

# Contribution à une compréhension commune de la notion de Jumeau Numérique

Mamadou Kaba TRAORÉ  
*IMS CNRS UMR 5218*  
*Université de Bordeaux*



université  
de **BORDEAUX**

# Contexte d'émergence de la notion de JN

- L'ère digitale imprègne graduellement tous les secteurs de la société, avec une orientation vers le concept du « tout intelligent »
- De nouveaux types de systèmes très complexes émergent (auto-adaptables, auto-reconfigurables, etc.)
- Leur ingénierie nécessite des innovations dans les approches basées sur les modèles
- Le concept de Jumeau Numérique est associé à cet effort

# Principe fondateur de la notion de Jumeau Numérique

- Modèle synchronisé en permanence avec le système d'intérêt, et qui se mobilise de différentes manières à la place du système
  - Reflet de tout événement ou initiative de gestion
  - Evaluation des conséquences avant transfert au système
- Spécifique à un système, et non à une famille de systèmes similaires
- Pas de compréhension unique du concept
  - Utilisation dans des contextes très divers
  - Floraison des définitions dans la littérature
- ⇒ Ambiguïté sur le concept chez les parties prenantes, et donc sur la solution à développer dans une situation donnée

# Un peu d'histoire

- L'appariement entre système et modèle date d'un demi-siècle
  - Mission Apollo 13 de la NASA en 1970
  - Simulation au sol de scénarios, à partir d'une situation critique dans l'espace, pour indiquer aux astronautes comment intervenir
  - Appariement de deux jumeaux physiques (pas de JN)
- Le principe d'appariement entre système et construction informationnelle numérique date d'une trentaine d'année (*Gelernter, 1991*)
- Terme « Digital Twin » inventé il y a 10 ans (*Piasek et al., 2010*)
- Convergence avec les travaux de Grieves sur la PLM
  - Mirrored Spaces Model (*Grieves, 2005*)
  - Information Mirroring Model (*Grieves, 2006*)
  - Digital Twin (*Grieves, 2011*)

## Quelques définitions assez distantes

« Un ensemble de constructions d'informations virtuelles qui décrivent pleinement un produit physique manufacturé potentiel ou réel, du niveau micro-atomique au niveau macro-géométrique » (Grieves & Vickers, 2016)

**Modèle numérique du tout ?**

« Une simulation multi-physique intégrée, multi-échelle et probabiliste d'un véhicule qui utilise les meilleurs modèles physiques mis à jour à partir de données (historiques, ou provenant de capteurs, etc.), pour refléter la vie de son jumeau volant correspondant » (Glaessgen & Stargel, 2012)

**Approche disruptive (expériences de simulation conduites à partir d'une situation initiale unique)**

# Un vaste champ d'applications

Et des finalités variables : diagnostic, pronostic, prévision, suivi temps-réel, ...

- Industrie (Automobile, Avionique, Aérospatiale, Energie, Fabrication, etc.) :
  - Maintenance prédictive des équipements
  - Sécurité des actifs
  - Optimisation du fonctionnement des processus
  - Optimisation de la conception des produits (?)
- Santé : traitement/chirurgie à la carte (et non par standards)
- Urbanisme : suivi de l'évolution de la cité
- Services : gestion après-vente (ou après-location) du produit
- ...

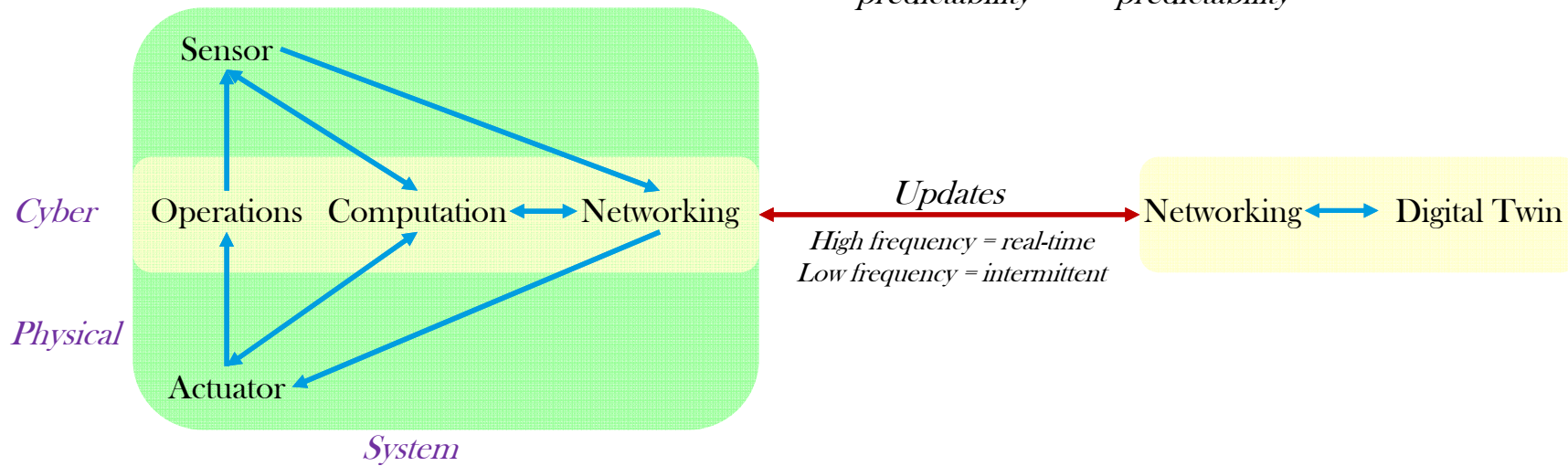
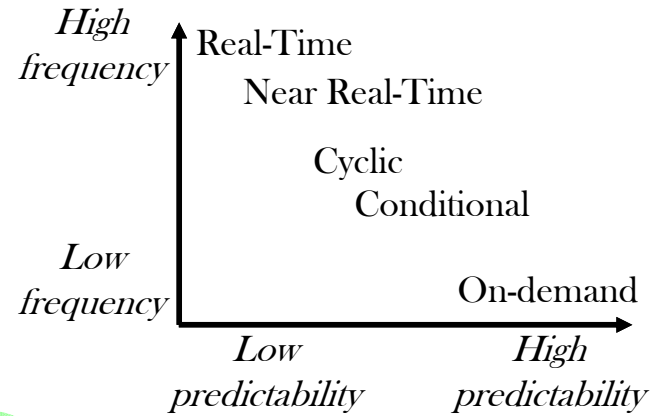
# Plusieurs extensions

- Versions propriétaires (General Electric, Siemens, Dassault, Microsoft, PTC, Akselos, etc.)
- Concepts identiques ou voisins ?
  - Avatar numérique (*Rios et al., 2015*)
  - Réplique (*El Saddik, 2018*)
  - Contrepartie (*Rios et al., 2015*)
  - Miroir (*Boschert & Rosen, 2016; Park et al. , 2019; Josifovska et al., 2019*)
  - Clone (*Ben Miled & French, 2017*)
  - Sosie (*Bailenson & Segovia, 2010*)
  - etc.

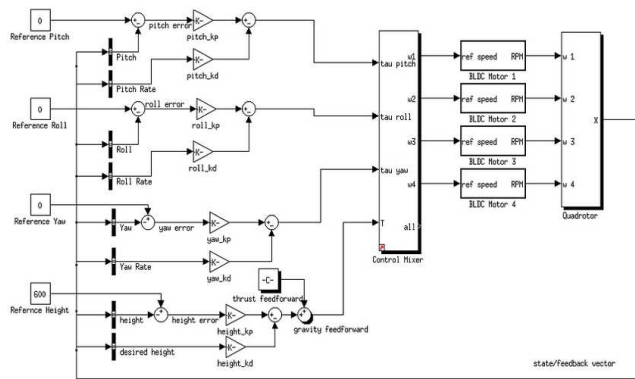




# Temporalité



# Multiplicité de modèles



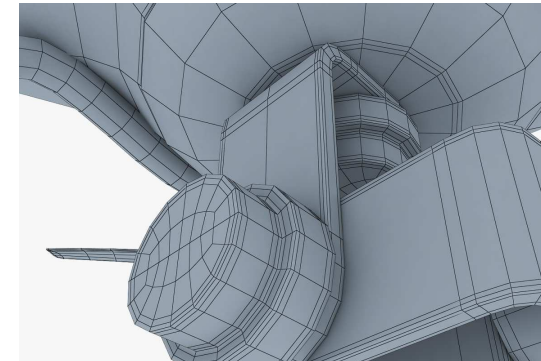
Modèle de contrôle  
(pilotage)

$$\begin{cases} \ddot{X} = (\sin \psi \sin \phi + \cos \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \\ \ddot{Y} = (-\cos \psi \sin \phi + \sin \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \\ \ddot{Z} = (-g + (\cos \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \\ \dot{p} = \frac{I_{YY} - I_{ZZ}}{I_{XX}} qr - \frac{J_{TP}}{I_{XX}} q\Omega + \frac{U_2}{I_{XX}} \\ \dot{q} = \frac{I_{ZZ} - I_{XX}}{I_{YY}} pr - \frac{J_{TP}}{I_{YY}} p\Omega + \frac{U_3}{I_{YY}} \\ \dot{r} = \frac{I_{XX} - I_{YY}}{I_{ZZ}} pq - \frac{U_4}{I_{ZZ}} \end{cases}$$

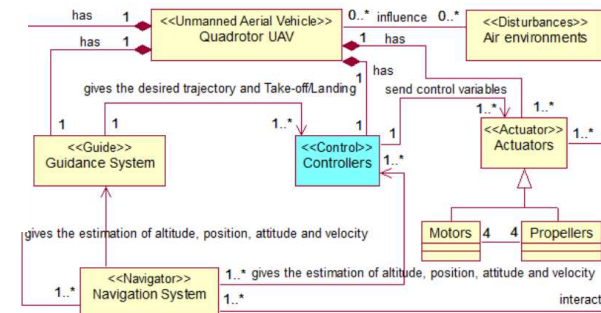
Modèle de mouvement  
(prévision)



Drone  
(Jumeau réel)

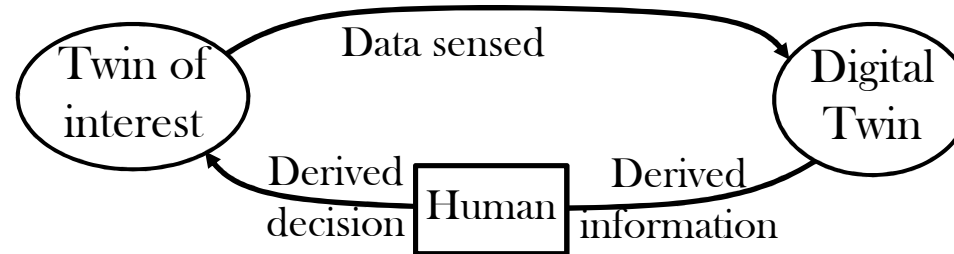
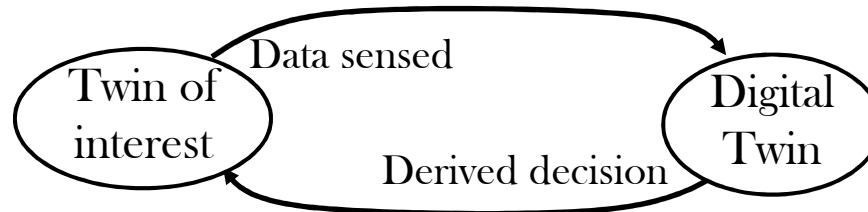


Modèle 3D  
(visualisation)



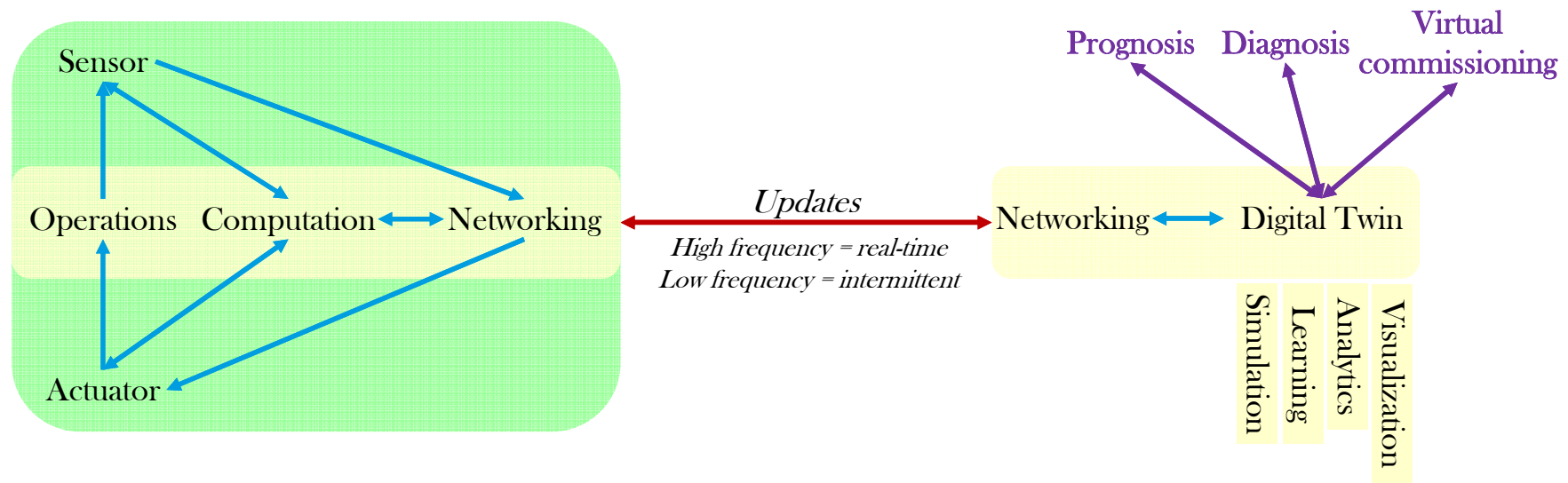
Modèle architectural  
(conception)

# Boucle ouverte ou fermée

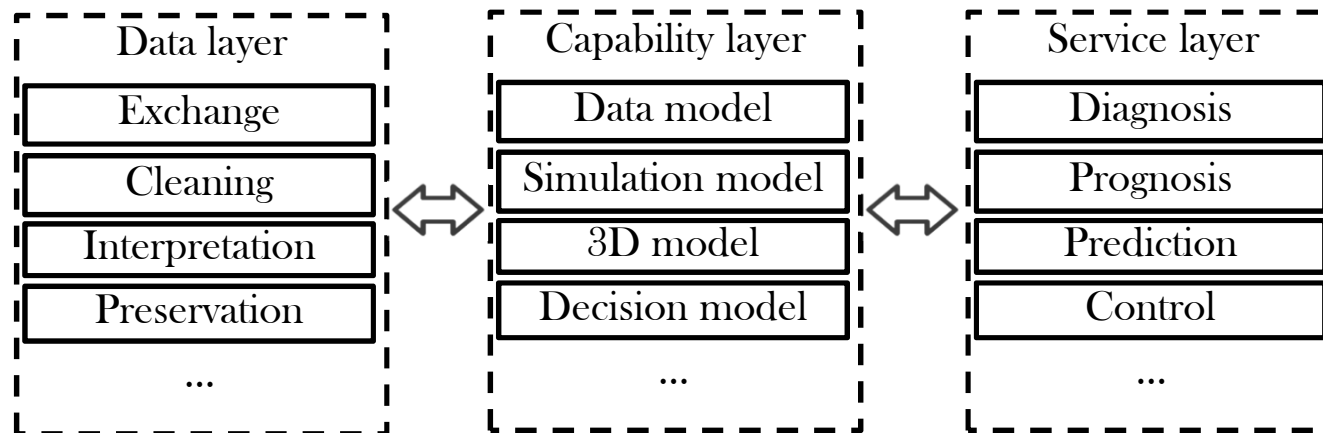
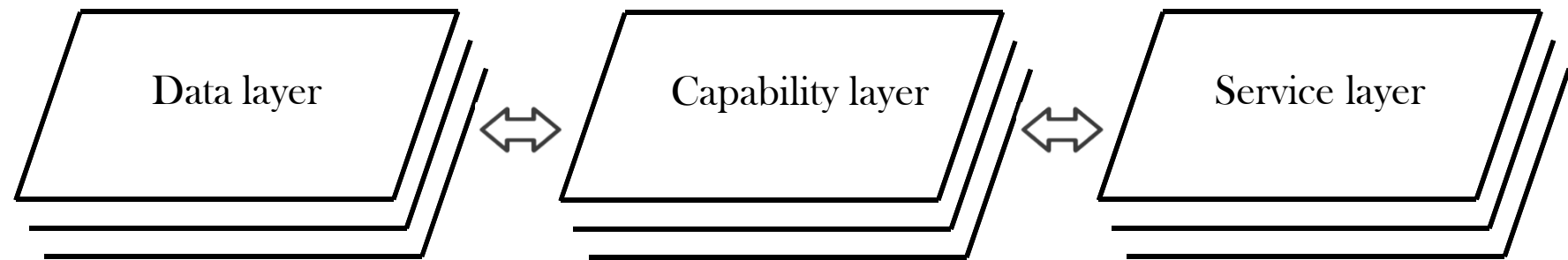


# Vers une perspective unificatrice ?

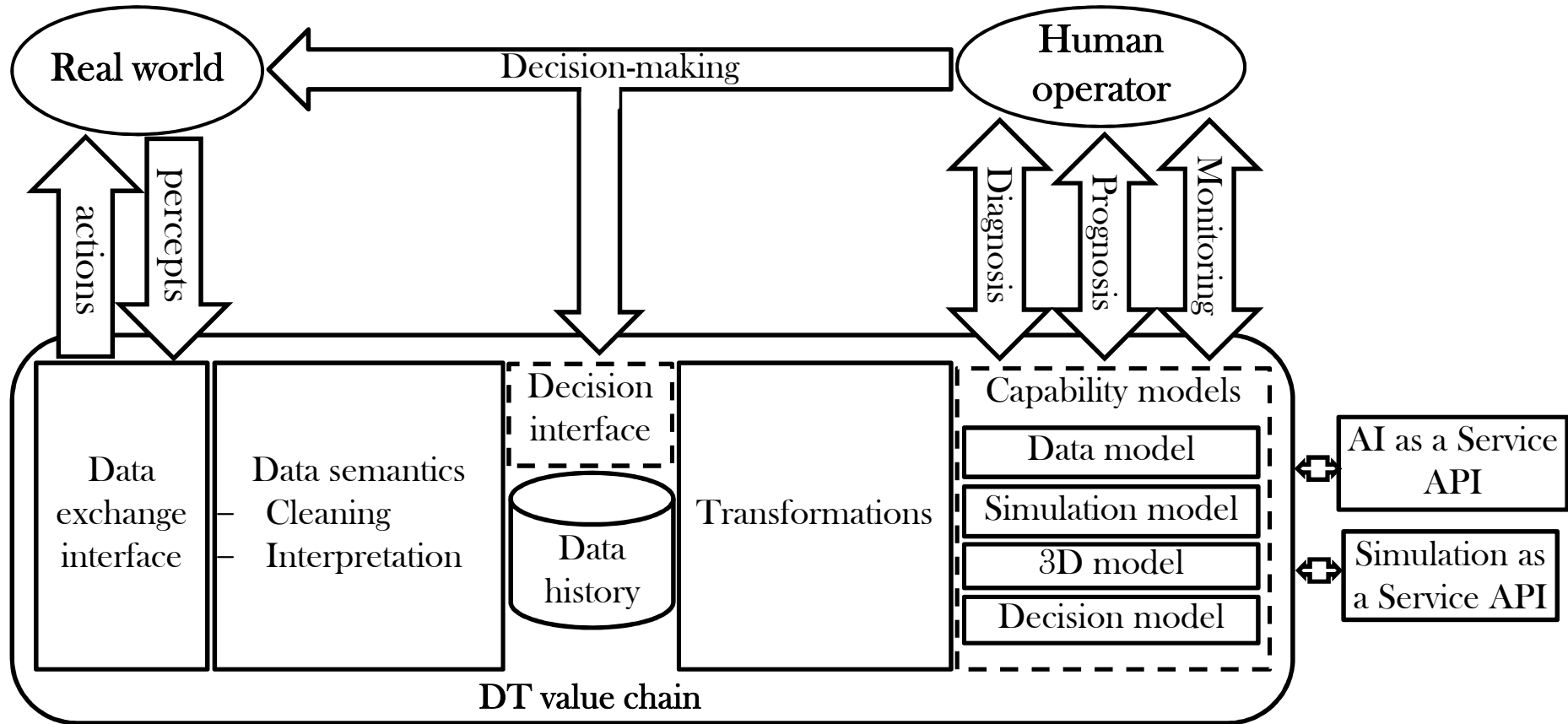
Role	Open loop	Closed loop
Visual interface	Visual monitoring	Visual control
Diagnosis interface	Data-based monitoring	Automated control
Prognostic interface	Simulation-based forecasting	Real-Time Simulation-based decision making
Optimization interface	Exploration-based design	Exploration-based decision making
Documentation interface	Data laking	Information mining



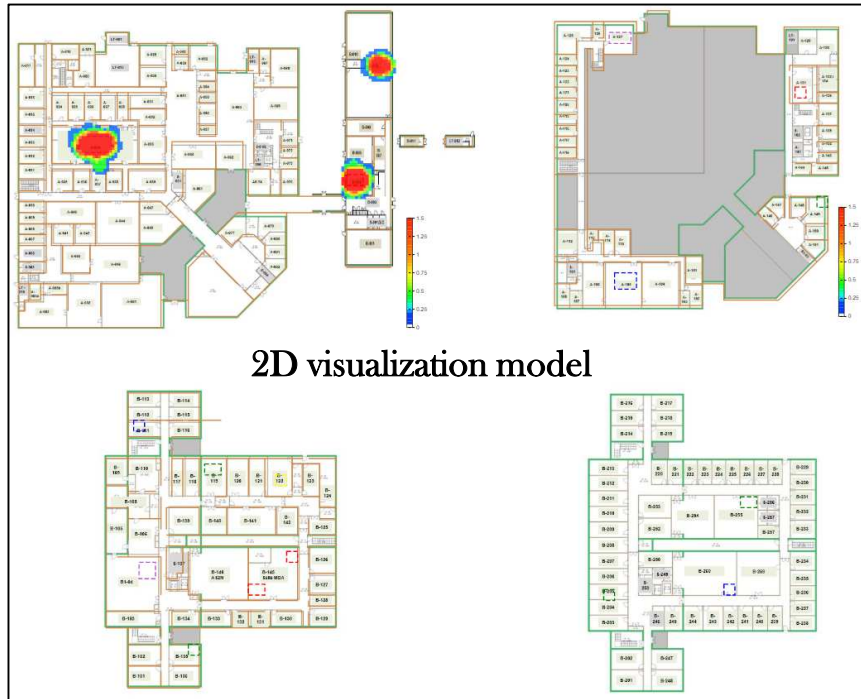
# Modèle de référence à 3 couches



# Architecture opérationnelle



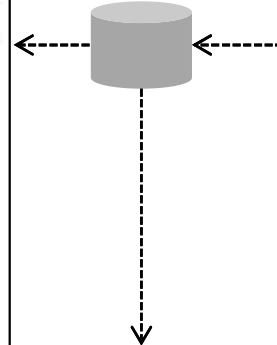
# Application: bâtiment intelligent



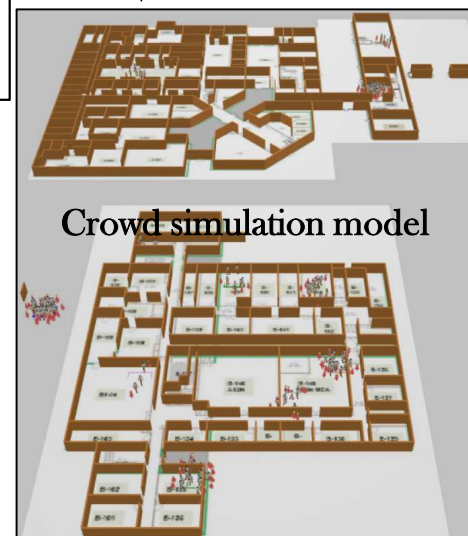
2D visualization model

*Real-time monitoring*

Central data base



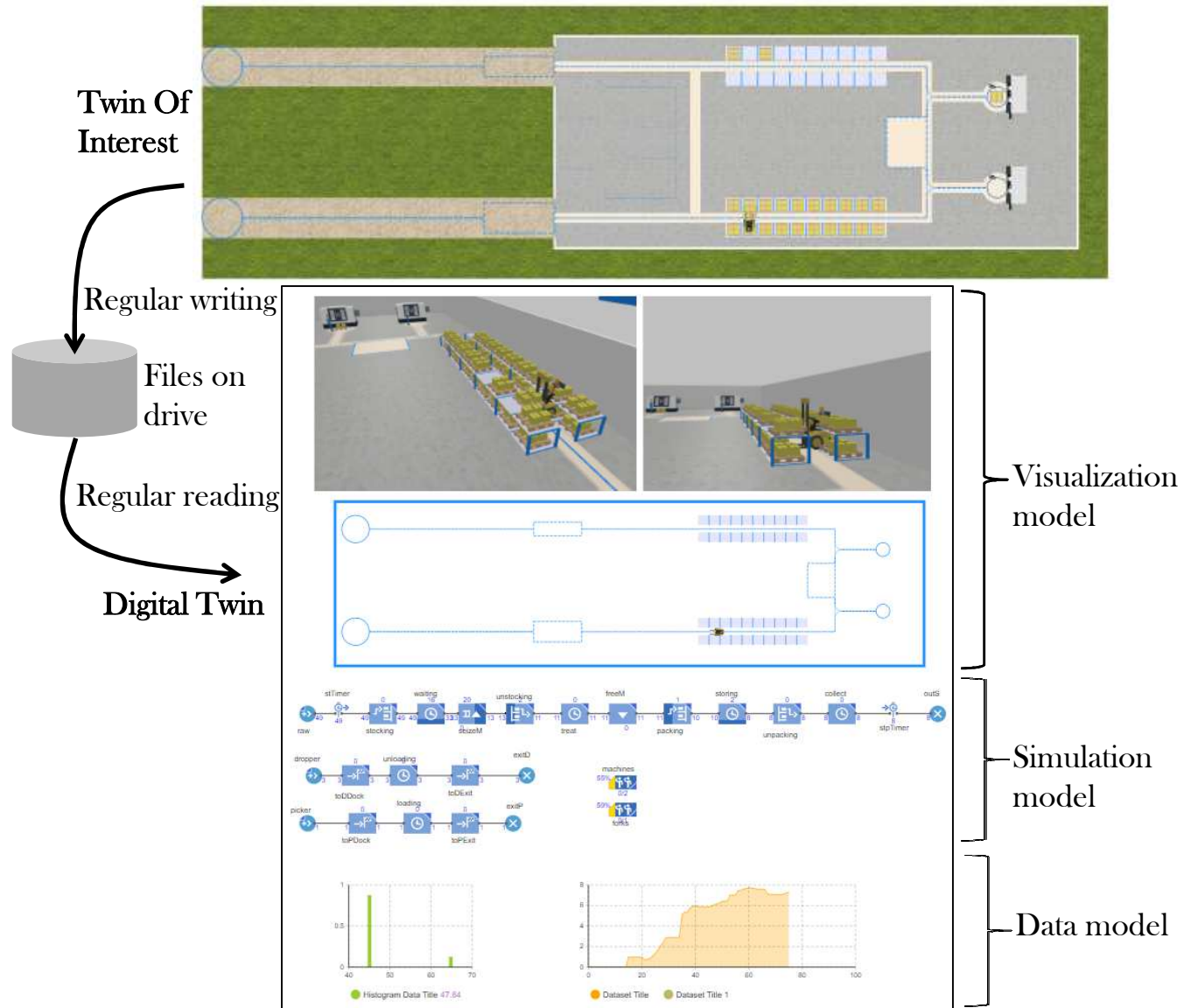
IoT-enabled building



Crowd simulation model

*Energy  
consumption  
prediction*

# Investigation: ingénierie de JN dirigée par simulation





## Pour conclure (ici)

- Plusieurs challenges technologiques
- Plusieurs challenges méthodologiques (e.g., composabilité)
- Nécessité de formalisation rigoureuse

