



SYMPOSIUM CFBR 2026

spécial 100 ans

Lyon – 29 janvier 2026

La résilience climatique des ouvrages

Adapter l'existant, concevoir le multi-service, piloter l'incertitude

Eric Vuillermet (BRLi) & Joël Gailhard (EDF)

Pourquoi parler de résilience climatique des barrages et digues ?

Des ouvrages conçus pour un climat qui n'existe plus

- Les ouvrages hydrauliques sont des **ouvrages stratégiques**: stockage d'une ressource en eau (pour eau potable, irrigation), énergie, protection contre les inondations, navigation,...
- En 2026, la question n'est plus *si* le climat change, mais *comment* nos ouvrages restent performants et sûrs dans ce changement



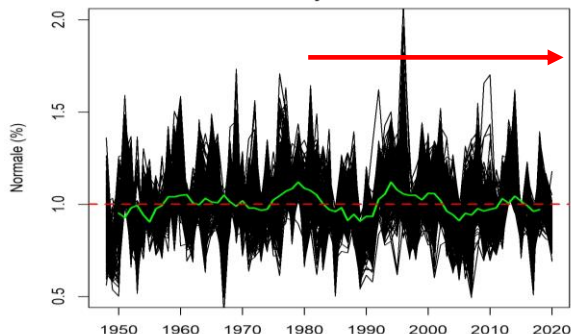
➔ Nécessite d'engager une démarche proactive: anticiper, adapter, renforcer

Un climat qui change

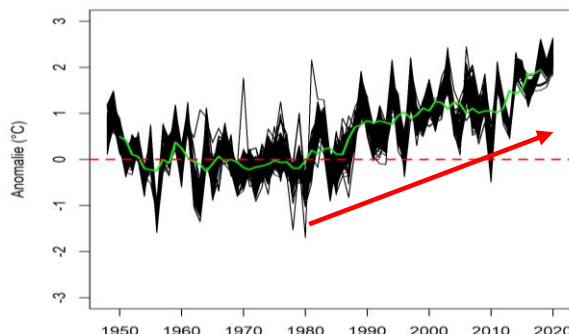
Tendances déjà observées en France

- Le changement climatique : une réalité depuis près de 40 ans en France
- Des impacts bien visibles sur la ressource en eau, notamment en montagne (ondes de fonte plus précoces)
- Une tendance globale à la baisse des débits (pertes évaporatives)
- Une évolution de la saisonnalité : des étiages plus longs et plus sévères, exacerbant les tensions sur l'eau en été

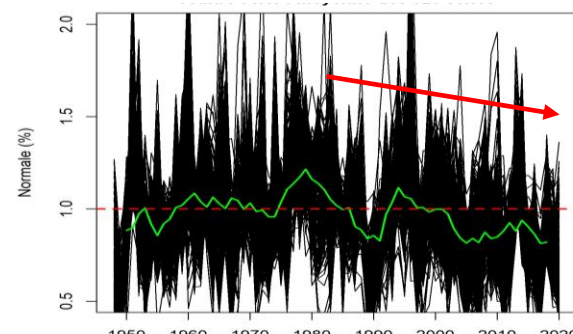
Précipitations



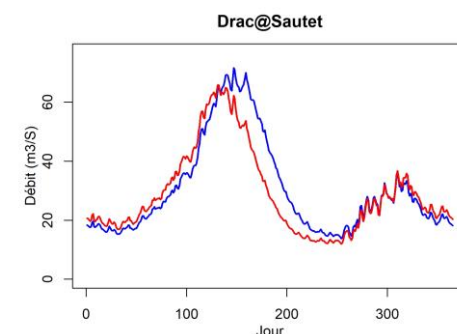
Températures d'air



Débits



Saisonnalité



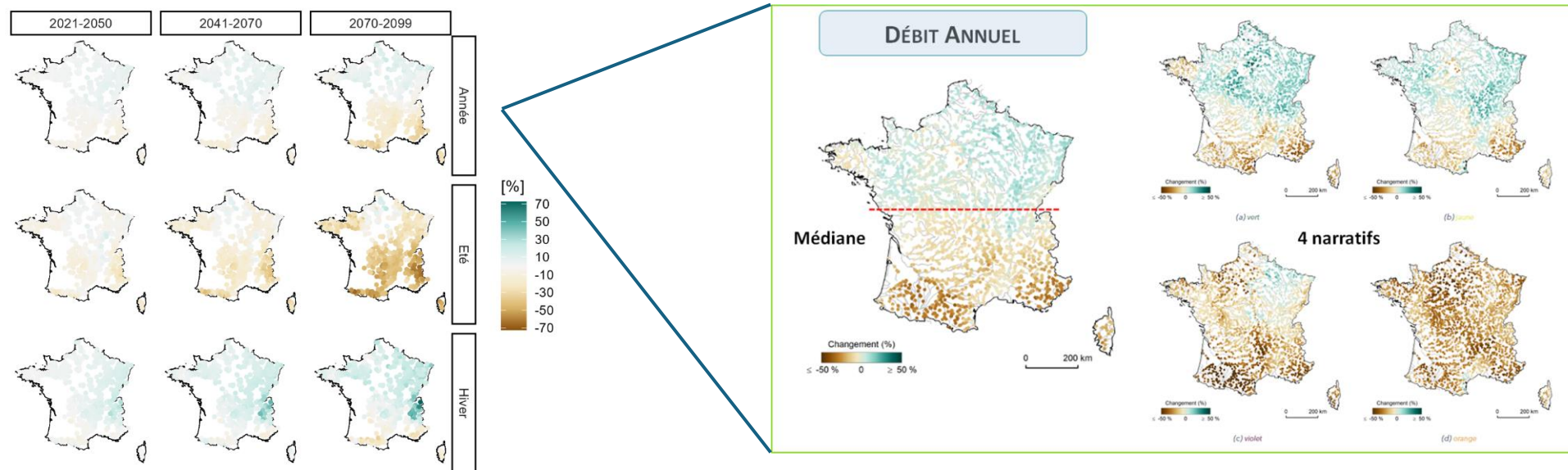
Évolution chronologique des anomalies annuelles de **précipitations**, de **températures d'air** et de **débits** pour 320 séries en France (*Étude interne EDF*)

Impact d'un climat plus chaud sur la saisonnalité des apports

Un climat qui change

Projections pour le siècle à venir

- Les projections climatiques et hydrologiques en France dépeignent un futur où **les températures d'air continuent d'augmenter** tandis que les précipitations pourraient connaître d'importantes modifications saisonnières, avec des étés plus secs et des hivers plus humides. Les débits fluviaux devraient donc **continuer de baisser en été, allongeant les périodes d'étiage**, tandis que le risque d'inondations hivernales pourrait augmenter. Les impacts varieront selon les régions, rendant certaines zones particulièrement vulnérables (~sud de la France).



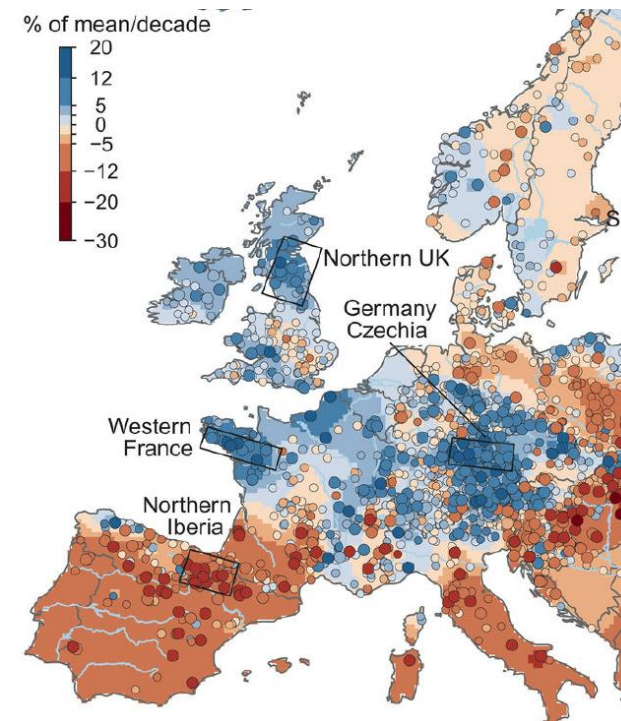
Évolutions des débits pour différentes saisons et horizons de temps.
Moyenne de l'ensemble EXPLORE2 pour le scénario RCP8.5 (moyenne de 17 GCM/RCM) (*projet EXPLORE2*, <https://www.drias-eau.fr/>)

Derrière la moyenne d'ensemble, de fortes incertitudes, illustrées ici au travers de quatre « narratifs » (4 trajectoires sur 17)

Un climat qui change

Quelles tendances sur les crues extrêmes ?

- Les tendances déjà observables en France sont complexes du fait de la forte diversité des climats et de la dépendance des résultats aux échelles de temps et d'espace analysés.
- Par ailleurs les processus hydrologiques concernés sont complexes et imbriqués :
 - Pluies intenses ↑ vs saturation des sols ↓
 - Limite pluie-neige ↑ même en plein hiver
 - Pluies locales intenses ↑
 - Flux océaniques persistants ↓
 - etc...
- Un climat plus chaud fournit cependant a priori certains ingrédients pour des crues plus intenses ce qui incite à être vigilant sur le sujet (*cf. par ailleurs l'actualité récente : tempête Alex dans le Sud-Est, tempête Boris en Europe Centrale, etc.*)
- Les tendances sur les maximum annuels (*cf. illustration ci-contre*), ne préjugent pas forcément des tendances sur les extrêmes : besoin d'une approche par simulation



Tendances régionales observées sur les crues en Europe (1960-2010) (*Blöschl et al. 2019*)

Un climat qui change

De la connaissance à la maîtrise du risque

- C'est aussi :
 - **Cycles dessiccation-réhumidification** : retrait-gonflement, fissuration, perte d'étanchéité et érosion interne (digues, remblais, interfaces et traversées).
 - **Hausse des températures / canicules** : vieillissement et déclassement des équipements électriques/ automates/ capteurs, surchauffe câbles et moteurs ; vantellerie plus sensible aux dilatations, désalignements, grippage et lubrification dégradée.
 - **Dégel en montagne**: crues brutales par vidange de lacs glaciaires (GLOF) , Instabilité de versant.
 - **Transport solide accru** : envasement, colmatage des prises, abrasion ; morphologie plus mobile et affouillements en aval.



Il faut donc qualifier les menaces émergentes

➔ *Et face à ces nouvelles pressions, la première question ne sera pas « que faire ? » mais « que risque t'on vraiment ? »*

Un climat qui change c'est aussi un environnement / une société qui change

Redéfinir les services associés aux barrages

- Le changement climatique transforme aussi le contrat de service :
même ouvrage, plus d'usages, plus de contraintes, plus d'arbitrages.
 - On assiste à des transformations ou adaptations des usages de l'eau (agriculture, eau potable, tourisme), et à la croissance des besoins de flexibilité du réseau électrique (essor des énergies renouvelables intermittentes)
 - Les ouvrages vont ainsi avoir un rôle de plus en plus complexe à jouer dans l'adaptation au changement climatique, avec des périodes et des modes de remplissage / déstockage différents de ceux actuels.
 - Pour relever ces défis, plusieurs pistes peuvent être envisagées, entre autres :
 - Des modifications structurelles telles que la réhausse de barrages, le suréquipement, la création de nouvelles STEP (Stations de Transfert d'Énergie par Pompage)...
 - Le renforcement des approches de gestion multi-usages de l'eau, conciliant production énergétique, besoins agricoles, touristiques et environnementaux.

Comment gérer nos ouvrages?

Adapter ou construire l'ouvrage du futur ... dès aujourd'hui

Adapter l'existant

- **Optimiser** : règles de gestion dynamiques, intégration des prévisions, gestion multi-usages, REX à valoriser.
- **Moderniser / Renforcer** : augmentation des capacités d'évacuation, surveillance en temps réel, travaux ciblés (rehaussement).
- **Objectif** : robustesse progressive des ouvrages

Concevoir les ouvrages du futur

- **Multi-services** dès la conception (eau/crues/énergie/milieus...).
- **Conception "résiliente"** : modularité, intégration des possibilités de modification / adaptation, marges supplémentaires.
- **Hybridation d'usages**: STEP, solaire flottant,

La résilience, c'est une trajectoire d'adaptation

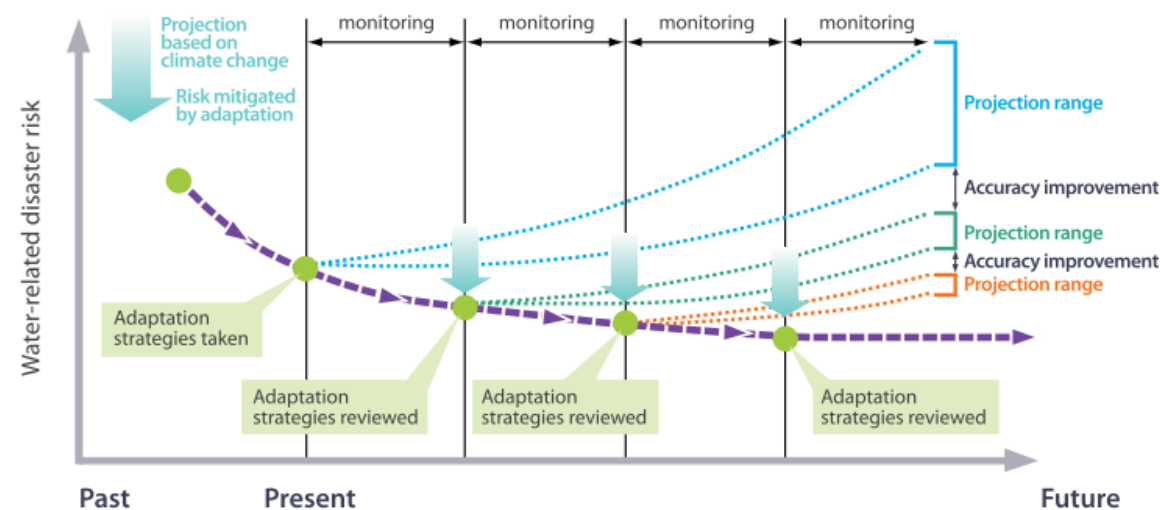
Résilience des ouvrages

Les 4 grands axes d'action

Une stratégie d'adaptation robuste s'organise en 4 axes complémentaires

- **Connaissance** : Intégrer les projections climatiques dans l'analyse de risque et idéalement réduire les incertitudes
- **Robustesse structurelle** : quelles modifications dans la conception ? : diagnostic de vulnérabilité, programme de renforcement (approche adaptative)
- **Exploitation** : quelles modifications dans la gestion ? : Bon usage des prévisions, pilotage en temps réel, règles de partage, préparation à la gestion de crise
- **Positionnement** : quelle place de l'ouvrage par rapport à d'autres alternatives pour les mêmes services ? Évolution des services ?

Figure 8. No regrets approach to adaptive management (from ICOLD, 2016).



➔ *La résilience, ce n'est pas résister à tout. C'est s'adapter assez vite pour ne jamais être dépassé*

Résilience des ouvrages

De la théorie à l'action, agir maintenant !

Passer du constat à l'action: c'est construire une trajectoire d'adaptation

- **Trajectoire**: passer du diagnostic à une feuille de route **pilotable**, avec des décisions **progressives et réversibles** (quand c'est possible)
- Mettre en place des **Plans d'Adaptation** : objectifs clairs + **jalons** datés + **indicateurs de suivi** (performance, risques résiduels, disponibilité, coûts)+ priorisation (actions *no-regret* ...)
- Besoin d'une **Gouvernance multi-acteurs** : mobilisation du monde industriel en interaction avec les pouvoirs publics / les territoires / les usagers pour arbitrer les services et partager les données et faciliter les arbitrages des services rendus

*Exemple du projet « ARCHE » à EDF-Hydro (**A**daptation et **R**ésilience **C**limatique de l'**H**ydro-électricité à **E**DF) illustre cette logique → transformer l'analyse climatique en **plan d'action pilotable** et aligné sûreté / exploitation / performance*



MERCI

*Ne pas subir :
anticiper, surveiller, s'adapter*