

Journée inter-instituts / IA à l'Université : pratiques de recherche et d'enseignement

17 juin 2026

Apports de l'IA à la modélisation et à l'optimisation des systèmes de santé

Pr. Oussama Barakat

Sommaire

01

Introduction
 **SINERGIES**
Soins Intégrés, Nanomédecine, IA
& Ingénierie pour la Santé

02

Complexité des
systèmes de santé

03

Du génie
industriel
au génie
hospitalier

04

Quelques
projets IA-
Santé

05

Conclusion
Perspectives

SINERGIES Soins Intégrés · Nanomédecine · IA & Ingénierie pour la Santé – UR 4662

Équipe 1

Soins Intégrés
& Personnalisés

Équipe 2

Biomarqueurs &
Cibles thérapeutiques

Équipe 3

Ingénierie pour la Santé

IA – Santé : Analyse, modélisation, prédiction, optimisation, surveillance et aide à la décision

Recherche clinique Méthodologies, protocoles et appui au transfert des preuves scientifiques vers les patients.

Imageries 2D,3D,4D Développement et intégration de protocoles d'imagerie multimodale pour documenter les trajectoires de soin.

Plusieurs projets engagés

- **Optimisation du circuit de médicaments** dans un établissement de santé multi-sites (Centre hospitalier Régional Haute Alsace) ;
- **OPTIMHAD** : *OPTIMisation de l'organisation des suivis des patients par le personnel soignant dans le cas de l'Hospitalisation A Domicile. Suivi et remontée des constantes physiologiques au travers d'une plate-forme d'information ;*
- *Optimisation du trafic routier par des modèles distribués à base d'agents embarqués utilisant les technologies des objets connectés : impact pour l'optimisation de routages en interaction avec les systèmes de santé ;*
- **OPTIMBLOC** : *Approche IAD « Intelligence Artificielle Distribuée » pour la planification et l'aide à la conduite des processus de blocs opératoires ;*
- **SIA_REMU** : *Système d'Intelligence Artificielle pour la régulation médicale des urgences. Programme européen de coopération transfrontalière Interreg France-Suisse ;*
- **EMOTAT-REMU** : *Les EMOTions dans les Appels Téléphoniques au CRRA15 : indexation manuelle et élaboration d'un système d'intelligence artificielle pour l'aide à la décision dans la REGulation Médicale des Urgences*
- **INOVA** : *Système d'Intelligence Artificielle pour la surveillance, la prédiction et l'aide à la décision dans la surveillance du bien-être Fœtal au cours du Travail ;*
- **OCTAVIA** : *Optimisation des assoCiations de Traitements Anti-VIH à l'aide des méthodes et outils de l'IA*
- **GESICA** : *Gestion de Situation Crises sAnitaires ;*
- **Exposome environnemental dynamique et inégalités socio-territoriales comme déterminants du pronostic à long terme de l'infarctus du myocarde ;**
- **EPH-IA**
- **ALISON ++** *Gestion automatisée et personnalisée de la sédation & l'analgésie en réanimation ;*
- **SAIAD** : *améliorer par méthode informatique l'analyse de l'imagerie médicale dans le traitement des tumeurs rénales chez l'enfant ;*
- **SSuWAI, DIABETE, STUDEC, QVaDom, ADBI, O2SaD, GERETEC, InCaDo/E-Care**
-

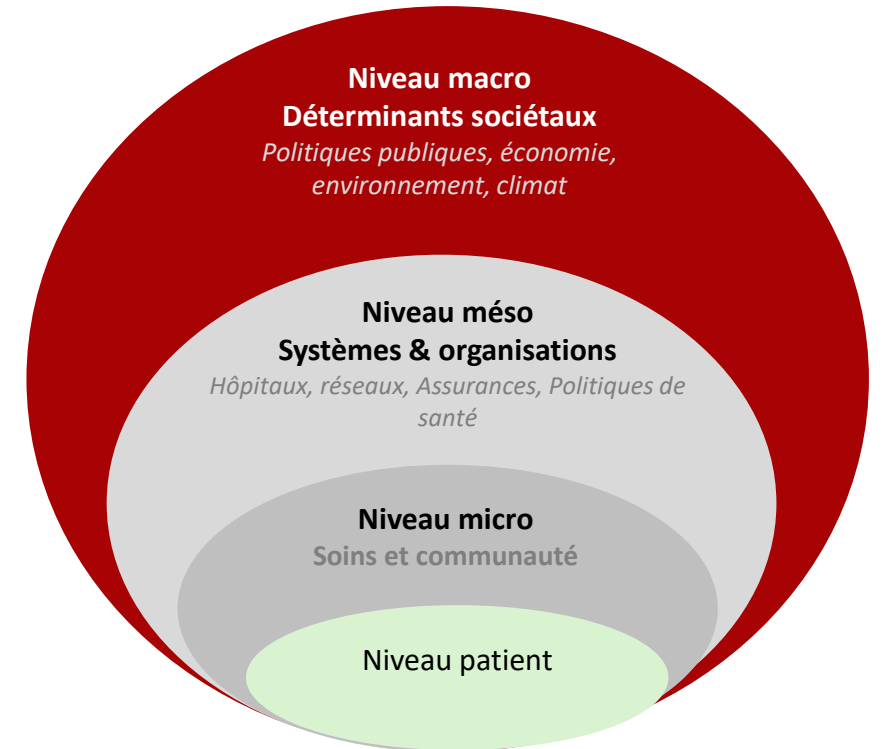
Un système de santé désigne l'ensemble des organisations, institutions, ressources et acteurs dont la finalité principale est d'améliorer la santé d'une population : la prestation de services, la génération de ressources, le financement, et la gouvernance.

Un système de santé est un système adaptatif complexe :
il regroupe des acteurs hétérogènes (patients, soignants, gestionnaires, payeurs, industriels) **en interaction non linéaire**, avec des boucles de rétroaction, des phénomènes d'émergence et une sensibilité aux conditions initiales.

Complexité des systèmes de santé

- Les systèmes de santé sont structurés en couches imbriquées avec des interactions à chaque interface.
- Des boucles de rétroaction dont certaines sont stabilisatrices : ***prévention → moins de maladie → moins de pression sur le système et d'autres amplificatrices (manque de soignants → délais → recours tardif → gravité accrue) ;***

Comment modéliser : en articulant trois familles complémentaires autour d'une couche d'intégration hybride, alimentée par des données multi-sources et validée par retour calibration ?



L'intuition ou l'expérience seule sont insuffisantes pour anticiper les effets de politiques de santé, d'où la nécessité de modèles formels.

Problématiques transversales

La tension efficience/équité

L'efficience économique pousse à concentrer les ressources là où le retour sur investissement est maximal (maladies fréquentes, traitements standardisables) ; l'équité exige une couverture universelle y compris pour les maladies rares, les populations précaires ou éloignées.

La transition épidémiologique

Le double fardeau des maladies chroniques non transmissibles (diabète, cancers, maladies cardiovasculaires) et des pathologies infectieuses émergentes (pandémies, résistance bactérienne ou virologique) impose une recomposition profonde de l'offre de soins. Les systèmes historiquement conçus pour les soins aigus s'adaptent mal à la chronicité et aux soins de long cours.

Le vieillissement démographique

Il crée une pression structurelle sur la demande de soins (multimorbidité, dépendance, polypharmacie) tout en réduisant la base contributive dans les systèmes bismarckiens. La notion de compression de la morbidité espérer repousser les années de mauvaise santé davantage que la mort, reste un objectif plus programmatique qu'empiriquement établi à grande échelle.

L'innovation technologique et son accès inégal

Les thérapies de rupture (thérapies géniques, immunothérapies, médicaments d'ARNm) génèrent des coûts unitaires sans précédent. Le prix d'un traitement curatif ponctuel comme une thérapie génique interroge radicalement les modèles traditionnels de remboursement basés sur la prescription chronique.

La crise des ressources humaines en santé

La pénurie mondiale de professionnels de santé se double d'une maldistribution géographique massive: déserts médicaux en zones rurales, surcharge dans les métropoles, fuite des cerveaux des pays à revenus faibles vers les pays riches.

La gouvernance et la fragmentation

La fragmentation entre ville/hôpital, entre financeurs, entre niveaux administratifs est une source majeure d'inefficience : duplications d'examens, ruptures de parcours, absence de dossier médical partagé. La coordination des soins (care coordination) est un champ de recherche en soi.

Défis émergents :

- la **planétarisation des risques sanitaires** (Covid-19 a montré l'interdépendance des systèmes à l'échelle mondiale) ;
- la **santé environnementale** (pollutions, changement climatique comme déterminant de santé - sujet directement lié à des travaux comme CLIMAT-SCA) ;
- la **soutenabilité financière** à long terme face à l'explosion des coûts des thérapies innovantes et à la pression démographique.

- *Performance et évaluation des systèmes de santé*
- *Allocation des ressources et flux de soins*
- *Équité, biais algorithmiques et déserts numériques*
- *Données, LLM et interopérabilité*

Du génie industriel au génie hospitalier

Health Systems Engineering // un pont entre deux disciplines

Génie Industriel

Génie Hospitalier

Ce qui distingue fondamentalement les deux domaines

Variabilité humaine

Le « produit » hospitalier est un patient avec une biologie singulière et une trajectoire imprévisible. La variabilité est intrinsèque, non réductible à une tolérance mécanique.

Asymétrie d'information

La relation soignant-patient est fondamentalement non équilibrée (information médicale complexe, urgence, vulnérabilité). Pas d'équivalent industriel direct.

Régime réglementaire et éthique

Certification HAS, responsabilité médicale, éthique clinique, consentement éclairé. Des contraintes sans équivalent dans la production industrielle standard.

Objectifs multiples et conflictuels

L'hôpital doit simultanément maximiser qualité, équité, soutenabilité financière et bien-être soignant - objectifs en tension, difficilement réductibles à une fonction-objectif unique.

1. Organisation des flux et des processus

2. Recherche opérationnelle et aide à la décision

3. Supply Chain

4. Qualité, Fiabilité & Sécurité

5. Ergonomie, facteurs humains et IHM

6. Modélisation & Simulation
SMA & IAD

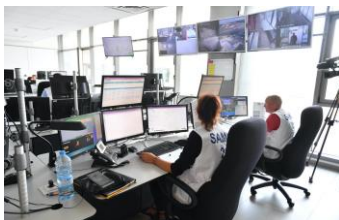
7. IA & Données

Contexte et objectifs



Patient, témoins,

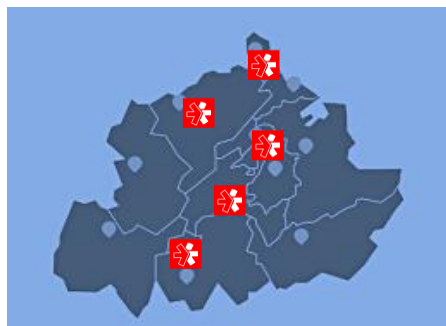
famille,...



- Evolution des besoins en santé // mutation de l'exercice médical à l'ère de l'IA
- Retentissement sur les Services Hospitaliers d'Accueil des Urgences :
 - Augmentation de près de 15% en 4 ans (3,6 %/an)
 - des millions de passages aux urgences ...
 - Surcharge, débordement et conséquences sur la morbi-mortalité ;
 - Augmentation des appels au 15 / 144

Le projet SIA-REM vise la conception et le développement d'un système à base d'IA dédié à la régulation des urgences :

- Détecter de manière précoce les cas d'urgence vitale et non urgente ;
- Attribuer de manière optimale les services mobiles d'urgence ;
- Déterminer la filière de soins d'urgence et le parcours de soins ;
- Intégrer la solution SIA-REM aux outils numériques pour la gestion des services des urgences.



Coût total du projet : 2 471 325,74 € / 2 424 370 CHF

dont : Subvention FEDER : 1 067 319,96 €
Subvention fédérale Interreg suisse : 340 016 CHF soit 346 601,65 €
Subventions cantonales : 200 000 CHF soit 203 873,60 €
50 000 CHF soit 50 968,40€ pour le canton de Genève ;
80 000 CHF soit 81 549, 67 pour la fondation HUG ;
60 000 CHF soit 61 162,08€ pour le canton de Neuchâtel ;
90 000 CHF soit 91 743,12€ pour le canton de Vaud.

Pr. Oussama Barakat & Pr. Thibaut Desmettre



- 11 Partenaires dont 2 industriels
- 4 CHU et 1 CHR
- 4 Universités
- 2,4 M €

Contexte et objectifs

- Les risques et les menaces ont évolué durant ces dernières années, ils ont changé de nature et de forme : menaces terroristes, risques infectieux émergents et épidémiques, crises climatiques....
- Le risque de crises simultanées ou successives est une réalité.
- Fragilité des systèmes et des organisations sanitaires en regard de ces situations a conforté la nécessité d'une anticipation et une préparation en amont, afin de limiter l'impact sur le système de santé et en particulier sur les soins courants.
- L'organisation des systèmes de soins autour des situations sanitaires exceptionnelles (SSE) doit prendre en compte l'ensemble des risques auxquels ces systèmes peuvent être confrontés

Le projet GESICA vise la conception et le développement d'un système intelligent dédié aux SSE :

- capable d'agréger des données hétérogènes provenant de sources diverses ...
- capable de détecter et analyser les signaux faibles d'une SSE ...
- donner l'alerte avec anticipation ...
- proposer des scénarios pour la planification et l'optimisation des moyens.

IA pour la Préparation aux Crises Sanitaires

Des signaux silencieux à l'action stratégique — GESICA utilise l'intelligence artificielle pour détecter précocement les signes annonciateurs de situations sanitaires exceptionnelles et optimiser la réponse d'urgence à l'échelle du territoire transfrontalier France-Suisse.

[Explorer le projet →](#)



Simulation de Crise Sanitaire

Rechercher...mar. 16 juinLive

SEIR-HD · Stratification par âge · Saisonnalité · Interventions

Simulation de Crise Sanitaire

Départ novembre 2026 · Données réelles Franche-Comté · Modèle multi-âges

SEIR-HD

3 âges

Saison

J+21

Paramètres — Scénario A (principal)

Données réelles intégrées · Saisonnalité automatique

TERRITOIRE

Franche-Comté entière

VARIANT / TYPE DE CRISE

COVID-like (Omicron)

HORIZON DE SIMULATION

6 mois (nov → mai 2027)

R0 de base : 2.5

Vaccination : 40%

Mobilité : 100%

Soignants disponibles : 100%

Interventions (déclenchées à J+X après le début)

Confinement à J+—

Boost vaccin à J+— (+20%)

Masques à J+— (~30% R0)

Ouverture lits crise à J+—

ALERTE CRITIQUE — Saturation imminente. Plan blanc et transferts à prévoir.

Franche-Comté · COVID-like (Omicron) · Pic cas : 6 603/j (2027-02-06) · Pic réa : 250% · Alerte 80% : 2027-01-13 · Saturation : 2027-01-18

Rechercher...

mar. 16 juin

Live

GESICA

Alert Engine

Projection automatique — Nov 2026 — Mar 2027

J+14 · J+21 · J+30 · J+180 · 3 scénarios · Ligne 80% réa · Saturation estimée

Nov 2026–Mar 2027 · J+14/21/30/180 · R0=1.07

Projection probabiliste Nov 2026–Mar 2027 · R0=1.07 · Seuil réa : 65

Taux /100k

40000

30000

20000

10000

0

2020

2021

2022

2023

2024

2025

2026

2027

Historique réel

Intervalle Opt/Pess

Optimiste

Central

Pessimiste

Seuil 80% réa (65)

J+30

J+180

PIC 7779

Scénario pessimiste : saturation réanimation estimée autour du 2027-03-14 (65 lits / seuil 80%)

13



Optimisation des Associations de Traitements Anti-VIH à l'aide des méthodes et outils de l'Intelligence Artificielle

Projet inter GS INTHERAPI & EIPHI financement
Région Bourgogne – Franche-Comté

O. Barakat, J. Lagoutte-Renosi, M-B. Valnet-
Rabier, S. Davani et A. Rachid

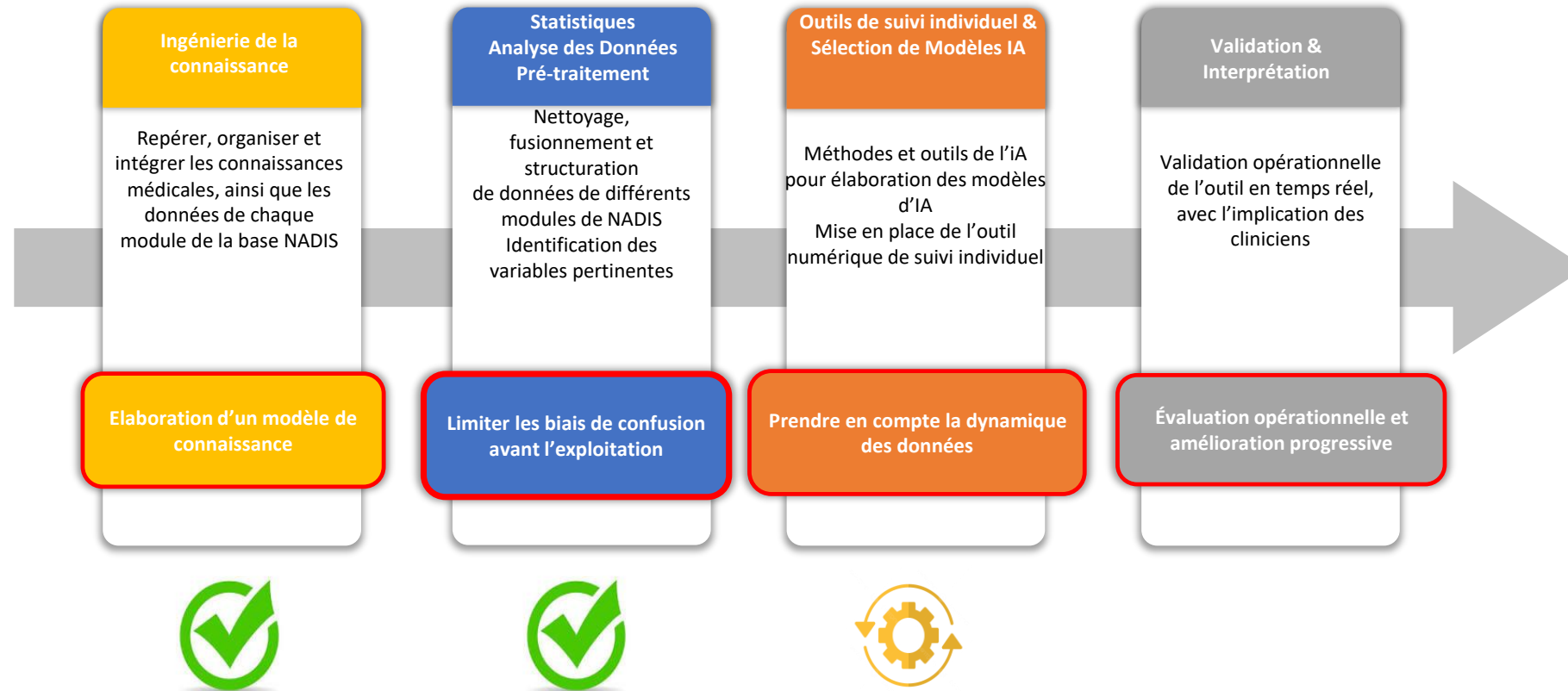
Contexte et objectifs

Optimisation thérapeutique des antirétroviraux à partir :

- des recommandations
- des données immunovirologiques de l'exposition aux différentes lignes de traitement
- des comorbidités et comédication associés
- des contraintes de vie personnelle

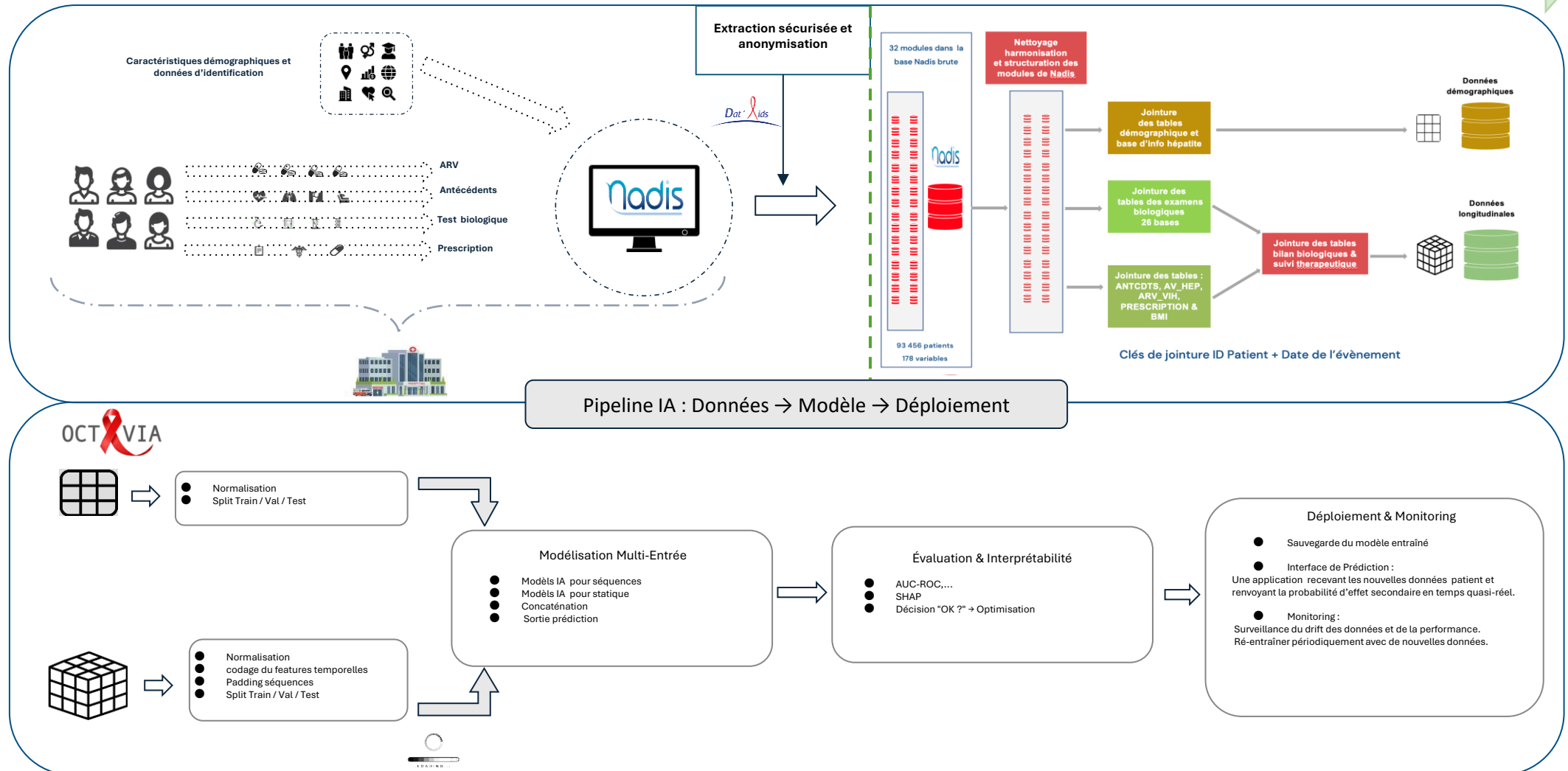
Problématique : Pas d'outil disponible pour évaluer et prédire le risque de maladie iatrogène et notamment de survenue d'effets indésirables à l'échelle individuelle, qui impacte l'observance thérapeutique ...

- **Objectif principal :** Développer un outil intelligent d'aide à la décision, démonstrateur, dans le domaine de la gestion du risque de survenue d'effet indésirable médicamenteux chez les patients vivant avec le VIH sous forme de score.
- **Objectifs secondaires**
 1. Construire une approche multi-modèle (clinique, statistiques et IA pour la prédiction et la surveillance clinique avec des méthodes d'optimisation des traitements à base d'IA ;
 2. Développer une solution informatique intégrée globale OCTAVIA combinant le suivi médical, la surveillance individuelle des patients et les initiatives communautaires ;
 3. Améliorer durablement la qualité de vie des PVVIH.



Prise en charge du patient et enregistrement des données

Période de prédiction



[Aller à une analyse...](#)

✧ Prédiction

✓ 56 272

1

● Suivi de routine ◆ Modification thérapeutique ✕ Effet indésirable

Hiver Printemps Été Automne

11 Oct 2007
Modification thérapeutique
Traitement actif : ABACAVIR+LAMIVUDINE+DARUNAVIR+RITONAVIR
Raison : Raison non renseignée
Biologie : Aucune mesure biologique

Mar 2007 May 2007 Jul 2007 Sep 2007 Nov 2007

Rechercher...

gdx

Accueil

À propos

Étude Nationale – France

Portrait global de la cohorte

Profil de l'infection et du diagnostic

État biologique et co-infections

Efficacité du suivi et contrôle viral

Parcours thérapeutique ARV

Tolérance et sécurité des traitements

Fiche patient

Analyses croisées et profils patients

Étude Internationale

Prédictions

PLATEFORME D'ANALYSE DES DONNÉES VIH

Octavia

Optimisation des associations de traitements anti-VIH
à l'aide des méthodes et outils de l'intelligence artificielle

Octavia réunit en une plateforme unique l'exploration des cohortes, les analyses statistiques et longitudinales, et des outils d'aide à la décision — au service de la recherche clinique et de la pharmacovigilance appliquées au VIH.

Explorer les analyses →

À propos du projet

Étude Nationale – France

Portrait global de la cohorte

Profil de l'infection et du diagnostic

État biologique et co-infections

Efficacité du suivi et contrôle viral

Parcours thérapeutique ARV

Tolérance et sécurité des traitements

Fiche patient

Analyses croisées et profils patients

Étude Internationale

Prédictions

gdx

INDÉSIRABLES

Indésirables

Effet indésirable : Echec virologique

CD4

Charge virale (log10)

Rapport CD4/CD8

Créatinine

ALAT

ASAT

Glycémie

Cholestérol

Hémoglobine

Leucocytes

Plaquettes

CD4

Mois autour de l'Ei	CD4
-10	395
-9	390
-8	388
-7	390
-6	392
-5	390
-4	388
-3	385
-2	375
-1	370
0	380
1	390
2	395
3	402
4	403
5	405
6	410
7	412
8	410
9	415
10	412
11	420
12	425

Créatinine

Mois autour de l'Ei	Créatinine
-10	79.8
-9	79.8
-8	79.7
-7	79.8
-6	79.6
-5	79.7
-4	79.6
-3	79.5
-2	79.4
-1	79.3
0	79.2
1	79.4
2	79.6
3	79.8
4	80.0
5	80.1
6	80.5
7	80.2
8	80.3
9	80.2
10	80.3
11	80.3
12	79.8

PARTENAIRES & INSTITUTIONS

18

Conclusion & Perspectives

CONCLUSION

- ✓ Une capacité inédite à traiter la complexité, l'hétérogénéité et le volume des données sanitaires
- ✓ Des systèmes de soins plus anticipatifs, plus efficaces et plus équitables
- ✓ Une démarche projet R&D : scientifique, éthique et organisationnelle est indispensable
- ✓ Une collaboration chercheurs, cliniciens, gestionnaires et décideurs politiques est la clé



Grands Modèles de Langage (LLM)

Faciliter l'interaction entre experts métier et systèmes d'IA. Extraction automatique de connaissances cliniques depuis les dossiers textuels.

Jumeaux numériques à grande échelle

Déploiement régional, national voir international pour une planification stratégique augmentée des systèmes de santé.

IA causale

Dépasser la corrélation pour identifier des leviers d'action robustes et des politiques de santé fondées sur des mécanismes causaux validés.

Modèles hybrides IA + RO

Combiner les forces de l'apprentissage automatique (flexibilité, données) et de la recherche opérationnelle (optimalité, contraintes).



Merci pour votre attention