

# Un jumeau numérique pour l'adaptation résiliente et durable des réseaux d'eau

Piller Olivier

2024-03-28 | Projet CoRREau | Olivier Piller

## = Résilience par la conception et sécurité des réseaux d'eau

Projet ANR

❖ ETTIS (coord.), CEDRIC, Eurométropole Strasbourg (CUS), M2N, ICube

Date de début du projet : 01 mars 2023 Durée : 48 mois

Aide ANR : 490,5 k€ / 168,1 k€

Coût complet : 1676,9 k€ / 588,2 k€

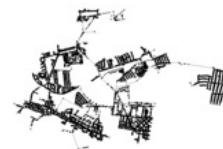
Personnel : 48 & 48 (PM)

- 2 thèses,

1. 1 en Mathématiques Appliquées (Cheima Djemel), Vers un jumeau numérique pour l'adaptation résiliente et durable des réseaux d'eau
2. 1 en Informatique (Côme Frappé-vialatoux), Estimation de distribution par algorithmes génétiques pour la détection d'attaques dans les réseaux de distribution des eaux

# = Les réseaux RDE des enjeux considérables

Préservation  
Santé  
Sécurité  
Durabilité



Réseaux complexes

Comment assurer la **qualité de service, santé et sécurité des usagers** et du réseau, et sa durabilité



Vieillissement du réseau

Comment prolonger le **cycle de vie** et maintenir la qualité de l'eau, réagir en temps réel aux défaillances



Sécurité du réseau et des abonnés

Comment **protéger** ces infrastructures d'importance vitale face à la menace physique et cyber



Réchauffement climatique

**Ressource** en eau va s'amenuiser et **résilience** par rapport aux catastrophes naturelles

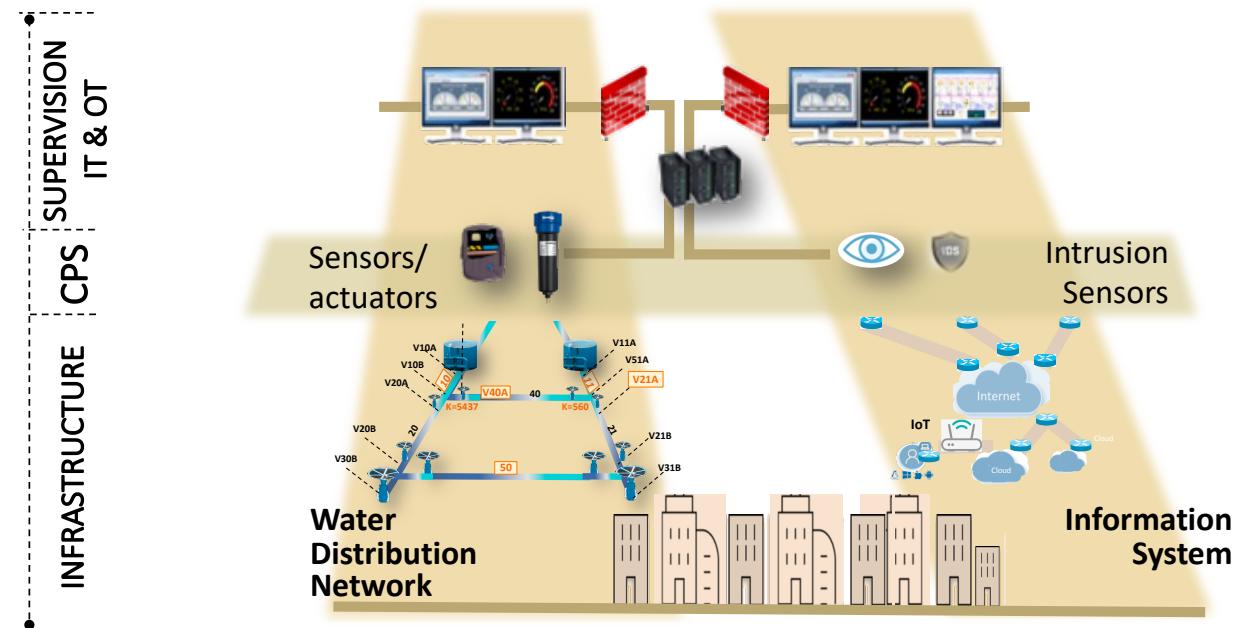


Beaucoup plus de données

Comment **gérer** le flux d'information important pour l'ajout de nombreux compteurs et capteurs intelligents

- = Deux systèmes interconnectés : Réseau distribution eau et système information

vulnérables aux cyberattaques, contaminations



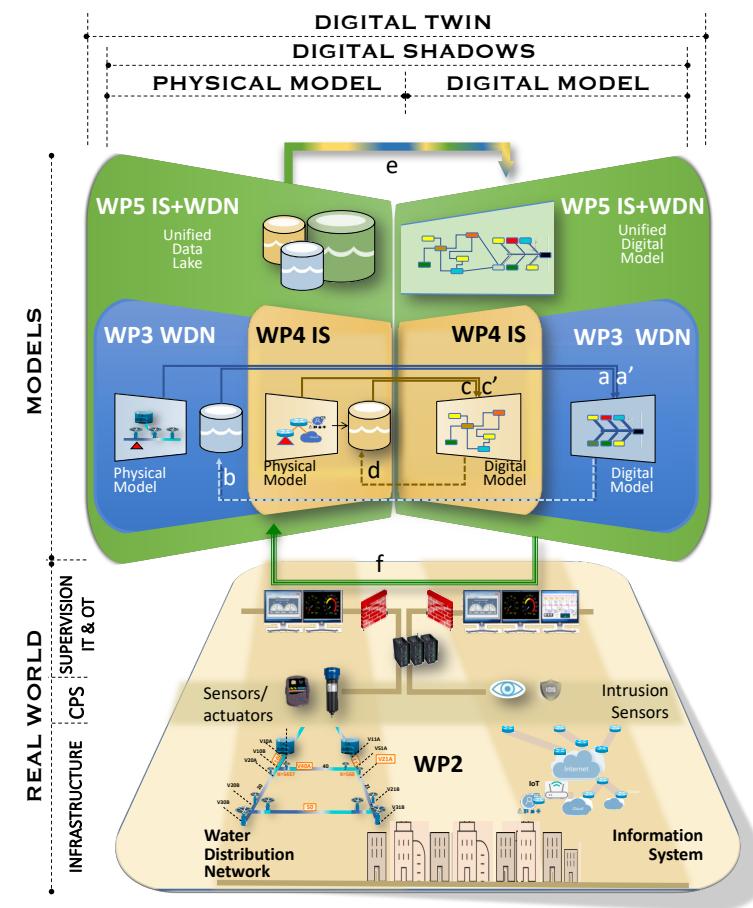
Résilience infrastructures critiques & cybersécurité

# Objectifs scientifiques et techniques

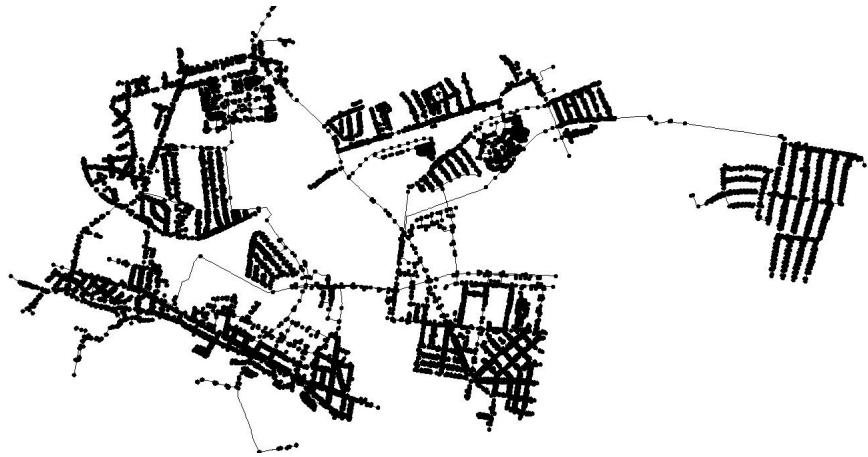
Protéger un réseau de distribution d'eau potable et ses données contre les attaques de sécurité

Etre capable de :

1. Développer un système de détection et de caractérisation des attaques,
  2. Améliorer la classification et réduire le taux de faux positifs,
  3. Développer une méthode pour améliorer la **résilience par la conception** des RDE.
- Résilience à la défaillance est la capacité de retour à la normale (ou la rapidité), plus robustesse des performances, la redondance structurelle et l'ingéniosité



## = Fronts de sciences



- Vers la caractérisation d'un état hydraulique plus durable et mesures de résilience par les modèles

$$\mathbf{F}(\mathbf{q}, \mathbf{h}) \triangleq \begin{pmatrix} \Delta\mathbf{h}(\mathbf{r}, \mathbf{q}) - \mathbf{A}^T \mathbf{h} - \mathbf{A}_0^T \mathbf{h}_0 \\ -\mathbf{A}\mathbf{q} - \mathbf{c}(\mathbf{d}, \mathbf{h}) \end{pmatrix} = \mathbf{0}_{np+nj}$$

Principe de moindre action  
et Newton amorti

$$\left\{ \begin{array}{l} \partial_t F(t, x) + U_j(t) \partial_x F(t, x) + R_j(F) = 0, \\ F(0, x) = F_{0,j}(x), \quad 0 \leq x \leq L_j, \\ F(t, 0) = \Phi_i(t), \quad \forall t \geq 0. \end{array} \right.$$

Transport indicateurs  
qualité de l'eau

Gestion durable = temps réel & adaptation

Contraintes sur  $\mathbf{h}$  et  $\mathbf{q}$

Planification pompes & vannes

Assimilation et problème inverse

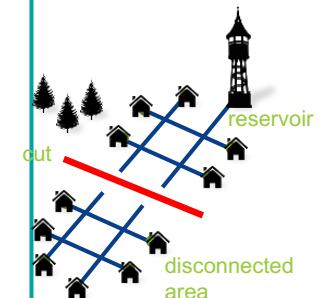
Optimisation robuste

Résilience (simulation casses)

1 casse Impact sur  $\mathbf{h}$ ,  $\mathbf{c}(\mathbf{d}, \mathbf{h})$  ?

Optimisation multi-objectif

Intelligence artificielle



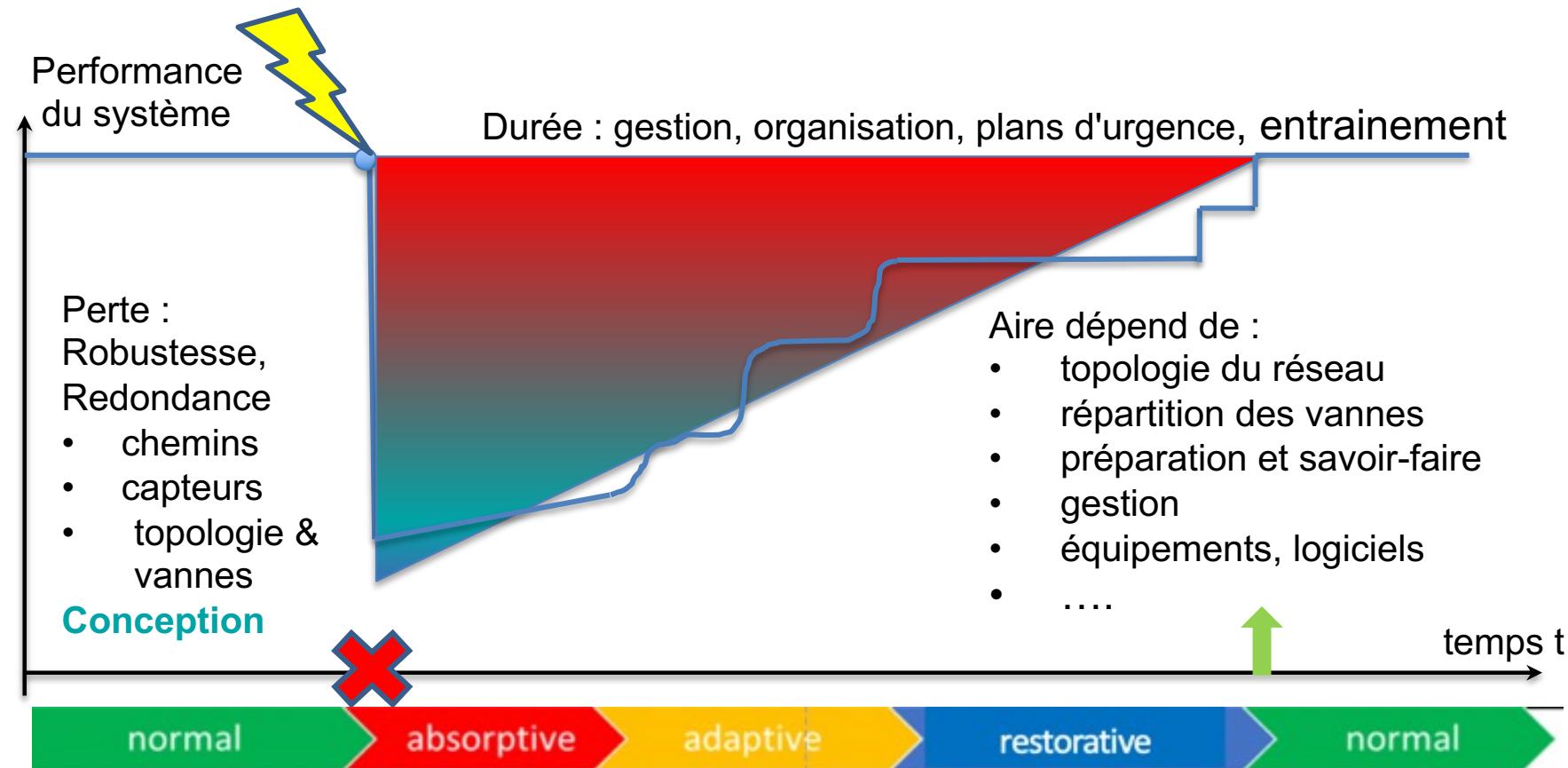
## Verrous à lever

**Modélisation & assimilation pour la Résilience et pour une Gestion opérationnelle du réseau plus durable & Contrôle de la qualité de l'eau**

- ❖ Réduction du temps de calcul pour les grande taille graphe de réseaux
  - Méthodo : Modèle d'ordre réduit
- ❖ Incertitude sur les entrées (demande, état interne conduites, vannes O/F?) et méthode de propagation d'incertitude très couteuses en temps CPU
  - Méthodo : approximation FOSM, méthodes de Monte Carlo
- ❖ Assimilation de données
  - Conceptuel : Simplification & couplage modèle avec observations en temps réel => Jumeau numérique
  - Méthodo : Calage paramètres, placement nouveau de capteurs

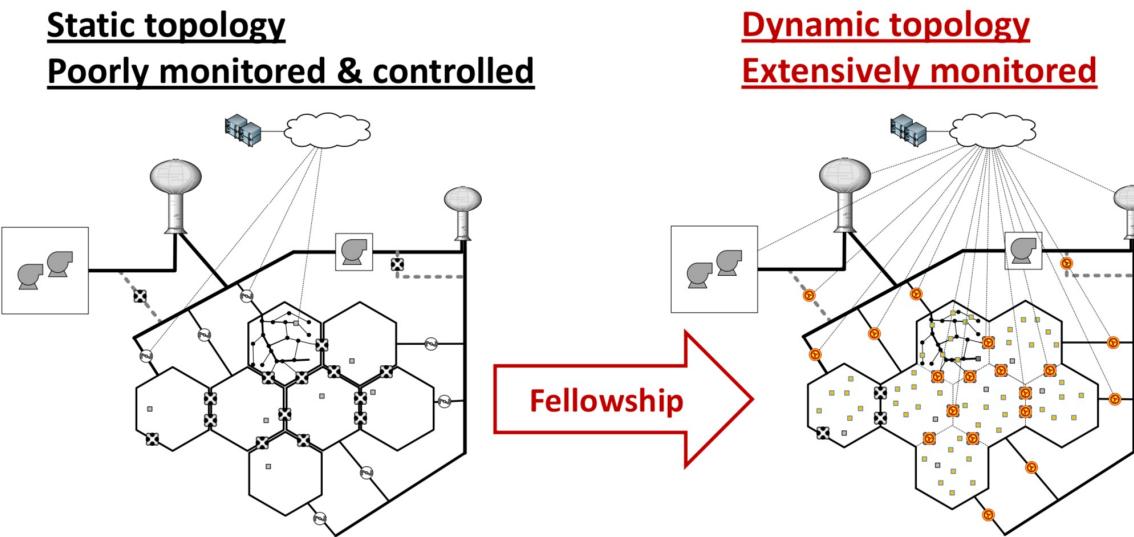
## = Positionnement par rapport à l'état de l'art

Digital Twin for WDN resilience



ResiWater (2015-2018) <https://www.resiwater.eu/>

## = Reconfigurations de réseaux et limites



**Topologies pas généralisable à la situation en France et en Europe**

### KWR Water Research Institute

Concept de réseaux autonettoyants en assurant une vitesse minimale et en fermant des conduites

- Eau décolorée/sédiments, Vreeburg et al. (2009)
- Placement de vannes de régulation & contrôle optimal, Abraham et al. (2017)

**Fermer les chemins de l'eau ou limiter la redondance pas une solution résiliente.**

**Ivan Stoianov EPSRC 2017-2022**

District metered Areas (5000 Pop)

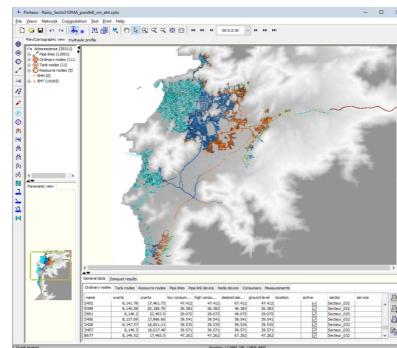
Simulation + Optimisation MO &

Contrôle robuste

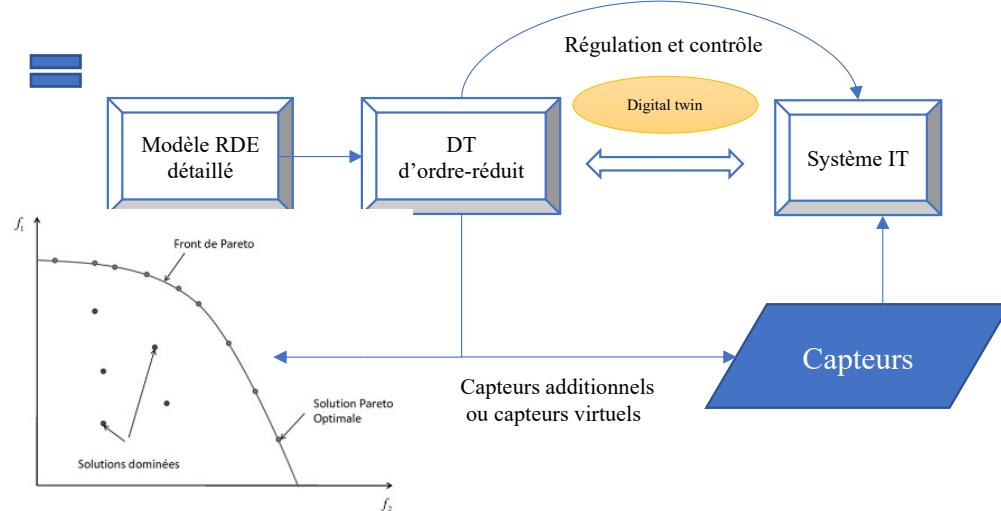
- MINLP la conception pour le contrôle, Ulosoy *et al.* (2020)
- Contrôle optimal des pompes (VSP) & valves, Nerantzis *et al.* (2020)

## = Solution par modélisation (le DT) & assimilation

1. Gestion opérationnelle durable des pression et débits, réduction fuites et utilisation énergie. **Pb optimisation**
2. Adaptation du réseau pour une résilience by design, (partitionnement, vannes, vitesses min et max, capteurs réels et virtuels, actuateurs). **Pb optimisation**
3. Gestion incidents et contrôle de la qualité de l'eau distribuée. **Détection.**
  - Résoudre les pb optimisation => **modèle d'ordre réduit (DT)** connecté aux données



**Gratuiciel Porteau**

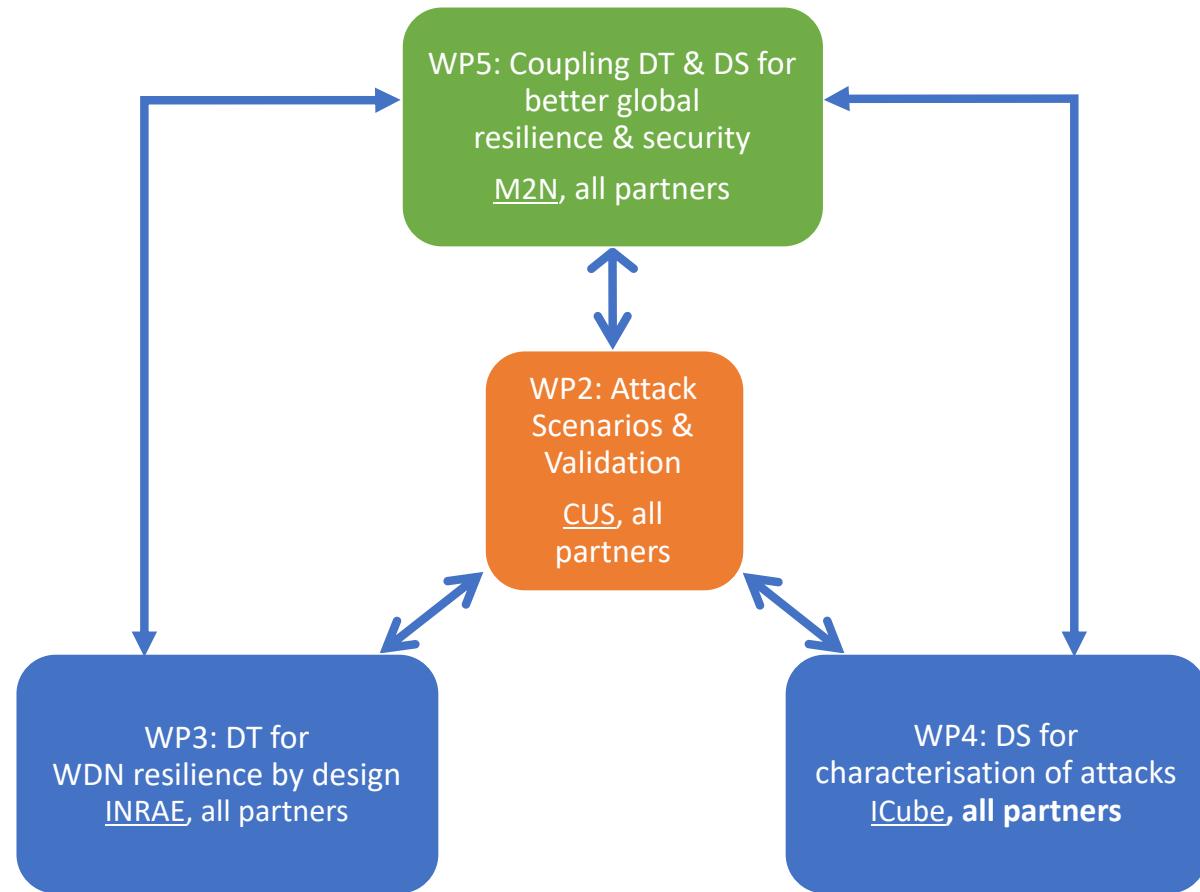


## = Retombées attendues

- Scientifiques
  - Jumeau numérique DT-ROM du RDE (résilience, gestion durable)
  - Ombre numérique DS du SI (GA explicables, MO)
  - Interdisciplinarité
- Techniques
  - Code réutilisable, plateforme EASEA Icube
  - INRAE complétera sa plateforme logicielle avec un module de résilience by design
- Socio-économiques
  - Gestion durable & résiliente Eurométropole Strasbourg (court-terme), autres services des eaux en France et EU (futur)

## = Méthode et programme de travail

Digital Twin for WDN resilience





# Merci

Olivier Piller  
[www.correau.fr](http://www.correau.fr)

2024-03-28 | Projet CoRREau | Olivier Piller