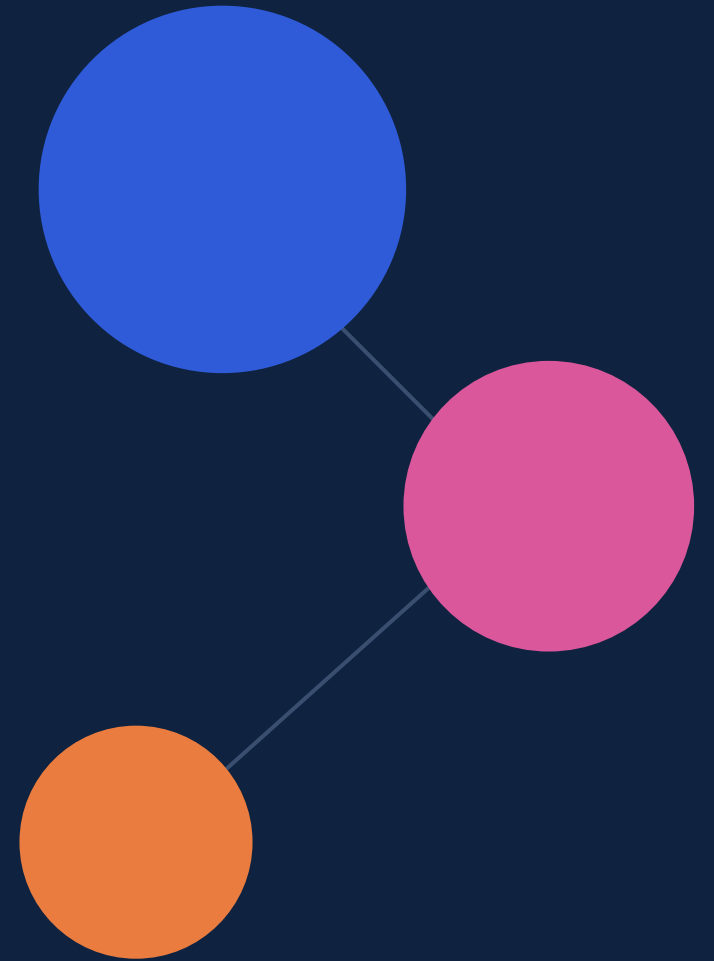


Jumeaux numériques en santé

Définitions, usages et enjeux

Jean Louis Fraysse · BotDesign · SoFIA Santé · Alliance SILICA

16/10/2026



Un jumeau numérique : définition et 4 familles

Un jumeau numérique en santé est une réplique informatique d'un système réel (organe, patient, population), alimentée en continu par des données pour **simuler, prédire et optimiser**.

Par exemple : un jumeau numérique :



Organe

Cœur, cerveau, foie virtuels



Processus de soin

Parcours chirurgical,
protocole thérapeutique



Entité hospitalière

Service d'urgence ou de
chirurgie



Population ou cohorte

Recherche clinique, essais in
silico, santé publique

Cadre mathématique et technologique



Combinaison de modélisation mathématique et d'IA

01

Équations différentielles

Modélisation des trajectoires de santé dans le temps

02

Chaînes de Markov

Stades de progression des maladies chroniques (diabète, maladies cardiovasculaires)

03

Réseaux bayésiens

Intégration multi-omique et probabiliste

04

Apprentissage par renforcement

Optimisation des traitements personnalisés

05

Réseaux neuronaux

Prévision des événements cliniques à partir de séries temporelles

06

Scores de risque pilotés par IA

Probabilité d'événements indésirables (hospitalisation, complications)

Données en entrée, résultats en sortie



En entrée

Données cliniques structurées

Dossier patient, biologie, antécédents

Imagerie médicale

IRM, scanner, échographie

Signaux physiologiques continus

ECG, pression artérielle, objets connectés

Données omiques

Génomique, protéomique, transcriptomique

Données de contexte

Mode de vie, environnement, adhérence

Cohortes historiques

Entraîner et valider les modèles



En sortie

- 01** Prédictions cliniques : risque, trajectoire de la maladie
- 02** Simulations « et si... » : comparer les options
- 03** Aide à la décision pour le clinicien ou le gestionnaire
- 04** Suivi en temps réel et alertes précoces
- 05** Scénarios optimisés de traitement ou de parcours

Trois grands usages en santé



Médecine de précision / parcours de soins

- Prédire l'évolution d'une pathologie et personnaliser le traitement
- Planification pré-opératoire
- Programme de prévention personnalisé
- Modéliser un parcours en chirurgie cardiaque, du bilan préopératoire à la sortie

Moins de délais et de déprogrammations, meilleure utilisation du bloc



R&D et essais in silico

- Populations virtuelles pour tester des hypothèses
- Impact d'un nouveau médicament sur un organe
- Modélisation PK/PD, choix de dose
- Jumeaux d'organe pour tester un traitement avant de l'administrer, notamment sa toxicité

Essais sécurisés, moins d'expérimentation animale



Systèmes de santé

- Jumeau d'établissement : flux, lits, blocs
- Modélisation épidémiologique
- Simulation de politiques de vaccination ou de dépistage



Prévention

- Visualiser l'effet de ses comportements : tabac, activité physique, alimentation, sommeil

Le patient devient acteur de sa santé

Exemples de jumeaux numériques en pratique

Organe / pathologie	Données d'entrée	Approche de modélisation	Sorties / prédictions	Maturité / validation
Cœur : troubles du rythme (fibrillation atriale, tachycardie ventriculaire)	IRM/CT, ECG, cartographie électrophysiologique	Modèles électrophysiologiques multi-échelles patient-spécifiques	Circuits de réentrée, réponse aux antiarythmiques, optimisation de l'ablation	Prédictions fiables dans des études cliniques récentes (ex. amiodarone) ; en phase de transfert clinique
Métabolisme : diabète de type 1 (simulateur UVA/Padova)	Profils glycémiques, cinétique de l'insuline, repas, activité	Modèles glucose-insuline mécanistiques	Réponses glycémiques simulées, test d'algorithmes de pancréas artificiel	Accepté par la FDA comme substitut d'essais précliniques pour les boucles fermées
Neurovasculaire : anévrismes intracrâniens	Imagerie 3D (CT, IRM, angiographie), géométrie vasculaire, flux sanguin	Simulation hémodynamique, interaction fluide-structure	Choix de l'implant (taille, type), flux après pose	Logiciel Sim&Size autorisé par la FDA : meilleur taux de succès, moins d'implants multiples
Oncologie : tumeurs de la tête et du cou	Imagerie (CT, IRM), localisation tumorale, toxicité, caractéristiques patient	Jumeau numérique visuel (DITTO) + deep reinforcement learning	Réponse tumorale et toxicités selon les plans thérapeutiques ; aide à la décision	Projet DITTO (2024), testé en contexte clinique exploratoire

Le frein principal : la preuve de fiabilité

Nous ne savons pas encore démontrer, de façon robuste, qu'un jumeau numérique améliore réellement la prise en charge.



Technique

Les briques existent.
La difficulté : les données — qualité, interopérabilité, mise à jour en temps réel.



Juridique

Le cadre existe (DM, RGPD, AI Act, EHDS).
À travailler : consentement et responsabilité en cas d'erreur.



Culturel

Les soignants n'adoptent pas ce qu'ils ne comprennent pas : il faut les former et concevoir les jumeaux avec eux.

Sans méthodologie d'évaluation partagée :

pas de confiance des soignants et des patients, pas d'autorisation des régulateurs, pas de financement ni de remboursement.

La boucle thérapeutique continue

EN ENTRÉE



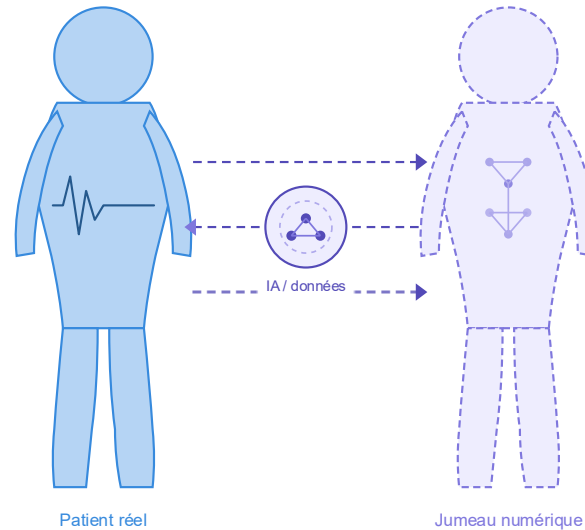
Données cliniques

Bilans, imagerie, constantes



Données du quotidien

Capteurs, appli, observance

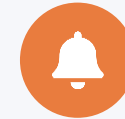


EN SORTIE



Ajustement du traitement

Dose, protocole, timing



Alerte de rechute

Signal précoce au clinicien



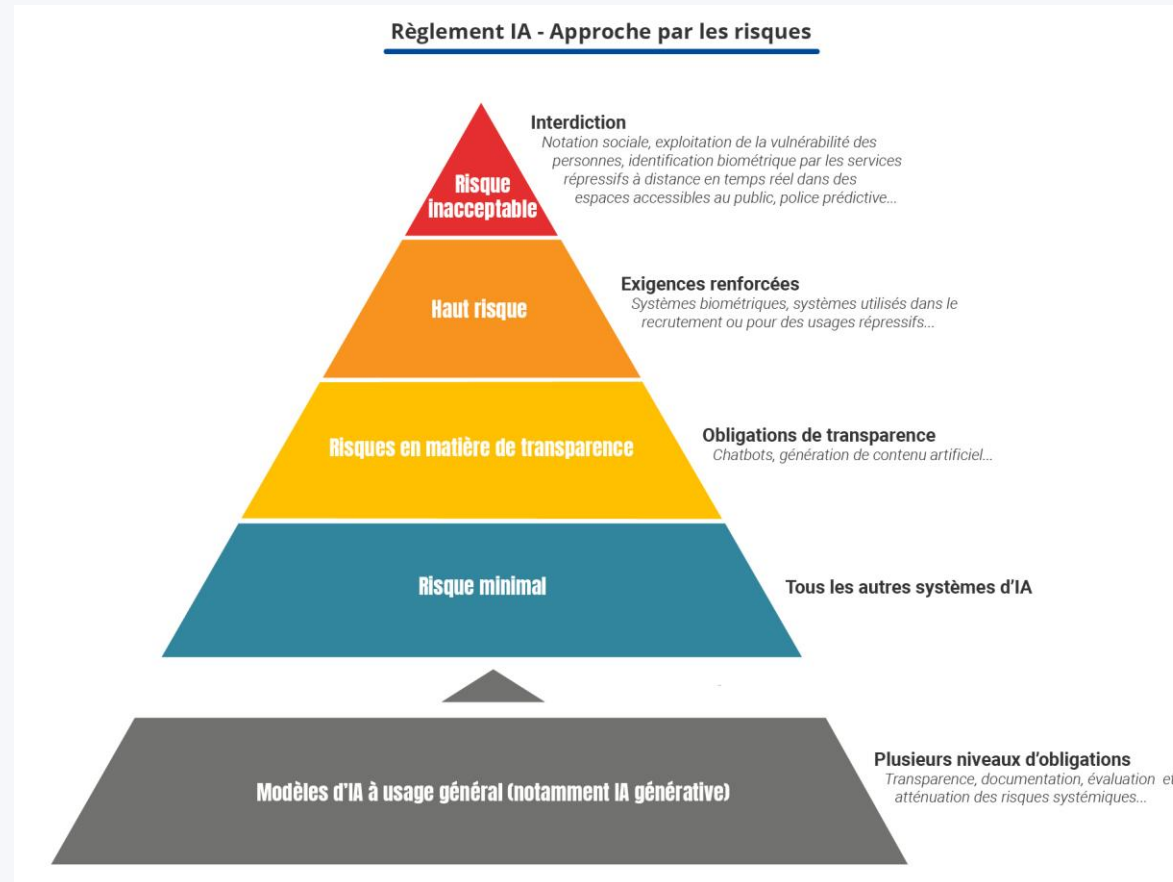
Plan de rééducation

Intensité, exercices, rythme



Mise à jour en continu : chaque nouvelle donnée affine le modèle et ses recommandations.

AI Act : une approche par les risques



Venez construire avec nous

Nos commissions et groupes de travail sont ouverts : cliniciens, chercheurs, industriels, patients.

Pour des données virtuelles et des jumeaux numériques conçus avec leurs utilisateurs.

Merçi

