

■ 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 • Châteaoux • 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



BILAN DES CONNAISSANCES DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES SAGE SIOULE - ALLIER AVAL

9 mars 2017

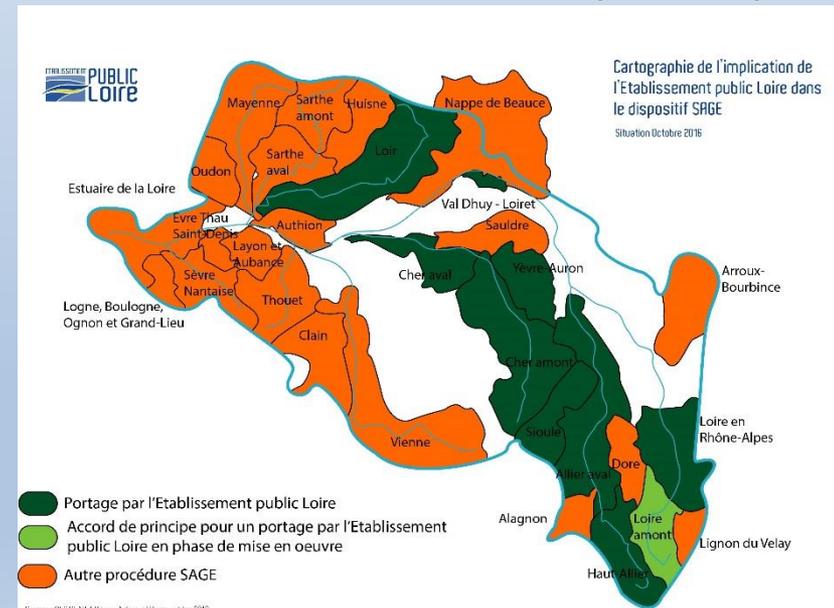




Le contexte et les objectifs de la démarche



- 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 +](#)).



Proposer une restitution adaptée des impacts liés au changement climatique

- cible territoriale : les 9 SAGES portés par l'Établissement Public de la Loire
- valorisation et exploitation des études existantes sur le bassin de la Loire :
 - Explore 2070 (portée par le Ministère)
 - ICC Hydroqual (portée par l'EP Loire)

→ Principalement évolution des débits, et température de l'eau

- ✓ Sensibilisation des membres de la CLE aux impacts possibles du changement climatique sur l'hydrologie et les usages
- ✓ Bilan et restitution de **l'état actuel des connaissances scientifiques actuelles** sur le bassin (synthèse bibliographique ≠ étude spécifique à chaque SAGE)
- ✓ Tentative de transcription en termes d'enjeux du SAGE
- ✓ Livraison d'un fichier Excel avec les indicateurs hydro-climatiques et les graphiques d'évolution du climat et des débits





Quelques clés de lecture :

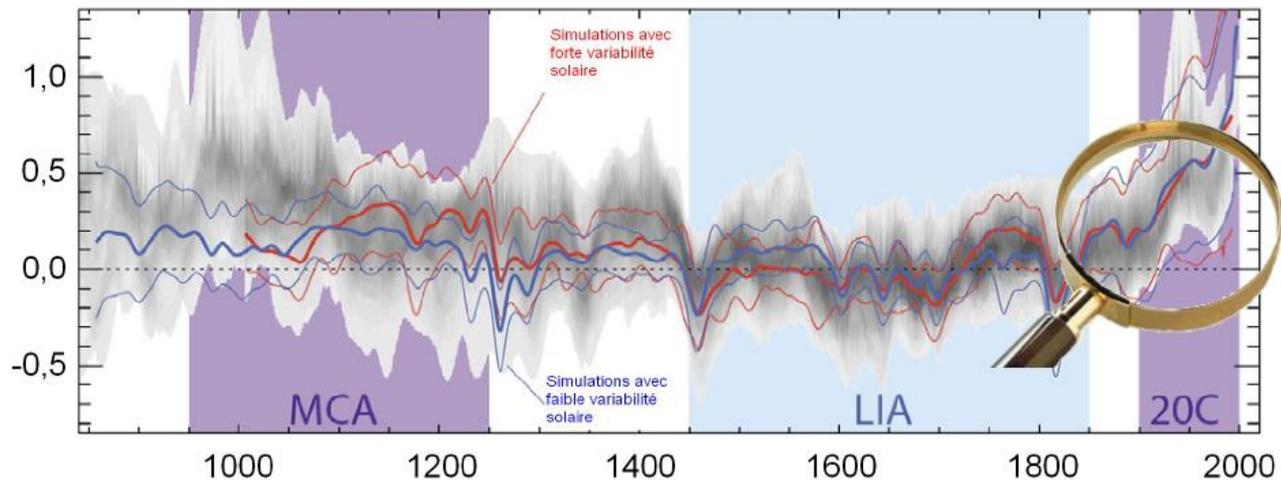
- L'étude du Climat \neq Prévisions météorologiques
- Ne pas se focaliser sur les valeurs absolues (tendances ? points de convergences entre les projections climatiques ?)
- Vocabulaire utilisé par la suite :
 - ✓ Temps Présent : période jusqu'en 2000
 - ✓ Horizons des projections climatiques : **Milieu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





Qu'apprend-t-on des observations ?





Évolutions de la température moyenne de l'hémisphère Nord
en surface relatives à 1500-1850 (°C)

MCA: Anomalie Climatique Médiévale
LIA: Petit Age Glaciaire

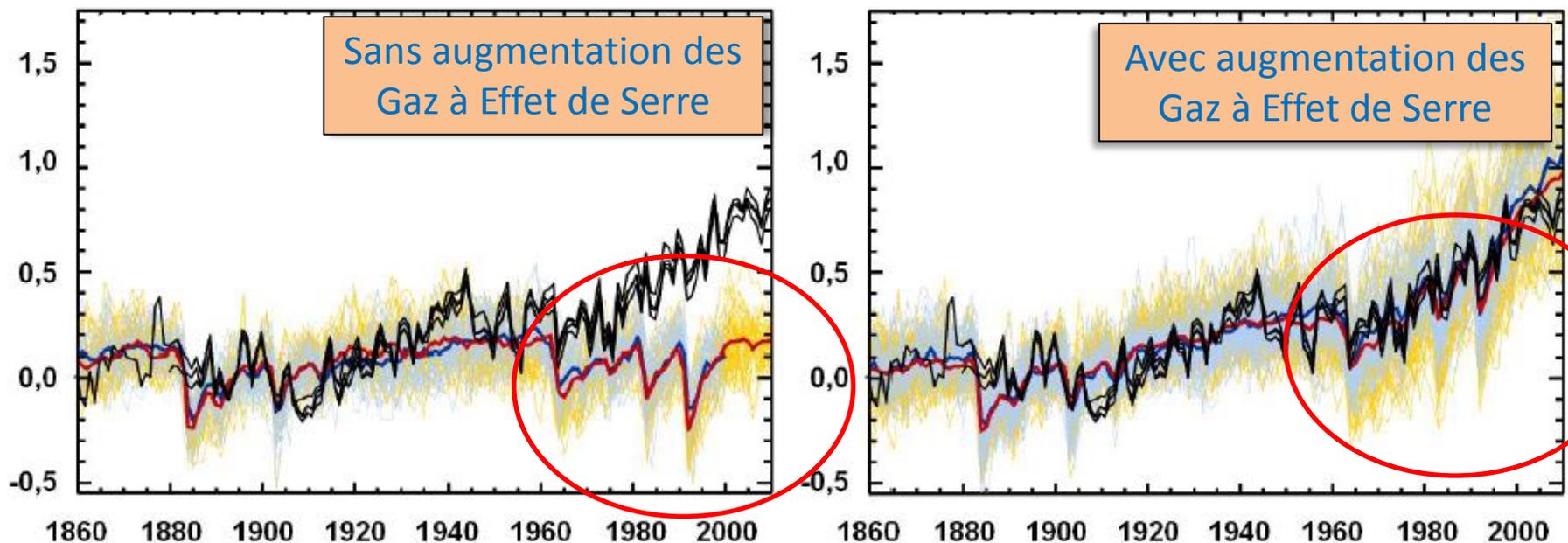
(Groupe d'Experts étudiant l'évolution du Climat, 2013)

- Réchauffement du système climatique = sans équivoque / depuis les années 1950.
- Chacune des trois dernières décennies = successivement plus chaude à la surface de la Terre que toutes les décennies précédentes depuis 1850.
- Concentrations de CO₂ ↗ +40% depuis la période préindustrielle.



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

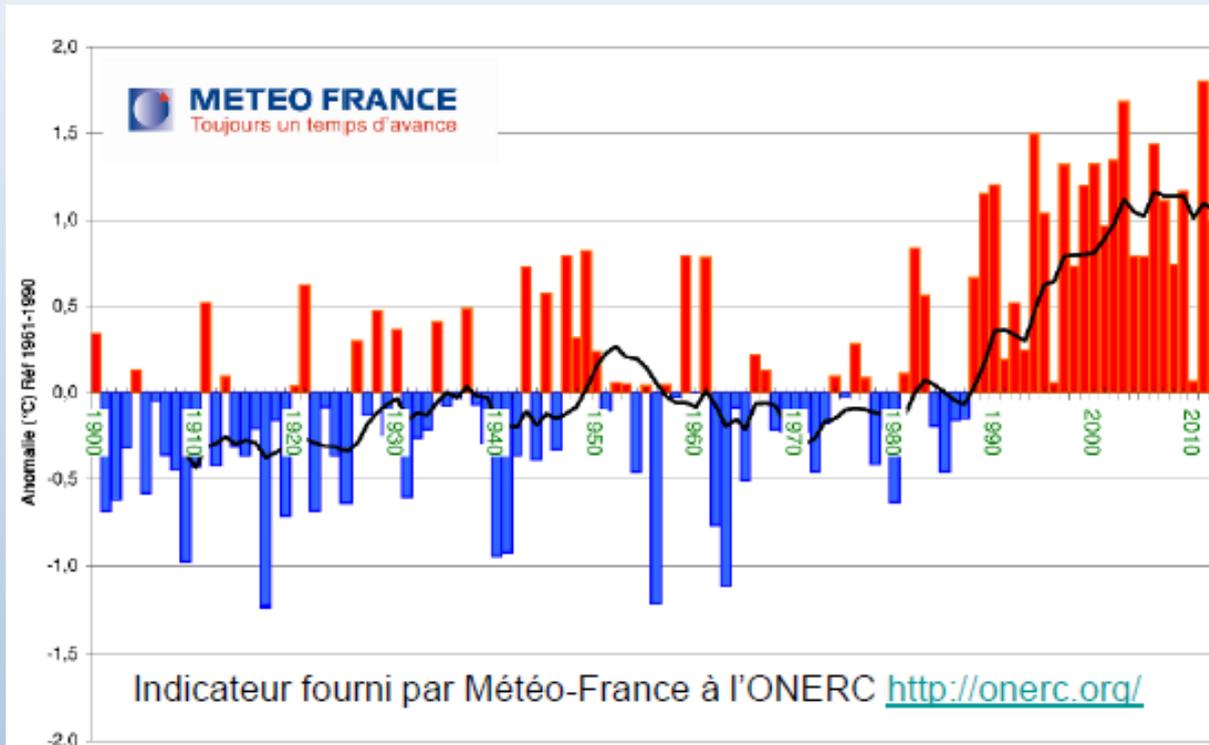
Température moyenne: anomalies relatives à 1880-1919 (°C)



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



Evolution de la température moyenne sur la période 1900-2012



-  Ecart de température /moyenne 1961-1990
- 
-  Moyenne sur 10 dix ans

Année 2011 :

- ✓ T° moyenne supérieure de 1,8 °C à la moyenne de la période 1961-1990.
- ✓ Année la plus chaude en France métropolitaine depuis 1900, battant le précédent record de 2003 (+1.7°C).



Des besoins en eau croissants pour l'irrigation (source : SMIF Canal du Forez)

- Hausse constatée de l'évapotranspiration potentielle (=demande climatique):
+131 mm/an sur 40 ans soit 1310 m³/ha/an
- Besoins en eau d'irrigation liées à la hausse de l'ETP et la stabilité de la pluviométrie

Conséquences du réchauffement climatique : des besoins en eau croissants !

EVOLUTION de l'ETP moyenne annuelle sur 10 ans (en mm)

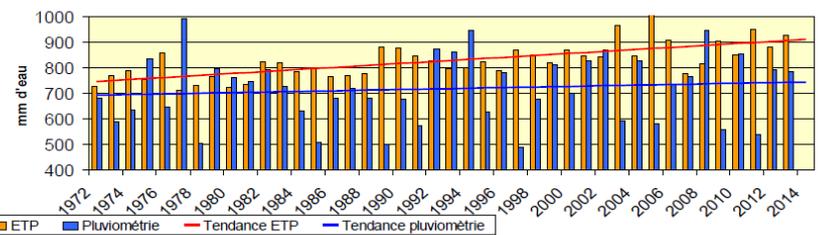
période	1972 à 1981	757	<p><i>Sur un période de 40 ans augmentation de la demande climatique de + 131 mm soit + 1310 m³ d'eau par hectare / an</i></p>
période	1982 à 1991	815	
période	1992 à 2001	830	
période	2002 à 2011	888	

Cette mesure est issue du centre météorologique d'Andrézieux Bouthéon.

Source Chambre d'agriculture de la Loire

S'adapter face à une pression climatique de plus en plus contraignante au fil des années

Evolutions de l'ETP et de la Pluviométrie annuelles à Andrézieux Bouthéon



Le réchauffement climatique : une réalité mesurée et conséquente

Source Chambre d'agriculture de la Loire – données Météofrance

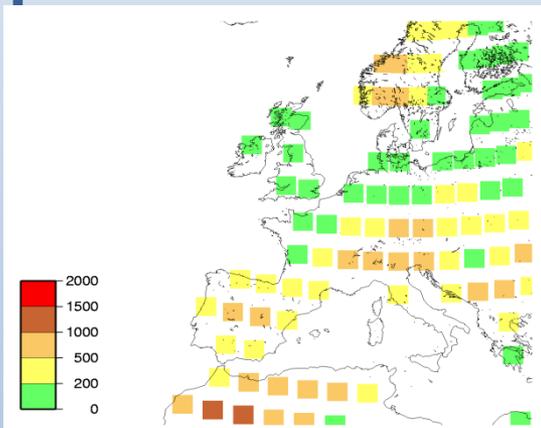
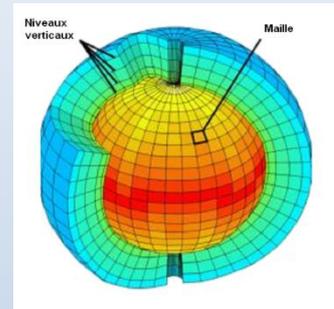


Etudes d'impact : processus et incertitudes associées

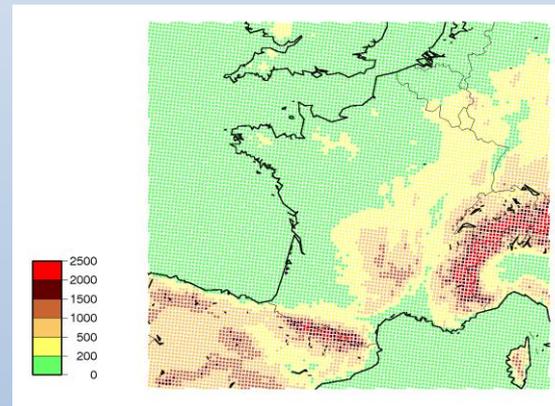


4 Etapes principales :

- Choix du scénario d'évolution de concentration des gaz à effet de serre et aérosols dans l'atmosphère
- 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 :

- ✓ Le climat est modélisé par de nombreux modèles climatiques différents
- ✓ Les projections obtenues sont dispersées, avec des points de convergence et des points de divergence.
- ✓ Chaque projection climatique a le même niveau de chance de se produire.
- ✓ Nécessité de traiter plusieurs projections climatiques (ou évolutions du Climat).
- ✓ Les actions de réduction des GES ont impact limité sur l'évolution du climat à l'horizon Milieu du Siècle (inertie du système).





- 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



- **Explore 2070** (2010-2012, portée par le Ministère de l'Environnement) : évolution du climat et des débits à l'échelle de la France et Outre-Mer
- **ICC Hydroqual** (2008-2010, portée par l'EP Loire) : évolution des débits et de la température de l'eau à l'échelle du bassin de la Loire et ses affluents

Des hypothèses communes :

- ✓ Se basent sur les modélisations climatiques du 4^e rapport du GIEC (2007)
- ✓ Scénario d'émission de gaz à effet de serre médian: A1B

La principale différence: nombre de scénarios climatiques intégrés:

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





- Evolution des précipitations, températures, ETP ou Evapotranspiration (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 (volume d'eau infiltré dans les nappes ,
à l'échelle de grands bassins versants)
Peu de résultats localement
- Evolution thermique de l'eau (le long de la Loire et ses affluents)



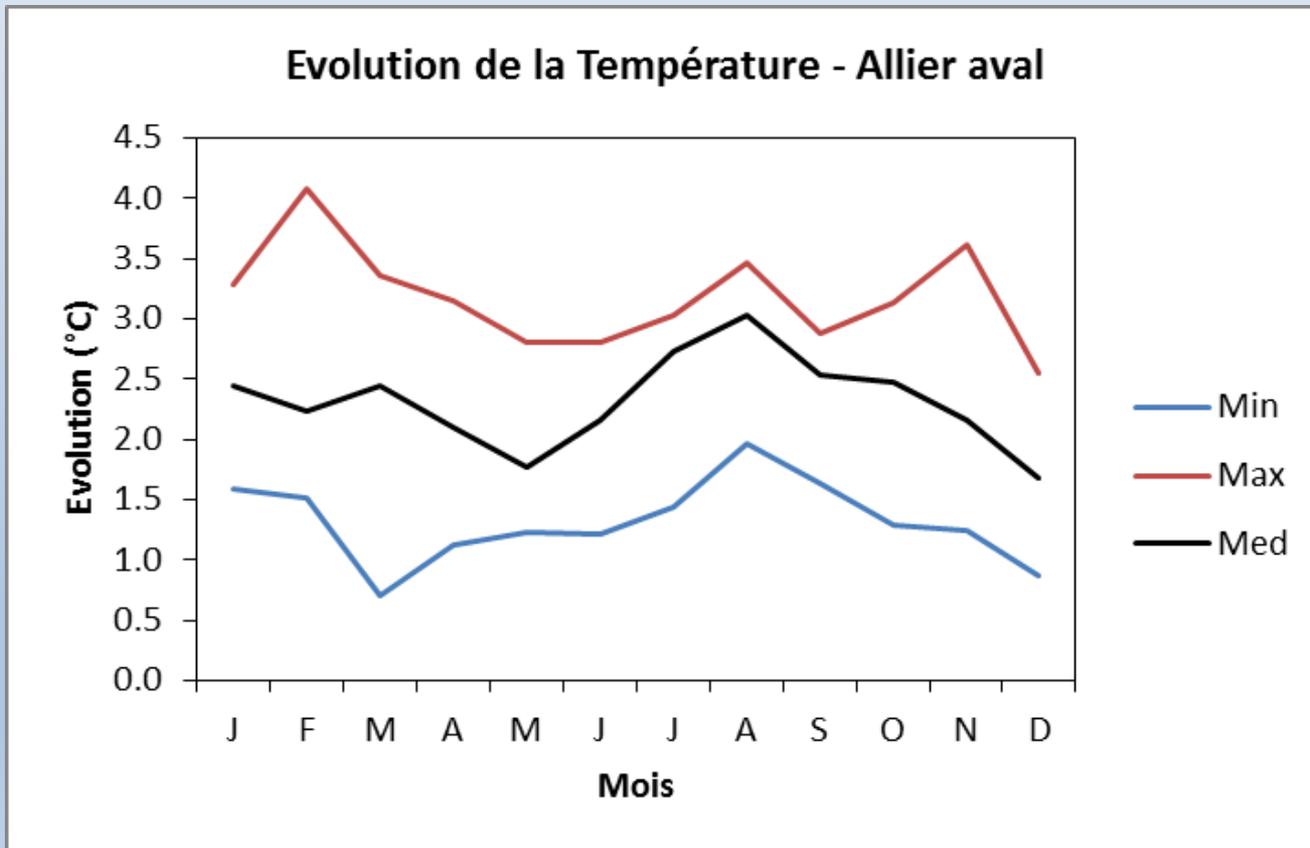


Les effets du Changement Climatique en termes d'impact sur les territoires des SAGE



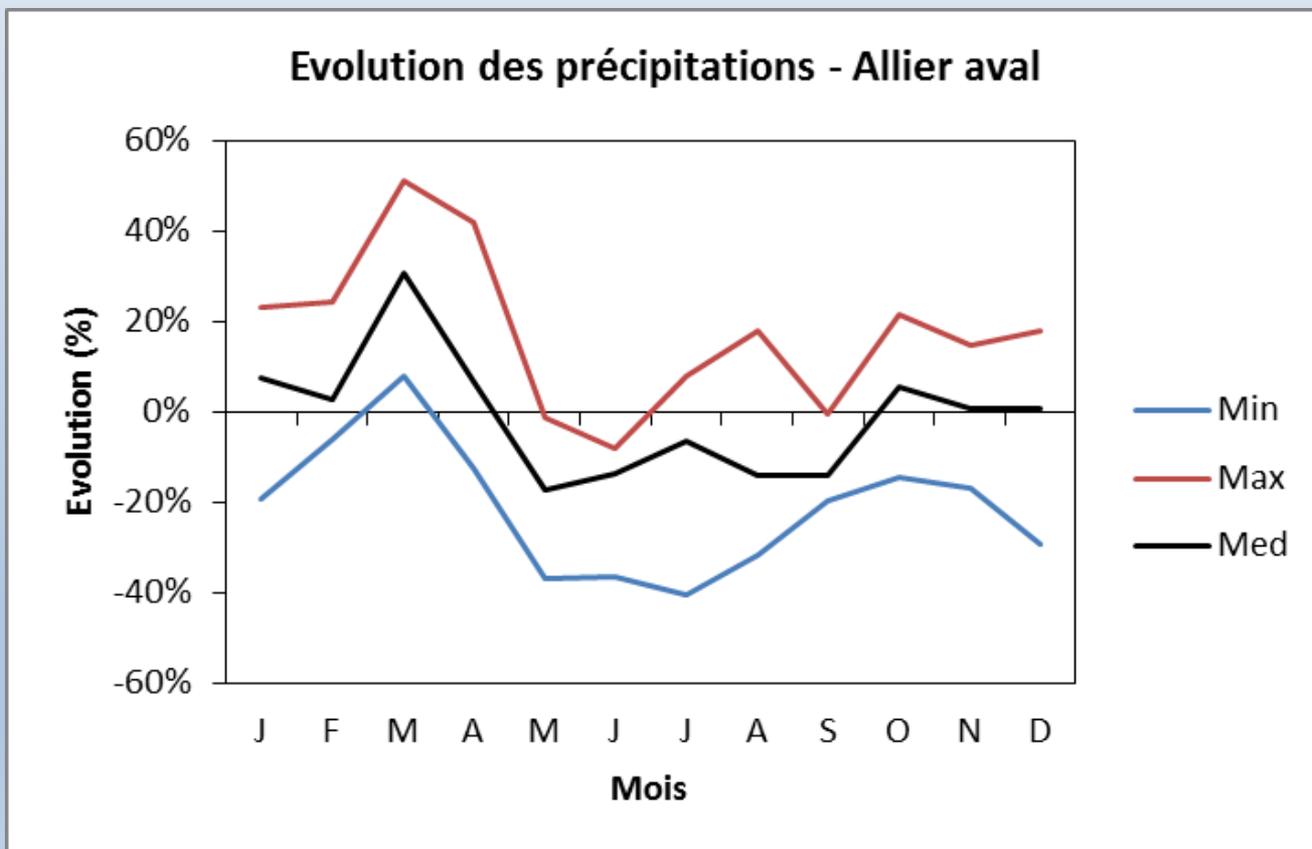


- Réchauffement de l'ordre de +2.3 à 2.4°C en Milieu Siècle.
- Plus important en été.
- Plus prononcé en Fin Siècle.



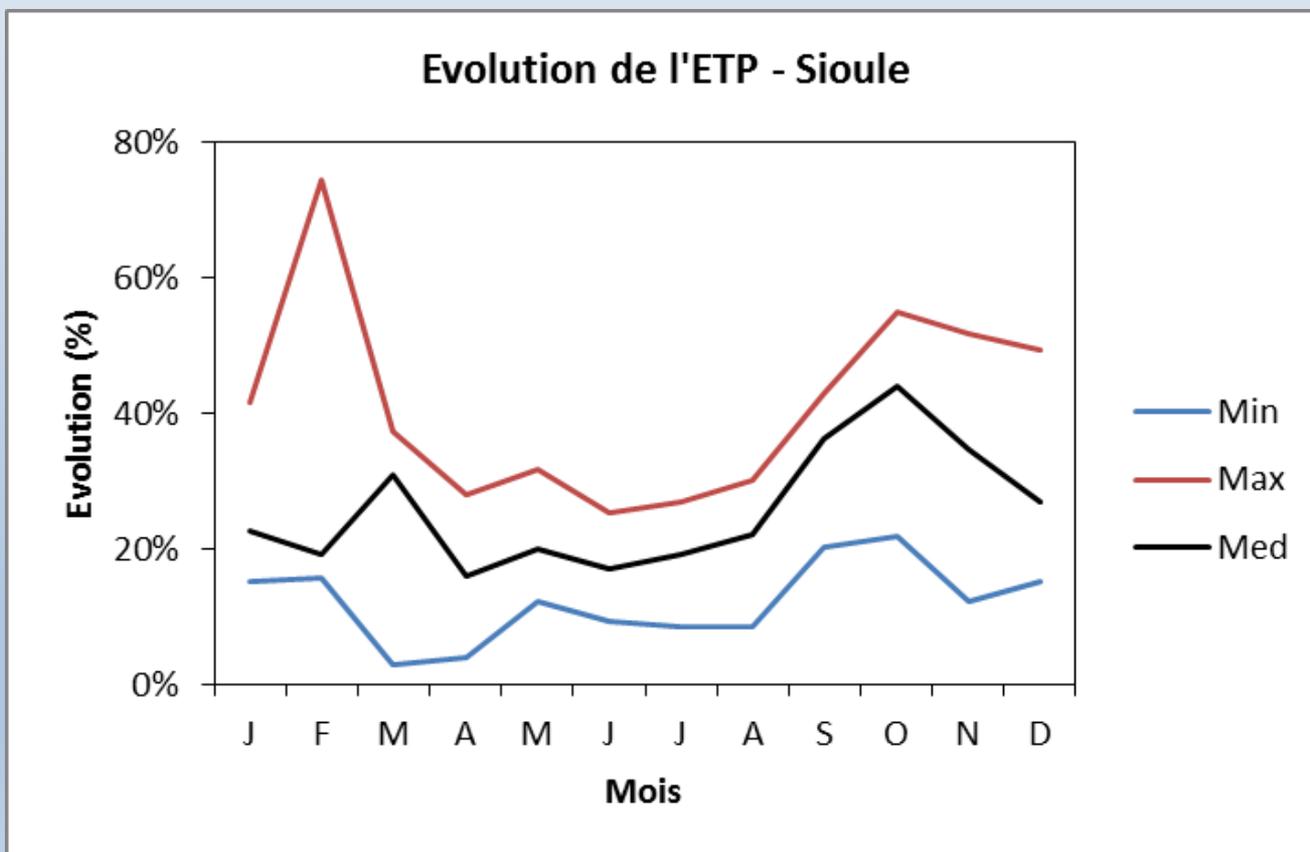


- Légère \searrow du cumul annuel pour le scénario médian (-2.7 à -5.0%) en Milieu Siècle.
- \searrow des précipitations au printemps et en été en Milieu Siècle.





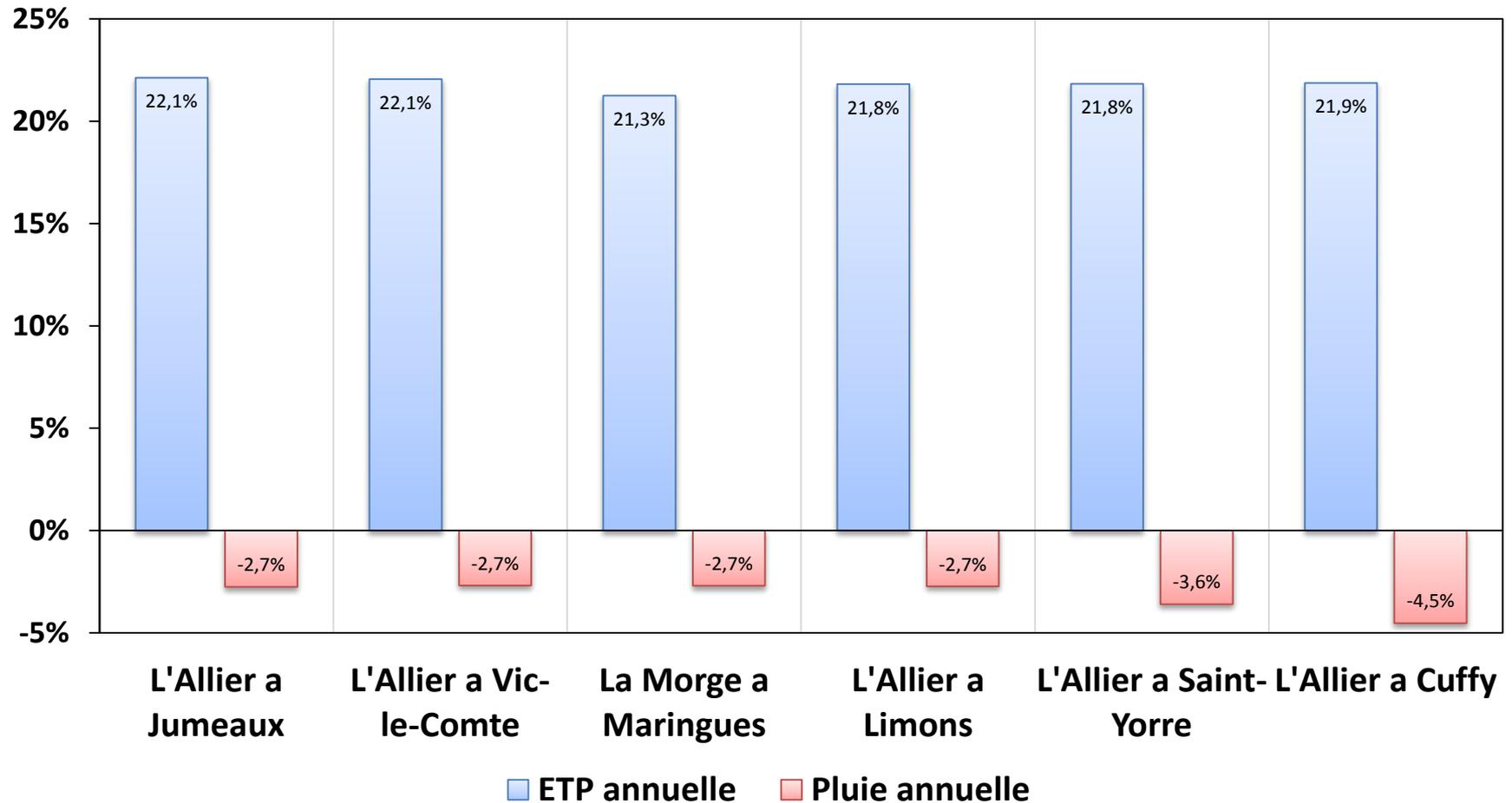
- Forte ↗ de l'ETP annuelle (+21.3% à 23.4%).
- Légèrement + marquée sur la Sioule
- ↗ très marquée en automne.





Allier Aval

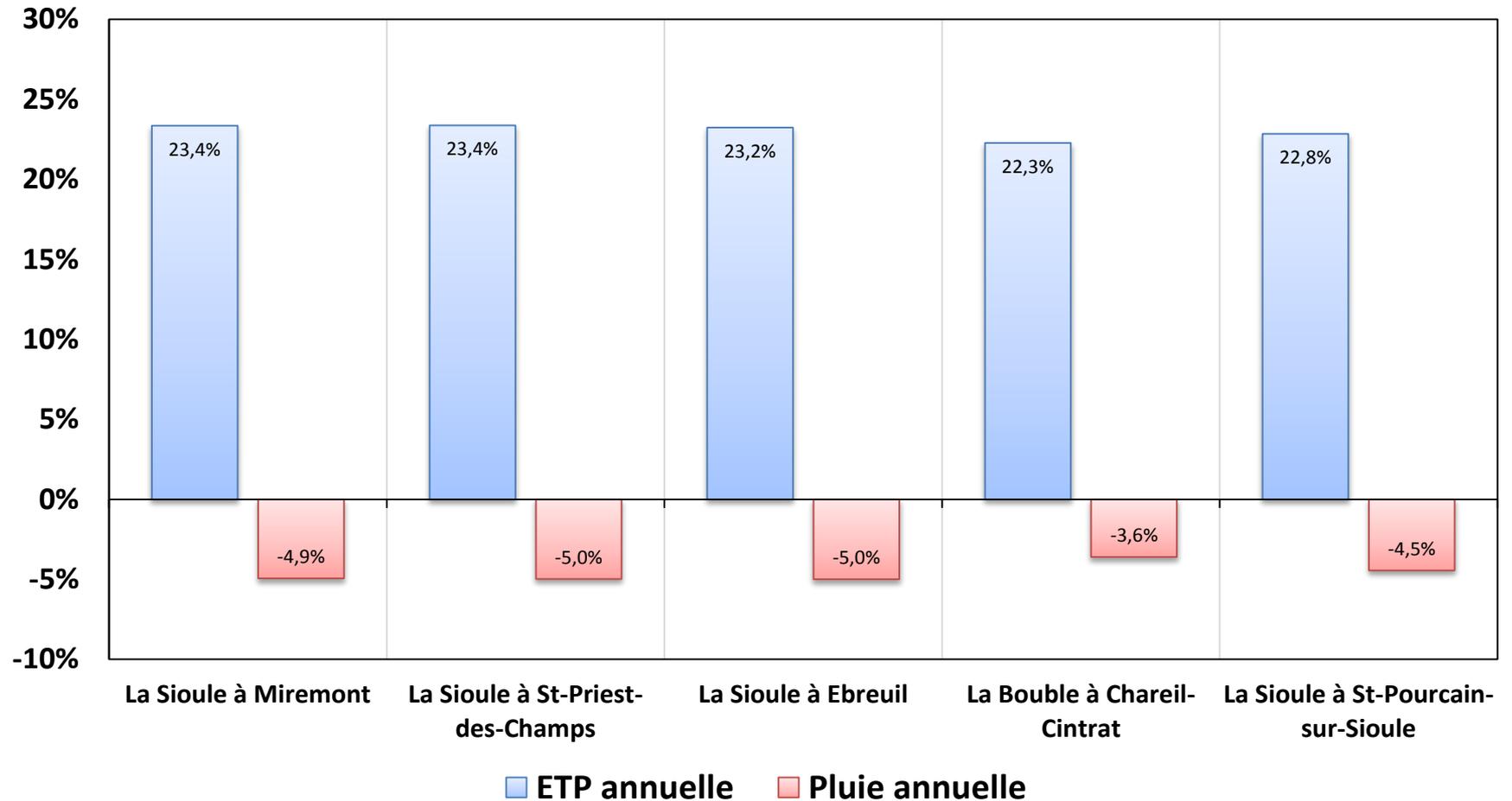
% d'évolution du cumul annuel de la Pluie et de l'ETP à l'horizon 2046-2065

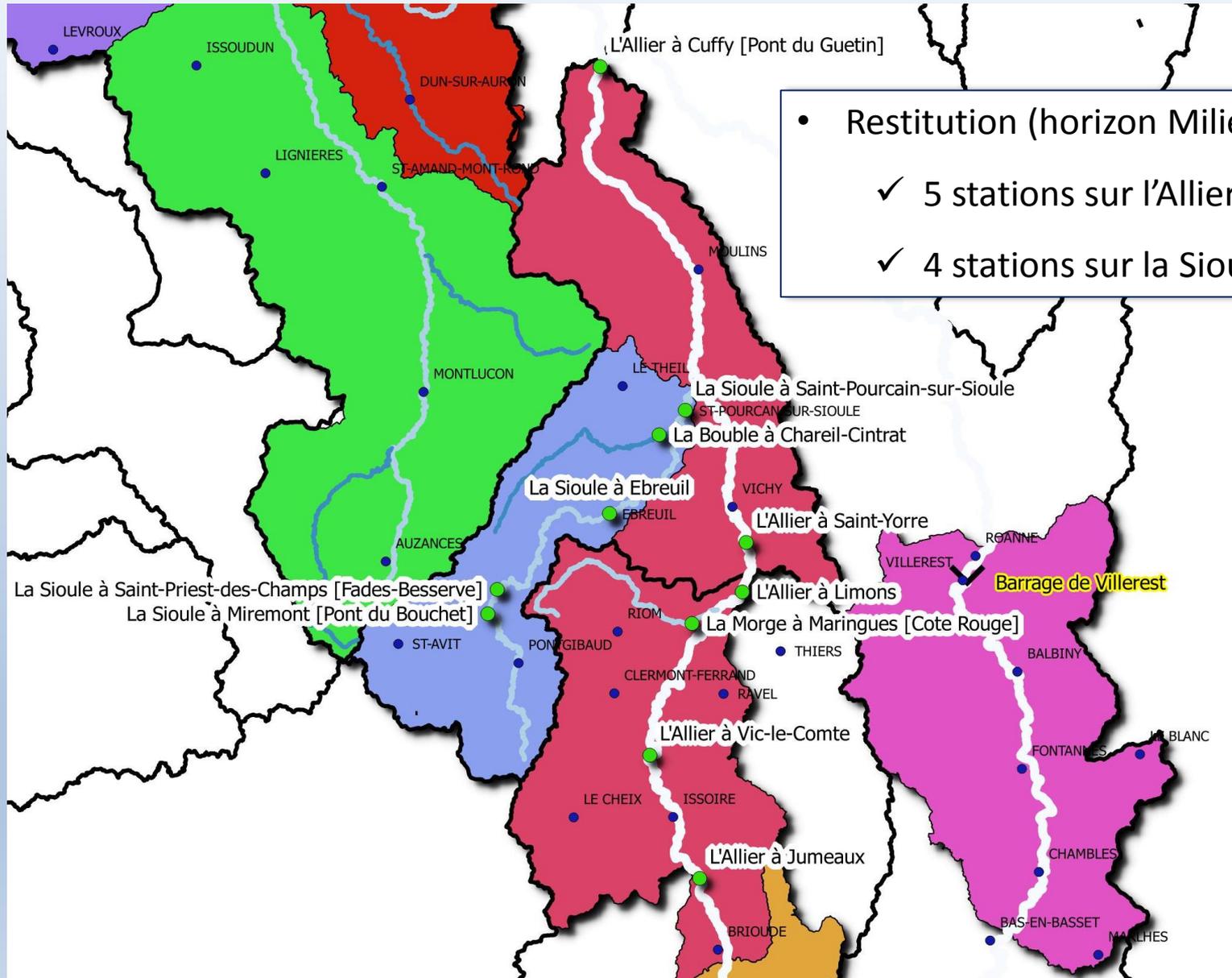




Sioule

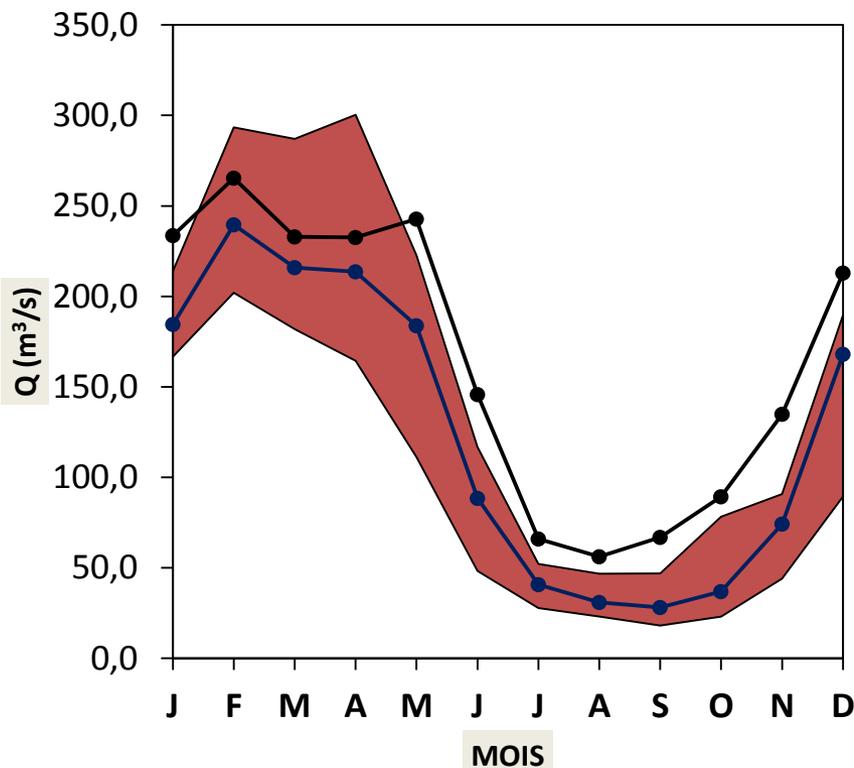
% d'évolution du cumul annuel de la Pluie et de l'ETP à l'horizon 2046-2065



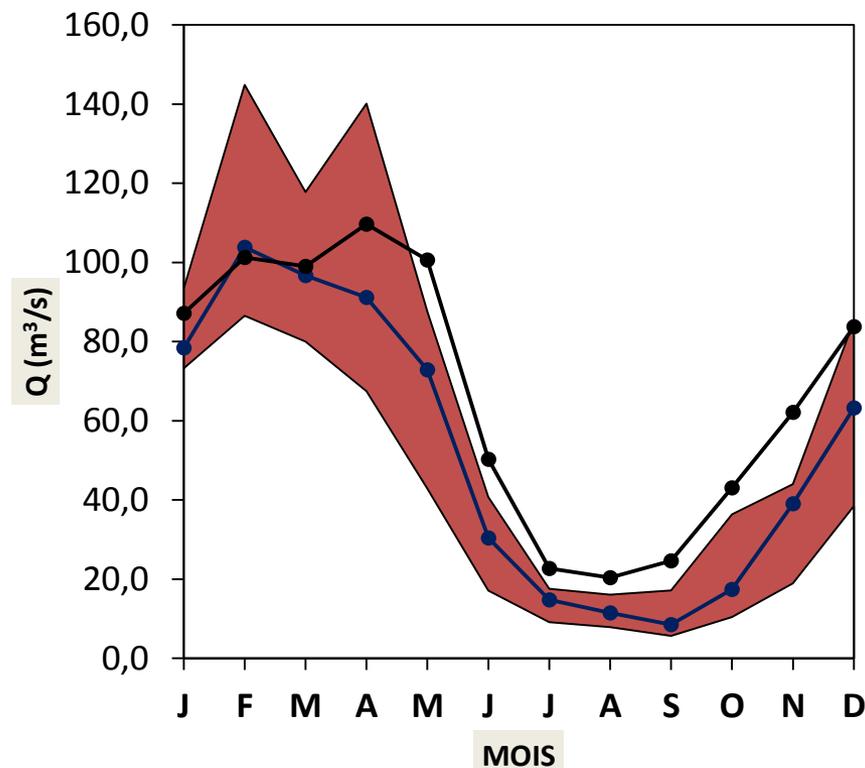


- Restitution (horizon Milieu du Siècle) :
 - ✓ 5 stations sur l'Allier + 1 affluent
 - ✓ 4 stations sur la Sioule + 1 affluent

L'Allier à Cuffy

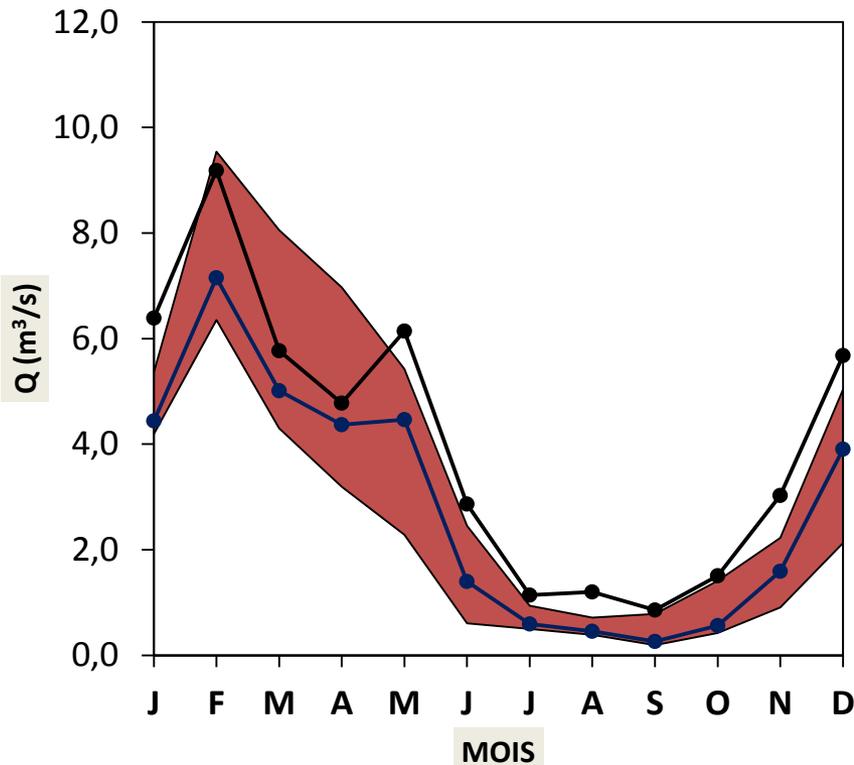


L'Allier à Vic-le-Comte

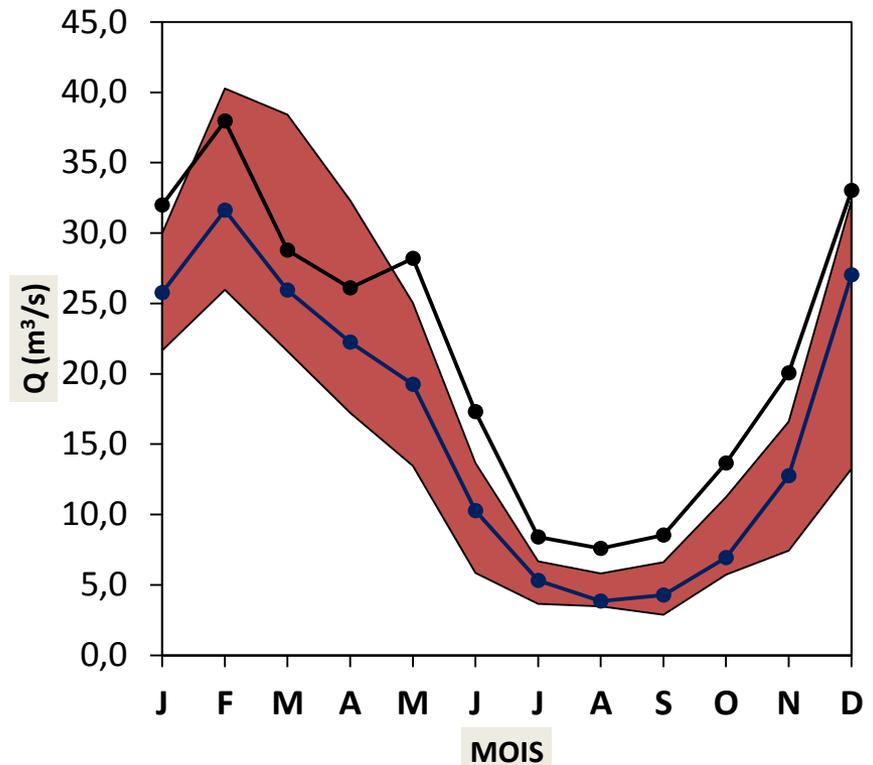


- Enveloppe 7 projections
- Q Médian (2046-2065)
- Q Observé

La Bouble à Chareil-Cintrat



La Sioule à Ebreuil



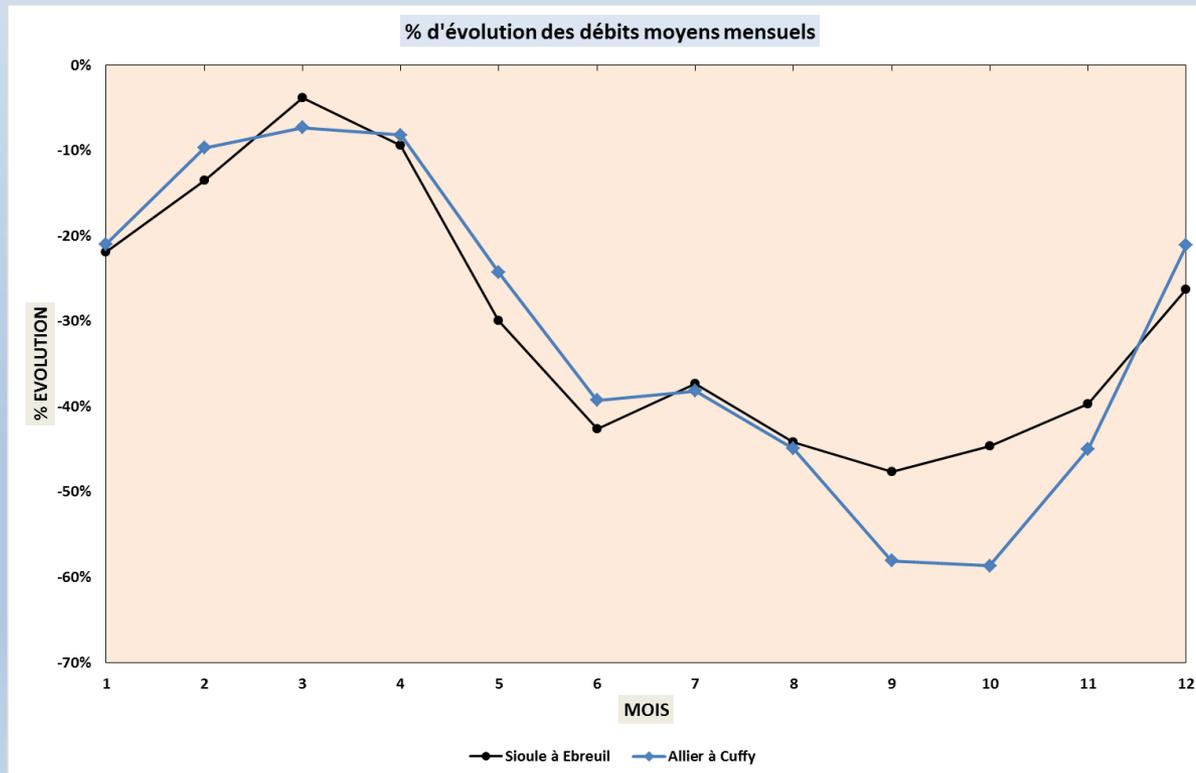
■ Enveloppe 7 projections

● Q Médian (2046-2065)

● Q Observé

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

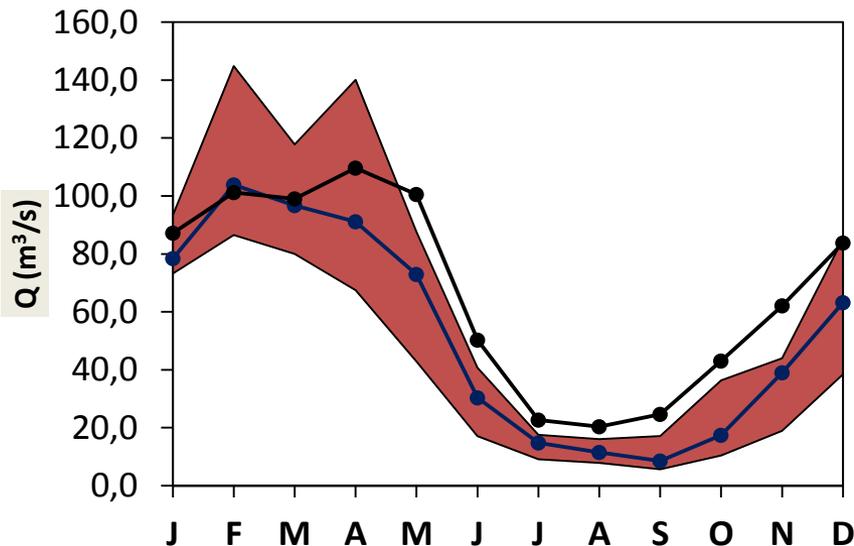
- Une diminution généralisée des débits moyens mensuels (scénario médian) :
 - ✓ Diminution robuste de juin à octobre
 - ✓ Signal plus dispersé en hautes eaux
 - ✓ Baisse maximale :
 - septembre et octobre sur l'Allier (+marquée sur l'Allier)
 - août et septembre sur la Sioule



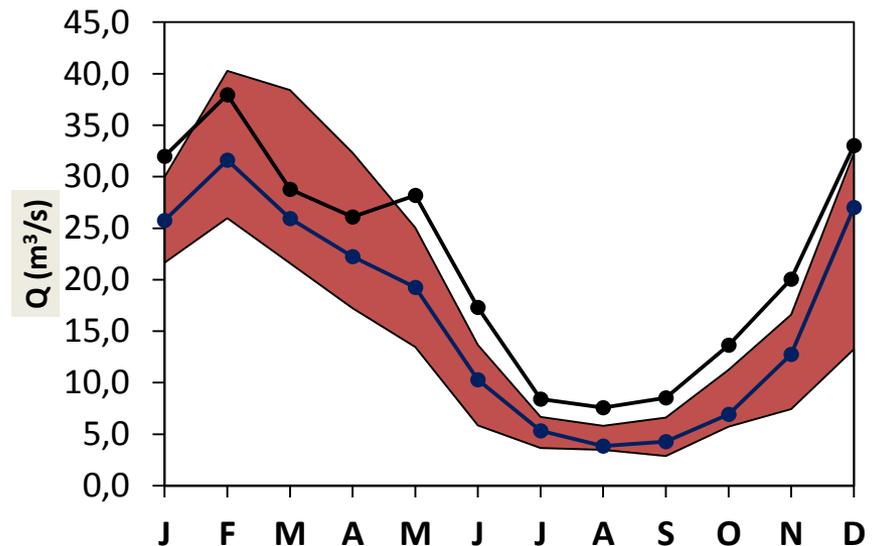
Sur l'ensemble des stations (source : Explore 2070) :

- Décalage de l'étiage :
 - ✓ +0.4 à +0.7 mois sur l'Allier / +1.0 mois sur la Morge
 - ✓ +0.4 à +0.8 mois sur la Sioule
- Etiages probablement plus sévères et prolongées en automne

L'Allier à Vic-le-Comte



La Sioule à Ebreuil



■ Enveloppe 7 projections

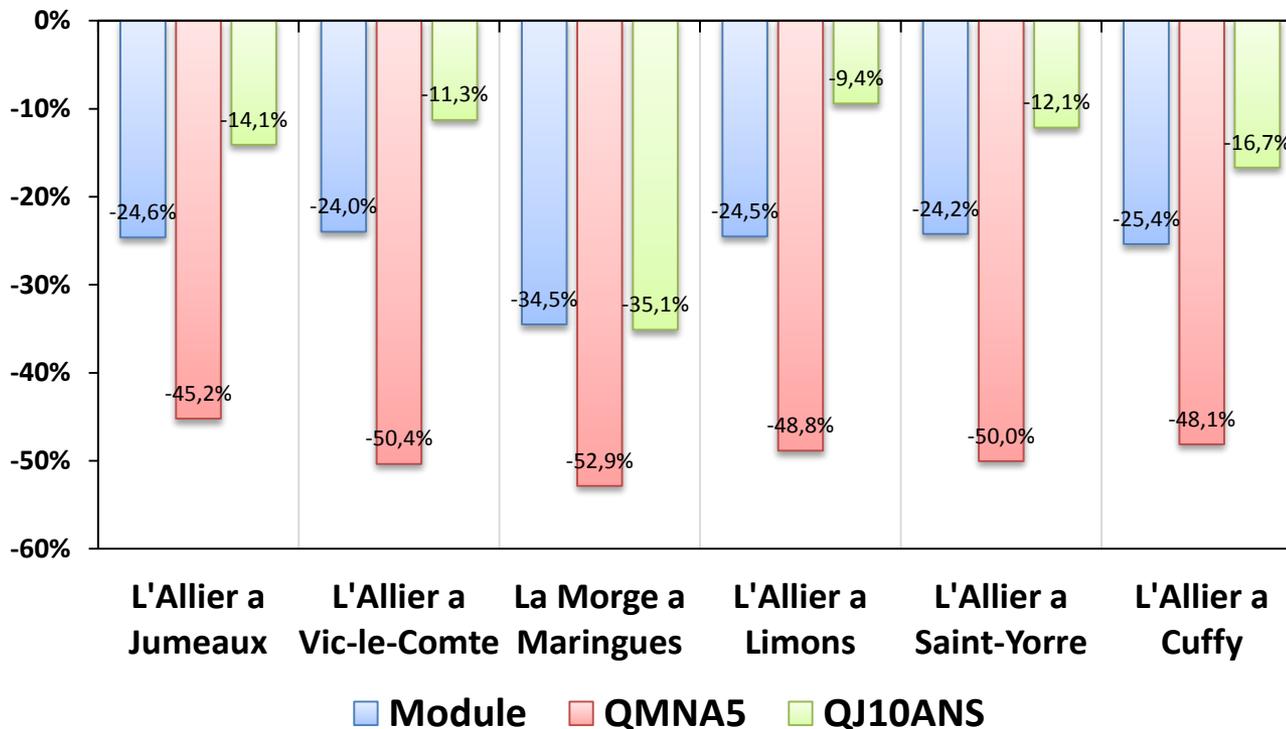
● Q Médian (2046-2065)

● Q Observé

Un signal baissier convergent sur l'Allier (scénario médian – Explore 2070) :

- ↘ Indice écoulement annuel : -25.4 à -24.0 % → (Module)
- ↘ Indice étiage : -50.4 à -45.2 % → (QMNA5)
- ↘ Indice crue: -16.7 à -9.4 % → (QJ10 ans)

% d'évolution du module, du QMNA5 et du QJ10ans à l'horizon 2046-2065

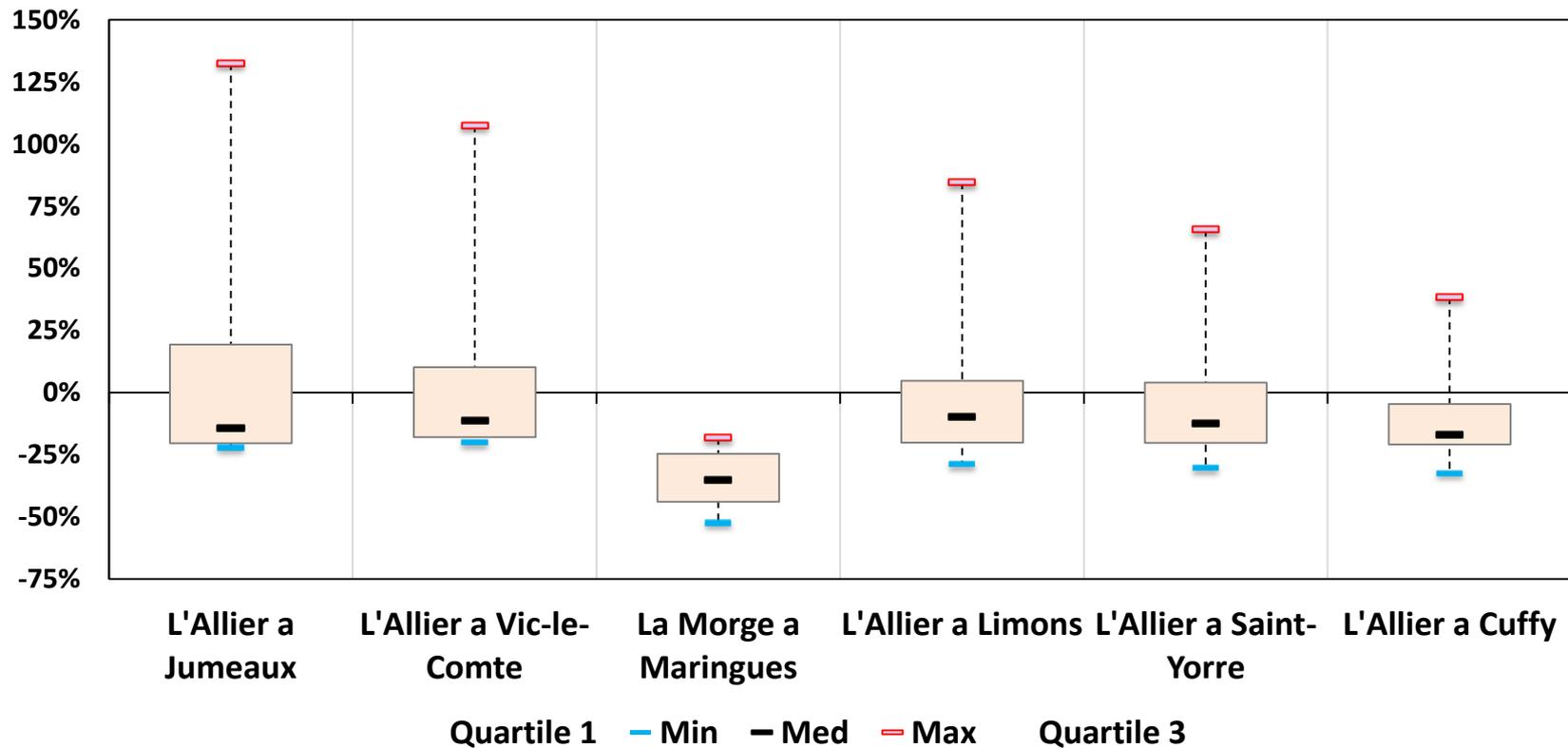


Un signal plus marqué sur la Morge (affluent de l'Allier) :

- ↘ Indice écoulement annuel : -34.5%
- ↘ Indice étiage : -52.9%
- ↘ Indice crue: -35.1%

- Légère ↘ QJ10ans généralisée avec le scénario médian
- ↗ Pluies extrêmes possible sur l'amont (Allier à Jumeaux et à Vic-le-Comte).

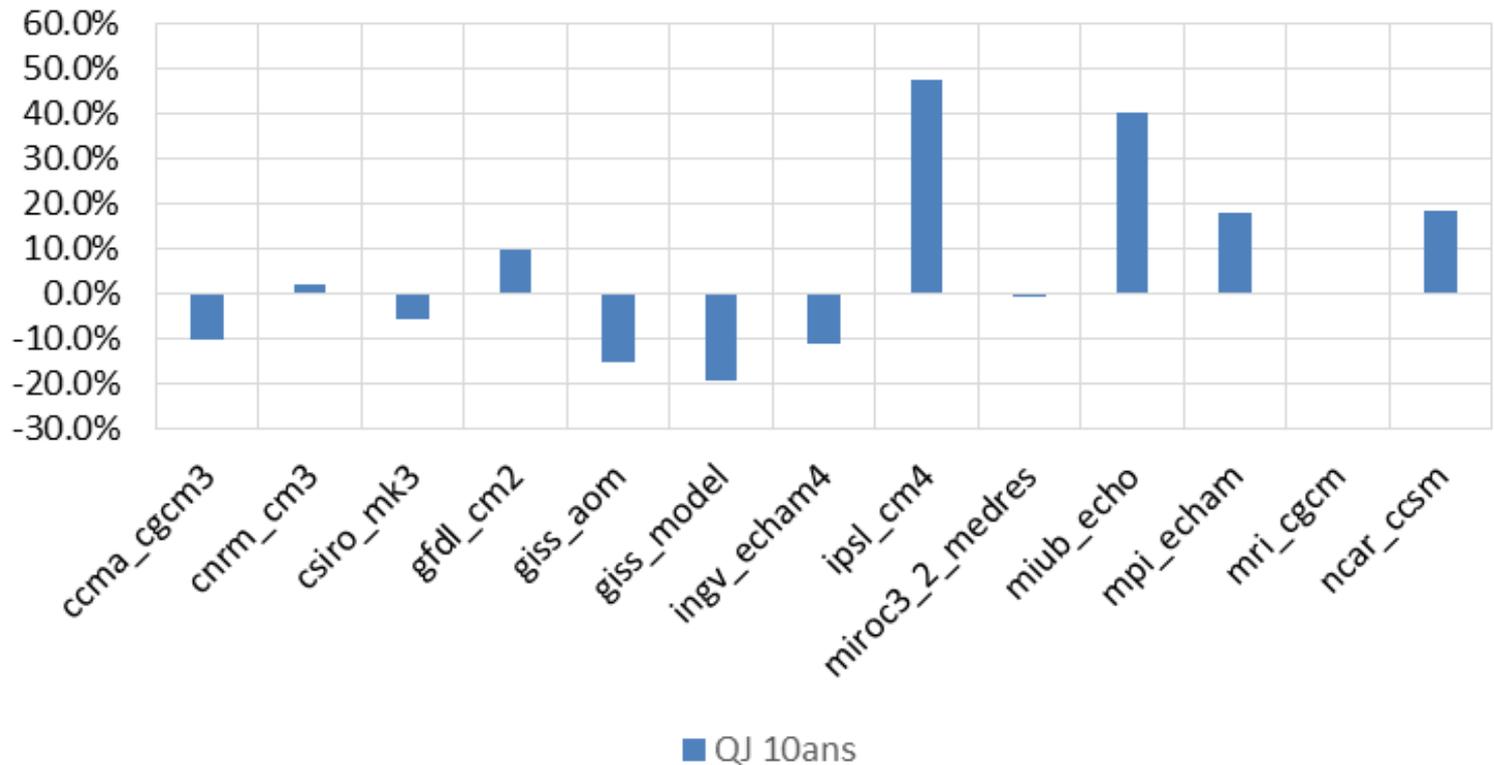
% d'évolution du QJ10ans selon les modèles climatiques
à l'horizon 2046-2065



- Des projections contrastées : exemple Vic-le-Comte (ICC Hydroqual)
 - ✓ 6 scénarios en ↗
 - ✓ 7 scénarios en ↘

Vic-le-Comte

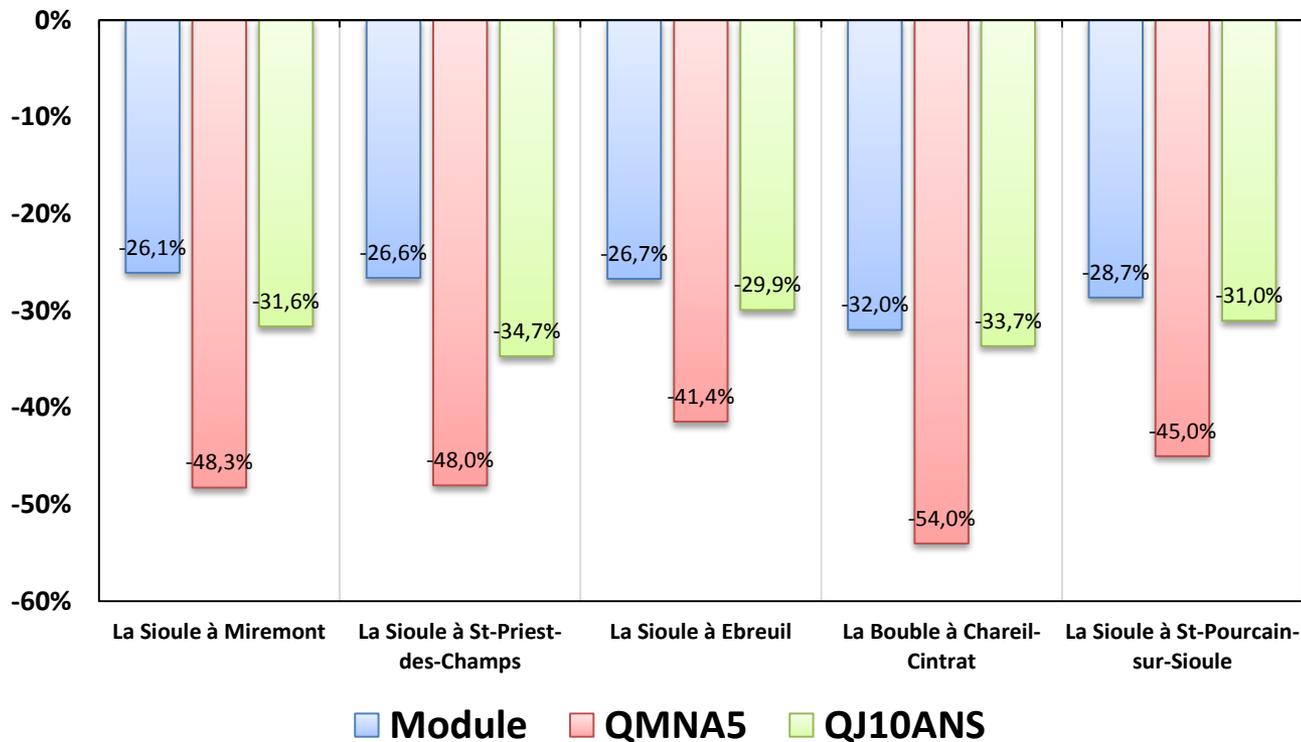
Variation QJ 10ans (MS vs TP)



Un signal baissier convergent sur la Sioule (scénario médian – Explore 2070) :

- ↘ Indice écoulement annuel : -28.7 à -26.1 % -> (Module)
- ↘ Indice étiage : -48.3 à -41.4 % -> (QMNA5)
- ↘ Indice crue : -34.7 à -29.9 % -> (QJ10 ans)

% d'évolution du module, du QMNA5 et du QJ10ans
à l'horizon 2046-2065

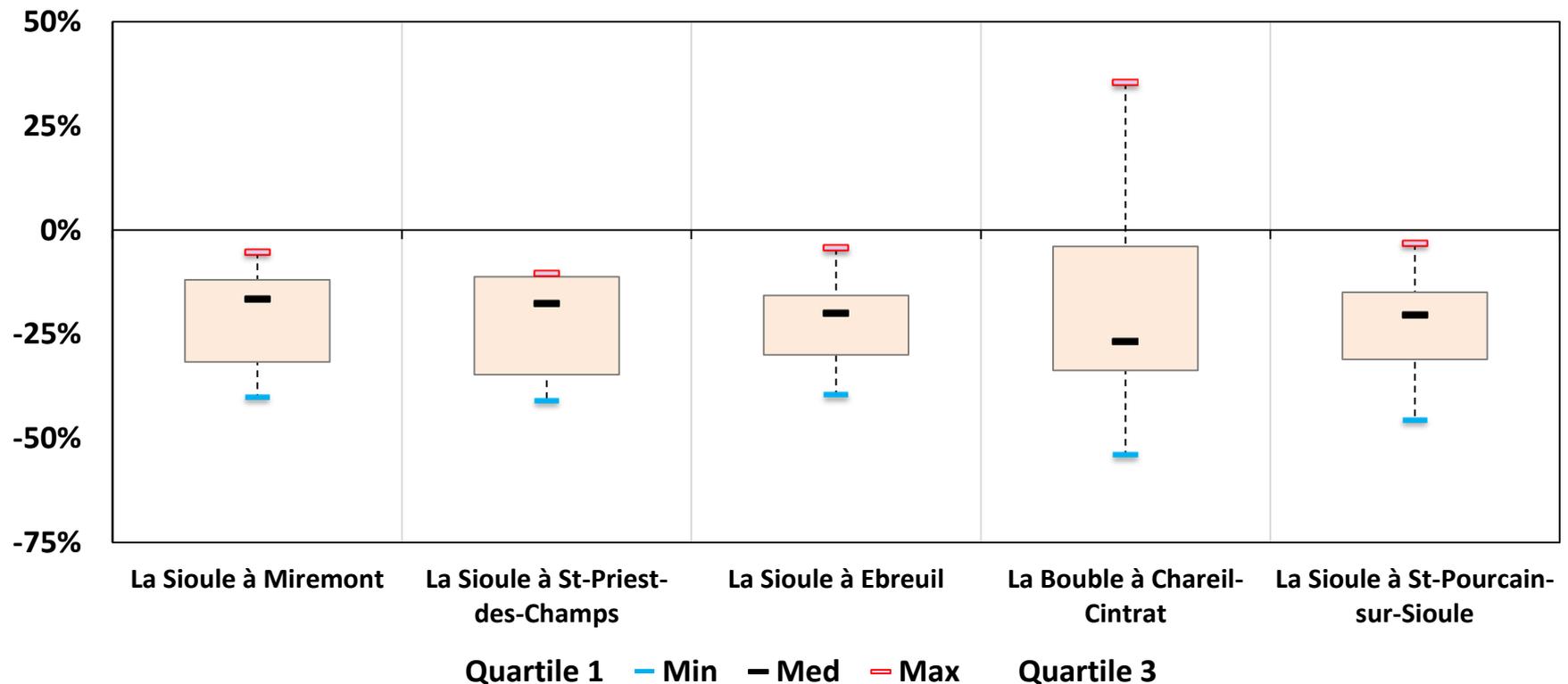


Un signal plus marqué sur la Bouble (affluent de la Sioule) :

- ↘ Indice écoulement annuel : -32.0%
- ↘ Indice étiage : -54.0%
- ↘ Indice crue : -33.7%

- ↘ QJ10ans généralisée avec le scénario médian
- Des projections convergentes à la baisse
- Décalage progressif de la saison des extrêmes vers l'hiver / diminution des épisodes d'automne

% d'évolution du QJ10ans selon les modèles climatiques à l'horizon 2046-2065



Echelle de disponibilité des taux de recharge: secteurs « Explore »

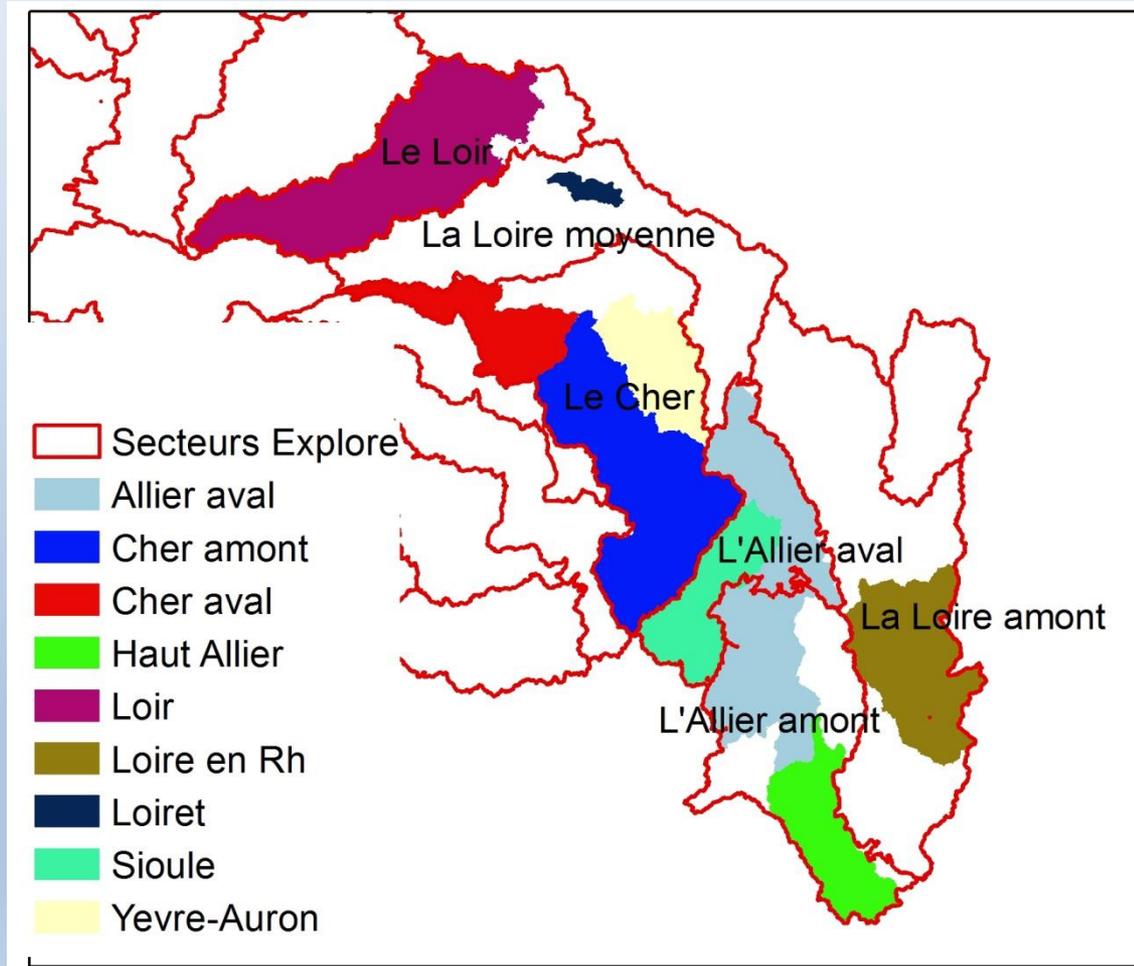
↳ Indice eaux souterraines :

Recharge sur le secteur Explore
« Allier aval »

-27.4% à -25.7%

Recharge sur le secteur Explore
« Allier amont »

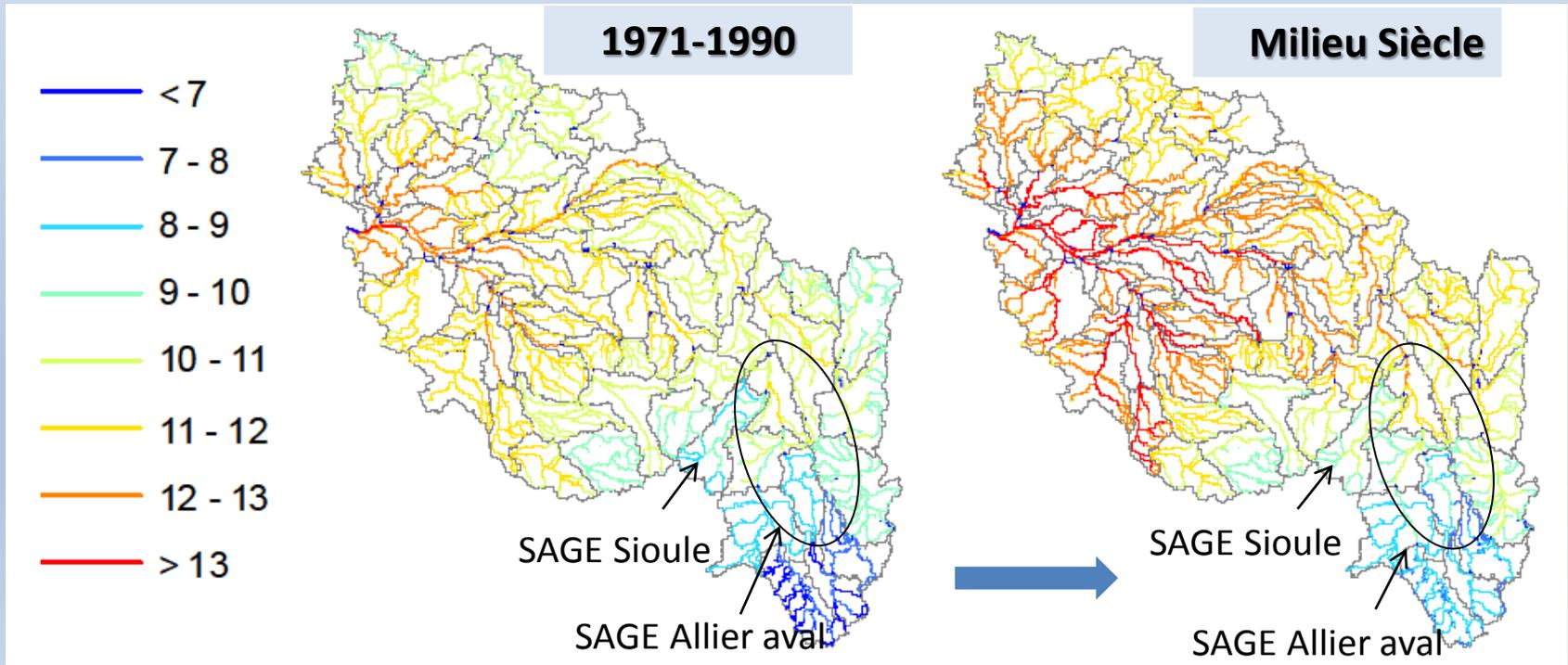
-26.7% à -25.4%



(Source : ICC Hydroqual / moyenne des simulations)

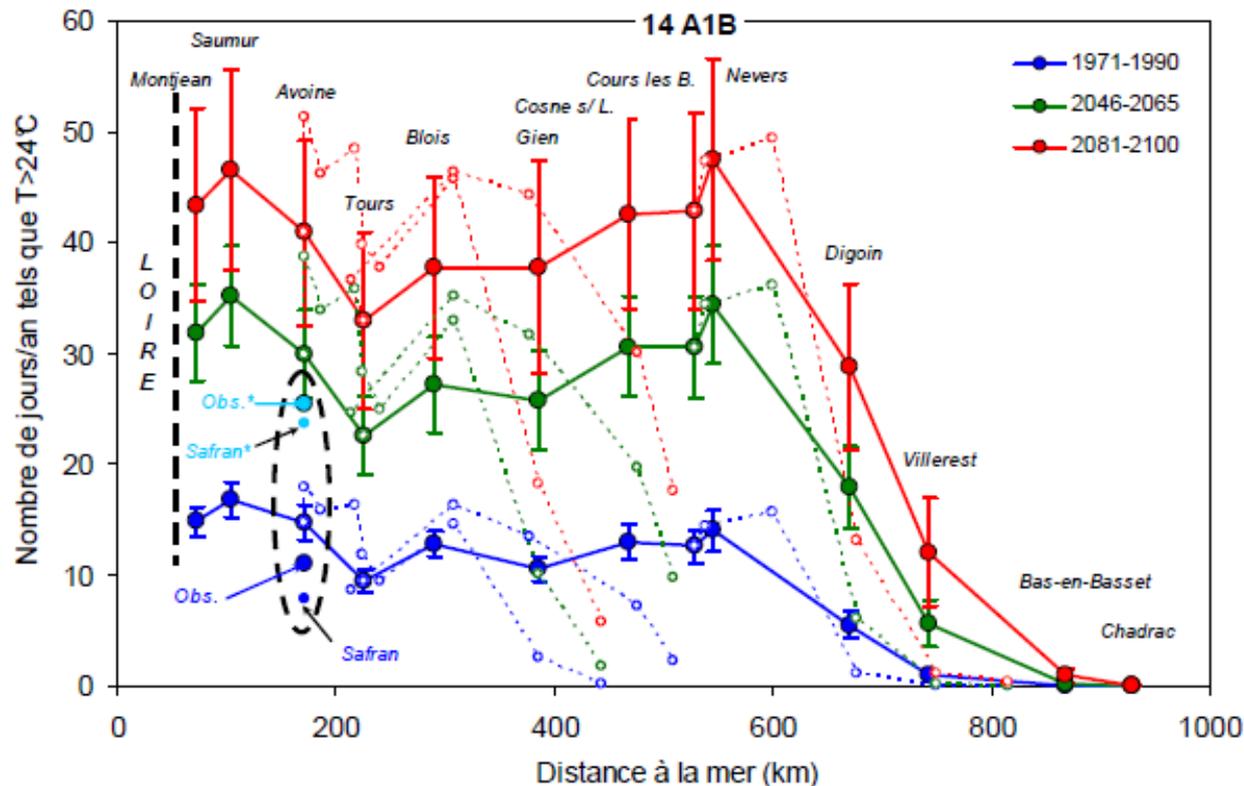
- Réchauffement **moyen** : **+2.1°C en Milieu Siècle** à **+2.9°C en Fin Siècle**.
- Réchauffement **plus important** sur la **Loire amont et l'Allier**, comparativement aux cours d'eau septentrionaux (Sarthe, le Loir ou le Maine)
- **1 pic en automne**

Température moyenne annuelle des cours d'eau



(Source : ICC Hydroqual)

- Réchauffement généralisée des masses d'eau.
- Evolutions très significatives / fortes variabilités.
- Hauts bassins de l'Allier, de la Loire et de la Vienne = derniers refuges thermiques potentiels.
- Seuil des 24°C : Villerest (Temps Présent) -> Bas-en-Basset (Milieu du Siècle)



Profils longitudinaux de l'occurrence de dépassement du seuil 24°C



- Modèle Loire/Allier représentant l'ensemble des règles de gestion existantes pour Naussac/Villerest
- Points d'objectif: Gien, Poutès, Vieille-Brioude, Vic-le-Comte...
- 13 projections hydrologiques (Hydroqual) intégrées
 - Taux d'atteinte des objectifs de soutien d'étiage
 - Logiciel pour tester différentes stratégies





Temps d'échange

Questions ? Demandes de précisions ?

Quelles réalités du CC sur votre territoire ? Avez-vous déjà constaté des évolutions, mêmes empiriques ?





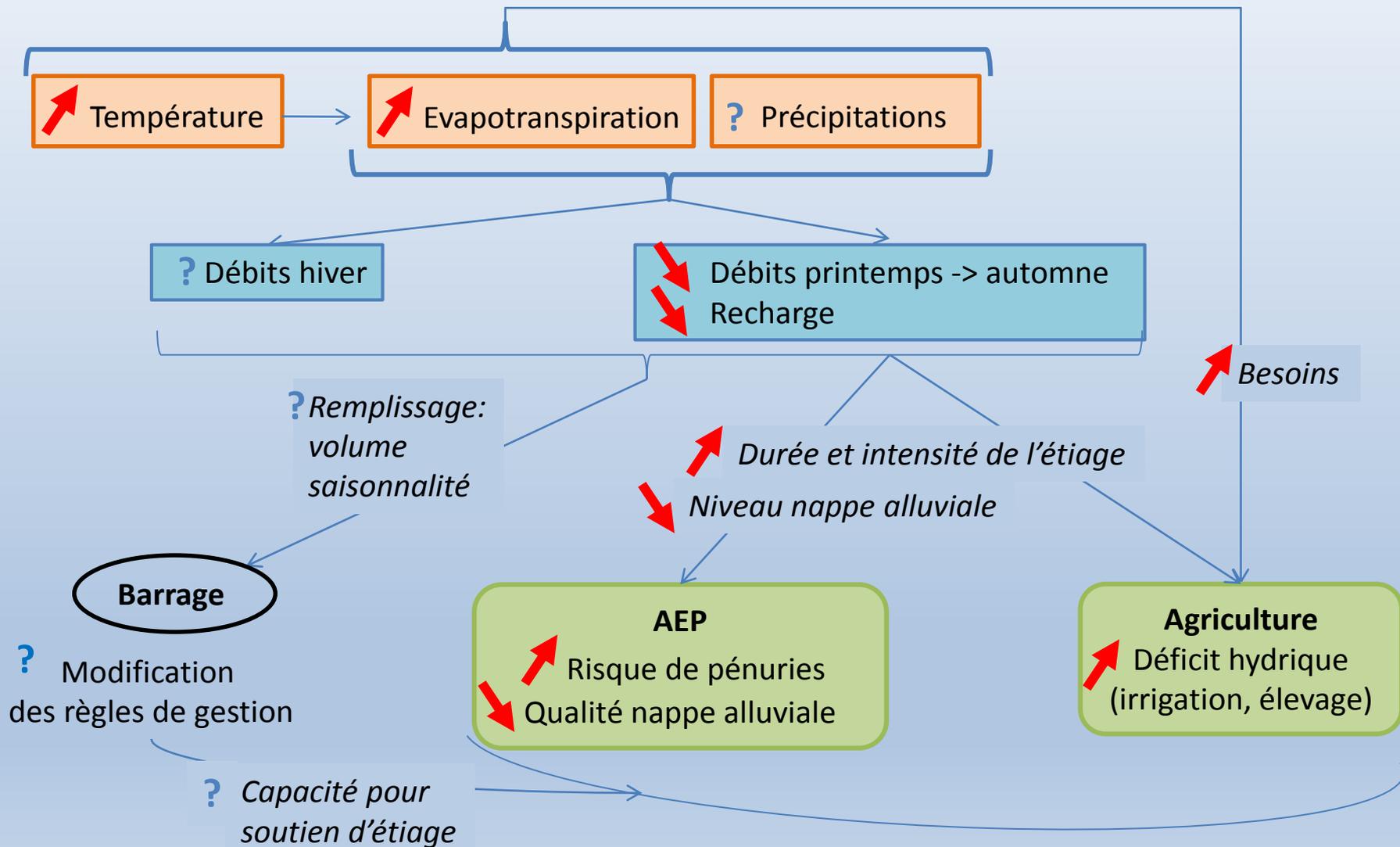
Focus sur les usages de l'eau face au changement climatique





L'Allier aval





<u>Changements projetés</u>	<u>Tendance</u>	<u>Degré de certitude</u>	<u>Secteurs les plus touchés</u>
Durée de l'étiage	+0.5 mois en moyenne	Elevé	Agriculture
Débits printemps -> automne	Baisse	Elevé	Agriculture/AEP
Demande en eau agricole	Hausse	Moyen	Cultures d'été
Phénologie	Raccourcissement des cycles de cultures: décalage de la période de besoins en eau	Elevé	Prairies/ cultures d'été
Recharge	Baisse	moyen	AEP
Niveau de la nappe alluviale de l'Allier	Baisse	Elevé	AEP
Niveau d'eau de l'aquifère de la Chaîne des Puys	Baisse	Faible	AEP

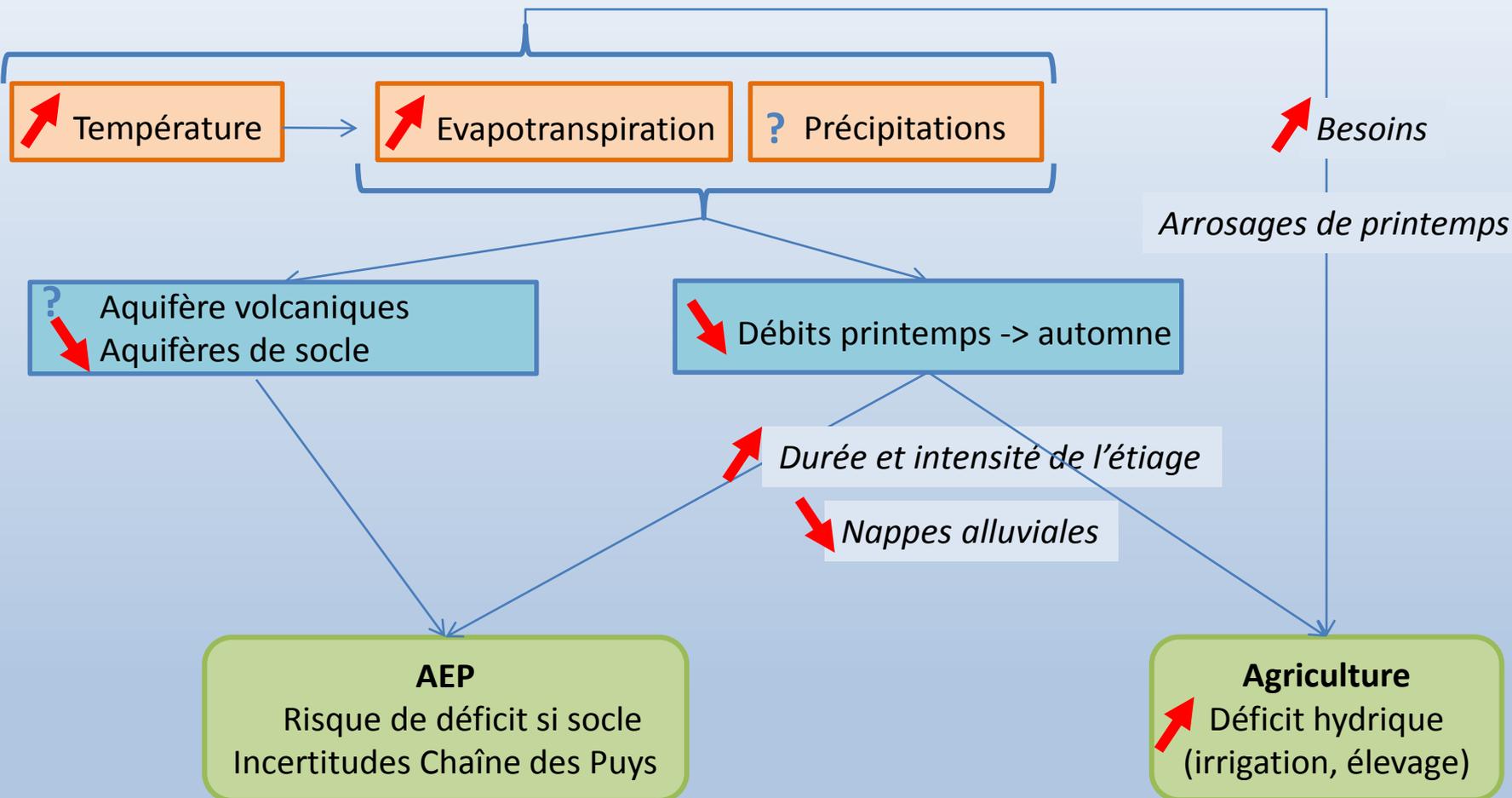
Activités/secteurs/thèmes	Vulnérabilités
AEP nappe alluviale	Baisse de la ressource disponible
AEP nappe alluviale	Sensibilité accrue à la pollution
Elevage	Déficit hydrique accru des prairies (printemps-été)
Cultures d'été	Déficit hydrique





La Sioule







<u>Changements projetés</u>	<u>Tendance</u>	<u>Degré de certitude</u>	<u>Secteurs les plus touchés</u>
Durée de l'étiage	+0.5 mois en moyenne	Elevé	Agriculture Basse Sioule/Bouble
Débits printemps -> automne	Baisse	Elevé	Tout le bassin Plus marqué sur la Bouble
Demande en eau agricole	Hausse	Moyen	Cultures d'été
Phénologie	Raccourcissement des cycles de cultures: décalage de la période de besoins en eau	Elevé	Prairies/ cultures d'été

Activités/secteurs/thèmes	Vulnérabilités
AEP	Risque accru de pénuries à l'été
Elevage	Déficit hydrique accru des prairies (printemps-été)
Cultures d'été	Déficit hydrique

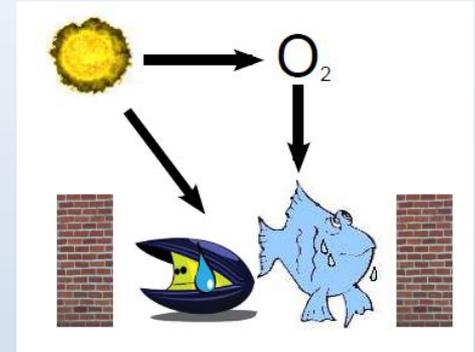


Impacts du changement climatique sur la biodiversité aquatique et humide



↗ Température de l'eau, ↘ débits

- Phénologie (migrations de reproduction, ponte, âge à maturité...)
- Disponibilité en oxygène



Source: Daufresne, 2012

→ déplacements, migrations vers plus hautes altitudes et latitudes, recherche de refuges thermiques

→ importance de la restauration morphologique (diversité d'habitats, refuges thermiques) et de la continuité (absence d'obstacles au déplacement)

- Autres impacts:
 - ✓ Risque de désynchronisation des dynamiques prédateur – proie
 - ✓ Événements climatiques extrêmes
 - ✓ Quel état de référence?



Synthèse des impacts du changement climatique sur les objectifs du PAGD





L'Allier aval



Enjeux	Impacts
Gérer les besoins et les milieux dans un objectif de satisfaction et d'équilibre à long terme	↓ ressource disponible ↑ demande en eau cultures d'été
Vivre avec/à côté de la rivière en cas de crues	Le risque de crue n'est pas réduit face au changement climatique
Maintenir les biotopes et la biodiversité	Changements de distribution, migrations ↓ espèces d'eau froide ↑ espèces invasives ↑ Assèchement des zones humides



Enjeux	Impacts
Restaurer et préserver la qualité de la nappe alluvial de l'Allier afin de distribuer une eau potable à l'ensemble des usagers du bassin versant	↓ capacité de dilution
Restaurer les masses d'eau dégradées afin d'atteindre le bon état écologique et chimique demandé par la DCE	↓ capacité de dilution ↑ risque d'eutrophisation
Empêcher la dégradation, préserver voire restaurer les têtes de bassin versant	



La Sioule



Objectifs	Impacts
Préserver et restaurer la continuité écologique	Changements de distribution, migrations
Limiter l'impact des plans d'eau	↑ T° cours d'eau ↑ risque d'eutrophisation
Préserver et restaurer la morphologie des cours d'eau pour optimiser leurs capacités d'accueil	Changements de distribution, migrations ↓ espèces d'eau froide Pression accrue des espèces invasives
Améliorer la connaissance et la préservation des zones humides	↑ Assèchement des zones humides ↓ soutien d'étiage par les zones humides





Objectifs	Impacts
Réduire les pollutions en phosphore	↓ capacité de dilution ↑ risque d'eutrophisation
Organiser la gestion des prélèvements Réaliser des économies d'eau	↓ ressource disponible ↑ demande en eau cultures d'été
Gestion des risques inondation en favorisant la réduction de la vulnérabilité	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
↓ débits et/ou recharge	↓ capacité de dilution	↑ T° cours d'eau ↓ débits d'étiages	↑ T° cours d'eau ↓ débits d'étiages

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.

	Gestion quantitative	Qualité de l'eau	Biodiversité	Eutrophisation
Sensibilité faible	Equilibre quantitatif atteint	Bonne qualité	Milieus peu altérés et bonne continuité	Milieus peu propices à l'eutrophisation
Sensibilité moyenne	Des déséquilibres sont constatés localement ou ponctuellement	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
Sensibilité forte	Bassins en déséquilibre (pressions fortes sur les débits, 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

- L'Allier aval

Enjeux affectés par le changement climatique	
Gestion quantitative	Forte
Gestion qualitative	Forte
Biodiversité	Forte
Eutrophisation	Moyenne

Légende :

Sensibilité aux impacts du changement climatique	
	Faible
	Moyenne
	Forte

- La Sioule

Enjeux affectés par le changement climatique	
Gestion quantitative	Moyenne
Gestion qualitative	Faible
Biodiversité	Forte
Eutrophisation	Faible

Légende :

Sensibilité aux impacts du changement climatique	
	Faible
	Moyenne
	Forte



Les grands objectifs des PAGD permettent d'améliorer la résilience du territoire face aux impacts du changement climatique.

Des mesures supplémentaires seront nécessaire pour s'adapter aux impacts du changement climatique.

- Adaptation de la conduite des prairies et plus généralement des systèmes d'élevage cf. études et programmes CA)
- Prospective sur la ressource et les usages autour de l'aquifère de la Chaîne des Puys
- Améliorer les connaissances :
 - ✓ Evolution des aquifères de type volcanique (chaîne des Puys) sous changement climatique (AEP)
 - ✓ Evolution de la demande en eau agricole sous changement climatique
 - ✓ Rôle des zones humides et leur évolution sous changement climatique
 - ✓ Déclinaison territoriale de l'évaluation de la vulnérabilité menée à l'échelle des agences de l'eau





Demandes 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

