



**HAL**  
open science

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

Olivier Piller

► **To cite this version:**

Olivier Piller. Un jumeau numérique pour l'adaptation résiliente et durable des réseaux d'eau. 33<sup>e</sup> Journée de la recherche 2024 - Jumeau numérique de la France - Faire commun avec les jumeaux thématiques et territoriaux., Université Gustave Eiffel, IGN et ENSG-Géomatique, Mar 2024, Champs Sur Marne, France. hal-04572638

**HAL Id: hal-04572638**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04572638>**

Submitted on 11 May 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# 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**



Viellissement 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

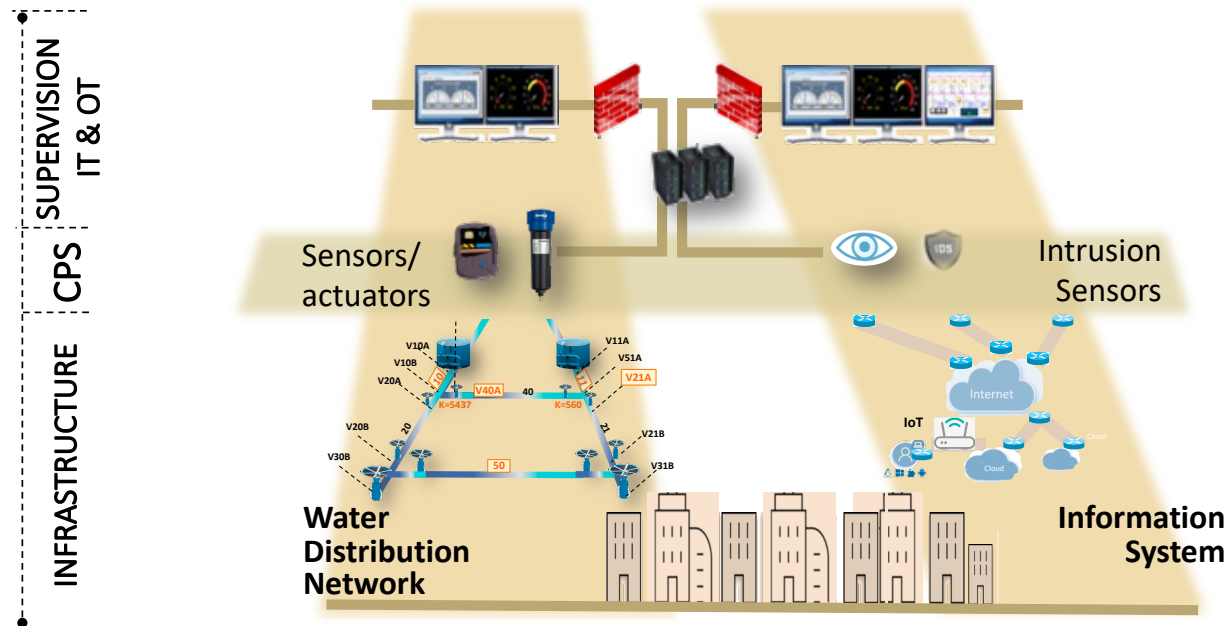


Beaucoup plus de données

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



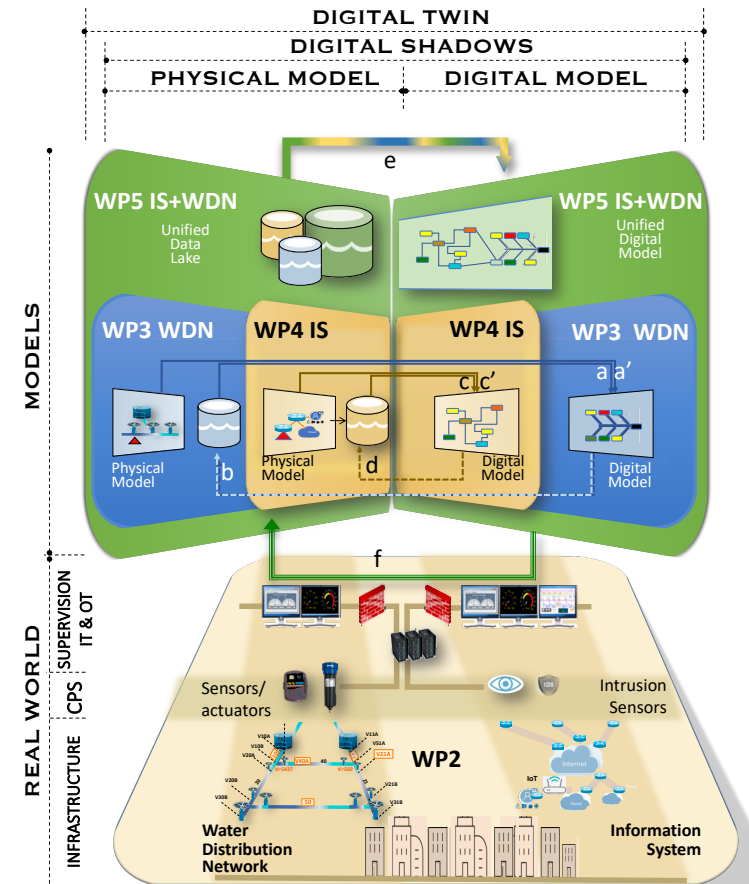
## Résilience infrastructures critiques & cybersécurité

# = Objectifs scientifiques et techniques

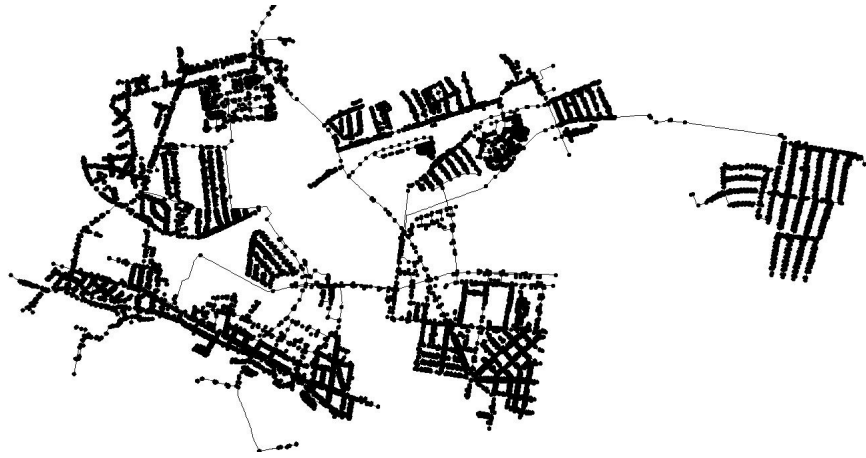
Protéger un réseau de distribution d'eau potable et ses données contre les attaques de sécurité

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

### Gestion durable = temps réel & adaptation

Contraintes sur  $h$  et  $q$

Planification pompes & vannes

Assimilation et problème inverse

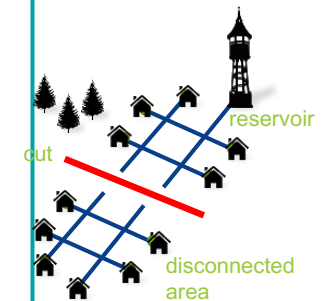
Optimisation robuste

Résilience (simulation casses)

1 casse Impact sur  $h, c(d, h)$  ?

Optimisation multi-objectif

Intelligence artificielle



$$\begin{cases} \partial_t F(t, x) + U_j(t) \partial_x F(t, x) + \mathbf{R}_j(\mathbf{F}) = 0, \\ F(0, x) = F_{0,j}(x), \quad 0 \leq x \leq L_j, \\ F(t, 0) = \Phi_i(t), \quad \forall t \geq 0. \end{cases}$$

Transport indicateurs  
qualité de l'eau

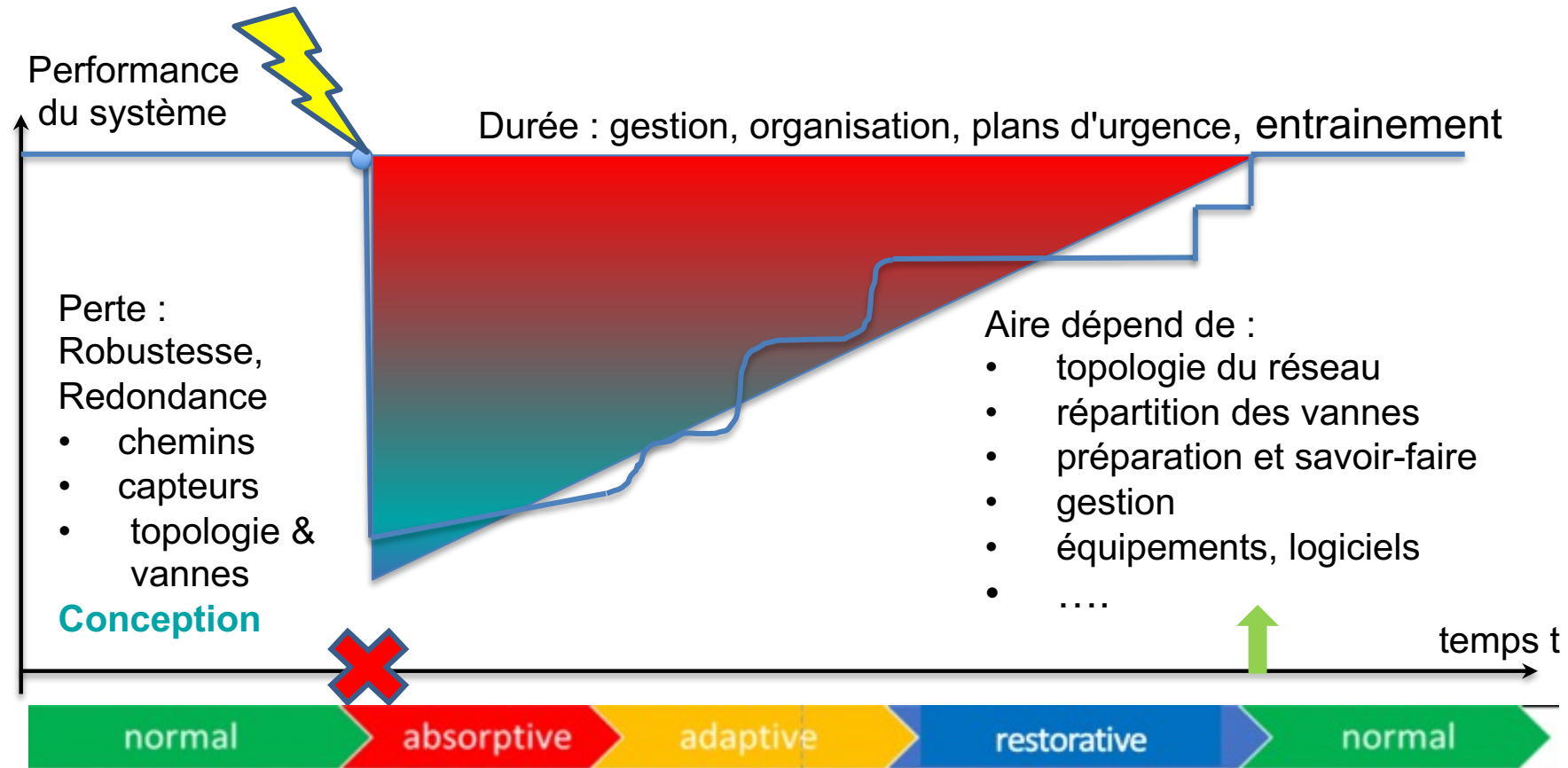
## = Verrous à lever

**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

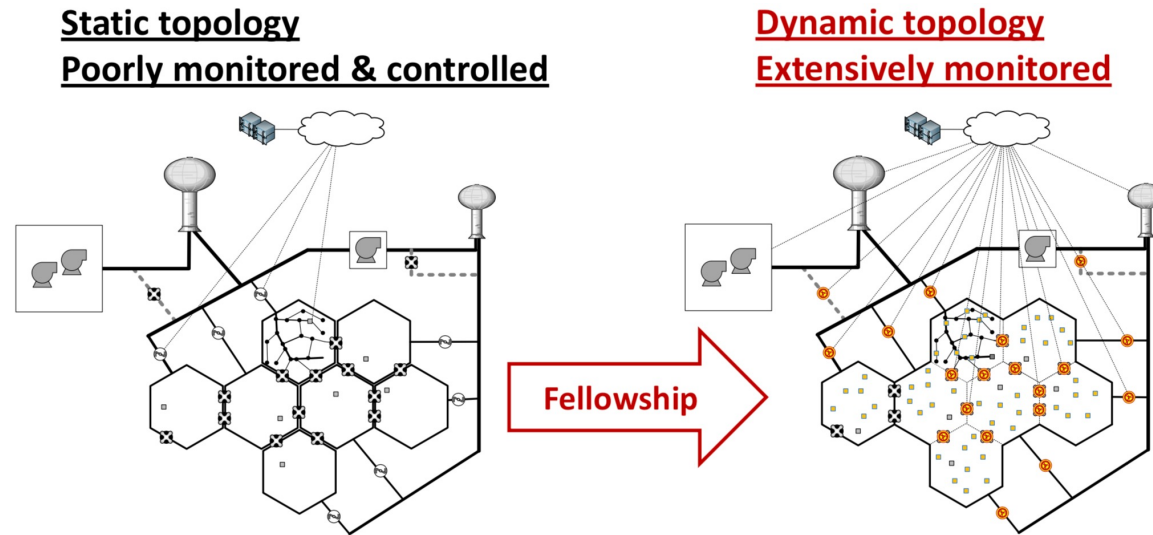


# = Positionnement par rapport à l'état de l'art



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.

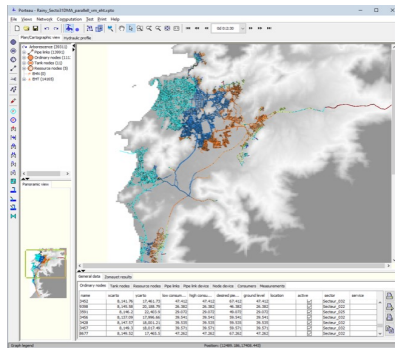
## Ivan Stoianov EPSRC 2017-2022

District metered Areas (5000 Pop)  
Simulation + Optimisation MO &  
Contrôle robuste

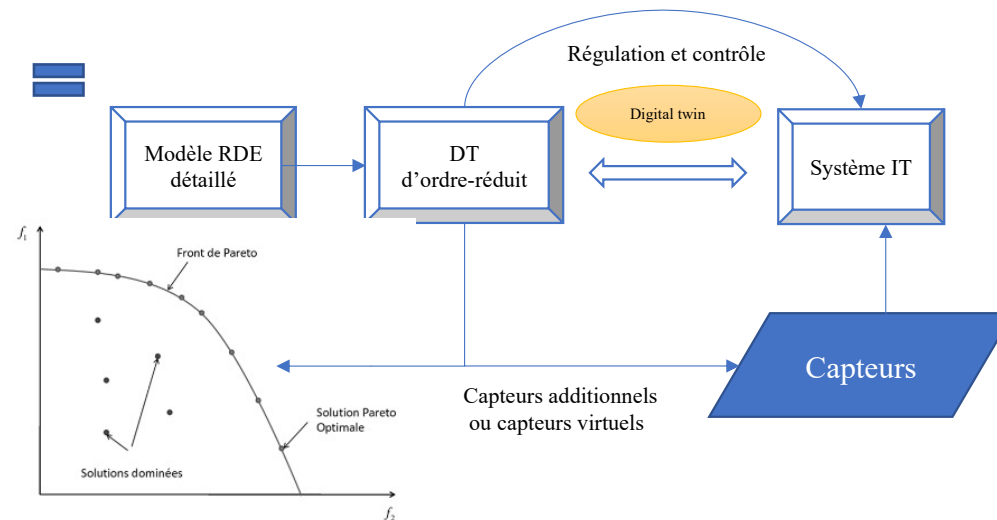
- MINLP la conception pour le contrôle, Ulosoy *et al.* (2020)
- Contrôle optimal des pompes (VSP) & valves, Nerantzis *et al.* (2020)

# = 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



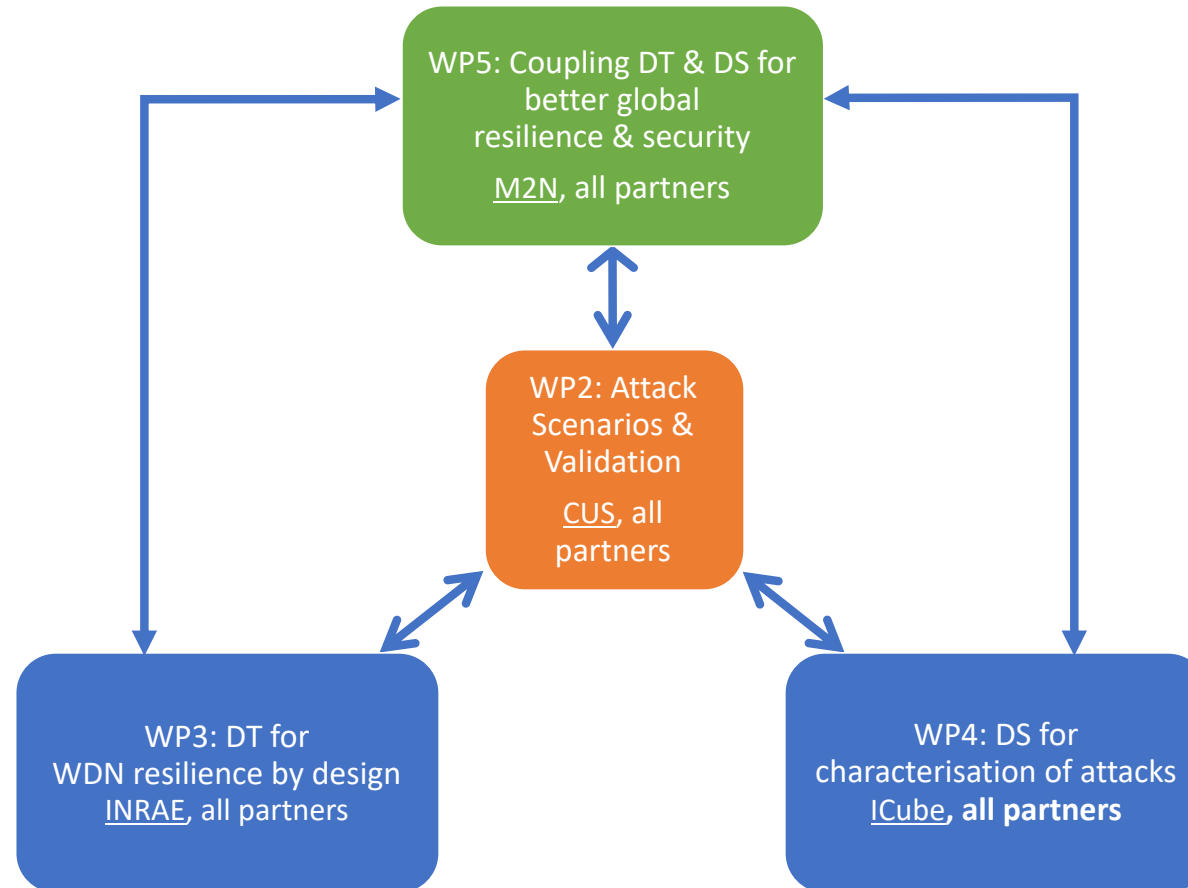
Gratuciel Porteau



## = 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





Merci

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

2024-03-28 | Projet CoRREau | Olivier Piller