



# SYMPOSIUM CFBR 2026

## spécial 100 ans

Lyon – 29 janvier 2026



# Ingénierie des Barrages & Réservoirs de Demain

*Enjeux et évolutions*

*Pierre Agresti*

# Enjeux et Évolutions

**Enjeux et perspectives pour l'Ingénierie des Barrages & Réservoirs (et Diges)  
suivant 3 axes :**

- Climatique et Environnemental
- Numérique et outils de conception
- Humain : savoir-faire, partage et transmission,...



Barrage-réservoir de Katsé (Lesotho)

# Enjeux Climatiques

- **Variabilité, incertitudes et nouveaux cas de charge**

Incertitudes sur fréquences et intensités des événements extrêmes: crues, sécheresses, températures ,vent,...

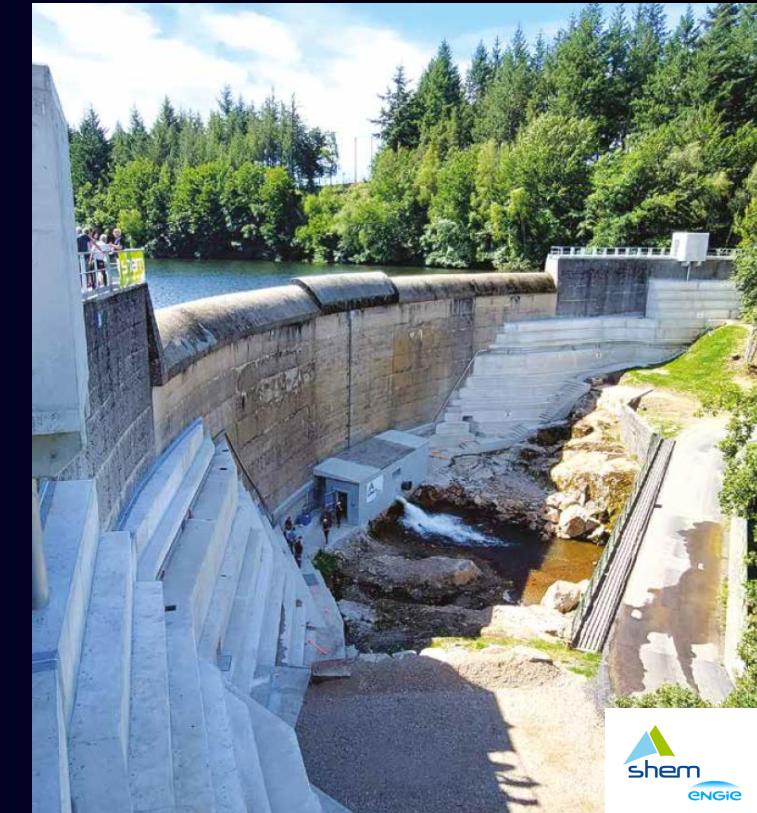
Nouvelles combinaisons inédites, combinaisons d'extrêmes, effets transitoires, effets cycliques ;

- **Résilience et adaptation**

Analyses de risques récurrentes (EDD) comme approche globale de conception et d'exploitation

Améliorer la robustesse par les mesures structurelles et non-structurelles pour garantir la sécurité sur le court/moyen/long terme.

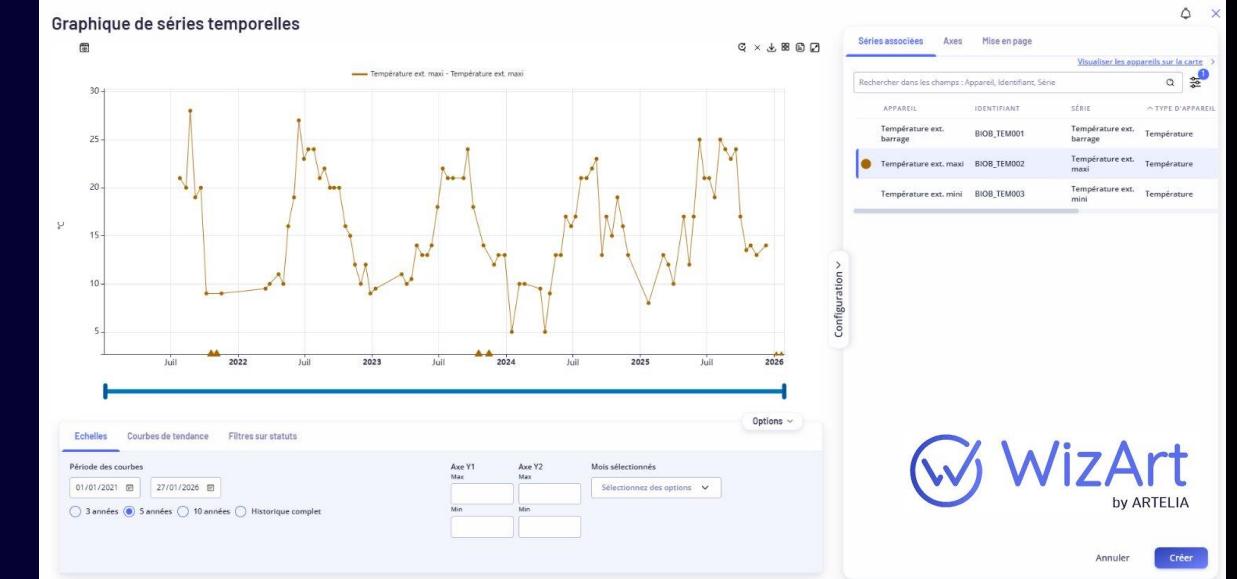
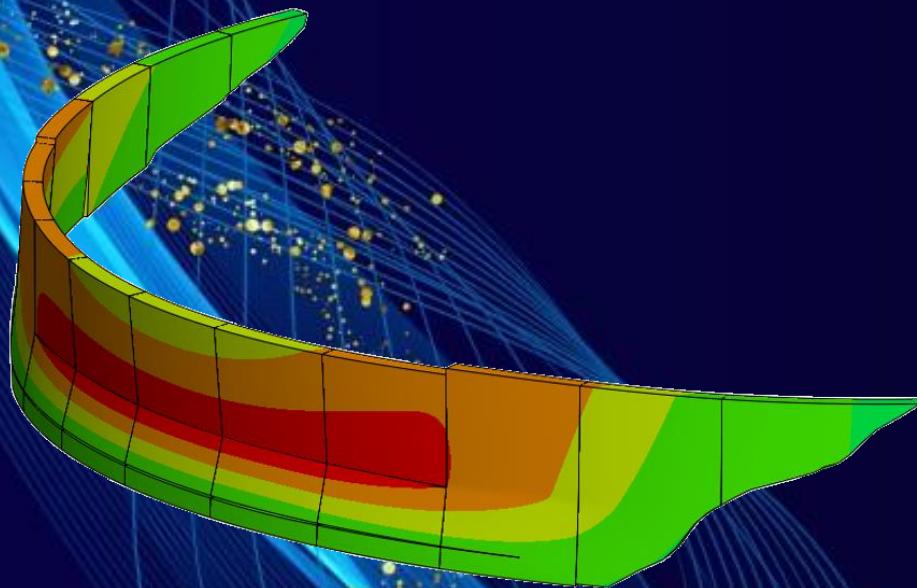
**Maitriser les risques et prolonger la durée de vie des ouvrages et équipements associés**



Barrage des Galens (France)

# Exemple effet thermique inédit

Crue rapide sur voute mince froide



# Enjeux environnementaux et sociaux

- **Réduire l'empreinte environnementale des barrages-réservoirs**

- **Éviter, Réduire, Compenser les impacts négatifs sur les écosystèmes locaux**
  - Restauration écologique et suivi environnemental
  - Minimiser les impacts en ajustant l'exploitation des ouvrages
- **Eco-conception** : Diminuer l'empreinte environnementale et préserver les ressources, à service égal, à toutes les étapes
- **Analyse du cycle de vie** : impact environnemental global de la conception à la fin de vie ; Enjeux : Mieux évaluer les atouts de longévité et du multi-usages des barrages (vs. effets négatifs)
- **Réduction de l'empreinte carbone**
  - Conceptions alternatives et Matériaux à faible émission de CO<sub>2</sub> : Béton bas carbone par ex.

**Réduction des émissions carbone, durabilité des nouveaux matériaux, passage de la conception à la réalisation**



# Exemple Eco-conception

- Surelevation du Barrage de Sans-Souci par hausses fusibles Hydroplus (Île Maurice)



Un projet et un chantier pilotés par le Bilan GES :

- Un projet sélectionné pour améliorer le bilan GES de l'Île
- Une augmentation de cote de retenue optimisée pour maximiser le gain CO<sub>2</sub> à coûts maîtrisés
- Des technologies sélectionnées pour optimiser le bilan carbone du chantier

# Évolution Numérique : outils et moyens de conception

- **Drones**

Capteurs haute résolution ouvrent des perspectives d'inspections nouvelles rapides, sûres et économiques pour toutes les infrastructures hydrauliques

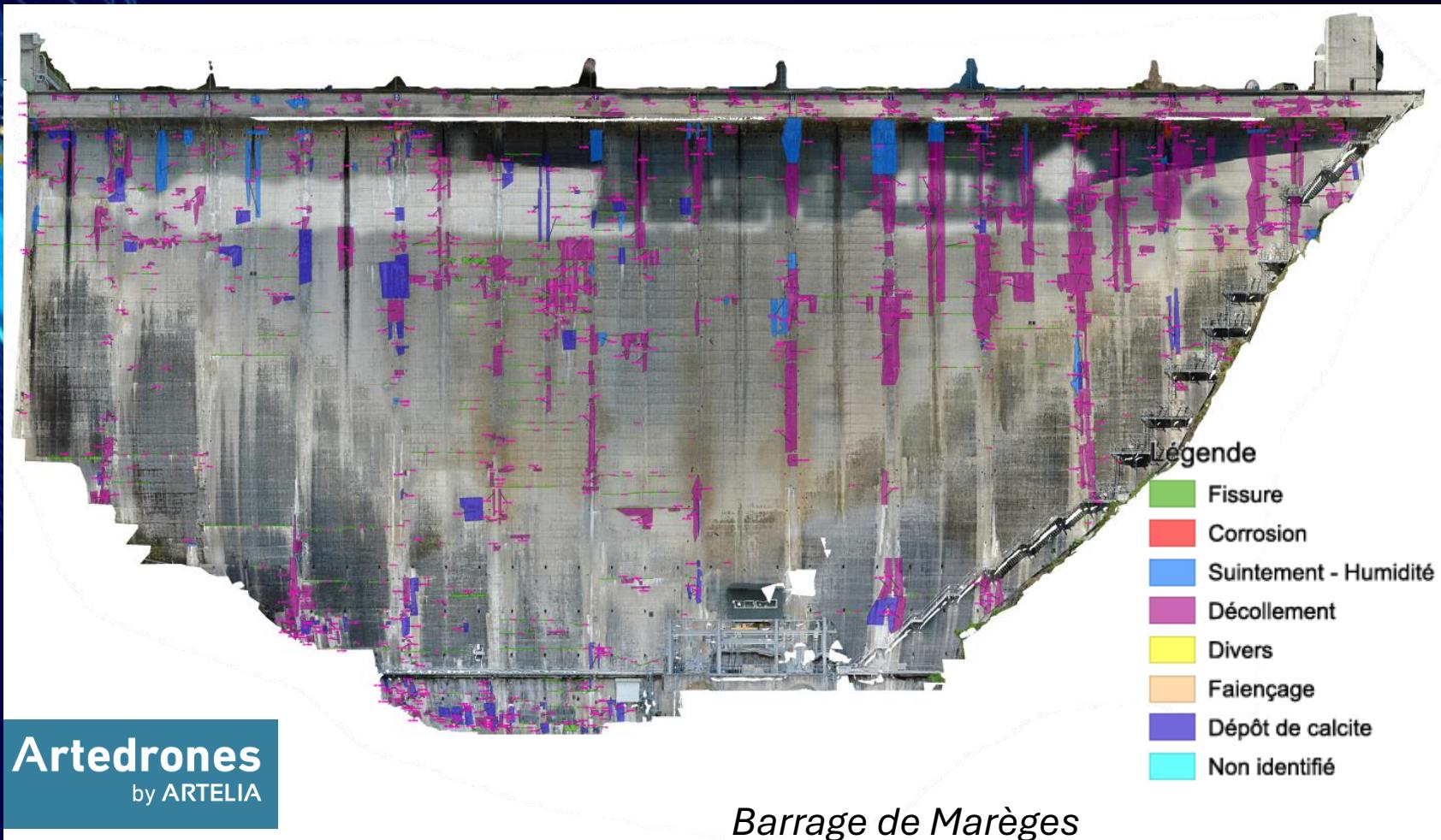
- Volumes d'informations toujours plus importants
- Pour analyser avec précision et détecter les anomalies ou alimenter des maquettes et jumeaux numériques.
- Enjeux de qualité et de fiabilité des données



Barrage de Marèges (France)

# Exemple Drone

- Inspection par Drone :Identification et suivi des parements barrage béton



# BIM, modélisations complexes et Jumeaux Numériques

- **Maquette numérique BIM intégrée**

Le BIM offre une représentation 3D complète des ouvrages et des équipements, facilitant la coordination et l'optimisation des aménagements.

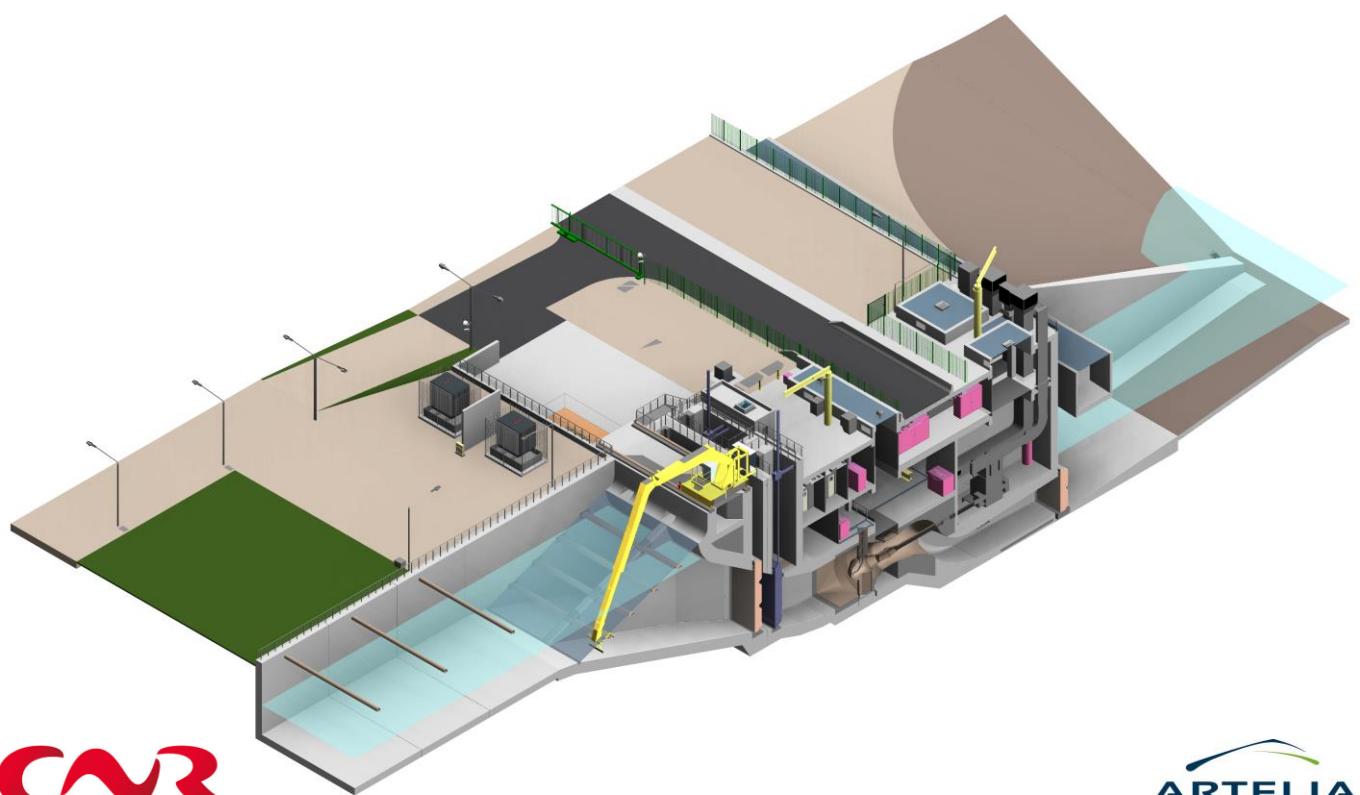
- **Simulations complexes**

Les modélisations complexes simulent contraintes hydrauliques, géotechniques, et climatiques pour optimiser la conception.

- **Jumeaux numériques, pour la surveillance, l'auscultation et la maintenance prédictive**

# Exemple BIM

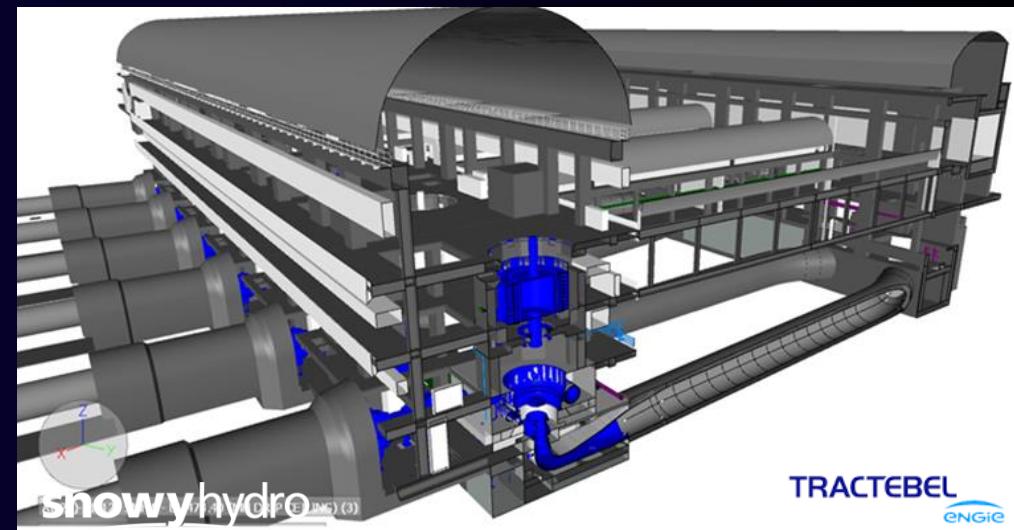
- BIM de conception de centrales hydro



**CNR**

**ARTELIA**

PCH de Charmes sur le Rhône (France)



Caverne STEP Snowy 2 (Australie)

# BIM, modélisations complexes et Jumeaux Numériques

- **Maquette numérique BIM intégrée**

Le BIM offre une représentation 3D complète des ouvrages et des équipements, facilitant la coordination et l'optimisation des aménagements.

- **Simulations complexes**

Modélisations complexes de simulation des comportements hydraulique, mécanique, thermique,... pour optimiser la conception.

- **Jumeaux numériques, monitoring et maintenance prédictive**

Les jumeaux numériques reproduisent en temps réel le comportement des infrastructures pour une maintenance prédictive efficace.

Ces technologies offrent de nouveaux outils de modélisation aux ingénieurs en environnement virtuel adaptatif, améliorant la sécurité et la durabilité des conceptions ouvrages.

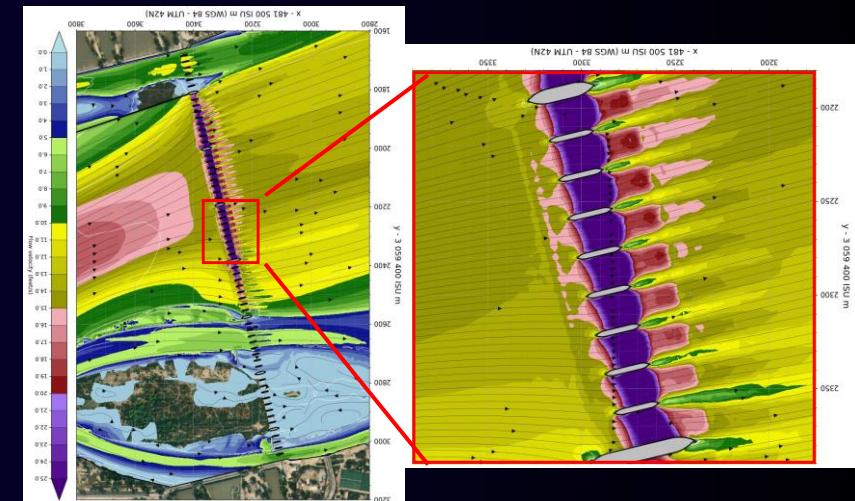
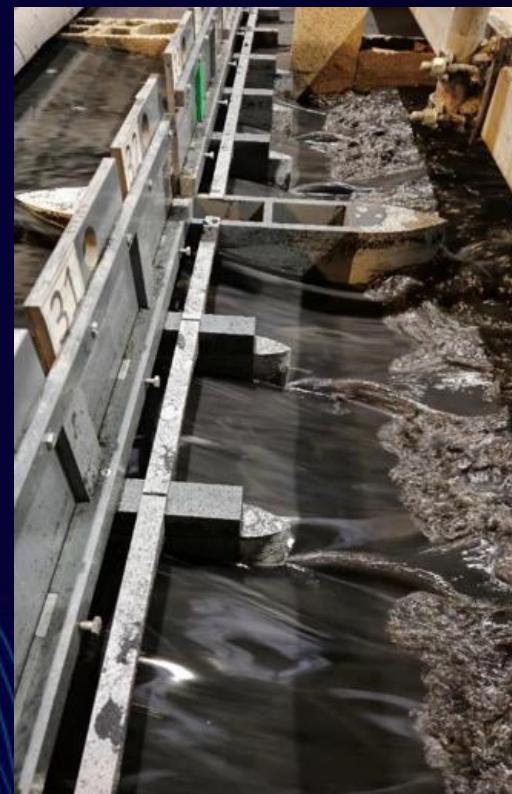
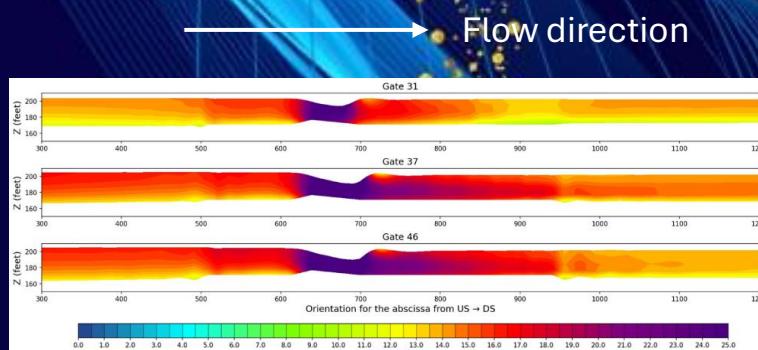
Flow direction

Flow direction

# Exemple simulation hydraulique

- Modélisation hydrodynamique 3D, multiphasique numérique et physique :

Barrage d'irrigation de Sukkur - Indus (Pakistan)



# BIM, modélisations complexes et Jumeaux Numériques

- **Maquette numérique BIM intégrée**

Le BIM offre une représentation 3D complète des ouvrages et des équipements, facilitant la coordination et l'optimisation des aménagements.

- **Simulations complexes**

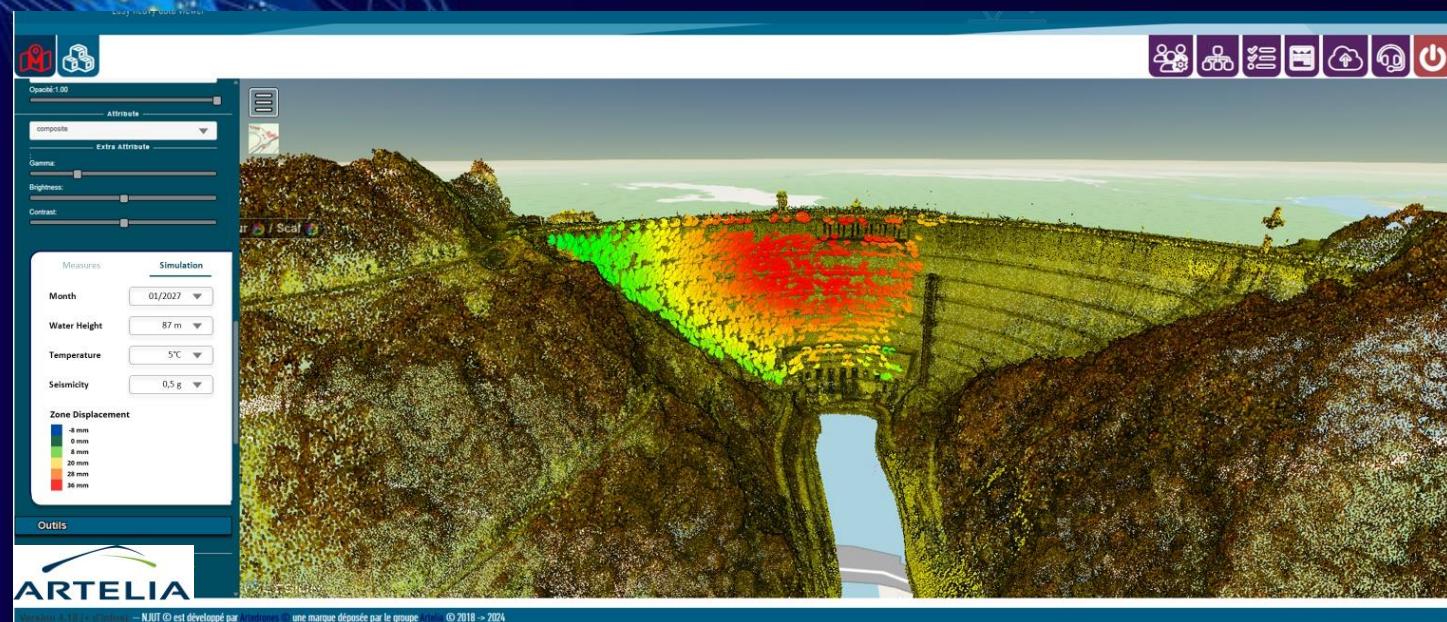
Modélisations complexes de simulation des comportements hydraulique, mécanique, thermique,... pour optimiser la conception.

- **Jumeaux numériques, monitoring et maintenance prédictive**

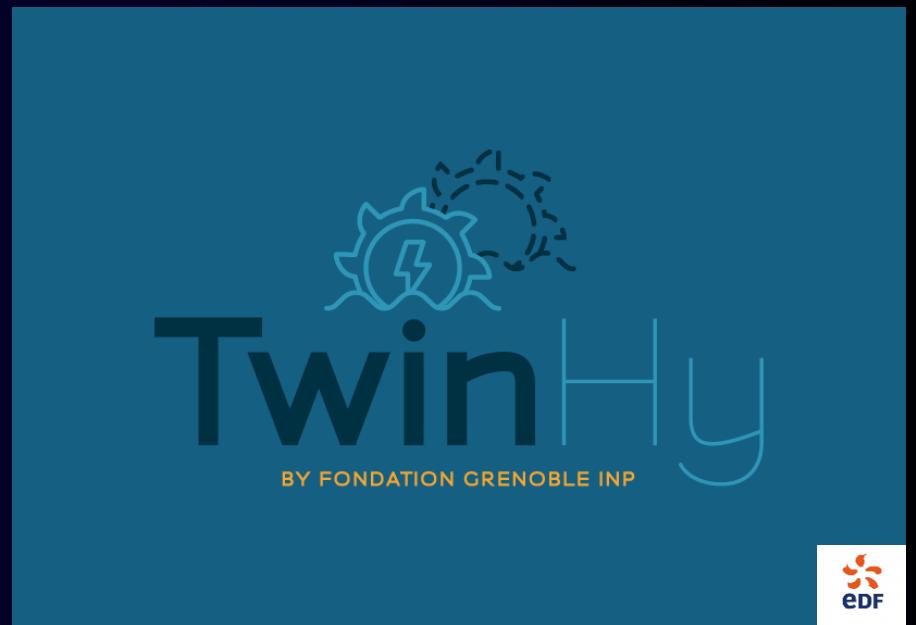
Les jumeaux numériques reproduisent en quasi-temps réel le comportement des infrastructures pour une maintenance prédictive efficace.

# Exemples Jumeaux Numériques

- JN pour les ouvrages GC/barrages, JN pour les installations hydroélectriques



Barrage voute d'Enguri (Géorgie)



# Intelligence Artificielle: Potentialités et risques

## Technologie disruptive

Machine Learning/ IA Générative (LLM)/ Agent IA  
IA du quotidien, IA scientifique et spécialisée métier



## Opportunités de l'IA

Analyse de données complexes; Prédiction et optimisation; Automatisation de la production d'études



## Limites liées aux données et aux ressources

Fiabilité dépendant fortement de la qualité et de la quantité des données.

## Dépendance et cybersécurité

Dépendance accrue aux systèmes numériques; cyber vulnérabilité

## Questions éthiques et réglementaires, responsabilité

Sobriété numérique, transparence, droits de propriété, responsabilité,...



# Futur de l'Ingénierie : quelle place pour l'Humain ?

Innover sur les outils numériques... mais jusqu'où ?

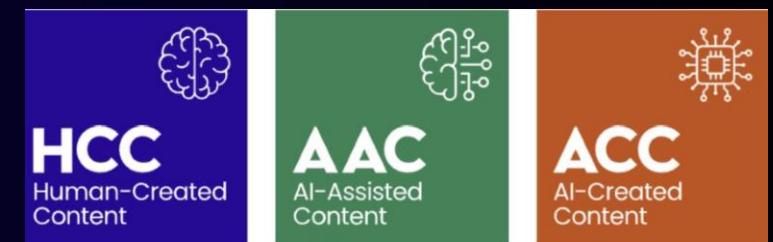
- Temporalité longue des projets de barrages-réservoirs-digue
- Importance du savoir-faire hérité de nos prédecesseurs
- Importance de l'expérience d'Ingénierie acquise à l'International

**Équilibre à trouver entre développement du numérique et Savoir-faire issu de l'expérience du réel**

=> Vers une Ingénierie hybride Humaine-IA ?



Barrage du Chambon (France)



# L'avenir de l'ingénierie des barrages et réservoirs : une passion...durable

L'Ingénierie des barrages est aussi une histoire de Passion !

Continuer à cultiver cette passion comme une « intelligence collective pluridisciplinaire » est un atout pour le futur des métiers de l'Ingénierie !



Barrage de Nam Ngum 4 (Laos)



MERCI