

A solid blue vertical bar on the left side of the slide.

ESTIMATION DES CRUES EN CHANGEMENT CLIMATIQUE PAR SIMULATION STOCHASTIQUE : MÉTHODE MOSAHYCC

Emmanuel PAQUET (EDF)

Séminaire du 24 février 2026

ESTIMATION DES CRUES EXTRÊMES A EDF : LIMITES ACTUELLES

- **Barrages + grandes vallées : méthode SCHADEX** (depuis 2007), **SCHADEX-SD** (depuis 2014)

Simulation pluie-débit stochastique événementielle, développée par EDF

Distribution des pluies basée sur types de temps (WP)

Modélisation pluie-débit (+neige) par le modèle MORDOR

Généralisée à de grands domaines hydrologiques avec simulation multi-bassin + calculs hydrauliques (Isère, Durance etc.)



limites

Pour des BV 10→10 000 km²

Projection en climat futur difficile, pas de cohérence régionale garantie

- **Centrales Nucléaires : extrapolation statistique des débits** (depuis années 70)

Ajustement d'une distribution sur chroniques de débits systématiques + crues historiques

Estimation d'une Crue Millénaire Majorée $\approx Q_{10\,000}$



limites

Extrapolation statistique incertaine (couramment 150 ans de données + 5 crues histo → quantile 10 000 ans)

Très adhérent aux données (qualité, quantité) et aux choix d'ajustement

Pas d'information sur les processus hydro-climatiques

Hypothèse de stationnarité (modèle non-stationnaire peu robuste)

UNE NOUVELLE METHODE ADAPTEE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

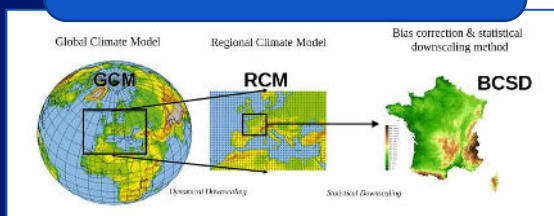
Objectifs

- Estimations en projection climatique (→ 2100), avec cohérence régionale des tendances
 - Modélisation explicite distribuée des effets hydrologiques et hydrauliques sur les grands bassins (>10 000 km²)
 - modélisation distribuée (P, Q, hydrologie)
 - modélisation hydraulique (barrages, plaines inondables)
 - Estimation conjointe des extrêmes hauts (crues) et bas (étiages)
 - Homogénéisation des méthodes sur les deux parcs (hydraulique et nucléaire)
 - Valorisation du savoir-faire stochastique de EDF (SCHADEX, RAINSIM, HMM etc.)
 - Développements en collaboration avec partenaires scientifiques + publications scientifiques
- Méthode **MOSAHYCC** : **MO**délisation **S**tochastique de l'**Aléa HY**drologique sous **C**hangement **C**limatique

Développement / 30 mois en collaboration avec IGE/INRAE, démarré en novembre 2023,
sur la base de RAINSIM, générateur stochastique de champ de pluie journaliers (IGE+EDF, 2018-2022)

MOSAHYCC : SCHÉMA GÉNÉRAL

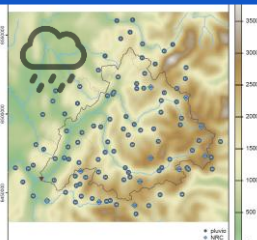
Modèles de climat
GCM + RCM + desagg. stat.



Variable clim. de grande échelle
 T_{glob} , SST, NAO etc..
Période récente + projections

Mesures climatologiques récentes

Réseaux climatologiques



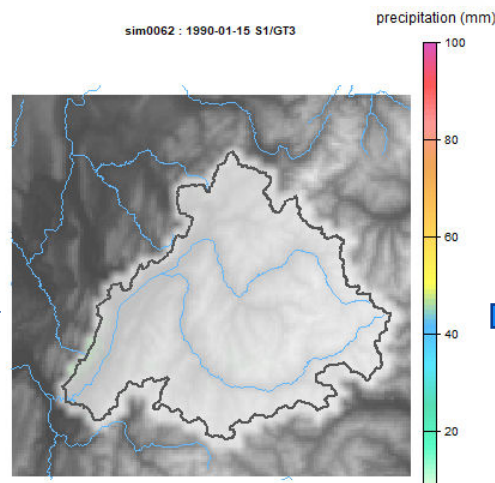
Générateurs stochastiques
pluie / temp journalières
RAINSIM + TEMPSIM



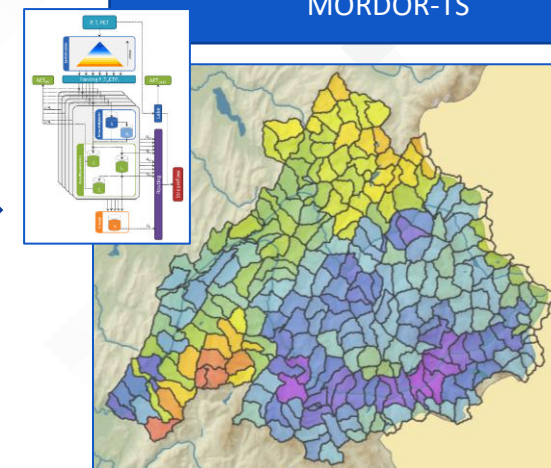
Paramètres

$$\begin{pmatrix} \hat{p}_j^0(x) \\ \hat{H}_{Y_j}(x) \\ \tilde{H}_{Y_j}(x) \\ Z_t(x) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_j(x) \\ G_t \\ \rho_j(\tau) \\ \beta_j \\ \alpha_{k,l}^s \end{pmatrix}$$

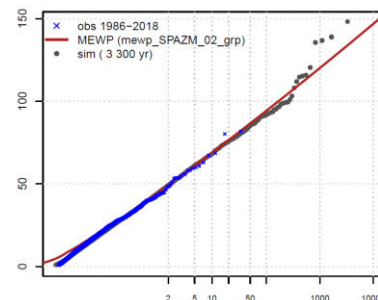
Séries longues continues (>10 000ans)
de pluie & température



Modèle hydrologique distribué
MORDOR-TS

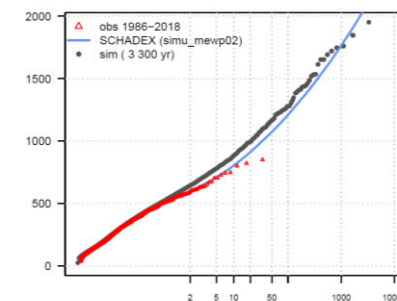


daily rainfall

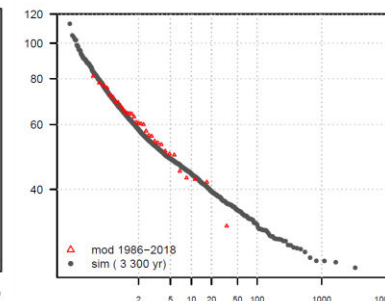


Distributions de pluie projetées à
différents horizons

daily discharge

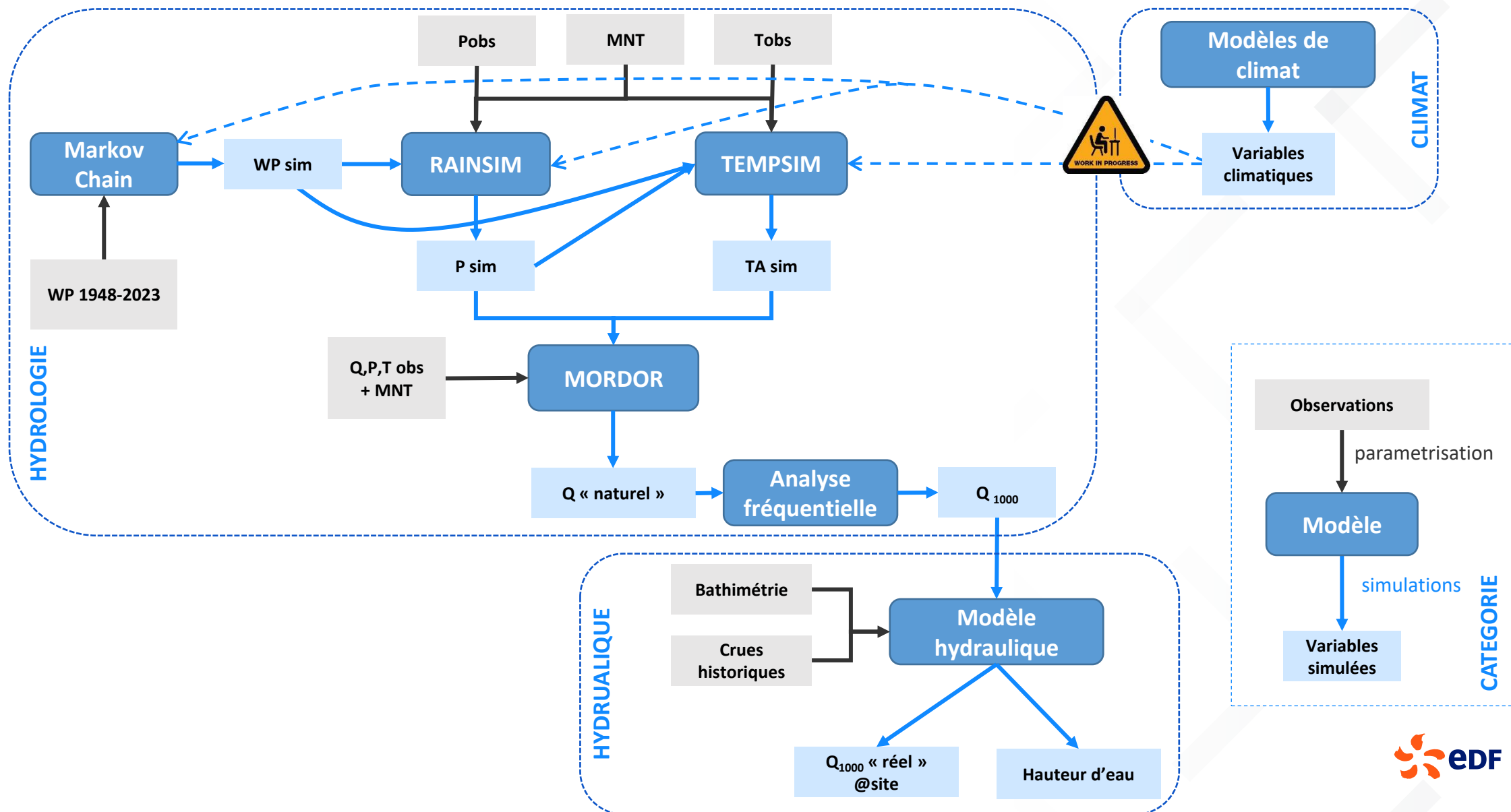


annual minimum daily discharge



Distributions de débit projetées à
différents horizons

SCHÉMA DÉTAILLÉ DE MODELISATION

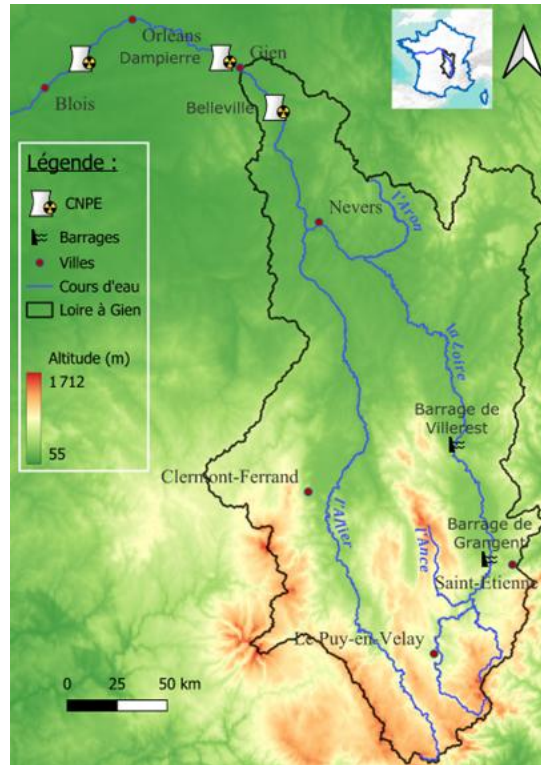


UNE PREMIERE APPLICATION EN CLIMAT ACTUEL : LA LOIRE A BLOIS

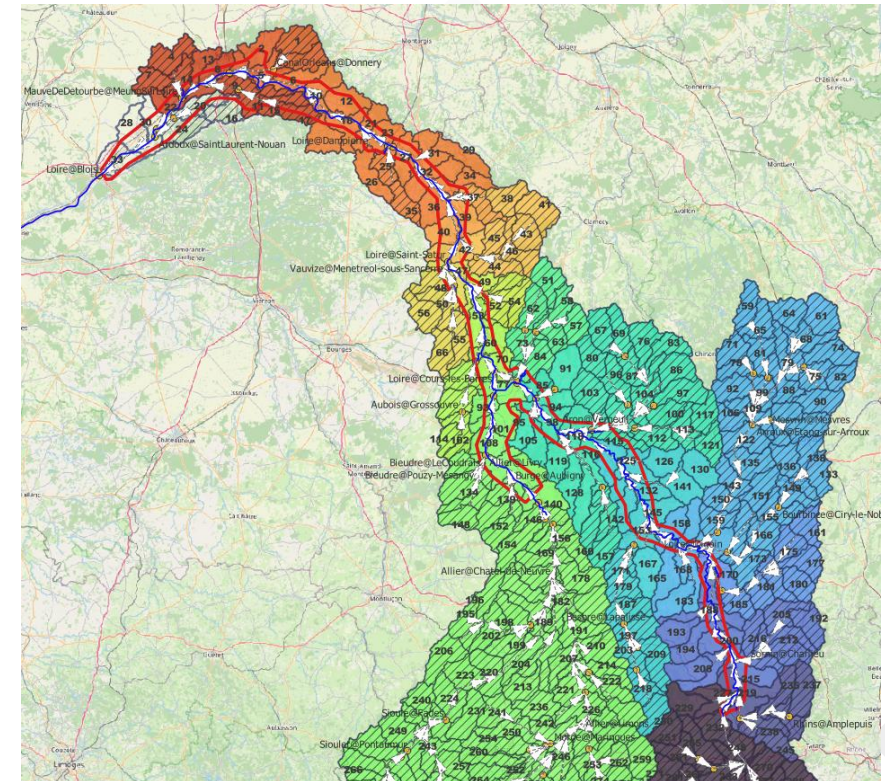
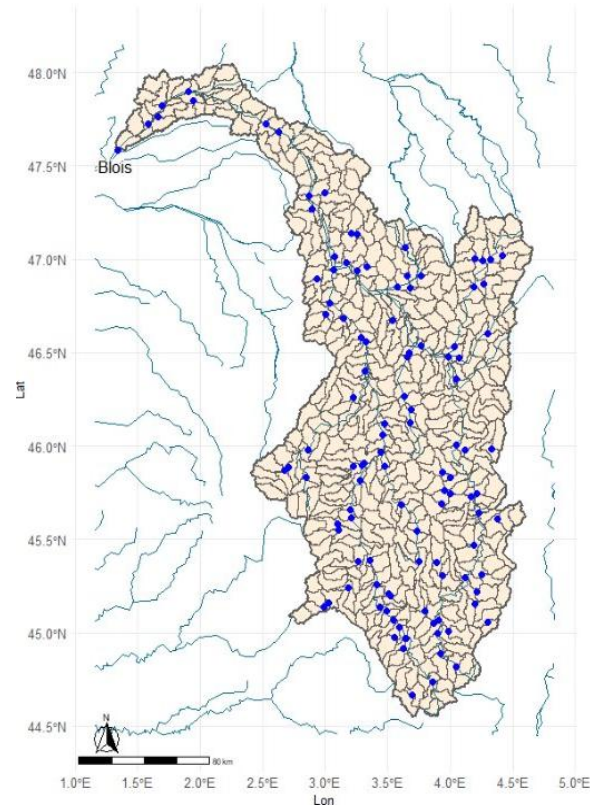
Réalisée dans le cadre d'une POC pour le parc nucléaire

Application prototype de MOSAHYCC à la Loire à Blois (38 000 km²) en climat actuel (1985-2023)

→ Évaluation d'un calcul complet hydrologique-hydraulique v/s analyse fréquentielle de référence



Situation du bassin

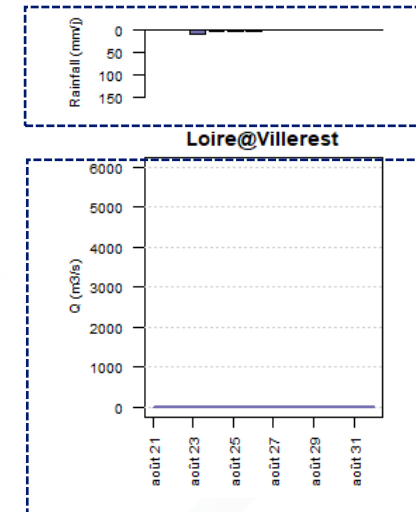
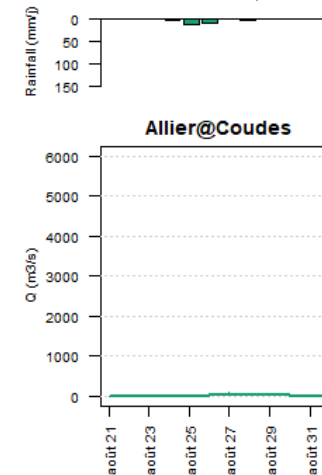
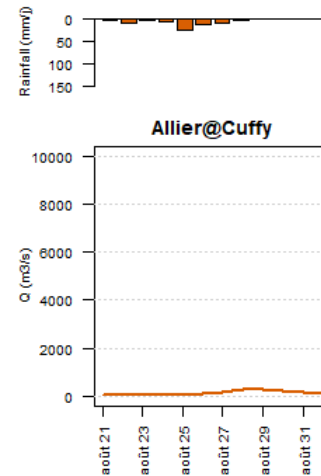
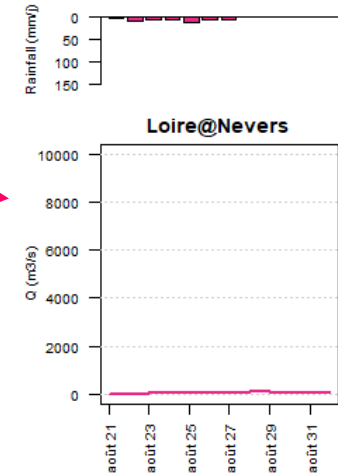
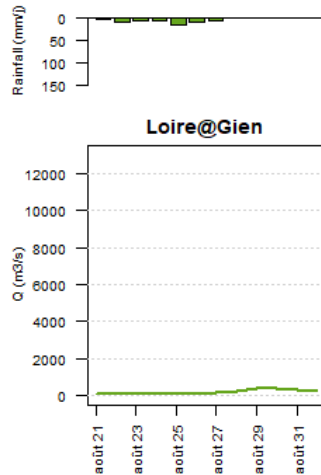
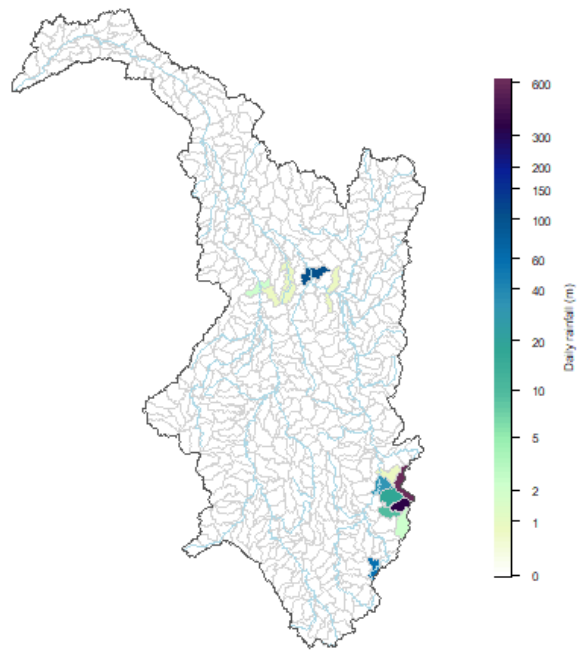


— Emprise du modèle hydraulique 

EXEMPLE DE CRUE EXTREME SIMULEE

Run 046 : crue du 04/11/2017

sim0046 : 2017-09-01 S4/GT3



Pluie sur le sous-bassin

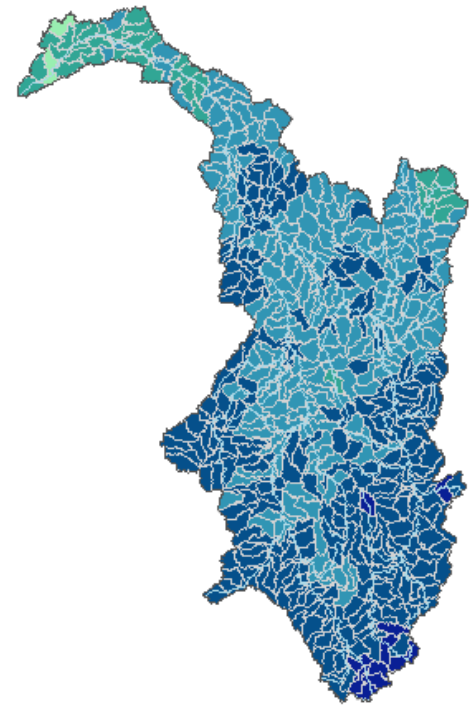
Débit journalier simulé

EXEMPLE DE MODELISATION HYDRAULIQUE

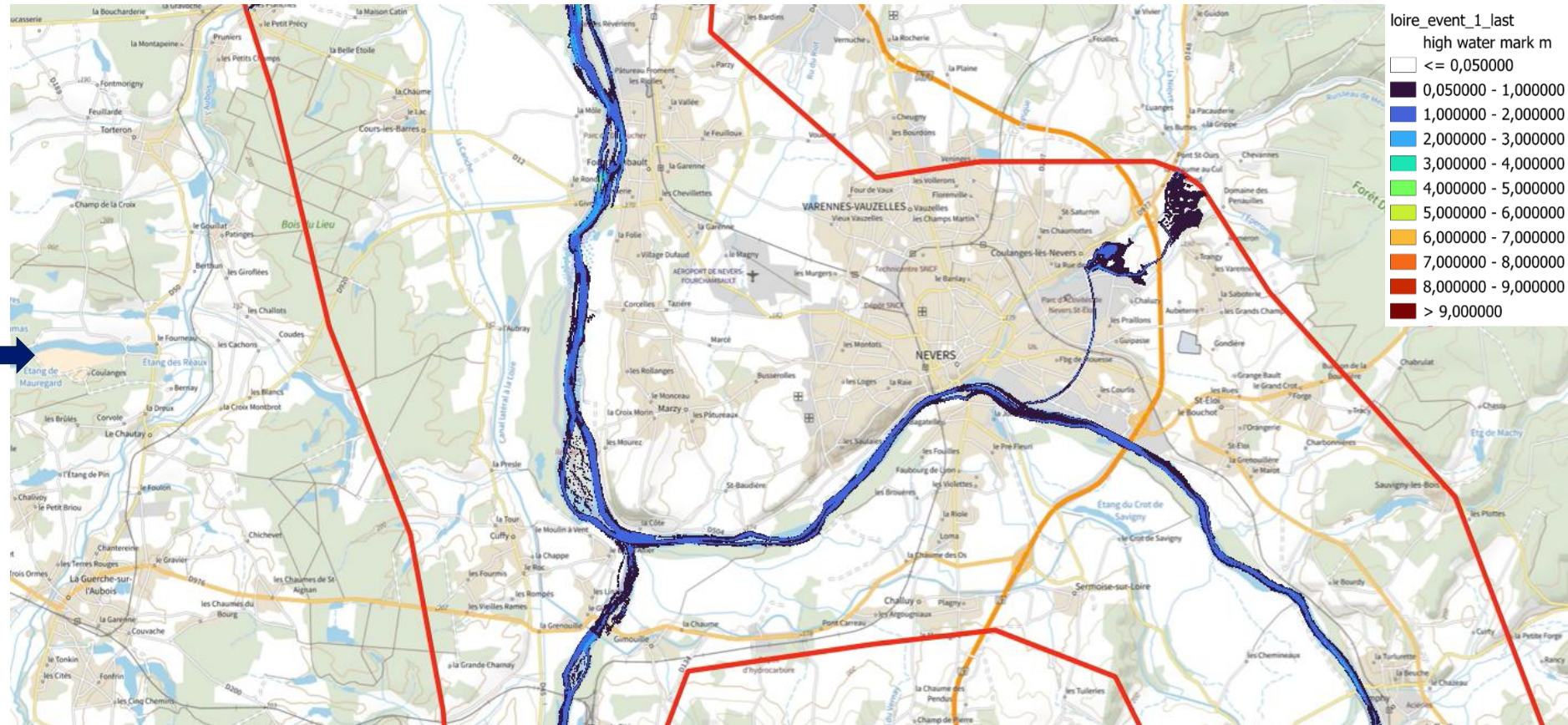
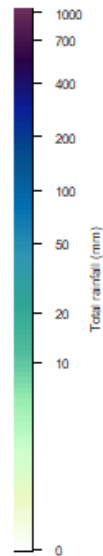
Analyse d'une crue de temps de retour 2000 ans

- Contribution hydrologique Loire vs. Allier → la Loire contribue aux 2/3 de la crue
- Atténuation hydraulique du débit de pointe de cette crue $\approx -10\%$

sim2219 : 2021-11-26 S4/GT3

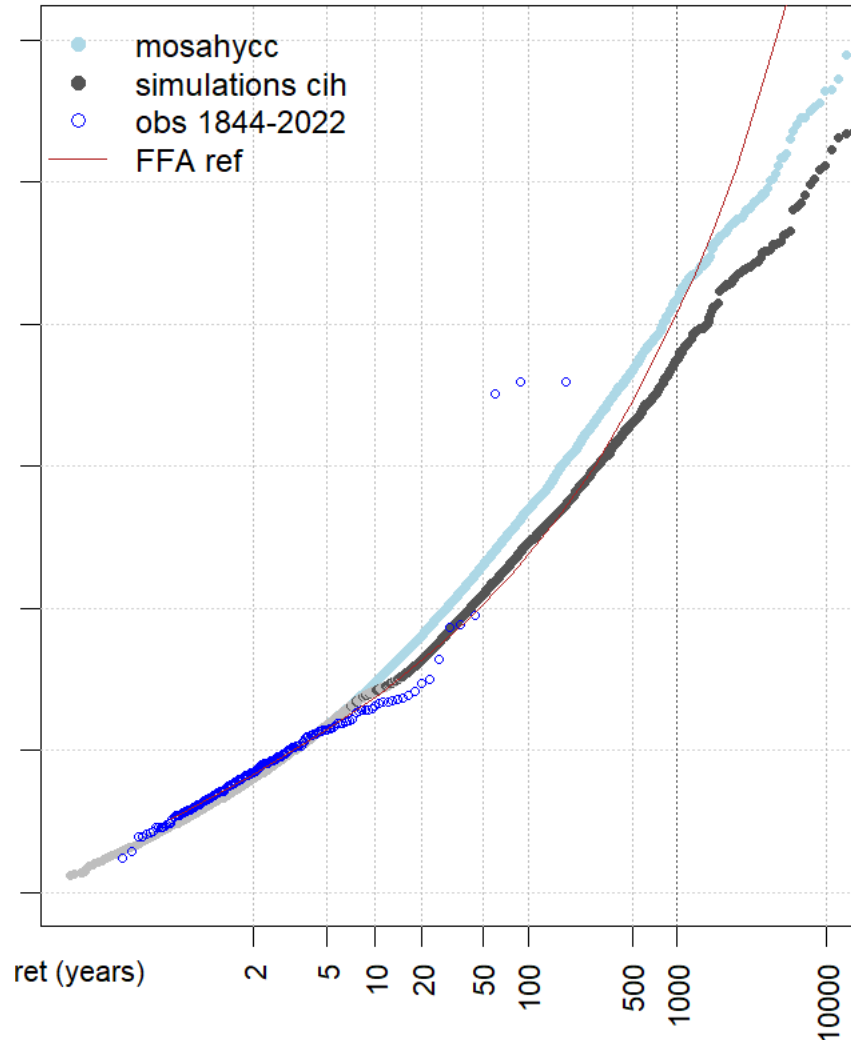


15-days cumulative rainfall



Simulation hydraulique au niveau de la confluence Loire-Allier

DISTRIBUTIONS SIMULEES



Débits de pointe à Gien – distributions complètes

Simulations MOSAHYCC : 108 000 crues max annuelles

Simulations hydrauliques :
10 800 crues ($>Q_{10}$) combinées aux simulations DTG ($<Q_{10}$)

Observations : crues max annuelles réanalysées période 1844-2022

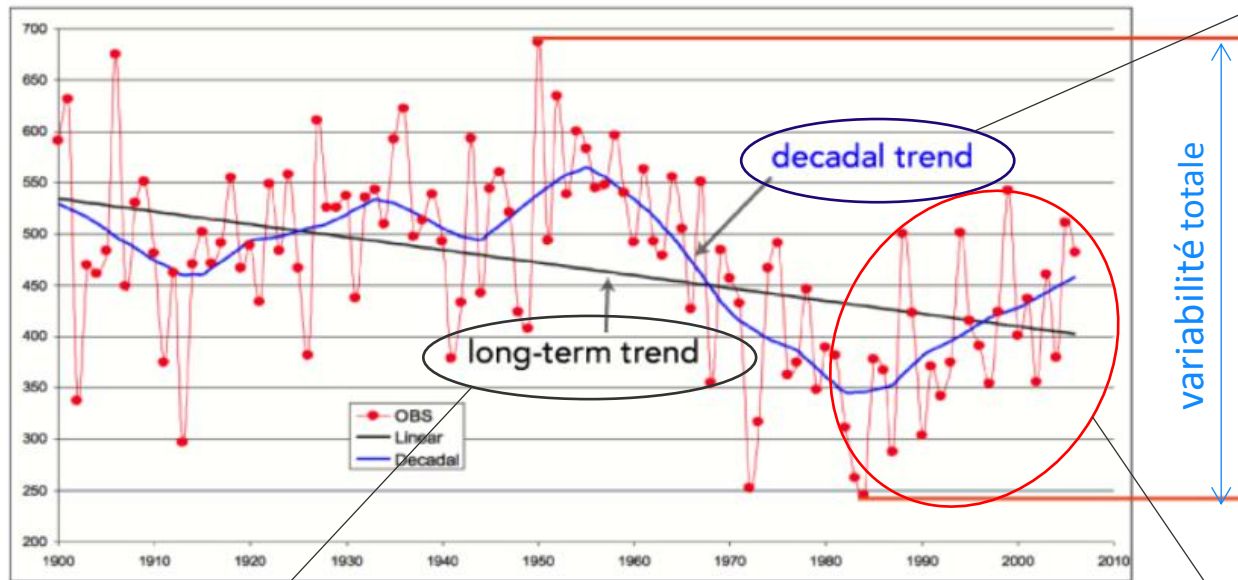
FFA ref : ajustement GEV de référence

MODÉLISATION DE LA PLUIE EN CLIMAT INSTATIONNAIRE

Principe de modélisation :

Variabilité totale = tendance + variabilité « décennale » + variabilité inter-annuelle

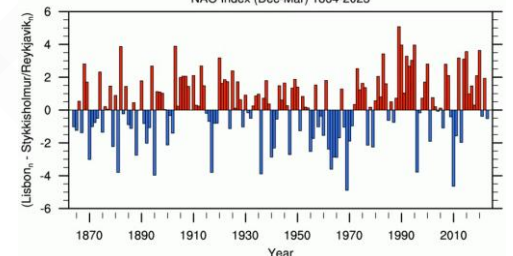
Observed Annual Rainfall in the Sahel (1900-2006)



tendance climatique de long-terme
liée à un signal global type SST

« cycles » climatiques (aka variabilité décennale)
→ liée à indicateur de circulation globale type NAO, WEMO

NAO(hiver)
1984-2023



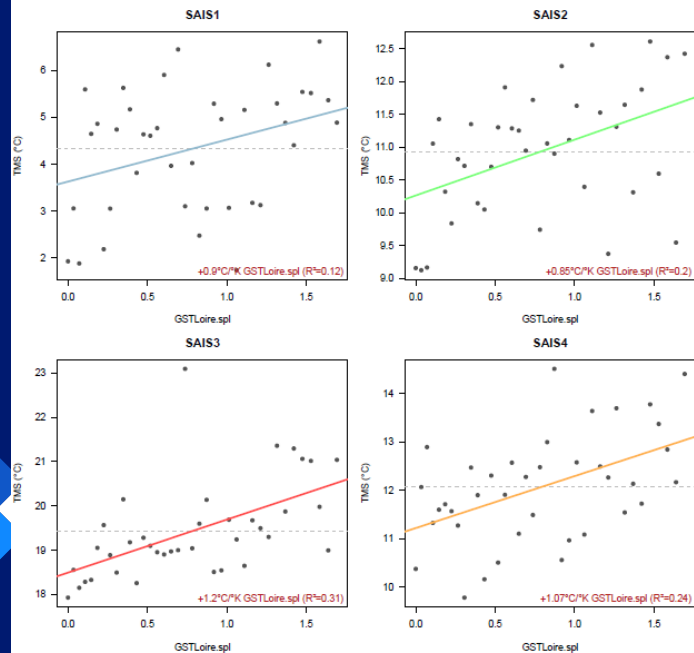
Les différentes composantes de la variabilité
des pluies sont traduites en modèles
statistiques dépendant de variables
climatiques (SST, NAO...)

Variabilité quotidienne/saisonnière/annuelle
→ modélisation par le générateur stochastique RAINSIM

MODÉLISATION DE L'ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES

Le générateur stochastique TEMPSIM intègre « de base » une tendance climatique saisonnière

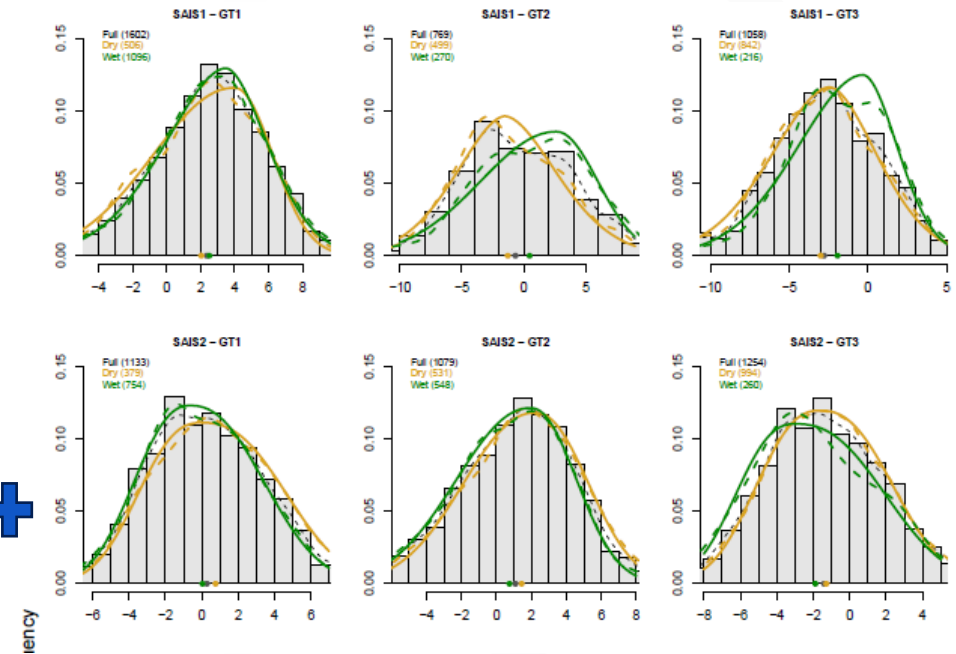
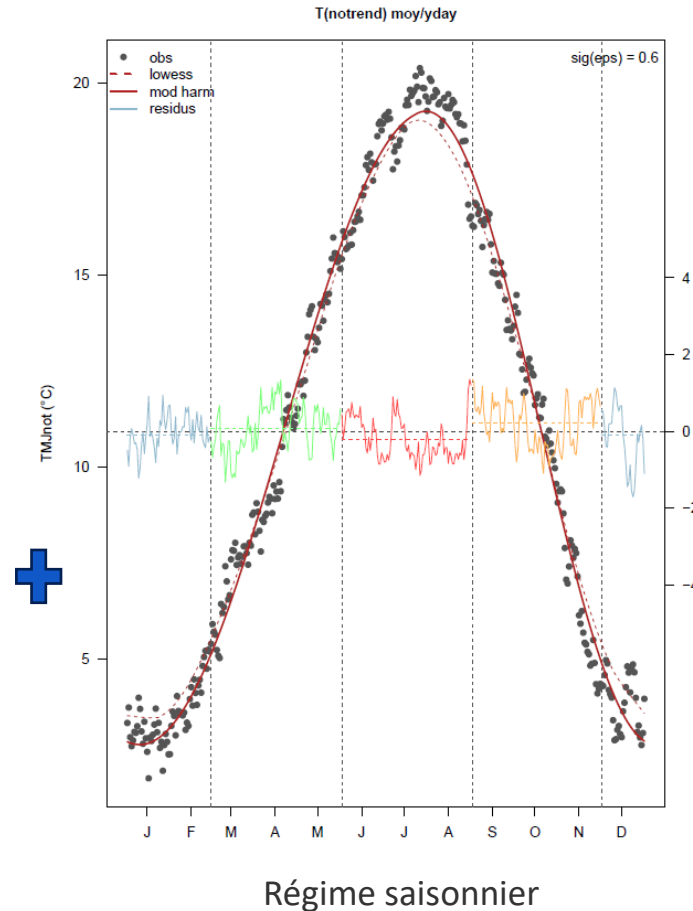
Exemple de modélisation en un poste :



Tendances saisonnières

Ici liées à la SST

(température de surface des océans et mers proches)



Résidus au régime / saison + TT + sec-humide
(tirés « au hasard » lors de la génération stochastique)

MOSAHYCC : ÉTAT DES LIEUX DÉBUT 2026

Application en climat actuel

Étude POC hydrologie-hydraulique menée avec succès sur la Loire en 2025 :

- Estimation de la distribution complète des crues en tous points du bassin
- Modélisation explicite des effets hydrauliques sur un linéaire de 140 km (digues, déversoirs, barrages amont etc.)
- Production de cartes et de scénarios de crue à différents temps de retour
- /!\ mise en œuvre assez lourde (notamment du fait d'un modèle hydraulique très détaillé)

Application en projection climatique

En cours de développement avec IGE/INRAE

Cadre statistique en cours de publication, covariables climatiques bien explorées, en cours de validation

Implantation dans la simulation MOSHAYCC en cours

Application complète (hydrologie+hydraulique) en projection climatique prévue à EDF en 2026 sur le Rhône en amont de Lyon