



HAL
open science

Une méthode basée modèles, données et patrons pour l'ingénierie d'un Système Jumeau Numérique

Rindra Mbolamanamalala, Souad Rabah, Vincent Chapurlat

► **To cite this version:**

Rindra Mbolamanamalala, Souad Rabah, Vincent Chapurlat. Une méthode basée modèles, données et patrons pour l'ingénierie d'un Système Jumeau Numérique. Congrès Annuel AFIS 2025 : L'Ingénierie Système au service d'un monde complexe, Jan 2025, Paris, France. 2025. ⟨hal-04907669⟩

HAL Id: hal-04907669

<https://imt-mines-ales.hal.science/hal-04907669v1>

Submitted on 23 Jan 2025

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.

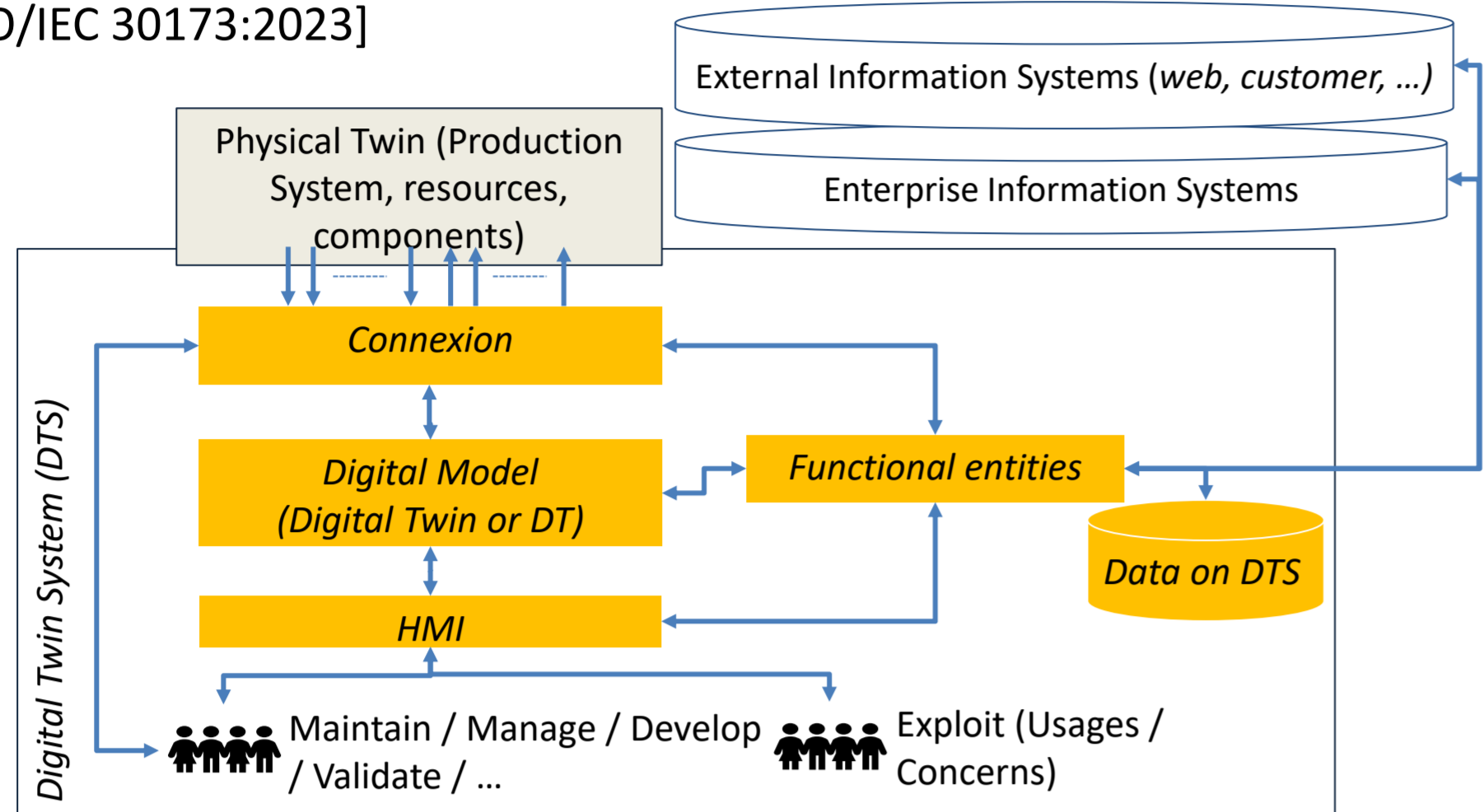
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

CONTEXTE

Jumeau Numérique (JN) : « Représentation numérique d'une entité cible avec des connexions de données qui permettent la convergence entre les états physiques et numériques à un taux de synchronisation approprié » [ISO/IEC 30173:2023]



Système Jumeau Numérique (SJN) : « Système fournissant des fonctionnalités pour le jumeau numérique composé d'entités cibles interopérables, d'entités numériques, de connexions de données et de modèles, données et interfaces impliqués dans le processus de connexion de données » [ISO/IEC 30173:2023]

Selon les usages souhaités, les fonctionnalités d'un SJN sont précisées et complétées par des capacités. [DT-CPT, 2024]

PROBLÉMATIQUES

- Comment mener à bien l'ingénierie et la maintenance en conditions opérationnelles (MCO) d'un SJN qui demeurent difficiles, longues, coûteuses et mobilisatrices de ressources ?
- Comment bien prendre en compte les usages attendus d'un SJN compte tenu de son environnement complexe et très évolutif ?

CONTRIBUTION ATTENDUE

"If, as engineers, we don't learn from history, we are destined to repeat it. What a colossal waste of time and energy." [Cloutier R. J., 2005]

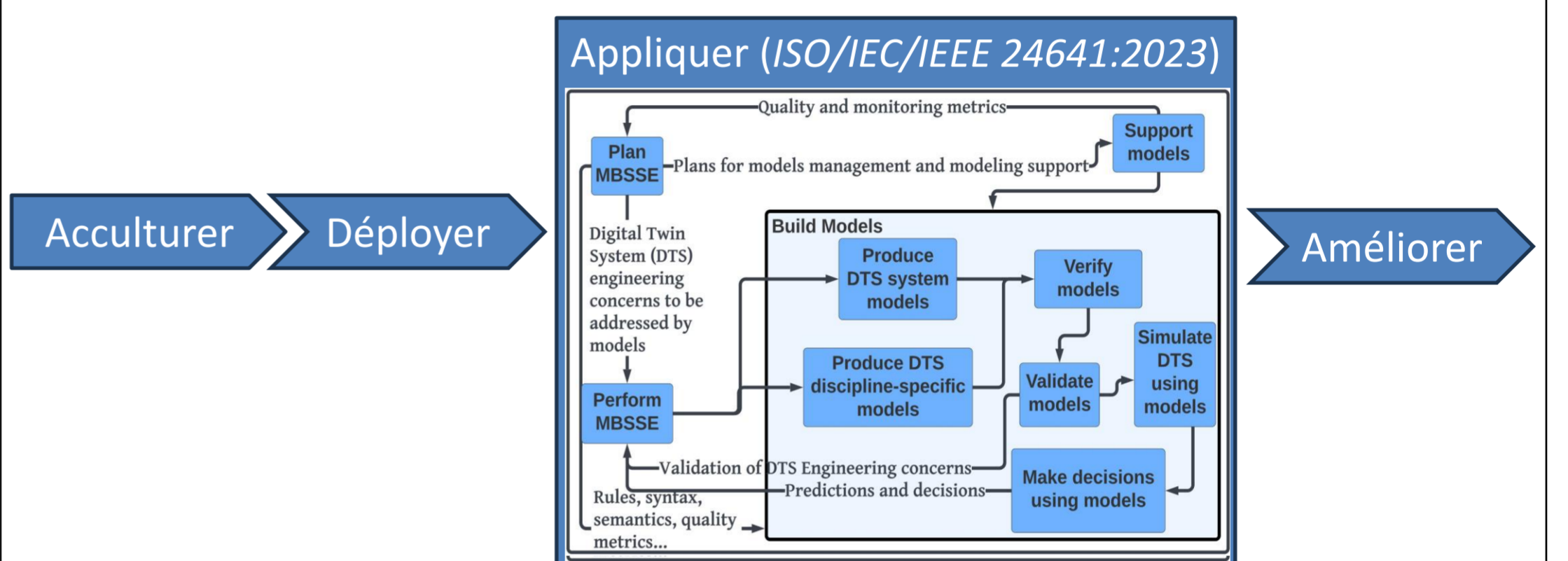
Une méthode d'ingénierie de SJN basée Modèles, Données et Patrons (Pattern-Based Systems Engineering) [Schindel W. D. and Peterson T., 2013]

MBSSE (Model-Based Systems and Software Engineering) [ISO/IEC/IEEE24641:2023]
« Application formalisée de la modélisation pour prendre en charge les exigences d'un système, la conception, l'analyse, la vérification et les activités de validation commençant dans la phase de conception conceptuelle et se poursuivant tout au long du développement et les phases ultérieures de son cycle de vie »

Patron [Cloutier R. J., 2005] [Schindel et al., 2013]

- Un principe associant la description d'un problème rencontré en cours de conception, de développement ou de MCO, à un espace de solution(s), l'un et l'autre étant valides dans un contexte bien défini
- Un savoir-faire éprouvé, réutilisable, dont on s'inspire pour réduire les coûts récurrents, les erreurs et les délais dans la réalisation de projets
- Améliore les retours sur investissement, la qualité des résultats, la compréhension et la confiance des parties prenantes.

Démarche opératoire de la méthode



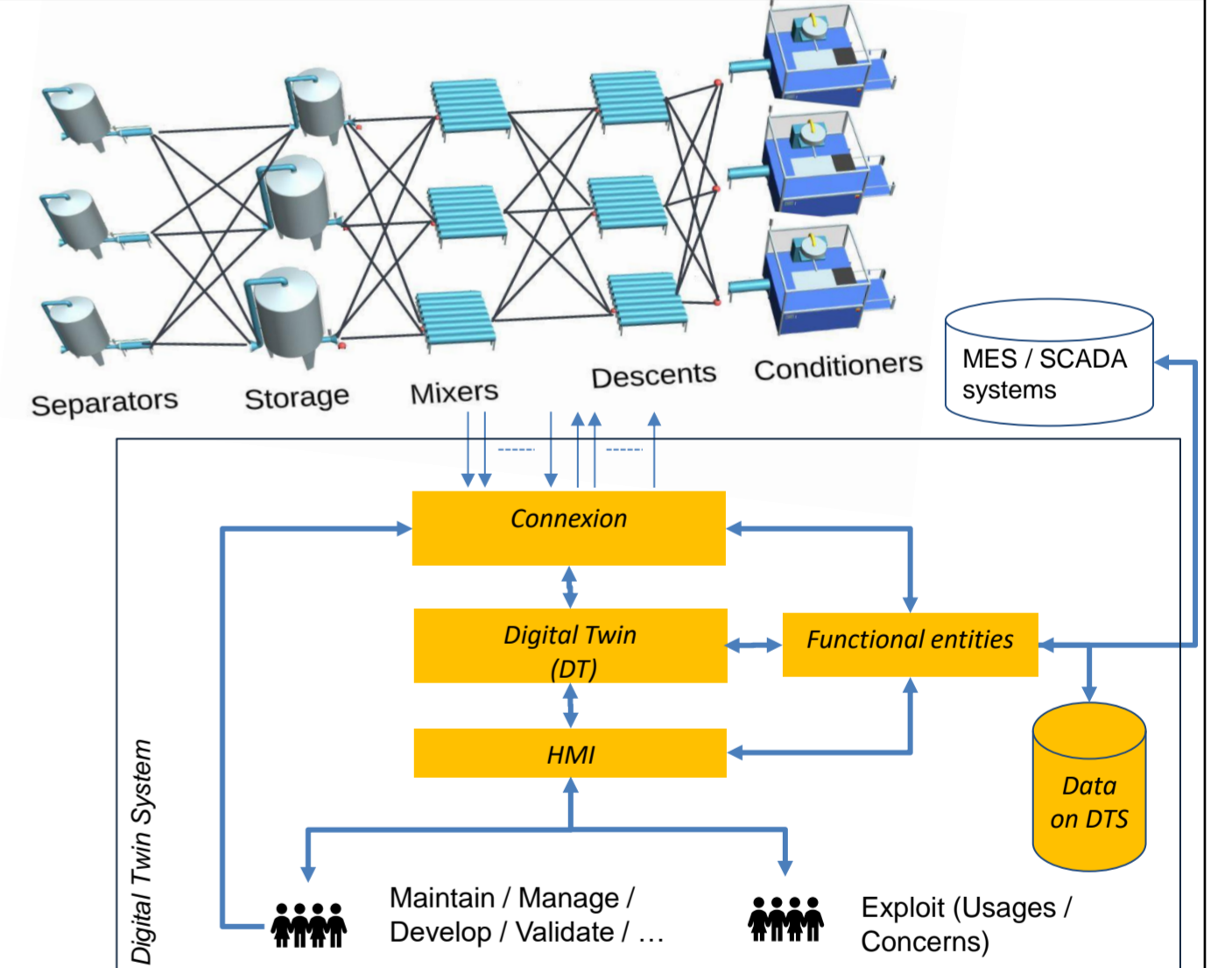
ILLUSTRATION

Optimiser le planning de production d'un atelier de production de produits alimentaires : s'appuyer sur un Système Jumeau Numérique de cet atelier

Business or Mission Analysis

| | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------------|
| DSAI Data Acquisition & Ingestion | DSGS Synthetic Data Generation | IRST Enterprise System Integration | ICSR Search | ICPR Prediction | UXBV Big Visualization | UXDB Dashboards |
| DSST Data Streaming | DSOM Ontology Management | IREG Eng. System Integration | ICCC Command & Control | ICAI Artificial Intelligence | UXAV Advanced Visualization | UXCI Continuous Intelligence |
| DSRT Data Transformation | DSMR DT Model Repository | IRIO OT/IT System Integration | ICOR Orchestration | ICPS Prescriptive Recommendations | UXRM Real-time Monitoring | UXBE Business Intelligence |
| DSCT Data Contextualization | DSIR DT Instance Repository | IRDT DT Integration | ICAN Alerts & Notifications | ICFL Federated Learning | UXER Entity Relationship Visualization | UXBP BPM & Workflow |
| DSBP Batch Processing | DSDD Domain Specific Data Management | ICCL Collab Platform Integration | ICRP Reporting | ICSP Simulation | UXRV Extended Reality (AV/VR/MR) | UXGE Gaming Engine Visualization |
| DSRT Real-time Processing | DSAS Data Storage & Archive Services | ICAS API Services | ICAA Data Analysis & Analytics | ICMA Mathematical Analytics | UXGM Gamification | UX3R 3D Rendering |
| DSAS Asynchronous Integration | DSMR Simulation Model Repository | MGDM Device Management | MGEL Event Logging | TWEC Data Encryption | TWSC Security | TWSP Safety |
| DSAS Data Aggregation | DSAR AI Model Repository | MGSM System Monitoring | MGDG Data Governance | TWDS Device Security | TWPR Privacy | TWRL Reliability |
| | | | | | | TWRS Resilience |

Legend: Data Services (blue), Integration (orange), Intelligence (green), UX (purple), Management (red), Trustworthiness (grey). © 2024 Digital Twin Consortium. All rights reserved.

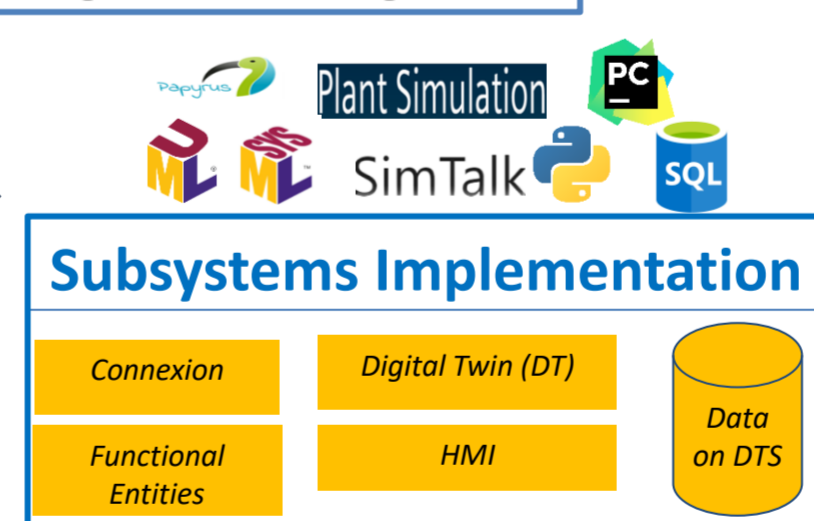


Capabilités du SJN attendu

- Data services
- Integration
- Intelligence
- UX (User Experience)

Patrons

- Patrons architecturaux
- Patrons de conception
- Patrons technologiques
- Patrons d'implémentation
- ...



Subsystems Integration



CONCLUSION et PERSPECTIVES

- La méthode favorise la réutilisation de solutions déjà éprouvées permettant ainsi de réduire les erreurs et les coûts engagés dans un projet, et ce en fonction des usages attendus du SJN.
- Les futurs travaux concerneront principalement des séries d'itérations entre formalisation, développement et validation de toutes les composantes de la méthode

RÉFÉRENCES

- [ISO/IEC 30173:2023] ISO/IEC 30173:2023. Digital twin - Concepts and terminology.
- [ISO/IEC/IEEE24641:2023] ISO/IEC/IEEE 24641:2023. Ingénierie du logiciel et des systèmes - Méthodes et outils pour l'ingénierie du logiciel et des systèmes basée sur des modèles.
- [DT-CPT, 2024] van Schalkwyk P., Whiteley S. and Goldman M. (2024). Digital Twin Capabilities Periodic Table User Guide, Version 1.1.
- [Cloutier R. J., 2005] Cloutier, R. J. (2005, December). Application of patterns to systems architecting. In Proceedings and presentation, 2005 Telelogic Americas User Group Conference.
- [Schindel W. D. and Peterson T., 2013] Schindel W. D. and Peterson T. (2013). Introduction to pattern-based systems engineering (PBSE): Leveraging MBSE techniques. In INCOSE International Symposium Vol. 23, No. 1, p. 1639.