

# Digital Twins for Cyber-Physical Systems DT4CPS

Réunion préparatoire du 06 septembre 2023

Teams

48 mois

Partenaire	Nom	Prénom	Position actuelle	Rôle & responsabilités dans le projet (4 lignes max)	Implication sur la durée du projet (personne.mois)
CReSTIC	PHILIPPOT	Alexandre	MCF - HDR	Coordinateur et Resp. scientifique WPO Participant WP1, WP2, WP3, WP4	12
	RIERA	Bernard	Professeur	Resp. scientifique WP3	10
	LAMIROY	Bart	Professeur	Participant WP2, WP3	6
	EMPRIN	Fabien	Professeur SHS	Participant WP1, WP4	6
	ANNEBICQUE	David	MCF	Participant WP1	6
	GELLOT	François	MCF	Resp. scientifique WP4 Participant WP2	6
	Post-doctorant #2			Participant WP4	12
	Doctorant #1			Participant WP3, WP4	36
QUARTZ	LECLAIRE	Patrice	MCF	Resp. scientifique WP2 Participant WP1, WP2, WP3, WP4	12
	ADDOUCHE	Sid-Ali	MCF	Participant WP2, WP3	3
	BESBES	Mariam	MCF	Participant WP3, WP4	5
	COSTA AFFONSO	Roberta	MCF - HDR	Participant WP2, WP3	6
	ZOLGHADRI	Marc	Professeur	Participant WP2, WP3	4
	Doctorant #2			Participant WP2, WP4	36
DISP	CHEUTET	Vincent	Professeur	Participant WP1, WP2	8
	WOLFF	Valéry	MCF	Participant WP2	6
	HENRY	Sébastien	MCF	Resp. scientifique WP1 Participant WP1, WP2, WP3, WP4	12
	Post-doctorant #1			Participant WP1	12

# Contexte

L'Alliance Industrie du Futur a publié un rapport sur le JN et le « Levier majeur de la transformation digitale de l'industrie » où il y est défini le JN comme étant :

1. un **ensemble** organisé de modèles numériques représentant une entité du monde réel pour répondre à des problématiques et des usages spécifiques,
2. **mis à jour** par rapport au réel, à une fréquence et une précision adaptées à ses problématiques et à ses usages,
3. doté d'outils d'exploitation avancés permettant de **comprendre, analyser, prédire et optimiser** le fonctionnement et le pilotage de l'entité réelle.

[http://www.industrie-dufutur.org/content/uploads/2023/05/AIF\\_JumeauNumerique\\_FR-version-Web.pdf](http://www.industrie-dufutur.org/content/uploads/2023/05/AIF_JumeauNumerique_FR-version-Web.pdf)

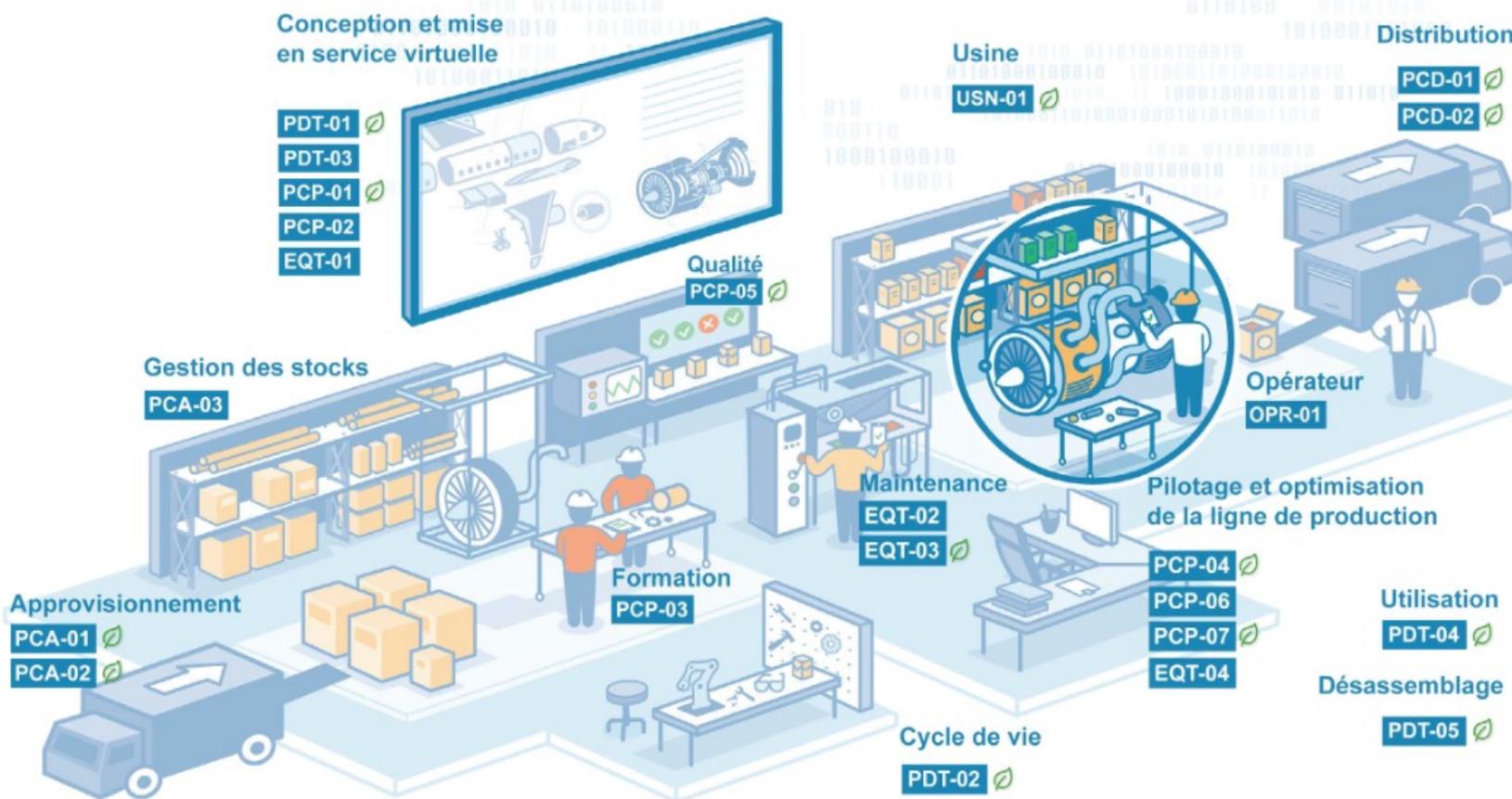


# CARTOGRAPHIE DES CAS D'USAGES DU JUMEAU NUMÉRIQUE

Ce chapitre présente différents cas d'usage du Jumeau Numérique dans l'industrie, afin d'en illustrer les bénéfices. Le schéma d'une production industrielle ci-dessous en donne un aperçu global.

- PDT** = cas d'usage Produit
- PCA** = cas d'usage Process Approvisionnement
- PCP** = cas d'usage Process Production
- PCD** = cas d'usage Process Distribution

- EQT** = cas d'usage Équipement
- OPR** = cas d'usage Opérateur
- USN** = cas d'usage Usine
-  = réduction de l'impact environnemental



# Positionnement

DT4CPS se positionne au niveau du « pilotage et l'optimisation de la ligne de production » et de la « conception et la mise en service virtuelle » avec :

1. les fiches « Process Production » :

- PCP-02 : Mise en service virtuelle d'une ligne de production,
- PCP-03 : Formation des opérateurs,
- PCP-04 : Optimisation de la ligne de production,
- PCP-06 : Pilotage temps réel de la ligne de production,
- PCP-07 : Réduction de l'impact environnemental de la chaîne de production,

2. et les fiches « Equipement » :

- EQT-01 : Mise en service virtuelle d'un équipement,
- EQT-04 : Conception et administration d'une architecture OT/IT d'une usine.

# Problématiques & Objectifs

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

- Le point (i) de la définition d'un CPS indique bien que celui-ci 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 (lien avec PCP-02, EQT-01 et EQT-04).

## **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.

# Problématiques & Objectifs

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

- La notion 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** : Trois grandes phases d'étude :

- Valider l'**alignement** des jumeaux en se basant sur l'évaluation de la concordance comportementale des jumeaux et de leur synchronisation temporelle.
- Avant l'exploitation du JN, 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, définir les **actions correctives** en ayant au préalable pris soin d'identifier le jumeau à corriger, numérique ou physique.

**WP2** : **Garantir l'alignement des jumeaux.**

**indicateurs de fidélité du JN**

# Problématiques & Objectifs

**PB3** : *Comment le Jumeau Numérique peut-il permettre d'exploiter au mieux la flexibilité d'un système reconfigurable ?*

- Un SMR dispose très souvent de capacité de reconfiguration mais qu'il est parfois difficile d'évaluer. Le JN doit être un outil d'aide à la décision à la reconfigurabilité mais à condition de fournir à l'opérateur des indicateurs pertinents et une simulation des conséquences de cette reconfiguration (lien avec PCP-02, PCP-04, PCP-06, PCP-07 et EQT-01).

**OB3** : Exploiter le JN d'un SCPP afin d'identifier les reconfigurations potentielles et leurs conséquences (de production, énergétique).

- Faire collaborer les pratiques d'établissement de lois de commande de l'**automaticien** (Synthèse algébrique, analyse structurée par tâches) et les méthodes d'optimisation du **producticien** (ordonnancement/reconfiguration) en intégrant les empreintes numériques au sein de Jumeaux Numériques.
- Il est envisagé de **désynchroniser volontairement** le JN afin d'analyser les possibilités de **reconfiguration** du SCPP à travers une mise en service virtuelle (Virtual Commissioning), avant prise de décision et resynchronisation apporté par les résultats du WP2.

**WP3** : **Méthodes et outils pour la commande et la reconfiguration.**

# Problématiques & Objectifs

**OB4** : Chacun des trois premiers objectifs disposera de son ou ses cas d'usage spécifiques pour la validation des résultats.

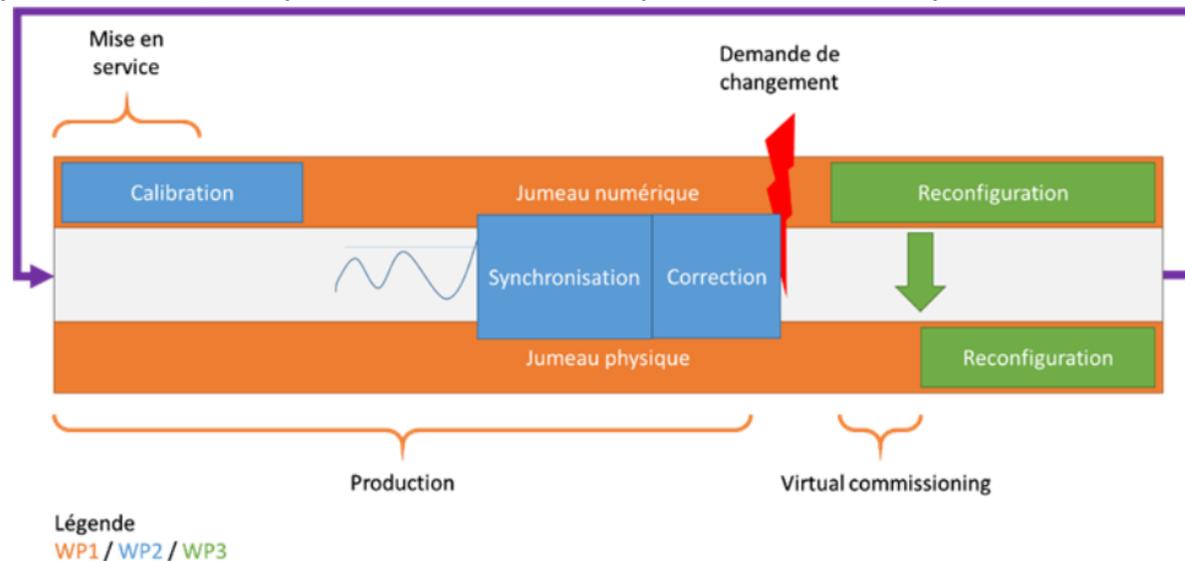
- Cependant, il paraît nécessaire de disposer d'un benchmark/démonstrateur reprenant l'ensemble des résultats obtenus du projet DT4CPS à travers un dernier objectif

## **WP4 - Cas d'usage, démonstrateur et expérimentations.**

Celui-ci s'appuiera sur les équipements déjà mis en place dans les laboratoires et permettra une diffusion à la communauté scientifique des jeux de données de référence des démonstrateurs mais également un point d'ancrage à la formation des opérateurs (en lien avec la fiche PCP-03).

# Scenarrio 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.

# Programme scientifique

Outre un Work Package (WP) dédié à la coordination du projet (WP0), le programme scientifique est structuré en 4 WP :

- WP1 (**DISP**, QUARTZ, CReSTIC) : Méthodologie pour la mise en place d'un JN multi-échelles
- WP2 (**QUARTZ**, CReSTIC, DISP) : Garantir l'alignement des jumeaux.
- WP3 (**CReSTIC**, QUARTZ, DISP) : Méthodes et outils pour la commande et la reconfiguration
- WP4 (**CReSTIC**, QUARTZ, DISP) : Cas d'usage, démonstrateurs et expérimentations

## GANTT prévisionnel du projet (C : conférence, J : journal)

Durée 48 mois				Y1				Y2				Y3				Y4				
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
<b>WP1</b>	Méthodologie pour la mise en place d'un JN multi-échelles (Sébastien HENRY)			M3	M6	M9	M12	C	M15	M18	M21	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M45	M48
	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																	
<b>WP2</b>	Garantir l'alignement des jumeaux (Patrice LECLAIRE)			M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21	M24	M27	M30	M33	J	M36	M39	M42	M45	M48
	T2.1	Roberta C. AFFONSO	Mesure d'un alignement acceptable des jumeaux			C														
	T2.2	Bart LAMIROY	Calibration du Jumeau Numérique							C										
	T2.3	Valéry WOLFF	Correction des jumeaux																	
<b>WP3</b>	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					C						IFAC WC						
	T3.2	Alexandre PHILIPPOT	Méthodologie de reconfiguration de la commande à base de contraintes logiques										C						J	
	T3.3	Patrice LECLAIRE	Reconfiguration en ligne d'un atelier, aux niveaux logique et physique, via le JN							C										
<b>WP4</b>	Cas d'usage, démonstrateurs et expérimentations (François GELLOT)			M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M45	J	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												C					

48 mois

# Moyens mis en œuvre et demandés

CReSTIC :

- 46 personnes.mois permanents
- 1 doctorant(e), 120 k€ : Inscrit à l'ED SNI de l'URCA, et co-encadré avec le QUARTZ-ISAE SupMéca. Le candidat travaillera sur le WP3.
- 1 Post-doctorant(e) sur 1 an, 50 k€ : affecté à la mise en place du démonstrateur issus du WP4.
- Instruments et matériels : 9 k€
- Prestation de services : 2 k€/article en science ouverte
- Frais généraux : 2 CI (envisagées : IFAC WC 2026, CDC) jusqu'à 2 personnes (2k€/conf./pers.) et 1 CN (Colloque S.mart ou SAGIP) pour 2 personnes (1k€/conf./pers.). Enveloppe demandée : 10 000 €.
- Missions Projet – 2 000 €. Une réunion de démarrage du projet et une réunion annuelle à la fin de chaque année sont prévues (rotation Reims, Paris, Lyon).

# Moyens mis en œuvre et demandés

DISP :

- 26 personnes.mois permanents
- 1 stagiaire, 3,6 k€ : application sur cas d'usage dans le cadre du WP2.
- 1 Post-doctorant(e) sur 1 an, 53 610 k€ : travaillera sur le WP1 et les modèles d'architecture et de données pour le JN.
- Instruments et matériels : 4 k€
- Prestation de services : 2 k€/article en science ouverte
- Frais généraux : 2 CI jusqu'à 2 personnes (2k€/conf./pers.), 1 CN pour 2 personnes (1k€/conf./pers.) et l'organisation d'une session de restitution du projet. Enveloppe demandée : 11 000 €.
- Missions Projet – 1 000 €.

# Moyens mis en œuvre et demandés

Quartz :

- 30 personnes.mois permanents
- 1 doctorant(e), 126 k€ : Inscrit à l'ED affiliée à l'ISAE-Supméca et co-encadré avec le DISP. Le candidat travaillera sur le WP2 afin de proposer une méthode de calibration du jumeau numérique mais aussi sur la détection de non-alignement.
- Instruments et matériels : 8 k€
- Prestation de services : 2 k€/article en science ouverte
- Frais généraux : 2 CI (envisagées : IFAC WC 2026, CDC) jusqu'à 2 personnes (2k€/conf./pers.) et 1 CN (Colloque S.mart ou SAGIP) pour 2 personnes (1k€/conf./pers.). Enveloppe demandée : 10 000 €.
- Missions Projet – 2 000 €.

**Moyens demandés par grand poste de dépense et par partenaire\***

	Partenaire <i>CRéSTIC</i>	Partenaire <i>DISP</i>	Partenaire <i>QUARTZ</i>
Frais de personnels	170 000 €	57 210 €	126 000 €
Coûts des instruments et matériels	9 000 €	4 000 €	8 000 €
Coûts des bâtiments et des terrains	0	0	0
Prestation de service et droits de propriété intellectuelle	2 000 € 4 000	2 000 €	2 000 €
Frais généraux non forfaitisés	12 000 € 7 000	12 000 € 7 000	12 000 € 8 000
Frais d'environnement pour un partenaire privé **	26 055 €	10 153 €	19 980 €
<b>Sous-total</b>	<b>219 055 €</b>	<b>85 363 €</b>	<b>167 980 €</b>
<b>Aide demandée</b>	<b>472 398 €</b>		

Aide allouée

215650	79688	163440
458778		

# Validation du projet / Document de financement

- Manque pour Quartz

**Adresse de réalisation des travaux**

Pays  \*

Effacer l'adresse

Ville, Cedex  \*

Numéro, Rue  \*

Code postal  \*

Complément d'adresse, boîte postale, ...

---

**Personne habilitée à représenter juridiquement l'établissement gestionnaire (pour acte attributif)**

Civilité  \*

Nom  \*

Prénom  \*

Fonction  \*

Pays  \*

Effacer l'adresse

Ville, Cedex  \*

Numéro, Rue  \*

Code postal  \*

Complément d'adresse, boîte postale, ...

- Interlocutrice à l'ANR pour le suivi scientifique :  
[Julie.SALVE@agencerecherche.fr](mailto:Julie.SALVE@agencerecherche.fr)
- **Date de début scientifique : 08 janvier 2024**
- **Réunion de lancement** des projets sélectionnés le **jeudi 05 octobre 2023** (planning à venir). Réunion **obligatoire** par **visioconférence** sur une journée pendant laquelle nous vous présenterons le suivi scientifique et administratif de l'ANR et chaque coordinateur présentera son projet en quelques minutes. Vos Responsables Scientifiques, vos gestionnaires et toute personne impliquée dans votre projet seront les bienvenus.

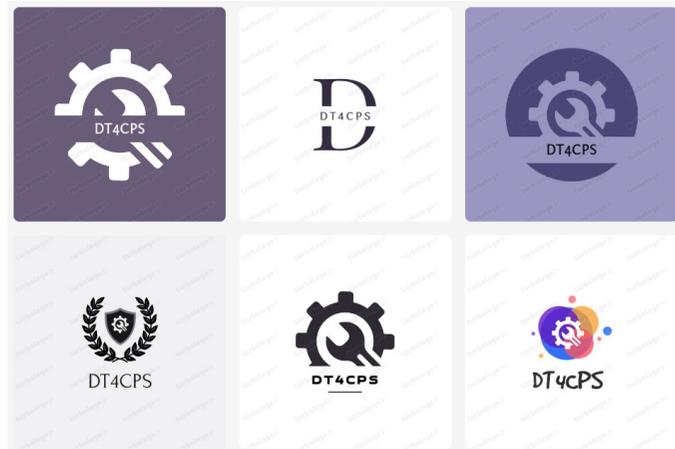
## GANTT prévisionnel du projet (C : conférence, J : journal)

Durée 48 mois				Y1				Y2				Y3				Y4								
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4					
<b>WP1</b>	Méthodologie pour la mise en place d'un JN multi-échelles (Sébastien HENRY)			M3	M6	M9	M12	C	M15	M18	M21	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M45	M48				
	T1.1	David ANNEBICQUE	Architecture des JN - État de l'art et interopérabilité technique	Post Doc DISP																				
	T1.2	Vincent CHEUTET	Standards de données et interopérabilité sémantique																					
	T1.3	Sébastien HENRY	Modèles d'architecture et de données pour le JN																					
<b>WP2</b>	Garantir l'alignement des jumeaux (Patrice LECLAIRE)			M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21	M24	M27	M30	M33	J	M36	M39	M42	M45	M48				
	T2.1	Roberta C. AFFONSO	Mesure d'un alignement acceptable des jumeaux			C	Doctorant Quartz/DISP																	
	T2.2	Bart LAMIROY	Calibration du Jumeau Numérique																					
	T2.3	Valéry WOLFF	Correction des jumeaux																					
<b>WP3</b>	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				Doctorant CReSTIC/Quartz																	
	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																					
<b>WP4</b>	Cas d'usage, démonstrateurs et expérimentations (François GELLOT)			M3	M6	M9	M12	M15	M18	M21	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M45	J	M48				
	T4.1	Fabien EMPRIN	Définition des métiers et analyse de l'activité				Post Doc CReSTIC																	
	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																					

48 mois

# Il nous faut ...

- Définir un calendrier de suivi
- Débuter le recrutement du PostDoc DISP
- Site internet du projet ?
- Logo / template de présentation / remerciement (FR/EN)



Depuis Teams :

<https://edusupmeca.sharepoint.com/:f:/r/sites/TestConnexion/Shared%20Documents/General/DT4CPS%20V3%20-%20AAPG%202023?csf=1&web=1&e=nWyMq2>