

# Digital Twins for Cyber-Physical Systems DT4CPS (ANR-23-CE10-0010-01)

Réunion du 17 septembre 2024

Visio

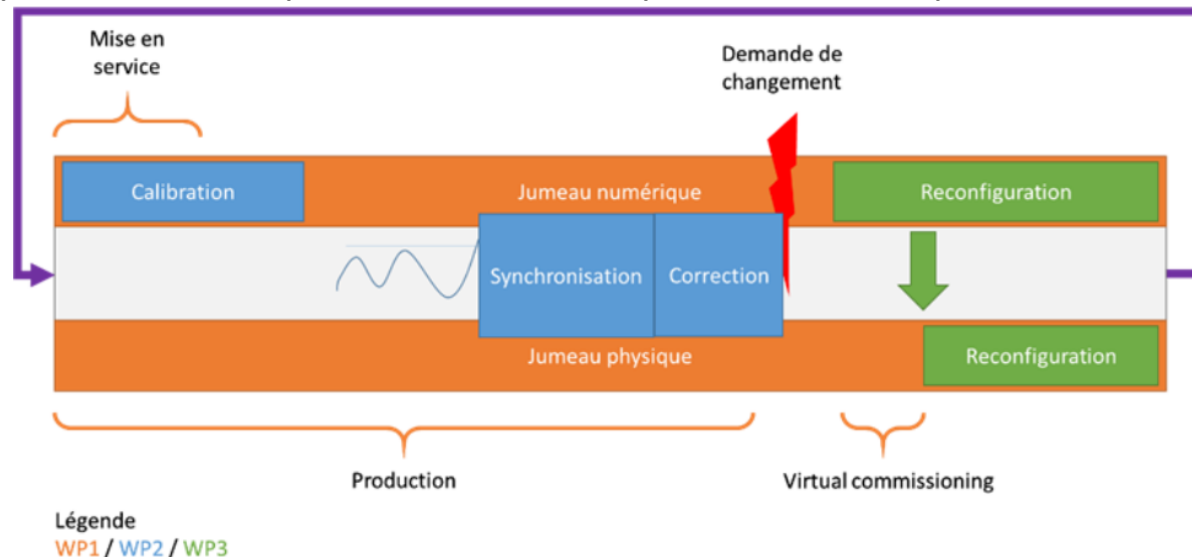
[https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19:WYknjvSoSunmLUpioP\\_0zi34IU-1h0-JARFjr3eiCF41@thread.tacv2/1726572505580?context=%7B%22Tid%22:%22b6e9f66c-e611-45c5-ac6c-953a691c3ad3%22,%22Oid%22:%22b7d4c859-95da-467c-83de-fa0b3618ecc1%22%7D](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19:WYknjvSoSunmLUpioP_0zi34IU-1h0-JARFjr3eiCF41@thread.tacv2/1726572505580?context=%7B%22Tid%22:%22b6e9f66c-e611-45c5-ac6c-953a691c3ad3%22,%22Oid%22:%22b7d4c859-95da-467c-83de-fa0b3618ecc1%22%7D)

# Ordre du jour

- 1.- Avancement du recrutement des doctorants (WP2 & 3)
- 2.- Synthèse des travaux en cours sur les WP en Y1Q3
- 3.- Informations diverses

# Scenari envisagé

- Disposer d'une architecture entre JN et JP multi-échelles et donc multi-modèles permettant l'échange de données.
- Sur la phase de production, l'exploitation du JN ne pourra se faire que si celui-ci est aligné avec son JP.



- Une demande de reconfiguration (logique ou physique) du SCPP passera par une étape de déphasage des jumeaux afin d'évaluer les capacités de reconfigurabilité du système sur le JN par une mise en service virtuelle avant de reconfigurer le JP en garantissant la sûreté de fonctionnement.
- Le SCPP se retrouve alors comme dans la phase initiale et nécessite à nouveau de passer par les étapes de calibration/synchronisation/correction.

# WP1 : Méthodologie pour la mise en place d'un JN multi-échelles (S. Henry)

## **PB1** : *Comment tester et valider un Jumeau Numérique ?*

- Par définition, un CPS évolue à des échelles temporelles et spatiales multiples. Il est donc nécessaire que le JN, lui-même défini comme un ensemble de modèles, évolue également dans un environnement multi-échelle.

**OB1** : Proposer une méthodologie permettant de mettre en place un jumeau numérique intégrant les modèles et données nécessaires à la fois à l'automaticien (à l'échelle du contrôleur d'un SCP) et au producticien (à l'échelle d'une ligne composée de SCP, *i.e.* SCPP).

- Une architecture de JN orientée données sera proposée permettant de gérer les différents flux de données entre jumeaux (physique et numérique) à chaque étape de leur cycle de vie, en lien avec les standards de données existants dans ce contexte.
- Une étude sur l'interopérabilité des systèmes d'informations nécessaires (ERP/PLM/MES) sera effectuée.

# WP1 : Méthodologie pour la mise en place d'un JN multi-échelles (S. Henry)

- *Tâche 1.1 : Architecture des JN - État de l'art et interopérabilité technique*

**Livrable D1.1** : État de l'art sur l'interopérabilité technique.

- *Tâche 1.2 : Standards de données et interopérabilité sémantique*

**Livrable D1.2** : Cartographie de standards pour l'interopérabilité technique et sémantique.

- *Tâche 1.3 : Modèles d'architecture et de données pour le JN*

**Livrable D1.3** : Proposition d'un modèle d'architecture de JN et de données pour les autres WPs.

# WP1 : état d'avancement

**WP1**  
**Prévu**

Durée 48 mois				Y1				Y2			
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP1	Méthodologie pour la mise en place d'un JN multi-échelles (Sébastien HENRY)			M3	M6	M9	M12	C5	M18	M21	M24
	T1.1	David ANNEBICQUE	Architecture des JN - État de l'art et interopérabilité technique								
	T1.2	Vincent CHEUTET	Standards de données et interopérabilité sémantique								
	T1.3	Sébastien HENRY	Modèles d'architecture et de données pour le JN								

post-doc

**WP1**  
**Réalisé**

Durée 48 mois				Y1				Y2			
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP1	Méthodologie pour la mise en place d'un JN multi-échelles (Sébastien HENRY)			M3	M6	M9	M12	C5	M18	M21	M24
	T1.1	David ANNEBICQUE	Architecture des JN - État de l'art et interopérabilité technique								
	T1.2	Vincent CHEUTET	Standards de données et interopérabilité sémantique								
	T1.3	Sébastien HENRY	Modèles d'architecture et de données pour le JN								

post-doc

1 master du 20/03 au 30/09  
M. Karthikeyan SELVARAJAN  
MBSE-Based Architecture for Digital Twin Implementation in  
Manufacturing System

1 IGE/postdoc du 01/10 au 30/09  
Mme Xeniya PYSTINA  
Doctorante DISP, soutenance novembre 2024

→ Impact limité du décalage sur les autres WP si premiers livrables fin Y2-Q1

# WP1 : état d'avancement

1 master du 20/03 au 30/09, M. Karthikeyan SELVARAJAN

MBSE-Based Architecture for Digital Twin Implementation in Manufacturing System

Supervisor, Sébastien HENRY, MCF HDR Université Lyon 1, Vincent CHEUTET, Professeur INSA Lyon

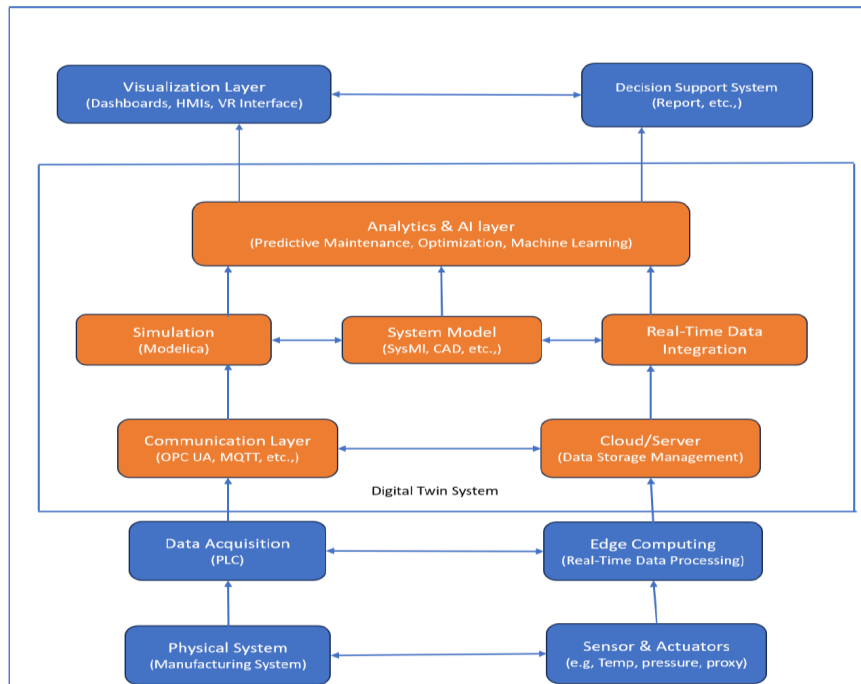


Figure 5: A system architecture

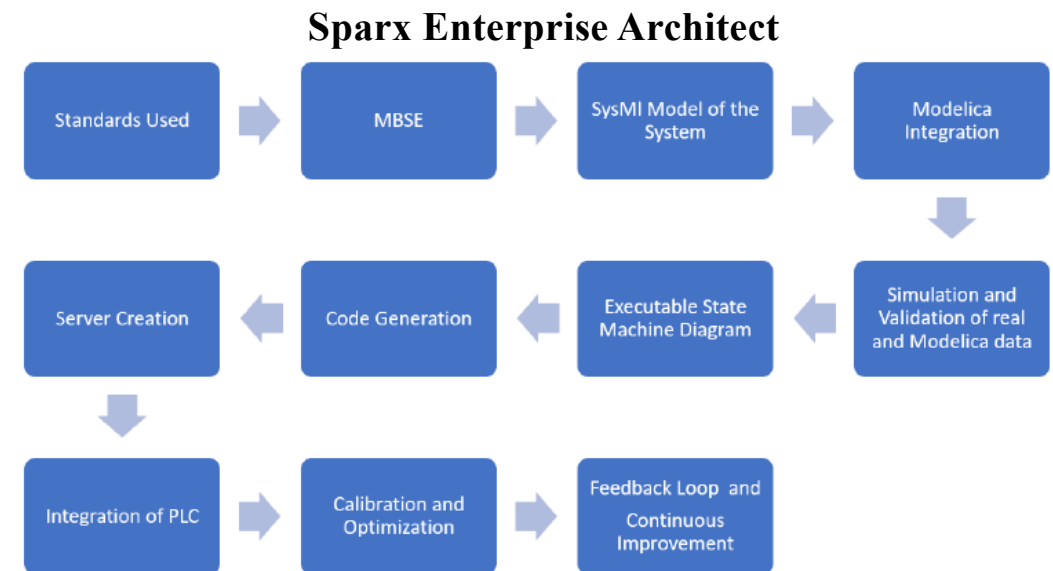


Figure 6: MBSE-Based Methodology for Digital Twin Development and Integration

# WP2 – Garantir l’alignement des jumeaux

- **PB2** : Comment assurer la concordance comportementale et la synchronisation temporelle entre le Jumeau Physique et le Jumeau Numérique ?

En effet, la notion même de jumeau évoque une ressemblance physique mais aussi comportementale. Le JN doit avoir un comportement concordant avec celui de son jumeau physique. D’un point de vue temporel, une instance du JN doit de plus être synchronisé quand d’autres instances du JN pourront évoluer à des échelles de temps différentes, tant dans le passé que le futur à partir d’un instant choisi. Dans une situation de non-alignement des deux jumeaux, comportemental et/ou temporel, il en découle des sous-questions comme : (i) Quel jumeau doit être mis à jour ? (ii) Quelles actions cette mise à jour nécessite ? (lien avec PCP-04, PCP-06).

- **OB2** : Pour répondre au PB2, le consortium a identifié trois grandes phases d’étude :
    - La première consistera à valider l’**alignement des jumeaux** en se basant sur l’évaluation de la concordance comportementale des jumeaux et de leur synchronisation temporelle.
    - Puis, avant l’exploitation du JN, la deuxième phase s’attachera à **initialiser le JN**, appelée **phase de calibration**. Il sera alors nécessaire d’ajuster les modèles numériques du JN pour aligner son comportement sur le Jumeau Physique.
    - En usage du JN à la suite de l’observation d’un défaut d’alignement, la troisième phase visera à définir les **actions correctives** en ayant au préalable pris soin d’identifier le jumeau à corriger, numérique ou physique.
- La réponse scientifique apportée sera développée dans le WP2 : **Garantir l’alignement des jumeaux**.



# Sujet de thèse WP2

- Titre : Méthodologie d'évaluation de l'alignement d'un jumeau numérique d'un CPPS multi-niveaux
- Descriptif (points-clés) :
  - Points de vue à 2 niveaux : **automaticien**, producticien)
  - Système à plusieurs niveaux : **automates**, équipements, ligne
  - Calibration d'un jumeau numérique pour aligner les différents modèles numériques avec leur contrepartie physique
    - Définition d'indicateurs d'alignement d'un jumeau numérique avec son jumeau physique
    - Définition d'un écart acceptable entre les comportements des deux jumeaux
      - Mise en place de correctifs (sur l'un ou l'autre des deux jumeaux, selon le cas)
  - Acceptabilité comportement et temporelle

# Processus de recrutement en cours

- Juin 2024 : communication de l'offre de thèse (en français et en anglais)
  - Réseaux : SAGIP, S.mart, GdR MACS, ...
  - ABG (association Bernard Grégory)
  - Laboratoires respectifs et contacts
- Juillet 2024 :
  - Réception de 9 candidatures
  - **Entretien** avec candidat #1 (un 2<sup>ème</sup> était prévu) – 15/07
- Août 2024
  - Réception de 8 nouvelles candidatures
- Septembre 2024
  - **Entretien** avec 3 candidats (#2 - #4) – 12/09
  - Réception d'une dernière candidature (#5)
  - **Entretien** avec ce dernier candidat (#5) - aujourd'hui

# WP2 – Etat d'avancement

- Planning initial

WP2	Garantir l'alignement des jumeaux (Patrice LECLAIRE)			M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21
	T2.1	Roberta C. AFFONSO	Mesure d'un alignement acceptable des jumeaux			C	Thèse			
	T2.2	Bart LAMIROY	Calibration du Jumeau Numérique							
	T2.3	Valéry WOLFF	Correction des jumeaux							

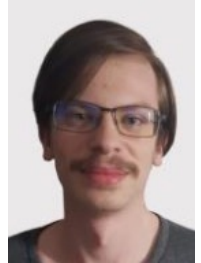
- Planning actuel

WP2	Garantir l'alignement des jumeaux (Patrice LECLAIRE)			M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21
	T2.1	Roberta C. AFFONSO	Mesure d'un alignement acceptable des jumeaux			C	Thèse			
	T2.2	Bart LAMIROY	Calibration du Jumeau Numérique							
	T2.3	Valéry WOLFF	Correction des jumeaux							

- décalage du recrutement pour la thèse + 3 mois
- décalage de la rédaction du papier de conférence + 3/6 mois

# Recrutements

WP3 : Mathieu Roisin a été retenu par l'ED MPSNI pour la thèse DT4CPS (CReSTIC – Quartz)



## FORMATION

---

**2021-(2024) ISAE-SUPMECA Paris**, troisième année (Master 2<sup>ème</sup> année)

École d'Ingénierie Mécanique, Design, Production, Logistique

Option : Mécatronique et Systèmes Complexes

Projet :

- Synthèse de contrôleurs logiques basée sur la programmation par contraintes, valorisée par une communication à la conférence IEEE/IFAC CoDIT 2024 (Malte).
- Participation au concours ROBAFIS en équipe de 10 : deux prix gagnés, d'encouragement et des sponsors (partagés avec une autre équipe)
- Dimensionnement d'un aileron d'avion commandé électriquement
- Dimensionnement d'une éolienne verticale de petite taille
- Responsable du club d'aviron d'ISAE-Supméca

**03/2024-09/2024 Stage ingénieur dans le laboratoire de recherche du CReSTIC de l'université de Reims Champagne-Ardenne**

Travail de recherche avec des enseignants-chercheurs et des doctorants.

- Vérification qu'un ensemble de contraintes respecte les exigences fonctionnelles et de sécurité. Modélisation en DEPS et résolution à l'aide de la programmation par contrainte.
- Rédaction d'un article pour la conférence IEEE/IFAC CoDIT 2024.
- Rédaction d'un article pour une revue internationale (en cours).

# **Doctorant WP3**

**Sujet de thèse :**

**Méthodes et outils pour la commande et la reconfiguration des Systèmes Cyber-Physiques de Production**

**Mots clés :**

Industrie 4.0, Jumeau numérique, méthodes et outils pour la commande et reconfiguration des systèmes cyber-physiques, Modélisation de problèmes, Programmation par contraintes, Interactions Humain-système

**Discipline (spécialité) :** Automatique, Informatique industrielle

**Directeur de thèse :** Bernard RIERA – URCA-CReSTIC – [bernard.riera@univ-reims.fr](mailto:bernard.riera@univ-reims.fr)

**Co-directeur :** Pierre-Alain YVARS – ISAE-SUPMECA – QUARTZ - [pierre-alain.yvars@isae-supmeca.fr](mailto:pierre-alain.yvars@isae-supmeca.fr)

**Encadrant :** David ANNEBICQUE – URCA - CReSTIC – [david.annebicque@univ-reims.fr](mailto:david.annebicque@univ-reims.fr)

# Doctorant WP3

**Mathieu Roisin**

Ingénieur ISAE-Supméca en octobre 2024

**Mini projet MBSS + Projet de synthèse ISAE-Supméca :**

→ Synthèse de contrôleur et PPC.

**Stage de fin d'études CRESTIC :**

→ Approche structurée à base de modèles pour la synthèse de contrôleur.

M. Roisin, P-A. Yvars, B. Riera, "Constraint Programming for Logic controller Synthesis", proc of IEEE/IFAC 10th International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2024.

# Doctorant WP3

- Audition ED MPSNI – URCA le 16 septembre 2024
- Début de thèse au 1<sup>er</sup> octobre 2024

## **Etude bibliographique :**

- Commande et reconfiguration de CPPS.

## **Formations complémentaires envisagées :**

- Ecole d'hiver CT IMS<sup>2</sup> - SAGIP - 18-21 novembre 2024 - LS2N – Nantes.
- Ecole SED - SAGIP - 12-14 mars 2025 – Nantes.

## **Mini projet MBSS :**

- ➔ Représentation en intension d'un problème de synthèse de contrôleur à modes de marches.

## WP4

- Fabien Emprin : Proposition prochaine d'un protocole pour analyser les contraintes des métiers



# Informations diverses

- Visual Component : 6 licences d'essai => Peu de retours pour le moment (voir Idriss ?)
- FlexSim : Patrice ? => organisation d'une rencontre/visio prochaine
- Site internet à alimenter : <https://dt4cps.fr/fr/> (Merci David)

# Plan de gestion de données (PGD)

Le coordinateur ou la coordinatrice du projet s'engage à :

- Fournir un PGD qui devra être transmis à l'ANR à T0+6 avec mise à jour à mi-parcours (si projet > 30 mois) et à la fin du projet
- Un livrable avec 3 versions.

L'ANR recommande l'utilisation de son modèle de PGD, disponible sur l'outil DMP OPIDOR de l'INIST pour une saisie en ligne

... Merci Vincent

# Oasis – Grégoire Vautrin CPS CE10 - ANR

Dans sa démarche de simplification, l'ANR met à disposition des coordinateurs un nouvel outil de suivi scientifique « OASIS ».

- Deux fiches disponibles pour renseigner à tout moment les avancées :
  - Une fiche (**confidentielle**) « Scientifique, compte rendu » comme livrable scientifique en fin de projet (dans un délai de 3 mois après le Tfinal = 07/01/2028).
  - Une fiche (**public**) « Communication, résumé » qui permet d'alimenter la page-projet sur le site de l'ANR <https://anr.fr/Projet-ANR-23-CE10-0010>.
- Une fiche « Scientifique, ex-post » prendra le relais de la fiche « compte rendu » après l'achèvement du projet pour :
  - accéder/compléter/télécharger le contenu déjà renseigné et
  - retrouver toutes les productions signalées dans HAL, même postérieures à la fin du projet.
- Si le projet est collaboratif, les Resp. Scientifiques des partenaires peuvent compléter la partie « Résultats » et « Bilan ».
- La fiche « résumé » n'est modifiable que par le coordinateur.
- OASIS est automatiquement alimenté par des sources externes. D'où renseigner DT4CPS\_V3 ou ANR-23-CE10-0010 :
  - Lors d'un dépôt/signalement des productions du projet dans HAL
  - Lors d'un dépôt de jeux de données dans Recherche Data Gouv
  - Lors de la rédaction/mise à jour de votre Plan de Gestion des Données sur l'outil DMP\_OPIDoR.
- Vidéo disponible sur le site de l'ANR

<https://oasis.anr.fr>

mêmes identifiants que sur la plateforme SIM

# Contacts

- **Alexandre SAVA**

- *Maître de conférences HC, HdR*
- Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz
- Laboratoire LCFC
- Collégium L-INP - Université de Lorraine

# Remerciements

« Cette recherche a été financée par l'Agence nationale de la recherche au titre du projet Digital Twins for Cyber-Physical Systems (ANR-23-CE10-0010-01). »

« This research was funded by l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) for the Digital Twins for Cyber-Physical Systems project (ANR-23-CE10-0010-01). »

Visio : 19 mars et 17 sept. 13h30-15h30

Lyon  
31 mai après-midi

Paris  
Mi-parcours

Lyon  
Fin

Durée 48 mois				Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
				M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M45	M48
WP1	Méthodologie pour la mise en place d'un JN multi-échelles (Sébastien HENRY)																		
	T1.1	David ANNEBICQUE	Architecture des JN - État de l'art et interopérabilité technique																
	T1.2	Vincent CHEUTET	Standards de données et interopérabilité sémantique																
	T1.3	Sébastien HENRY	Modèles d'architecture et de données pour le JN																
WP2	Garantir l'alignement des jumeaux (Patrice LECLAIRE)			M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M45	M48
	T2.1	Roberta C. AFFONSO	Mesure d'un alignement acceptable des jumeaux																
	T2.2	Bart LAMIROY	Calibration du Jumeau Numérique																
	T2.3	Valéry WOLFF	Correction des jumeaux																
WP3	Méthodes et outils pour la commande et la reconfiguration (Bernard RIERA)			M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M45	M48
	T3.1	Bernard RIERA	Formalisation d'un ensemble de contraintes de reconfiguration au niveau logique et au niveau physique																
	T3.2	Alexandre PHILIPPOT	Méthodologie de reconfiguration de la commande à base de contraintes logiques																
	T3.3	Patrice LECLAIRE	Reconfiguration en ligne d'un atelier, aux niveaux logique et physique, via le JN																
WP4	Cas d'usage, démonstrateurs et expérimentations (François GELLOT)			M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M45	M48
	T4.1	Fabien EMPRIN	Définition des métiers et analyse de l'activité																
	T4.2	Bernard RIERA	Définition des cas d'usage en conception et exploitation																
	T4.3	François GELLOT	POC et démonstrateurs																
	T4.4	Patrice LECLAIRE	Expérimentations conception/exploitation																

Reims – 6 nov. matin  
Arrivée des doc.

Reims  
Arrivée Post-Doc

Colloque  
S.mart\*

- RDV à Reims du 05/11 – 16h au 06/11 – 14h