



Journée des Ecoles d'Ingénieurs 2024

Barrages de Vinça et Agly

Bouleternère, 12 octobre 2024

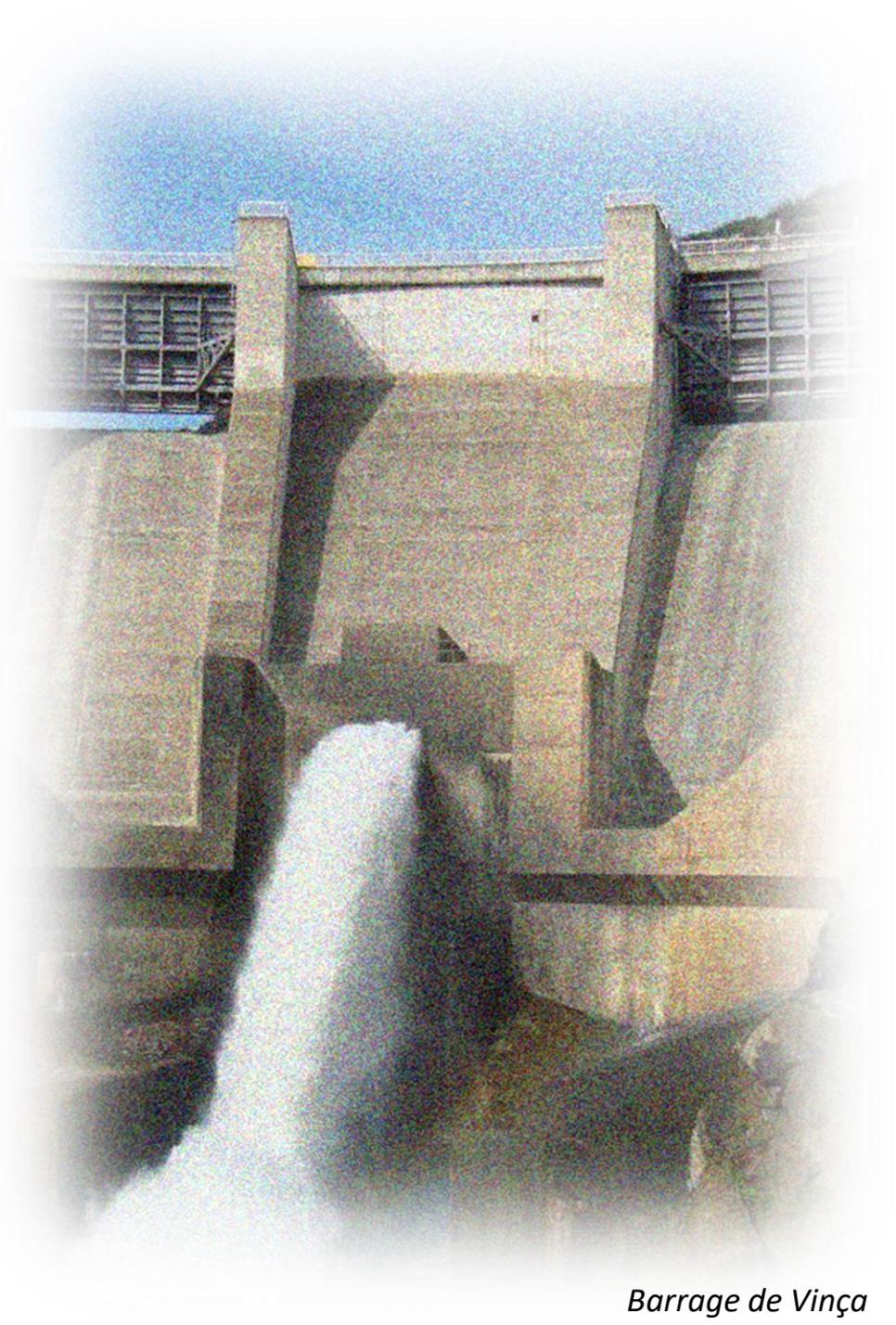
Évolution de l'hydrologie en France sous l'effet
du Changement Climatique

Joël GAILHARD

EDF-DTG



Conseil Départemental des Pyrénées
Orientales associé à BRL

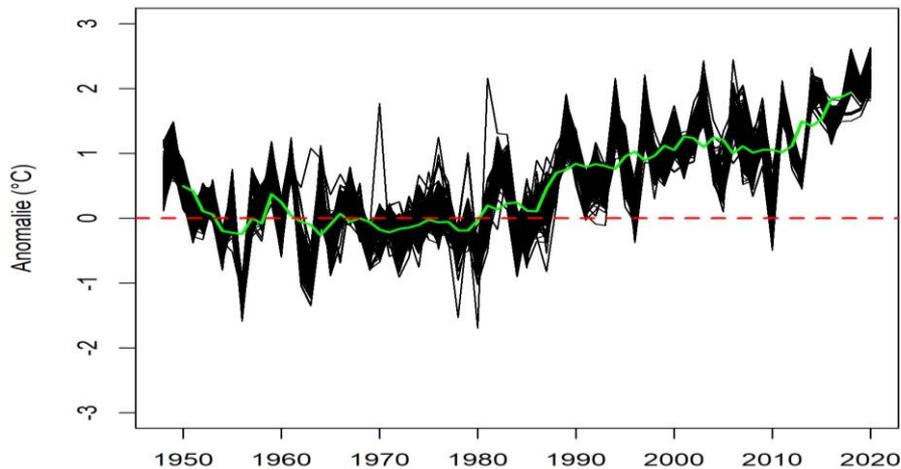


Barrage de Vinça

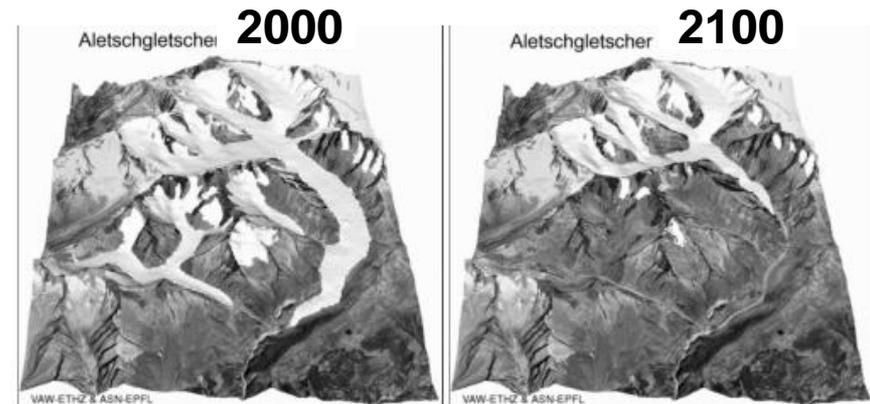
Le Changement Climatique c'est :

- Des températures d'air qui ont augmenté de $\sim +2^{\circ}\text{C}$ en 40 ans en France
- Les glaciers des Alpes qui ont perdu près de 30% de leur surface en 60 ans
- Moins de neige en hiver à basse altitude et une fonte plus précoce
- Tout cela à des conséquences sur les débits (moyenne, saisonnalité)...

Températures d'air



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



Évolution probable de l'emprise du glacier d'Aletsch en Suisse pour le scénario RCP8.5 (*source G. Juvet, ETH Zurich*)

Le Changement Climatique c'est aussi :

- De nombreuses études menées par la communauté scientifique française.
- Le projet Explore2 qui vient de se terminer (avec de nombreuses ressources pédagogiques : écrits, replay de la conférence finale, MOOC...).

→ Choix de faire un focus sur l'expérience propre d'EDF (en lien avec ses enjeux spécifiques qui bien sûr recoupent les enjeux des autres partenaires du territoire)



Les sites web :

<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

<https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.57745/OMWYR0>

<https://www.drias-eau.fr/>

Contact : eric.sauquet@inrae.fr

EDF et le sujet du changement climatique

- Un sujet exploré **depuis plus de 30 ans** :

1946

Création de la DTG  pour déployer un réseau de mesures hydrométéorologiques (enneigement, pluviométrie, débit de rivière...) comportant aujourd'hui plus de 1 100 stations de mesure gérées en partenariat avec Météo-France.

1970

EDF se dote de centres de prévision hydrométéorologique, situés à Grenoble et à Toulouse, afin d'optimiser la production hydroélectrique et d'anticiper les crues.

1990

Le Conseil Scientifique d'EDF recommande le lancement d'un programme de R&D pour évaluer les impacts du changement climatique sur les activités du Groupe.



2003

1^{er} Plan Aléas Climatiques et création de la coordination de l'eau (mission transverse confiée à EDF Hydro qui permet de gérer les interactions entre les parcs de production autour de l'accès à la ressource en eau)



2006

Elaboration du référentiel de sûreté Grands Chauds

2010

1^{ère} stratégie d'adaptation du Groupe

2014

Création du service climatique à la R&D d'EDF



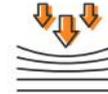
2017

Le groupe EDF fait partie des premières entreprises à s'engager à appliquer les recommandations de la TCFD  en termes de reporting climatique.



2018

Le risque climatique est reconnu comme risque prioritaire



2020

Lancement du groupe de travail Résilience du Groupe



2021

Nouvelle politique RSE et nouveaux engagements en matière d'adaptation dont le criblage des projets

2022

12 entités du groupe se dotent d'un plan d'adaptation.

Le groupe EDF obtient la meilleure note parmi les 13 premières entreprises volontaires pour tester la méthode ACT Adaptation  développée par l'ADEME.



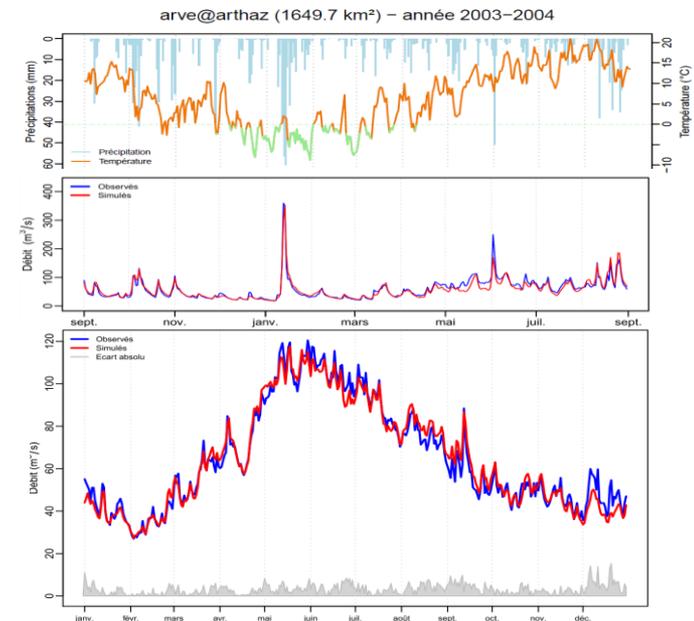
[edf.fr/adaptation-changement-climatique](https://www.edf.fr/adaptation-changement-climatique)

EDF et le sujet du changement climatique

- L'eau, un enjeu central pour produire de l'énergie
- La production électrique d'EDF en France dépend à près de 90% de la ressource en eau :
 - soit **directement** pour l'hydroélectricité
 - soit **indirectement** en tant que source froide pour refroidir les cycles thermiques des centrales nucléaires et thermiques
- Une ressource sous surveillance permanente sur un **réseau de mesure** spécifique aux installations d'EDF :
 - débits des rivières, températures de l'air, précipitations, enneigement...
- Des **modèles** hydrologiques pour simuler/ comprendre / prévoir les débits des fleuves et des rivières
- Des thèses / projets en **partenariat avec le monde scientifique** (*multi-usage / partage de l'eau, évolution des crues sous l'effet du CC, prévision d'étiage / projections hydrologiques, etc.*)



1 100 stations
hydro-météorologiques
exploitées

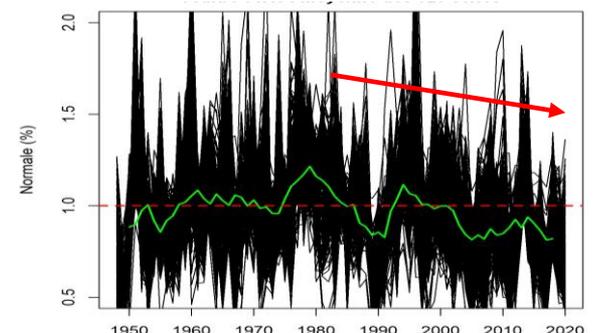
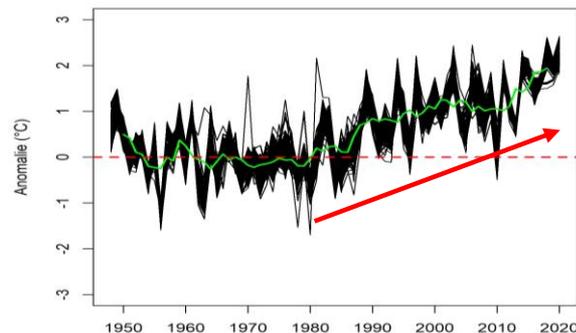
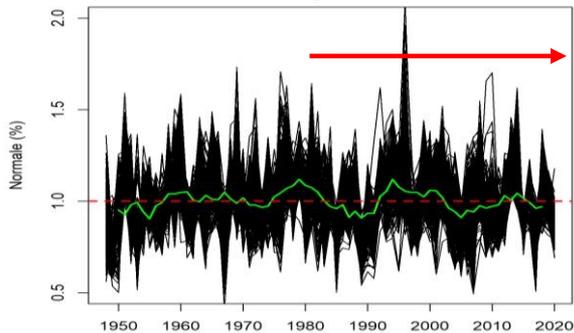


Quelle évolution de l'hydrologie en France ?

Moyennes annuelles

- Une hausse marquée des températures depuis les années 1980
- Pas de tendance en France au niveau des précipitations à l'échelle annuelle (*de légers contrastes régionaux et saisonniers : plus de précipitation au nord / en hiver, moins de précipitation au sud / en été*)
- A l'arrivée une tendance à la baisse des débits en moyenne annuelle (*particulièrement dans le sud de la France*), du fait essentiellement de **l'évapotranspiration**

Précipitations stables  Températures en hausse  Débits en baisse

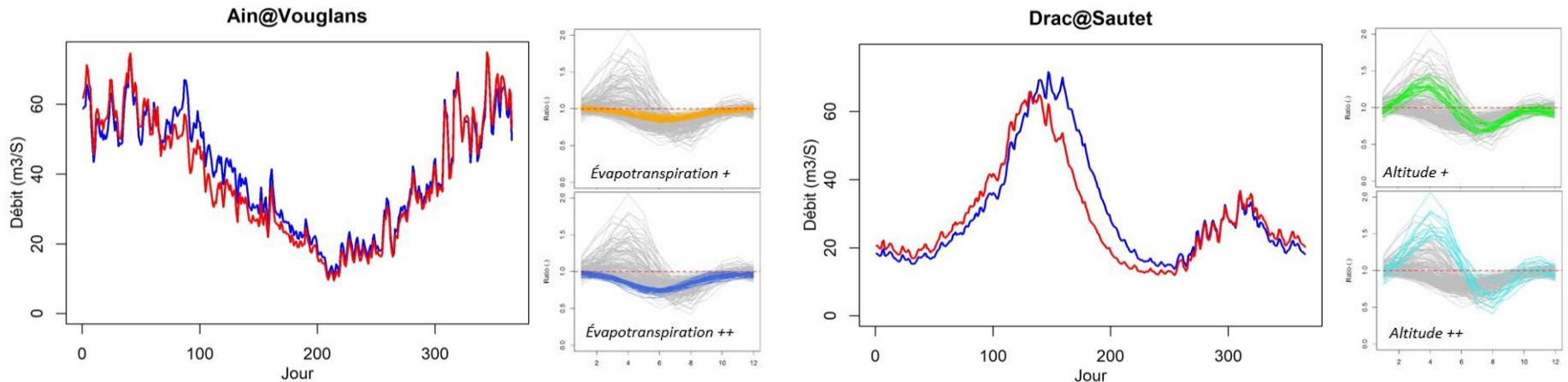


Évolution chronologique des anomalies annuelles de **précipitations**, de **températures d'air** et de **débits** pour 320 séries en France (*Étude interne EDF*)

Quelle évolution de l'hydrologie en France ?

Saisonnalité

- En plaine l'augmentation de l'**évapotranspiration** induit directement une diminution des débits de printemps et d'été.
- En montagne les changements dans la **dynamique du manteau neigeux** – moins de neige en hiver, fonte printanière / estivale plus précoce – modifient également la saisonnalité des apports.
- Ces deux phénomènes concourent à la **diminution des débits d'été**, favorisant l'apparition d'étiages plus longs et plus sévères (*+ pour le futur : diminution des précipitations d'été ?*).



« Profils mensuels de changement », « expérience climat redressé », pour 320 séries en France
A gauche bassins de plaine, à droite bassins de montagne (*Gailhard ICOLD 2023*)

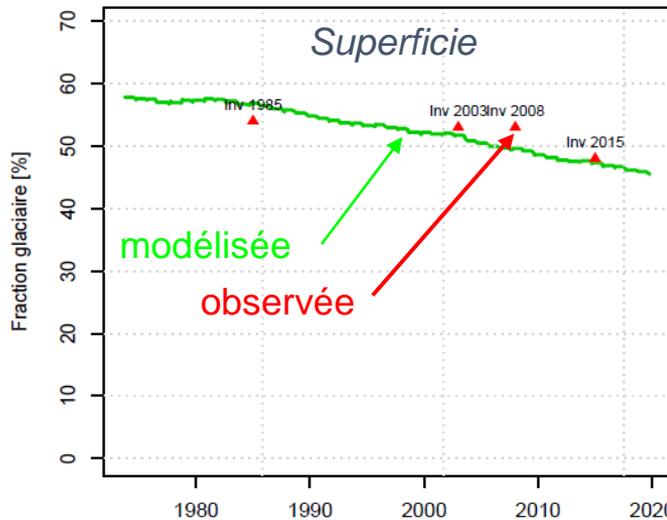
Comprendre / modéliser le retrait glaciaire

- Une des spécificités liées aux enjeux d'EDF : besoin de comprendre la dynamique du retrait glaciaire

Exemple : modélisation du retrait glaciaire de la mer de glace à Chamonix (*Prise d'eau des bois, dernière prise sous-glaciaire du parc hydraulique en France*)

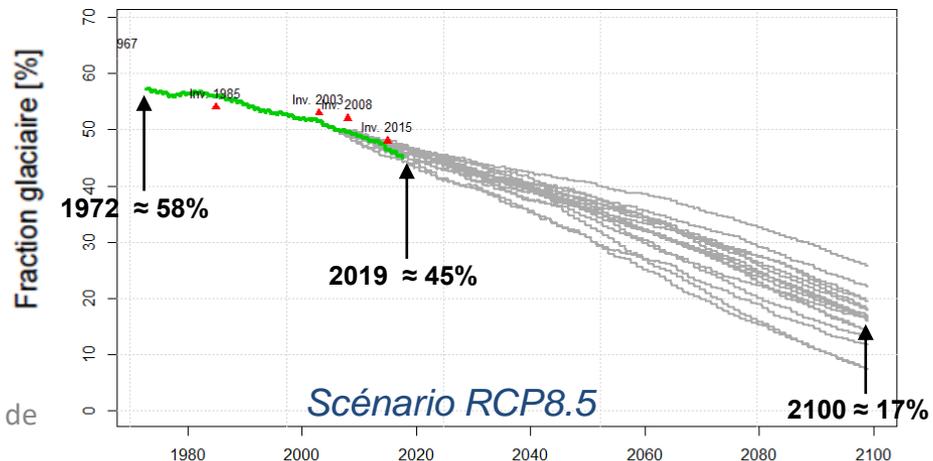
Partenariats avec la communauté française des glaciologues :

- IGE, INRAE
- ASTERS (glacier de Tré La Tête)



Prise d'eau des Bois

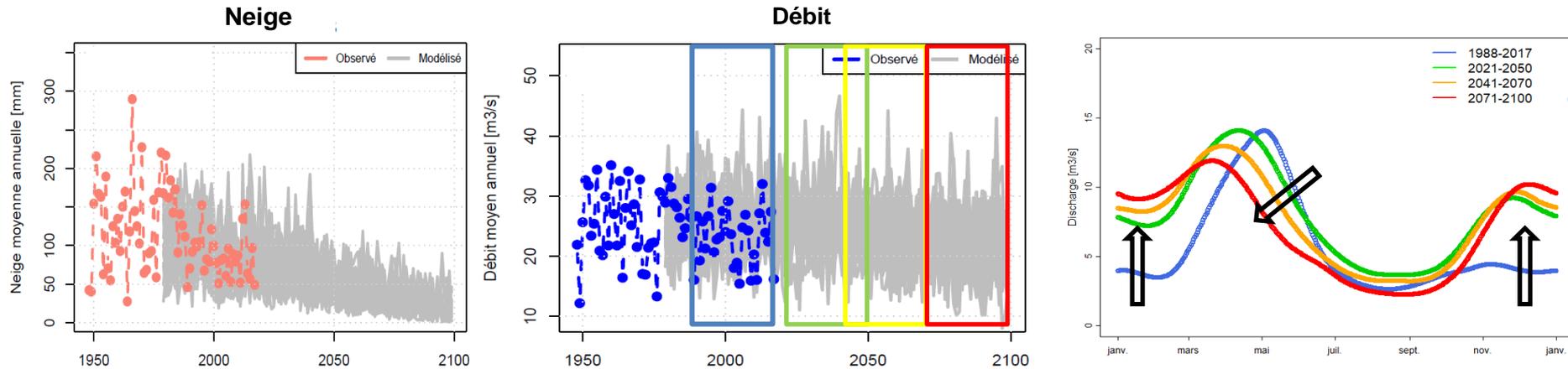
Projections sur le devenir de la mer de Glace



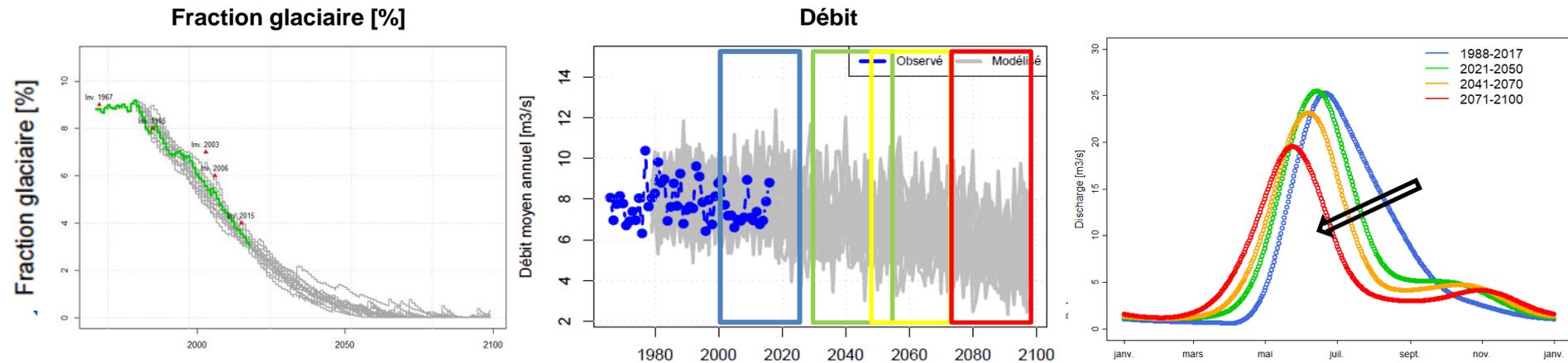
Exemple de projections hydrologiques

- EDF a mis en place depuis 2014 une organisation interne (« service climatique » interne) pour généraliser l'utilisation de projections climatiques dans les études adossées aux projets d'investissement (exemple de résultats sur le bassin de l'Isère – parc Hydraulique)

Bassin nival [Arly, 236 km², RCP85] : forte diminution de l'enneigement - glissement vers un régime pluvio-nival

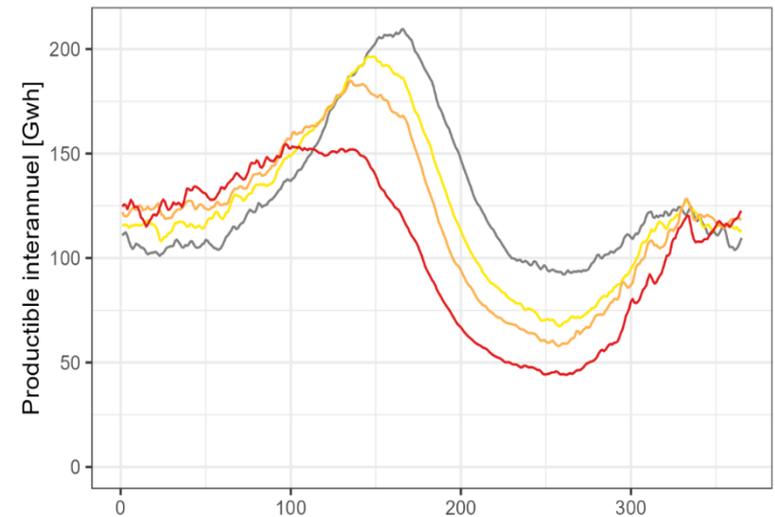
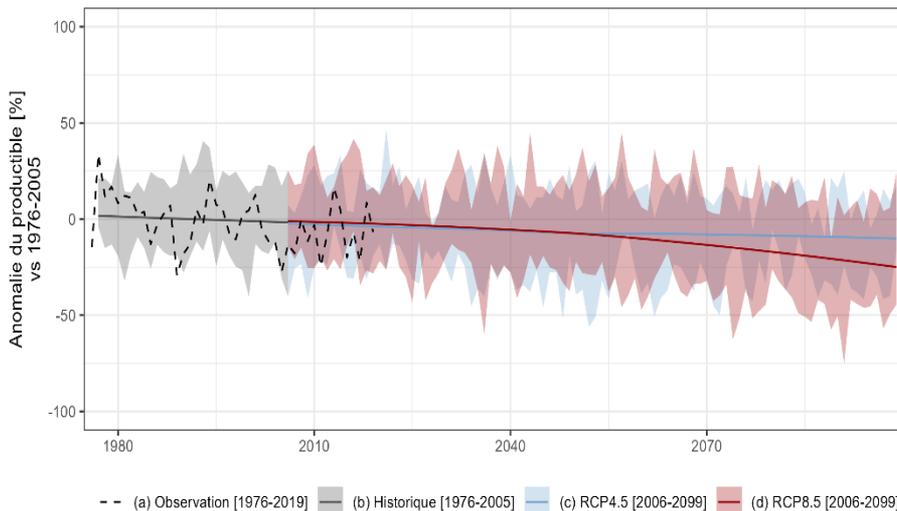


Bassin nivo-glaciaire [Mont-Cenis, 215 km², RCP85] : disparition progressive des glaciers - glissement vers un régime nival



Et le productible hydraulique ?

- Les projections climatiques puis hydrologiques permettent ensuite par agrégation de réaliser des projections de « *productible hydraulique* » (*ressource hydraulique disponible traduite en énergie potentielle en Gwh*).
- Voici à titre d'exemple les résultats obtenus pour le productible hydraulique d'EDF à partir des projections climatiques du projet Explore2. Les résultats projettent une lente érosion du productible, déjà perceptible, avec une accentuation en fin de siècle dans le cas du scénario le plus pessimiste (*et dans le cas de ce scénario une très nette évolution de la saisonnalité*).

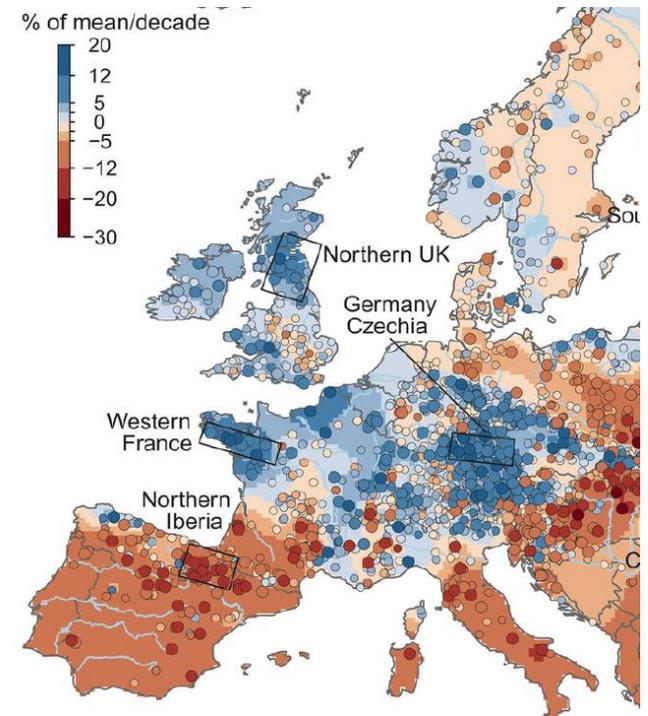


Exercice de projection du productible hydraulique d'EDF au cours du XXIème siècle, à parc hydro-électrique et usages de l'eau constants (Gailhard, ICOLD 2025)

Moyenne des 17 trajectoires du scénario RCP8.5

Quelles tendances sur les crues ?

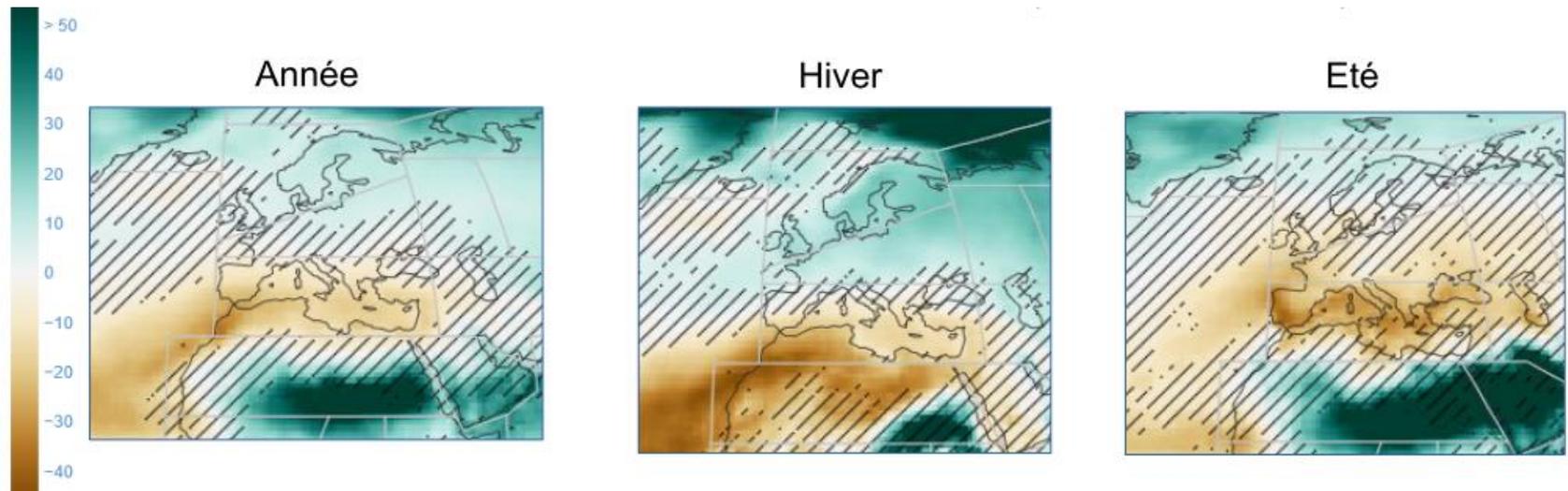
- Les tendances déjà observables en France sont complexes du fait de la forte diversité des climats et de la dépendance des résultats aux échelles de temps et d'espace analysés.
- Par ailleurs les processus hydrologiques concernés sont complexes et imbriqués :
 - Pluies intenses ↑ vs saturation des sols ↓
 - 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 : crue torrentielle à La Bérarde, tempête Boris en Europe Centrale, etc.*)



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

Quelle sont les principales sources d'incertitude ?

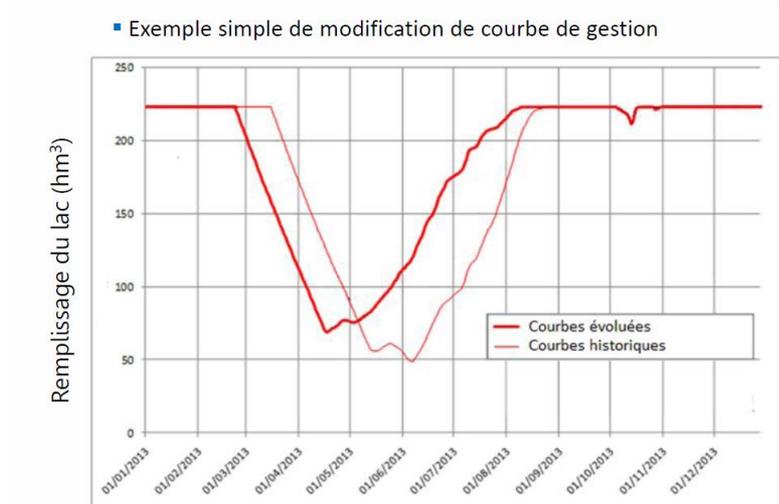
- La principale source d'incertitude concerne les précipitations
- En effet la France se situe dans une zone de transition entre la Scandinavie (« humidification ») et le bassin méditerranéen (« assèchement ») : cela en fait une zone d'incertitude relative (zone hachurée = zone d'incertitude)
- Les projections de précipitations dessinent cependant un climat futur avec une augmentation des contrastes hiver / été et nord /sud.



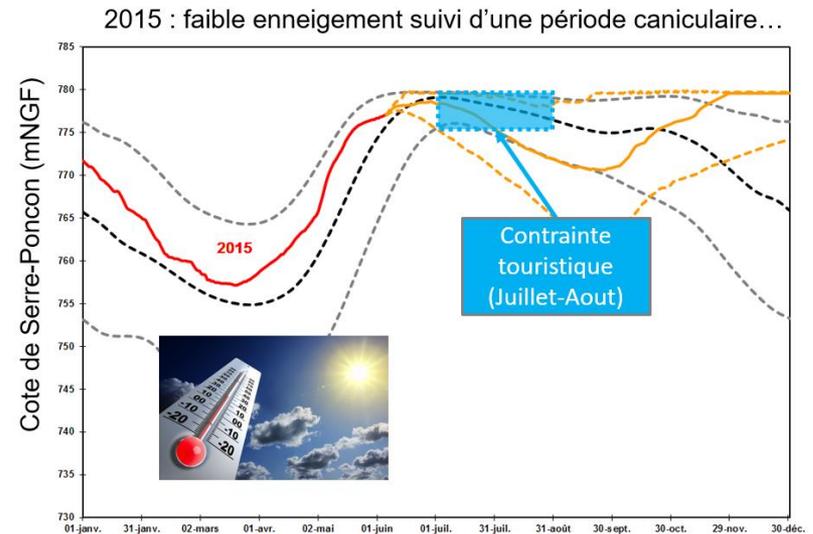
Changements sur les précipitations en France projetées par les modèles climatiques, Horizon 2050, scénario SSP5 8.5, variation par rapport à la période 1981-2010 (*source atlas IPCC*)

Exemples de mesures d'adaptation

- A partir de 2004 (suite à la canicule de 2003) : mise en place d'une chaîne opérationnelle de prévision des températures d'eau des fleuves
- À partir de 2013, actualisation régulière (tous les 5 ans) des référentiels hydrologiques utilisés pour la gestion des réservoirs (notion de « climat redressé », plus représentatif du climat actuel)
- Tous les étés, suivi des situations de sécheresse et prévisions hydrologiques saisonnières associées



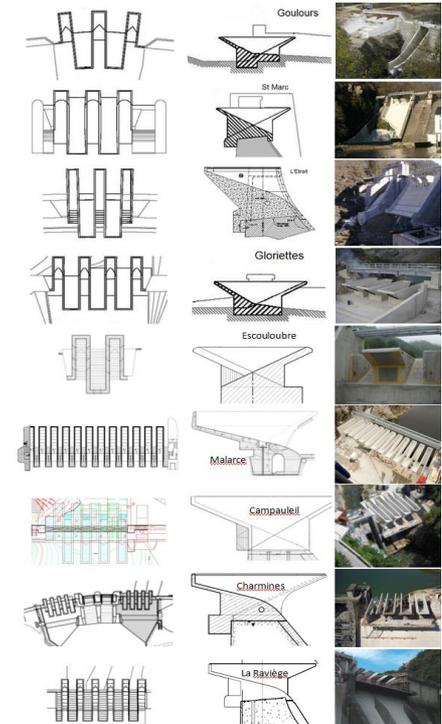
Exemple de l'impact des nouveaux référentiels d'apport sur la « courbe guide » de gestion d'un réservoir d'altitude (réservoir de Tignes)



Exemple de prévision saisonnière d'évolution de la cote de Serre-Ponçon (*apport – déstockage agricole*) (prévision de juin 2015)

Exemples de mesures d'adaptation

- Résilience vis-à-vis du risque crue : EDF a développé et installé une technologie innovante dite « Piano Key Weir » (PKWeir).
- Cette technologie permet de déverser une quantité d'eau 3 à 4 fois plus importante sous une même hauteur de déversement, sans pour autant augmenter les dimensions du barrage. *Cette innovation a été récompensée d'un prix lors de la COP21 à Paris en 2015.*



Synthèse

- Le changement climatique : une réalité depuis près de 40 ans en France
- Des impacts bien visibles sur la ressource en eau, en particulier en montagne et sur le parc de production hydro-électrique :
 - Une tendance à la baisse des débits (pertes évaporatives)
 - Une évolution de la saisonnalité : ondes de fonte plus précoces, des étiages plus longs et plus sévères
 - Le cas particulier des bassins glaciaires : « bonus » très temporaire en été, dû à la fonte des glaciers
- Un avenir encore incertain, mais :
 - Des contrastes a priori exacerbés (nord/sud – hiver/été)
 - Une augmentation des « tensions » sur les usages (hydro-électricité / agriculture / tourisme) dans certaines régions
- La résilience climatique : une axe stratégique pour les hydro-électriciens, et des enjeux forts autour de la gestion multi-usages de l'eau

