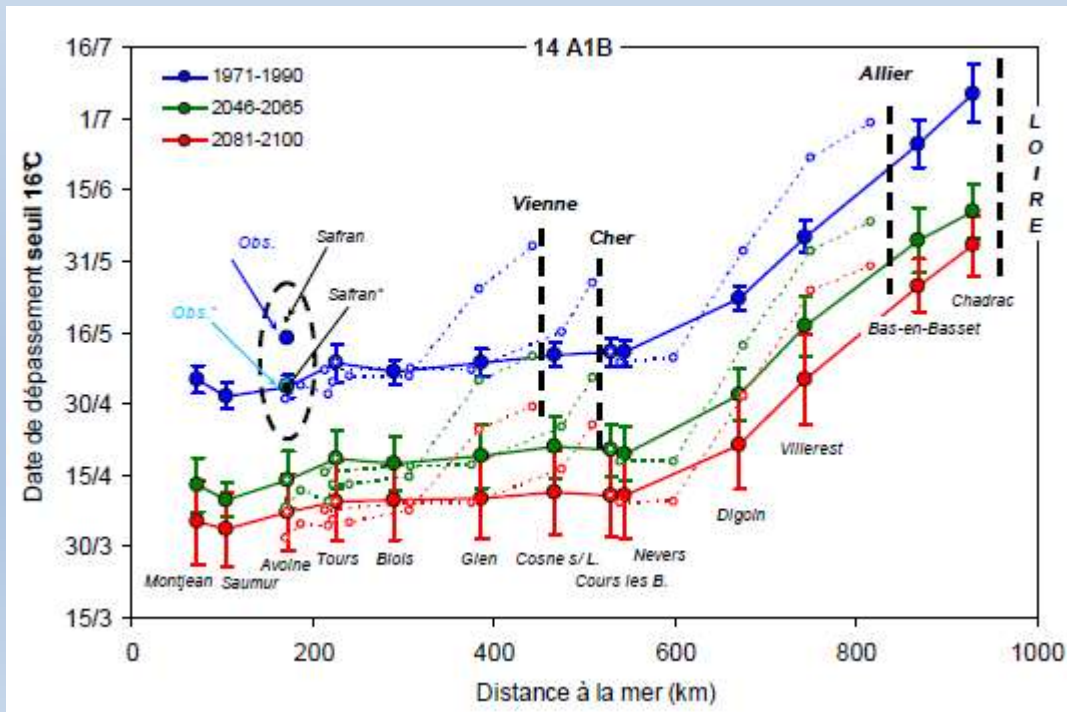
Température moyenne annuelle des cours d'eau



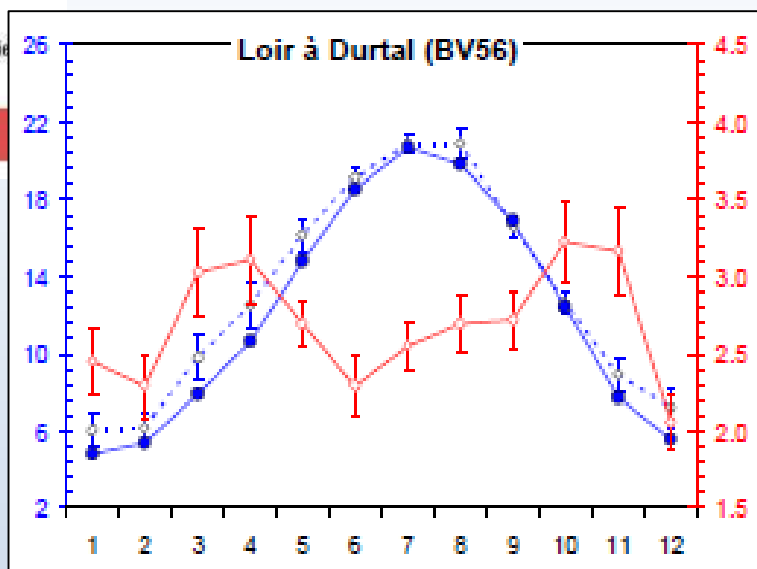


(Source : ICC Hydroqual)

- Dépassements du seuil 16°C en Loire Moyenne :
  - ✓ Plus précoces : +25 à 35 jours (Milieu du Siècle)
  - ✓ Milieu du Siècle : mi-avril à début mai
- Seuil de 10°C dépassé toute l'année sur la Loire Moyenne (moins de 60 jours avec  $T_{\text{eau}} < 10^{\circ}\text{C}$ ) dès le Milieu du Siècle.



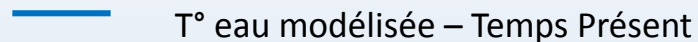
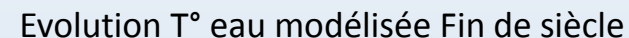
Profils longitudinaux des dates de dépassement du seuil thermique 16°C (3 horizons temporels)



-○- 14 A1B-TP

-○- 14 A1B-FS

● Safran

- **Milieu Siècle :**

- ✓ **Moyenne : +2.0°C**
- ✓ **Min : +0.8°C**
- ✓ **Max : +2.6°C**

- **Fin Siècle:**

- ✓ **Moyenne : +2.8°C**
- ✓ **Min : +1.8°C**
- ✓ **Max : +4.2°C**

- **Milieu Siècle :**

- ✓ Janvier : +1.9°C

- ✓ **Avril : +2.3°C**

- ✓ Juillet : +1.8°C

- ✓ **Octobre : +2.4°C**

- **Fin Siècle :**

- ✓ Janvier : +2.5°C

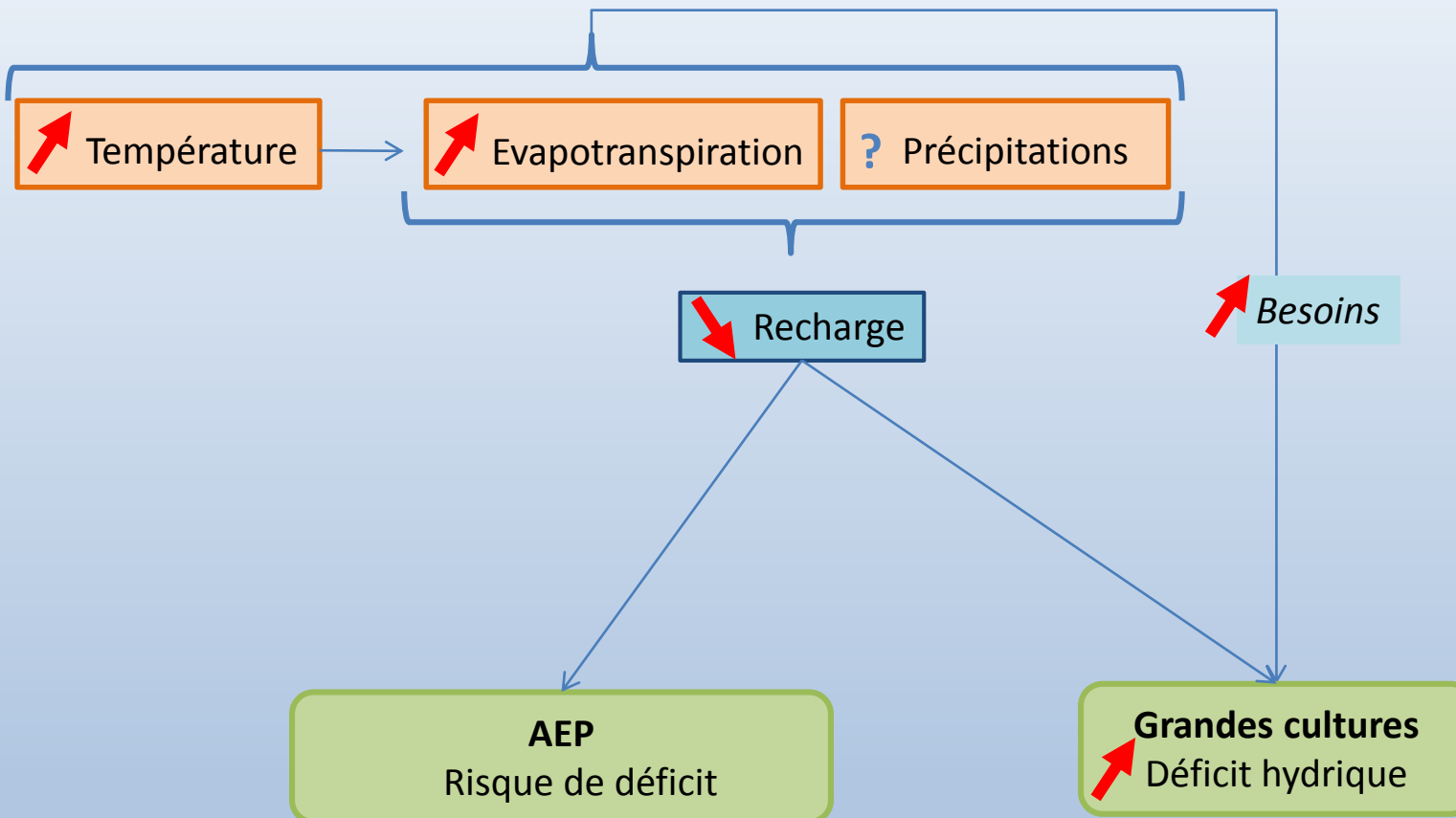
- ✓ **Avril : +3.2°C**

- ✓ Juillet : +2.6°C

- ✓ **Octobre : +3.3°C**

## **Focus sur les usages de l'eau face au changement climatique**





<u>Changements projetés</u>	<u>Tendance</u>	<u>Degré de certitude</u>	<u>Secteurs les plus touchés</u>
Demande en eau agricole	↗	Moyen	Cultures d'été / Céréales irriguées
Phénologie	Raccourcissement des cycles de cultures : décalage de la période de besoin en eau	Elevé	Prairies / cultures d'été / céréales d'hiver et de printemps
Recharge	↘	Moyen	AEP + grandes cultures

Activités/secteurs		Vulnérabilités/opportunités
AEP		↘ Niveau de la nappe du Cénomanién
Agriculture	Grandes cultures	Tension accrue sur la nappe de Beauce avec accroissement des besoins et nouveaux besoins (au printemps)
	Cultures d'été	Déficit hydrique



**Synthèse des impacts du  
changement climatique sur les  
objectifs du PAGD**



Enjeux	Objectifs	Aléas	Impacts
Qualité physico-chimique des milieux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atteinte du bon état DCE</li> <li>• Amélioration de la qualité des eaux brutes pour les usages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ T° cours d'eau</li> <li>↑ T° plans d'eau</li> <li>↓ Débits d'étiages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Capacité de dilution</li> <li>↑ Risque d'eutrophisation</li> </ul>
Qualité des milieux aquatiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restaurer la morphologie des cours d'eau</li> <li>• Améliorer la continuité écologique</li> <li>• Réduire le taux d'étagement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Débits d'étiages</li> <li>↑ T° cours d'eau</li> <li>↑ T° plans d'eau</li> </ul>	Changements de distribution, migrations, zones refuges ↑ Risque d'eutrophisation
	Améliorer la gestion quantitative pour assurer un étiage suffisant	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Débits d'étiages</li> <li>↑ Durée de l'étiage</li> <li>↑ Evapotranspiration</li> <li>↓ Précipitations été</li> </ul>	↑ Pression hydrologique ↑ Demande en eau irrigation
Satisfaction de l'usage eau potable	Limiter la pollution par les nitrates et les pesticides à l'amont du bassin	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Débits d'étiage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Capacité de dilution</li> </ul>



Enjeux	Objectifs	Aléas	Impacts
Zones humides	Préservation des zones humides Améliorer les connaissances	↓ Débits d'étiages ↑ Durée de l'étiage ↑ Evapotranspiration	↑ Assèchement des zones humides ↓ Soutien d'étiage par les zones humides
Gestion quantitative des eaux souterraines et superficielles	Améliorer la gestion quantitative de la nappe de Beauce	↓ Recharge ↑ Evapotranspiration ↓ Précipitations été	↓ Ressource disponible ↑ Demande en eau cultures d'été
	Améliorer la gestion quantitative de la nappe du Cénomanién	↓ Recharge	↓ Ressource disponible
	Préciser le risque hydrologique sur les eaux superficielles	↓ Débits d'étiages ↑ Durée de l'étiage	↑ Pression des usages
Inondations	Limiter la vulnérabilité Faire baisser l'aléa	? Intensité et fréquence des crues	Le risque de crue n'est pas réduit face au changement climatique

**Vulnérabilité = exposition x sensibilité**

**4 enjeux: gestion quantitative, qualité de l'eau, biodiversité, eutrophisation**

**Exposition** : variations hydro-climatiques auxquelles un système est exposé

Gestion quantitative	Qualité de l'eau	Biodiversité	Eutrophisation
<p>↘ Débits et/ou de la recharge</p>	<p>↘ Capacité de dilution</p>	<p>↗ Température de l'eau ↘ Débits</p>	<p>↗ Température de l'eau ↘ Débits</p>

**Sensibilité** : caractéristiques d'un territoire qui le rendent plus ou moins fragile vis-à-vis d'une exposition donnée. Evaluée par rapport à la situation présente.

	<b>Gestion quantitative</b>	<b>Qualité de l'eau</b>	<b>Biodiversité</b>	<b>Eutrophisation</b>
<b>Sensibilité faible</b>	Equilibre quantitatif atteint	Bonne qualité	Milieus peu altérés et bonne continuité	Milieus peu propices à l'eutrophisation
<b>Sensibilité moyenne</b>	Des déséquilibres sont constatés	Une bonne capacité de dilution est nécessaire pour limiter les problèmes de qualité	Richesse patrimoniale ou Milieus altérés ou ruptures de continuité	Hydromorphologie propice à l'eutrophisation
<b>Sensibilité forte</b>	Bassins en déséquilibre (classement en ZRE)	Eaux de qualité médiocre ou mauvaise	Richesse patrimoniale Et milieux fortement altérés	Des phénomènes d'eutrophisation sont constatés Et Hydromorphologie propice à l'eutrophisation

Les grands objectifs du PAGD = amélioration de la résilience du territoire face aux impacts du changement climatique.

Des **mesures complémentaires nécessaires pour s'adapter** :

- Amélioration de la rétention de l'eau dans les sols
- Meilleure utilisation de l'eau : rendements des réseaux, techniques d'irrigation
- Optimisation du cycle cultural / introduction d'autres variétés ou cultures
- Réhabilitation de zones humides
- Gestion active de la ressource (stockage hivernal, recharge artificielle,...)
- Amélioration des connaissances :
  - ✓ Impact du changement climatique sur les nappes de Beauce et du Cénomanienn
  - ✓ Demande en eau agricole sous changement climatique (colza, céréales,...)
  - ✓ Déclinaison territoriale de l'évaluation de la vulnérabilité menée à l'échelle des Agences de l'eau

*Demands de précisions sur les éléments présentés ?*

*Quelles sont les démarches/projets d'adaptation en cours sur vos territoires ?*

*Quelles pistes pour la prise en compte de cet enjeu dans vos SAGE ?*



**Merci pour votre attention**

