

## CONSEIL D'ADMINISTRATION D'AIX-MARSEILLE UNIVERSITE

### DELIBERATION n° 2021/06/22-06-CA

Le **Conseil d'administration**, en sa séance du 22 juin 2021, sous la présidence d'Éric BERTON, Président,

**Vu** le Code de l'Éducation,

**Vu** les Statuts d'Aix-Marseille Université modifiés,

**Vu** les recommandations du Comité d'Orientation Scientifique du site d'Aix-Marseille en 2015 et du jury Initiatives d'Excellence en 2016,

**Vu** l'avis favorable et la validation du Conseil stratégique international de l'Initiative d'excellence A\*Midex du 07 juin 2021,

**Considérant que** la création de cet Institut favorise le rayonnement et l'attractivité d'Aix-Marseille Université en donnant davantage de visibilité aux thématiques abordées,

### **DECIDE :**

#### **OBJET : Création de l'Institut LAENNEC**

Le Conseil d'administration approuve la création de l'Institut LAENNEC selon les modalités détaillées en annexe de la présente délibération.

**Cette délibération est adoptée avec 30 voix pour et 1 abstention.**

Membres en exercice : 36

Quorum : 18

Présents et représentés : 31

Fait à Marseille le 22 juin 2021,

  
**Eric BERTON**,  
Président d'Aix-Marseille Université

# – Institut LAËNNEC – Sciences Numériques et Intelligence Artificielle pour la Santé

**Objet :** Création d'un Institut de recherche en sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé

**Porteurs :** Stéphane Delliaux (MD-PhD) & Mustapha Ouladsine (PhD)

**IDEX support :** A\*MI dex

**Établissement coordinateur :** Aix-Marseille Université

**Établissements de soins partenaires :** AP-HM, IPC

**Organisme de recherche :** CNRS, INSERM, IRD

**Industriels :** Non, mais dans un comité stratégique et partenariats

**Pôles de compétitivité :** Eurobiomed

**Unités de recherche impliquées :**

LIS UMR 7020

FRESNEL UMR 7242

I2M UMR 7373

C2VN UMR 1252

INT UMR 7283

INS UMR 1106

SESSTIM UMR 1252

ADES UMR 7268 & EEM

CRMBM UMR 7339

IBDM

DICE UMR 7318

INSM UMR 7287

INMED UMR 1249

INP UMR 7051

LBA UMR IFSTTAR

LPC UMR 7290

LNSC UMR 7260

IM2NP UMR 7334

CRCM UMR 1068

Marseille Medical Genetics

CEReSS

Centres d'Investigation Clinique

CERGAM EA 4225

**Ecoles doctorales impliquées :**

ED 184 – Mathématiques et Informatique de Marseille

ED 62 – Sciences de la vie et de la santé

ED 353 – Sciences Pour l'Ingénieur

# Résumé du projet

La médecine personnalisée de demain est un enjeu majeur de l'innovation biomédicale actuelle. Pour relever cet enjeu, il est devenu indispensable de fédérer de multiples aptitudes et compétences autour de la connaissance médicale afin de proposer aux innovateurs un environnement adapté au défi d'une meilleure compréhension de la pathologie humaine et de sa complexité.

Au vu des contextes national et international extrêmement compétitifs et au vu d'un état des lieux local particulièrement prometteur nous proposons la création d'une structure fédérative hospitalo-universitaire de recherche en sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé à Aix-Marseille, l'Institut Laënnec. Cet institut d'établissement réunira Aix-Marseille Université, l'Assistance Publique – Hôpitaux de Marseille, et l'Institut Paoli-Calmette par l'intermédiaire de 21 laboratoires de recherche, 37 plateformes et plateaux techniques fondamentaux, précliniques et cliniques, soit plus de 520 personnels identifiés.

Cette structure souple préservera l'identité de chaque acteur tout en constituant l'écrin d'un dialogue multi-, inter-, et trans- disciplinaire fertile entre médecins, informaticiens, physiciens, et mathématiciens autour de problématiques médicales. A des questions médicales issues du terrain seront apportées des réponses concertées sous la forme de solutions techniques opérationnelles et valorisables, respectueuses des contraintes juridiques et éthiques, et développées dans l'intérêt du malade. Il s'agit d'apporter les sciences numériques et l'intelligence artificielle au lit du malade.

Les interactions synergiques entre les acteurs s'exprimeront à la fois dans les activités de recherche, de pédagogie, de soin, et des usages. Pour cela l'institut s'appuiera dans un premier temps sur les champs d'applications déjà actifs dans le domaine et prioritaires que sont 1) les neurosciences et 2) l'oncologie-hématologie. D'autres thématiques émergentes seront renforcées dans un deuxième temps en s'inspirant du savoir-faire et de l'expérience des 2 thématiques prioritaires. Pour cela, l'activité de l'Institut Laënnec s'organisera autour de 4 axes scientifiques inter- et trans- disciplinaires d'excellence que sont 1) technologies numériques pour la santé, 2) données numériques de santé, 3) pédagogies en santé numérique, et 4) droit/éthique et usages en sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé.

L'essence-même de cet institut est de rassembler nos forces autour de l'enjeu stratégique qu'est la souveraineté d'établissement dans le domaine des sciences numériques et de l'intelligence artificielle pour la santé. Une articulation forte et coordonnée se fera avec l'ensemble de l'écosystème locorégional, en particulier avec le monde socio-économique dans un objectif de production, de transfert et d'exploitation de la propriété intellectuelle.

# Table des matières

<b>Résumé du projet</b> .....	2
<b>Liste des abréviations</b> .....	4
<b>Introduction : L'innovation biomédicale à l'épreuve des siècles</b> .....	5
La ligne du temps.....	5
De la barbarie à la réconciliation disciplinaire .....	5
Les spécificités de la santé humaine .....	6
Une opportunité de leadership .....	7
<b>État des lieux à Aix-Marseille Université : Un dernier effort, nous y sommes presque ....</b>	8
La continuité disruptive .....	8
Recherche en IA et santé à Aix-Marseille Université .....	8
Équipements et plateformes .....	12
Formations en sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé .....	15
La problématique des données de santé .....	16
<b>Structurons nos forces en sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé</b>	17
Introduction, Ambition, Objectifs .....	17
Effet structurant, animation et coordination scientifiques.....	17
Axes scientifiques d'excellence.....	19
Recherche .....	23
Formation.....	25
Innovation .....	27
International .....	28
Lien avec le monde socio-économique.....	29
Articulation avec l'écosystème.....	30
Fonctionnement, Attractivité.....	30
Gouvernance .....	33

# Liste des abréviations

**AMU** : Aix-Marseille Université

**AP-HM** : Assistance Publique – Hôpitaux de Marseille

**IPC** : l'Institut Paoli-Calmettes

**CHU** : Centre Hospitalo-Universitaire

**DRCI** : Direction de la Recherche Clinique et de l'Innovation de l'AP-HM

**FSMP** : Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales

**IA** : Intelligence Artificielle

**LNIAS** : Institut LAËNNEC en sciences Numérique et Intelligence Artificielle pour la Santé

# Introduction : L'innovation biomédicale à l'épreuve des siècles

## La ligne du temps

L'histoire de l'Homme est jalonnée de trois événements primordiaux, le big bang avec la naissance de l'univers il y a 14 milliards d'années, le « big bang » biologique avec l'apparition de la vie il y a trois milliards d'années et la possibilité de transmettre des informations de génération en génération par voie génétique, et le « big bang » cognitif avec l'émergence de l'intelligence humaine il y a quelques centaines de milliers d'années et la possibilité de transmettre des informations plus rapidement, par l'éducation et l'instruction. Aujourd'hui, l'évolution naturelle semble encore s'accélérer au travers de l'activité humaine qui reste motivée par les besoins humains ancestraux, initialement physiologiques (respirer, se nourrir, boire, se reproduire), puis sécuritaires (se soustraire aux environnements hostiles), et enfin de santé (lutter contre la maladie, se maintenir en bonne santé). L'innovation biomédicale est ancrée au plus profond des besoins humains.

La médecine de demain sera une médecine 4P<sup>1</sup>: préventive, prédictive, personnalisée et participative. Hier, les médecins intervenaient après la survenue de la maladie, demain, ils interviendront avant. Cette médecine préventive plutôt que curative n'est pas nouvelle et a fait ses preuves au niveau individuel comme collectif comme l'a démontré la vaccination. Le défi actuel est de transposer ce concept aux maux d'aujourd'hui, les maladies chroniques (cardiovasculaires, cancéreuses, respiratoires, neuro-dégénératives, musculo-squelettiques, et le diabète), dont le déterminisme est beaucoup plus complexe (génétique, nutritionnel, infectieux, environnemental, comportemental, social, etc.) que ne l'est celui des maladies infectieuses (micro-organismes). Ainsi, tous les obèses ne deviennent pas diabétiques, tous les diabétiques ne font pas un infarctus, et tous les infarctus ne sont pas létaux et pourtant tous sont traités selon les mêmes logigrammes et recommandations des sociétés savantes et des autorités sanitaires. La clé pour une médecine plus efficace réside aujourd'hui dans notre capacité à prédire de façon robuste le risque individuel.

## De la barbarie<sup>2</sup> à la réconciliation disciplinaire

Pour cela un rapprochement voire une hybridation entre "hommes de terrain" (cliniciens) et "hommes de science" (théoriciens) est nécessaire, l'isolement disciplinaire étant dommageable. La leçon inaugurale de Laënnec au Collège de France en 1823<sup>3</sup> est sans appel: « au milieu des hérésies médicales, [...] cette chaire a toujours été l'asile de la médecine d'observation ; [...] aucun des professeurs qui s'y sont succédé n'a jamais quitté cette route assurée, qui seule peut conduire à des connaissances réelles et utiles, et **maintenir la médecine dans le rang qui lui appartient parmi les sciences physiques** ». Plus récemment, la NIH Roadmap for Medical Research 20 décrit les équipes de recherche du futur nécessaires à la compréhension des systèmes biologiques complexes. L'échelle et la complexité des problématiques biologiques et

<sup>1</sup> Flores M, Glusman G, Brogaard K, Price ND, Hood L. P4 medicine: how systems medicine will transform the healthcare sector and society. *Per Med.* 2013;10(6):565-576.

<sup>2</sup> Schrödinger E. Science et humanisme - La physique de notre temps, 1951 extrait de "Physique quantique et représentation du monde" éditions du Seuil.

<sup>3</sup> René-Théophile Laënnec, « Extrait du discours prononcé à l'ouverture de son cours de médecine au Collège royal de France », Archives générales de médecine, Paris, série 1, no 1, 1823, p. V-XX (consultées le 21 janvier 2020).

médicales actuelles imposent la transcendance disciplinaire rendant nécessaire la constitution, au-delà des équipes-projets, de *nuclei* non traditionnels regroupant médecins, biologistes, ingénieurs, informaticiens, physiciens et mathématiciens incluant aussi patients et acteurs du monde socio-économique.

Historiquement le chercheur s'est éloigné du patient. Le clinicien scientifique qui cimentait les sciences fondamentales, la biologie et la pathologie humaine, a quasiment disparu au profit d'une part d'un clinicien technicien (spécialiste d'organe ou de fonction) et d'autre part d'un scientifique technologique (thérapie cellulaire, thérapie génique, etc.). A tel point que la recherche translationnelle a été individualisée et doit encore être promue alors qu'elle est l'essence-même de la recherche à vocation médicale. Il est devenu indispensable de fédérer ces aptitudes et compétences afin de proposer aux innovateurs un environnement adapté au défi d'une meilleure compréhension de la pathologie humaine, de sa multiscalarité et de sa complexité. Une structure fédérative hospitalo-universitaire de recherche en sciences numériques et intelligence artificielle (IA) pour la santé est l'un de ces environnements.

## Les spécificités de la santé humaine

### *Complexité.*

La santé, individuelle et encore plus populationnelle, est un concept holistique se trouvant au sommet de la pyramide de la complexité. L'état normal ou pathologique est en effet déterminé par les lois naturelles qui s'expriment à différents degrés d'organisation : particules, atomes, molécules, biomolécules, organites, cellules, tissus, organes, organismes, populations. Ainsi s'appliquent conjointement les lois de la physique, de la chimie, de la biologie moléculaire et cellulaire, de la physiologie, et des systèmes (y compris sociaux). A chaque échelle jaillissent des propriétés nouvelles inhérentes à la complexité structurelle et organisationnelle du système. Pour appréhender cette complexité, de nombreux outils innovants sont régulièrement mis au point par les chercheurs et ingénieurs. L'innovation technologique a ainsi permis de passer du caryotype à la génomique puis à l'analyse multi-omique, de l'imagerie à rayons x à l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et à la tomographie par émission de positons (TEP), du microscope optique à champ large à la cytométrie en flux et au microscope confocal 4D, du thermomètre à mercure aux nano- et micro- capteurs nomades, connectés et intelligents. Les techniques de mesure du vivant se sont multipliées, diversifiées, complexifiées et sophistiquées. Parallèlement, les outils mathématiques, statistiques, et computationnels développés ont multiplié les approches et les métriques dépassant les seules compétences médicales.

### *Données sensibles.*

Ces données de santé, habituellement et historiquement recueillies à l'occasion du colloque singulier entre le patient et le médecin qu'est la consultation médicale, ont plusieurs caractéristiques dont la combinaison devient spécificité. Elles sont tout d'abord considérées comme très sensibles et à ce titre ont fait l'objet d'une définition particulièrement contraignante au niveau européen<sup>4</sup>. Des cadres éthique et juridique forts sont nécessaires bien que mouvants. Par ailleurs, d'un point de vue technique elles sont hétérogènes (langagières pour les éléments issus de l'anamnèse et de l'examen clinique, quantitatives pour les résultats d'examen biologiques, sous forme de signaux pour les enregistrements physiologiques, ou d'images voire vidéo pour l'imagerie médicale, etc.), le plus souvent discrètes et clairsemées confinant au point unique, mais parfois continues selon des échelles de temps variables (multiscalarité), de grande

<sup>4</sup> LOI n° 2018-493 du 20 juin 2018 relative à la protection des données personnelles (1).  
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000037085952&categorieLien=id>

dimensionnalité se confrontant régulièrement au fléau de la dimension, très volumineuses, voire massives. Cette nouvelle nature des données de santé, aujourd'hui numérisées et donc *a priori* exploitables pour le raisonnement médical, impose un accompagnement des médecins par les scientifiques.

*De l'art à la science.*

Afin de mettre à profit cette explosion d'outils autant conceptuels que technologiques pour une pratique médicale toujours à la pointe du raisonnement scientifique comme le déclamait déjà Laënnec, il est devenu nécessaire de mettre en œuvre au quotidien et au lit du patient modélisation mathématique et physique, simulation numérique, classification et choix des modèles, et enfin aide à la décision. Les modèles analytiques strictement déterministes développés jusqu'à présent ne suffisent plus pour caractériser un état, la variabilité du vivant étant trop prégnante. Des approches déterministes, stochastiques, mixtes y compris adaptatives sont nécessaires et doivent être exploités à travers des outils statistiques, statistiques avancées, incluant l'IA au sens large. Il est probable que la pratique médicale de demain sera guidée par, voire exigera comme prérequis, une médecine *in silico* première.

## Une opportunité de leadership

Mais le manque de formation des professionnels de santé aux exigences des sciences fondamentales, fussent-elles appliquées aux sciences numériques pour la santé, fait cruellement défaut. Et même si cette formation permettait aux professionnels de comprendre les concepts et outils nécessaires à une pratique à l'état de l'art scientifique, le manque de temps médical limiterait sa mise en œuvre. Ainsi le développement d'outils numériques d'aide à la pratique médicale est tout aussi nécessaire afin de dégager du temps médical utile qui pourra être consacré aux patients et à la recherche biomédicale. Cette double lacune offre aux géants du numérique et d'internet une opportunité de prendre le leadership dans un domaine, la médecine et la santé, dont ils n'ont pas naturellement les compétences. Nous, professionnels de l'enseignement, de la recherche et des soins, réunis autour du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) d'Aix-Marseille, devons être la tête de pont des « sciences numériques et IA au service de la santé » et proposons pour cela la création d'un institut de recherche en sciences numériques et IA pour la santé en partenariat avec les établissements de soins l'AP-HM et l'IPC. En l'absence d'une telle structure apportant aux établissements s'y impliquant souveraineté et autonomie dans le domaine, nous serons demain au mieux dépendants, au pire asservis aux pionniers régionaux, nationaux et internationaux d'aujourd'hui.

# État des lieux à Aix-Marseille Université : Un dernier effort, nous y sommes presque

## La continuité disruptive

Le projet de création d'un institut d'établissement fédératif hospitalo-universitaire se situe dans la droite ligne de la politique menée ces dernières années par Aix-Marseille Université (AMU), pour renforcer les domaines d'excellence scientifiques du site tout en favorisant l'interdisciplinarité, et qui a fait d'Aix-Marseille l'un des 4 sites français reconnus par un jury international au travers de l'attribution définitive du label "Initiative d'Excellence". L'IA figure parmi les axes interdisciplinaires identifiés par le Comité d'Orientation Scientifique d'AMU comme cruciaux pour l'avenir de la recherche et son maintien au meilleur niveau mondial.

En continuité avec la stratégie d'établissement d'AMU ce projet s'inscrit dans une démarche volontariste de développer la recherche en sciences numériques et IA appliquées à l'axe stratégique santé. Ce domaine est au niveau mondial extrêmement compétitif. L'essor des sciences des données (y compris l'IA, l'apprentissage automatique...) dans le domaine de la santé nécessite un effort particulier de structuration afin d'être à la pointe d'un secteur en pleine évolution. Une des clés est sans aucun doute de concevoir les systèmes du futur en intégrant l'ensemble des acteurs dès le départ. C'est ce que nous proposons dans ce projet, en rupture avec la pratique classique de développement qui sépare l'instrumentation, l'analyse de données et les applications. Notre proposition se veut structurellement et méthodologiquement disruptive<sup>5</sup> en faisant un choix clair et tranché d'un projet dont le cœur est l'interdisciplinarité au service des "sciences numériques et IA pour la santé", tourné vers l'avenir et basé sur l'existant.

## Recherche en IA et santé à Aix-Marseille Université

*Du Prolog au deep learning.*

Jeune discipline scientifique, l'IA se décline selon des angles différents - tant *symboliques qu'algorithmiques ou numériques*. Concernant les aspects symboliques et algorithmiques, il est important de rappeler que Marseille constitue historiquement un berceau de l'IA avec la création du langage Prolog en 1972 par Alain Colmerauer et Philippe Roussel à la faculté des sciences de Luminy. Actuellement, une des originalités du contexte marseillais est précisément de combiner une activité de recherche en IA portant de longue date sur les aspects symboliques (représentation des connaissances, raisonnement) et algorithmiques (programmation logique, satisfaction de contraintes) avec une activité plus récente orientée sur les aspects numériques et la théorie de l'apprentissage statistique par les machines (machine learning), incluant notamment les modèles à base d'apprentissage profond (deep learning) mis en avant par de nombreuses applications grand public récentes et spectaculaires. Les progrès récents, notamment dans les domaines de l'IA liés à l'apprentissage automatique, sous-tendent des progrès non seulement dans les domaines clés de l'IA que sont la vision par ordinateur où le traitement automatique des langues, mais aussi dans de multiples domaines connexes où les applications de l'IA consistent non seulement à choisir le meilleur modèle d'inférence selon la

<sup>5</sup> À prendre au sens littéral du terme, en particulier dans le champ d'utilisation qu'est l'électricité. <https://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9D2741>

problématique visée, mais aussi à gérer les collections de données, leur intégrité et leur chaîne de traitement. Les thèmes abordés à Marseille sont très nombreux parmi lesquels l'interaction homme-machine, la gestion de très grandes collections de données hétérogènes (big data), la fouille de données (data mining), la classification et l'aide à la décision y compris par machine learning, et la sécurité informatique (dont la cryptographie et le blockchain), déclinés, entre autres, dans différents domaines d'applications en santé. Ci-dessous un bref aperçu de l'activité en IA pour la santé à AMU.

*Un peu de données numériques ne fait pas de mal.*

Une étude bibliométrique portant sur l'IA dans le domaine de la santé à AMU a été réalisée en janvier 2020<sup>6</sup>. La production scientifique d'AMU en IA représente 1439 travaux de recherche publiés sur les quarante dernières années, dont 147 dans le domaine de la santé, soit 10%. Sur l'ensemble de la production scientifique d'AMU dans le domaine de l'IA, les 2 premiers champs disciplinaires producteurs sont donc "science & technologie" d'une part, et "sciences de la vie et biomédecine" d'autre part (fig.1).

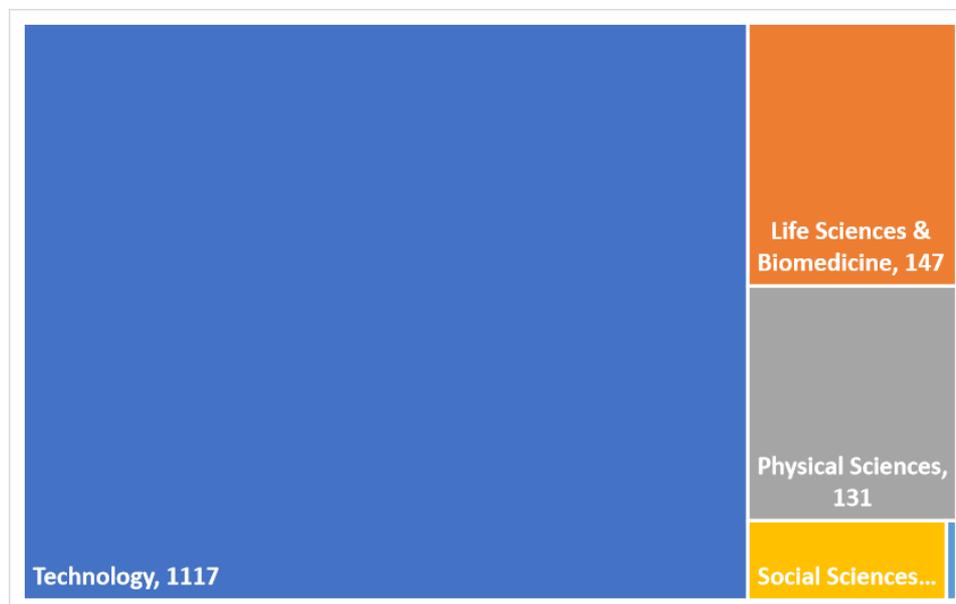


Figure 1. Contribution des champs disciplinaires à la production scientifique d'AMU portant sur l'intelligence artificielle

L'évolution de la production scientifique à AMU depuis l'an 2000 dans le domaine de l'IA dont la santé est croissante (fig.2). Dans le domaine de la santé, les principales disciplines à l'origine de publications sont les sciences computationnelles, les neurosciences, l'imagerie médicale, l'ingénierie biomédicale, la biologie mathématique et computationnelle, et l'informatique médicale (fig.3). D'un point de vue qualitatif, près de 71% de la production scientifique en IA dans le domaine de la santé se situe dans le meilleur quart des revues mondiales. L'IA appliquée à la santé est à l'origine de 30% des publications d'AMU en IA qualitativement classée Q1 et a permis la publication d'1 hot paper (top world 0,1% last 2 years). Le couplage IA et Santé semble représenter une véritable plus-value qualitative de la production scientifique en IA d'AMU (fig.4).

<sup>6</sup> Intelligence Artificielle dans le domaine de la Santé (Version 4 du 13/01/2020), Carine Dou Goarin (Direction de la Recherche et de la Valorisation) & Stéphane Delliaux (C2VN).

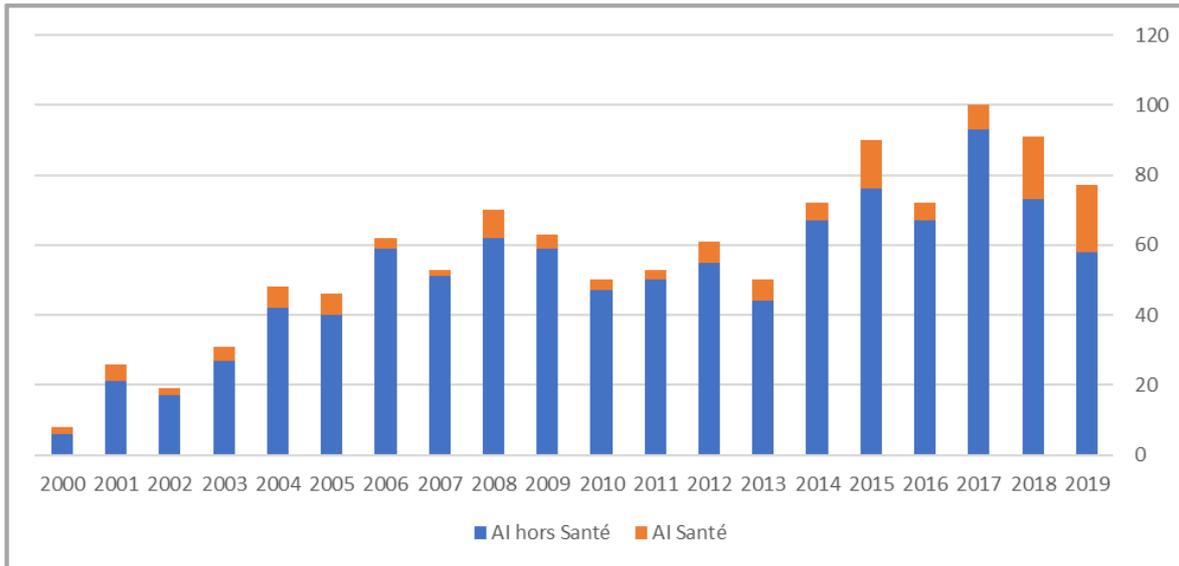


Figure 2. Evolution de la production scientifique d'AMU en intelligence artificielle depuis 2000.

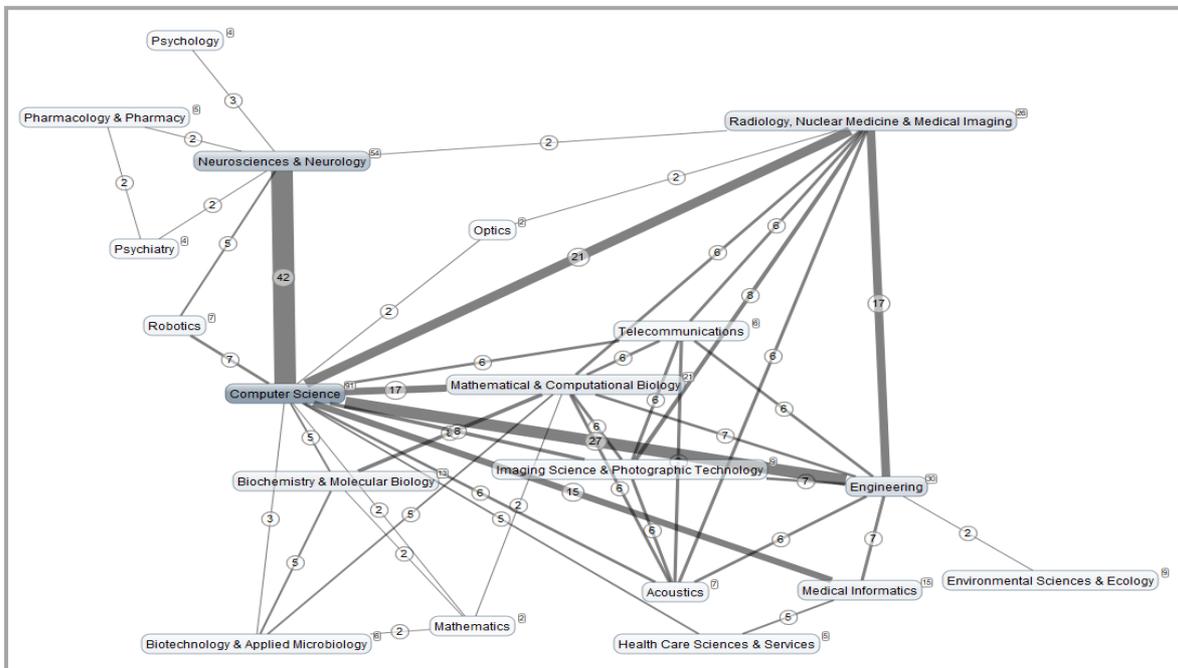


Figure 3. Réseau des domaines scientifiques des journaux où sont parues les publications en intelligence artificielle d'AMU.

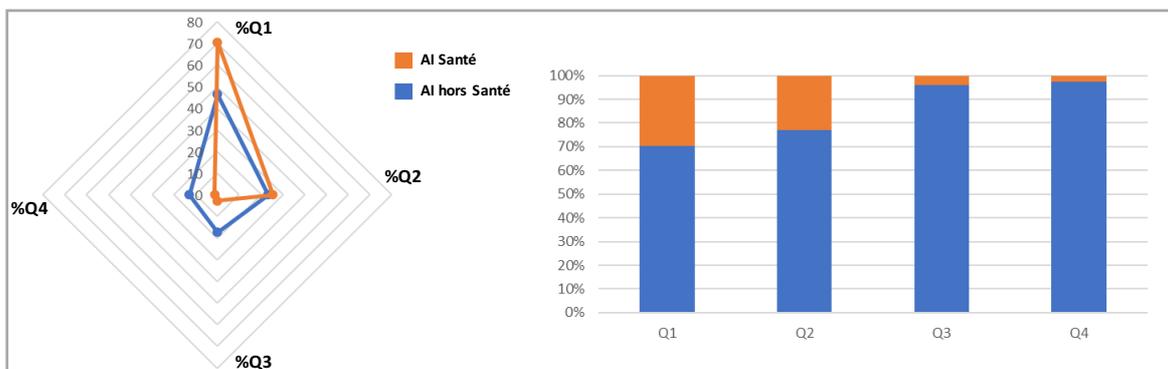


Figure 4. Qualité de la production scientifique en intelligence artificielle à AMU.

### *Mathématiques et informatique marseillaises, un mythe ?*

En plus de ces activités thématiques en IA, notre établissement tient une place reconnue au niveau national et international, notamment en raison de l'excellence de son école de mathématiques et d'informatique. En effet les laboratoires en mathématiques et informatique d'AMU sont de tout premier plan. L'Institut de Mathématiques de Marseille (I2M) est le laboratoire d'AMU avec le meilleur rang au classement de Shanghai. Au niveau national, selon le récent classement QS World University Rankings 2019, l'I2M se classe au quatrième rang national, c'est-à-dire au premier rang hors Paris, en ce qui concerne le h-index. Si l'Informatique n'est pas sur les premières marches comme l'I2M, un effort de restructuration de l'informatique à Marseille a eu lieu en 2018 et a donné naissance au laboratoire d'informatique et système le LIS UMR 7020. Le LIS se situe dans les tout premiers centres en province. La communauté math-infos de notre établissement forme ainsi un ensemble très cohérent, homogène et donne, par sa structuration autour de l'institut Archimède, un réel atout à AMU pour jouer un rôle majeur dans la stratégie IA d'établissement et territorial, aussi bien au niveau fondamental qu'au niveau appliqué sur l'axe stratégique santé.

### *A la recherche d'une bonne santé (numérique).*

A l'interface entre les mathématiques et l'informatique d'une part et la santé et la clinique d'autre part, la recherche en biostatistique et en informatique biomédicale est structurée à Aix-Marseille au sein de l'UMR 1252 SESSTIM. Cette structuration sera renforcée avec l'Institut d'établissement des Sciences de la Santé Publique d'Aix-Marseille (ISSPAM). Sur la base de cette excellence, de l'étude bibliométrique citée ci-dessus, d'un sondage déclaratif mené depuis la rédaction du projet I3A@AMU<sup>7</sup> (2018) et d'une enquête de proximité forcément non exhaustive, plusieurs champs médicaux d'application ont été identifiés par la commission IA-Santé<sup>8</sup> comme actifs et fertiles à AMU :

- Neurosciences et neurologie. L'activité dans le domaine numérique dans ces disciplines médicales vise à développer des modèles de l'anatomie, de la physiologie, du comportement et du développement cérébral, mais aussi de proposer des outils de diagnostic et de pronostic, et d'établir des liens entre IA et fonctionnement du cerveau. D'un point de vue modélisation, des modèles spatio-temporels des réseaux cérébraux et de leur dynamique sont mis aux points, à partir de données multi-échelles et multi-modalités. Cette approche à la fois analytique et intégrative a pour objectif de mieux connaître le fonctionnement normal et pathologique du système nerveux central afin de proposer une aide au diagnostic des pathologies neurologiques et psychiatriques.

- Physiologie cardiovasculaire et cardiologie. La recherche dans ce domaine a pour principal objectif de modéliser le développement cardiaque d'une part et l'activité électrique cardiaque de surface d'autre part. D'un point de vue microscopique, les mécanismes moléculaires régulateurs du développement et des pathologies cardiaques sont disséqués par l'utilisation de techniques relevant de l'embryologie expérimentale, de la génétique, et de la biologie moléculaire. En particulier, les recherches visent à identifier les réseaux géniques régulateurs (réseaux dynamiques complexes) du cœur et des vaisseaux en développement. D'un point de vue plus macroscopique, la modélisation mathématique du signal électrocardiographique, de sa dynamique, et de celle du rythme cardiaque sous-jacent vise à proposer une aide au diagnostic de pathologies cardiaques, dont les arythmies, et non cardiaques dont la fatigue physique et mentale. Pour cela des techniques innovantes<sup>9</sup> de caractérisation des

<sup>7</sup> Le projet I3A@AMU est la réponse faite par AMU à l'appel à projet national (ANR 2018) Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle (I3A)

<sup>8</sup> La commission IA/Santé est une commission créée en 2019 et constituée de chercheurs, enseignants-chercheurs et hospitalo-universitaires d'AMU dans le but de mener une réflexion et proposer à la gouvernance une feuille de route de mise en œuvre d'une stratégie d'établissement en sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé.

<sup>9</sup> <https://patents.google.com/patent/WO2018002541A1>; <https://patents.google.com/patent/WO2018002542A1>; <https://patents.google.com/patent/WO2018138457A1>

états physiologiques et des algorithmes de classification d'état et de prédiction de changement d'état ont été et sont développés.

- **Biologie cellulaire et cancérologie.** Les praticiens et chercheurs en cancérologie s'intéressent aux problématiques de big data et à l'apprentissage statistique dans le cadre de projets d'intégration de données cliniques du patients (compte-rendu de médecins, parcours patient, données d'imagerie), avec des données biologiques issues de l'analyse des tumeurs des patients (données génomique, épigénétique, transcriptomique, protéomique, métabolomique, immunologiques, profil de sensibilité aux drogues) et des données issues de la recherche fondamentale (études structure-fonction, interactions moléculaires) dans le but (i) d'identifier de nouveaux biomarqueurs diagnostiques ou pronostiques de la réponse au traitement, (ii) d'identifier le traitement le plus indiqué pour un patient donné (médecine de précision), (iii) de faciliter l'inclusion de patients dans des essais cliniques, (iv) de "repositionner" des drogues déjà utilisées pour une/des pathologie(s) donnée(s) et ainsi étendre leur utilisation à de nouvelles pathologies.

- **Imagerie biomédicale.** Le site d'Aix-Marseille s'inscrit dans l'essor des sciences numériques et de l'IA en imagerie biomédicale. Une activité importante est présente sur plusieurs laboratoires et utilise l'IA pour l'ensemble de la chaîne de production et d'analyse d'images : acquisition, reconstruction, traitement, analyse et classification, aide au diagnostic. Ces activités couvrent différentes modalités d'imagerie médicale (IRM, imagerie nucléaire, scanner X, imagerie optique) et biologique (imagerie de la cellule, microscopes confocaux, imagerie bi-photonique, light sheet imaging, etc.), ainsi qu'une grande variété d'organes et de pathologies associées.

- **Génétique, Biologie Moléculaire et Maladies Rares.** Des approches basées sur les sciences numériques et l'IA sont développées au sein de nos laboratoires afin d'analyser, interpréter et intégrer les données à grande-échelle issues des approches de génomique et de génomique fonctionnelle (transcriptomique, épigénomique, par exemple).

- **Santé publique.** L'activité de recherche dans cette discipline est à l'interface entre la clinique, l'épidémiologie et les disciplines scientifiques fondamentales, associant la connaissance contextualisée à la connaissance algorithmique, modélisatrice pour une médecine personnalisée, préventive, participative et prédictive.

- Plusieurs autres domaines médicaux d'application sont aussi directement concernés et impliqués dans l'utilisation des sciences numériques et de l'IA comme l'infectiologie (aide au tracking des germes pathogènes, aide à l'identification des micro-organismes), l'immunologie (aide à la détection de modifications ARN), la chirurgie (aide à la planification chirurgicale), la réanimation (aide à la sédation, prédiction des séquelles cérébrales de l'arrêt cardio respiratoire), l'accidentologie (détection et prédiction de la fatigue et de la somnolence), etc.

## Équipements et plateformes

Notre établissement regroupe de nombreux équipements de haut niveau assurant un support technique et technologique continu nécessaire à la mise en œuvre des sciences numériques et de l'IA pour la santé.

*Plateformes techniques : moyens de stockage et de calcul.*

La recherche en sciences des données dans le domaine de la santé est développée dans plusieurs laboratoires de notre université. Ils réunissent des chercheurs travaillant autour des problématiques centrées sur les données qu’il s’agisse de leur représentation, de leur manipulation ou de leur traitement. La force d’AMU est de couvrir un large spectre allant de la théorie aux applications en considérant tout le cycle de vie d’une donnée, ce qui inclut la génération, l’acquisition, le stockage, le traitement et enfin l’analyse. Depuis plusieurs années AMU développe une culture institutionnelle des données et devant les demandes croissantes des laboratoires aussi bien en stockage qu’en moyens de calcul de haute performance, AMU coordonne la mise en place d’infrastructures comme le centre de stockage régional des données (data center) labellisé par le MESRI en 2018 et un centre de calcul haute performance (Mésocentre) qui a bénéficié de financements dans le cadre du GENCI EQUIPEX et du CPER. Ces deux dispositifs permettent de s’assurer que les données produites par les chercheurs d’AMU voire du CHU soient structurées et préservées d’une part et de leur offrir les moyens de calcul pour traitement et analyse d’autre part.

*Plateformes précliniques et cliniques.*

Le CHU d’Aix-Marseille regroupe également un grand nombre d’équipements et de structures remarquables dans le domaine de la santé, regroupés en plateformes précliniques et cliniques qui maillent l’ensemble du site. Ces plateformes sont en lien étroit avec les de recherche, de formation, de soin et interagissent fortement avec le monde socio-économique. Dans le domaine du couple optique/imagerie il n’existe pas d’équivalent en France présentant un tel regroupement de moyens. Les principaux plateaux techniques et plateformes concernés, impliqués et/ou désireux de se fédérer sont listés ci-dessous et représentés par secteur (fig.5). Pour des questions de lisibilité, les noms sont remplacés par des sigles officiels lorsque existants, arbitraires le cas échéant, tous référencés dans la nomenclature ci-dessous.

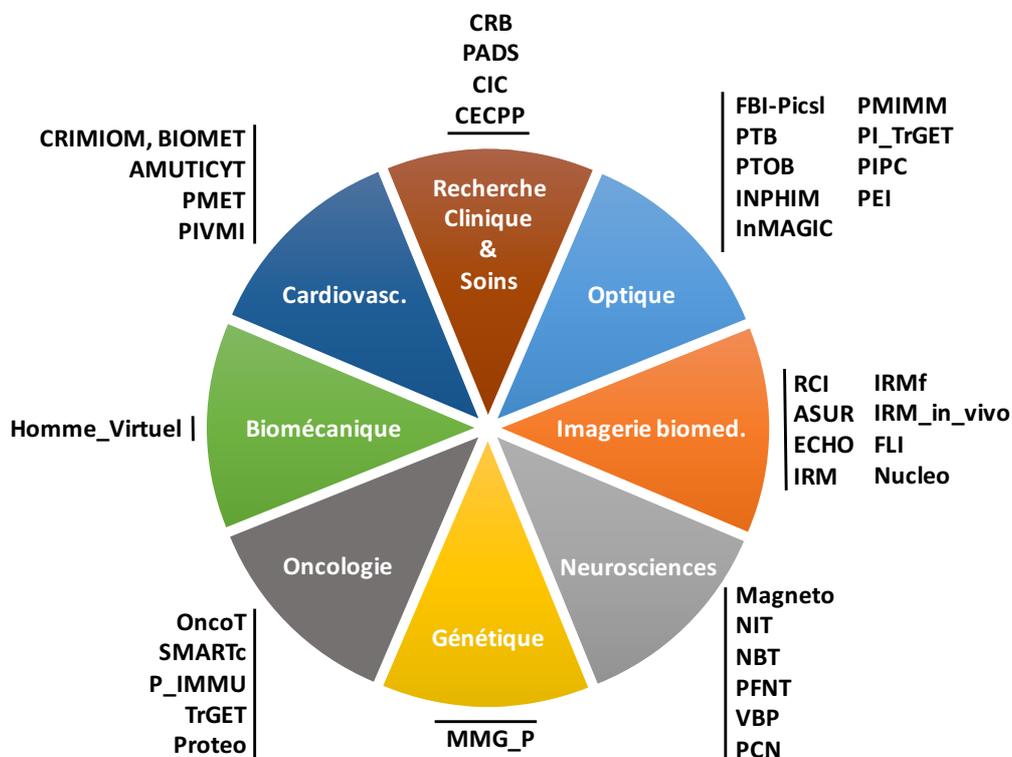


Figure 5. Plateformes universitaires et/ou hospitalières souhaitant participer à l’institut.

***Nomenclature :***

AMUTICYT : plateforme de cytométrie (C2VN)  
ASUR : Plateforme d'imagerie X ultra-résolue ASUR (LP3)  
CECPP : Centre d'Essais Cliniques de Phases Précoces  
CIC : Centre d'Investigation Clinique (APHM) et Départements de Recherche Clinique et d'Investigation (IPC)  
CRB : Centres de ressources biologiques (APHM, IPC)  
CRIMIOM, BIOMET : plateforme de métabolomique (C2VN, initiative nationale METABOHUB)  
ECHO : Plateau technique d'échographie (CERIMED, centre de ressources ultrasons (LMA))  
FBI-Picsl : Infrastructure nationale PICSL – France Bio-Imaging (IBDM/CIML)  
FLI : Centre IRM / INT France Life Imaging (INT/CERIMED)  
Homme\_virtuel : plateforme de recherche biomécanique et médicale pour l'homme virtuel (LBA, CERC)  
InMAGIC : Plateforme Imagerie (INMED)  
INPHIM : Plateforme de neuroimagerie photonique in vivo et in vitro (INT)  
IRM : Plateforme et plateaux techniques d'IRM (CRMBM/CEMEREM, IPC)  
IRM\_in\_vivo : Plateforme IRM in vivo animal et homme CRMBM/CEMEREM  
IRMf : Plateforme d'IRM fonctionnelle (INT/CERIMED)  
Magneto : Plateforme de magnétoencéphalographie (INS, IPC)  
MMG\_P : plateforme génomique & bio-informatique (Marseille Medical Genetics)  
NBT : NeuroBioTools platform (INT)  
NIT : Neuroinformatics and Information Technologies platform (INT)  
Nucleo : Plateaux techniques d'imagerie nucléaire (CERIMED, IPC)  
OncoT : Service de Transfert d'Oncologie Biologique (AP-HM)  
P\_IMMU : plateforme d'Immunomonitoring (IPC)  
PADS : Portail d'Accès aux Données de Santé (APHM)  
PCN : plateforme de calcul pour les neurosciences cognitives  
PEI : Plateforme d'Endoscopie Interventionnelle (IPC)  
PFNT : Plateforme NeuroTimone (INP)  
PIPC : Plateformes de Microscopie, d'Imagerie Scientifique, d'Histopathologie Expérimentale et d'Imagerie du Petit Animal (CRCM/IPC)  
PIVMI : plateforme d'imagerie vasculaire et de microscopie intra-vitale (C2VN)  
PMET : plateforme de microscopie électronique à transmission (C2VN)  
PMIMM : Plateforme de Microscopie de l'Institut de Microbiologie de la Méditerranée (LCB)  
Proteo : Protéomique (CRCM-IPC, Timone, IMM)  
PTB : Plateau Technique Biophotonique (Fresnel)  
PTOB : Plateau Technique Optique pour le Biomédical (Fresnel/CERIMED)  
RCI : plateaux techniques de Radiologie Conventiennelle et Interventionnelle (CERIMED, IPC)  
SMARTc : plateforme de pharmacométrie en oncologie (CRCM)  
TrGET : preclinical assay platform (CRCM/IPC)  
VBP : Plateforme de calcul du Cerveau Virtuel  
Technosport : Véritable plate-forme dédiée à l'innovation du sport et du mouvement,  
CRVM : Plateforme technologique de Réalité Virtuelle  
Mécabio : Plateforme permet de réaliser des essais de caractérisation mécanique

# Formations en sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé

## *Ingénierie mathématique et informatique.*

Les chercheurs et enseignants-chercheurs (n=356) des unités adhérant au projet d'institut sont par ailleurs très impliqués dans différentes formations d'AMU et partenaires (IUT, Licences, Masters, diplôme d'ingénieur Polytech Marseille, diplôme d'ingénieur de l'École Centrale de Marseille, études de santé). Les membres de cet institut ont été à l'origine de plusieurs masters pluridisciplinaires en lien direct ou indirect avec les sciences numériques et l'IA pour la santé :

- Science des données (I2M & LIS) ;
- Intelligence artificielle et apprentissage (LIS) ;
- Neurosciences computationnelles (Neuroschool & Centuri) ;
- Sciences cognitives (ILCB) ;
- Big data (AMSE) ;
- Méthodes quantitatives et économétriques pour la recherche en santé (SESSTIM) ;
- Expertises et ingénierie des systèmes d'information en santé (SESSTIM) ;
- Électronique, énergie électrique, automatique (LIS).

Nous pouvons ainsi nous appuyer sur un vivier très important d'étudiants, bien formés, que nous accueillerons en stage de master-recherche relevant des sciences numériques et de l'IA pour la santé pour former les professionnels de demain. Par ailleurs, notre communauté est très fortement impliquée dans deux écoles d'ingénieurs, Polytech'Marseille et l'École Centrale de Marseille (ECM). Cela nous permettra d'accueillir des élèves ingénieurs pour leur stage d'initiation à la recherche ou en alternance recherche pour les étudiants de l'ECM. Notre participation à des projets internationaux de formation (projets européens, collaborations en Chine, les USA, le Maroc, l'Algérie, le Vietnam, la Colombie, le Mexique, l'Inde, la Bulgarie et l'Argentine, etc.), nous dotera de filières pour le recrutement des doctorants étrangers de très bon niveau.

## *Formation des médecins.*

Actuellement, la formation initiale des médecins en sciences numériques et IA pour la santé est limitée. Des notions élémentaires nécessaires sont principalement enseignées en première année de formation médicale initiale et majoritairement abordées par l'UE4 (Évaluation des méthodes d'analyses appliquées aux sciences de la vie et de la santé). L'objectif général de cette formation est de proposer une initiation méthodologique à l'analyse et au traitement des données de santé ainsi qu'aux biostatistiques. Cette UE comprend une partie de biomathématiques (10h) et une partie de biostatistiques (22h). La formation, théorique et pratique, est ensuite complétée afin d'acquérir les bases indispensables à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans le cadre de leurs activités d'étudiants et de futurs professionnels de santé. La formation dans le domaine de la biomédecine quantitative est également renforcée, afin de permettre aux étudiants de comprendre, d'appréhender et de mettre en œuvre les bases quantitatives du raisonnement médical. Cette base de formation est nécessaire, mais non suffisante, elle sera complétée par une offre de formations détaillée dans le projet (§ Nouvelle offre de formation).

## **La problématique des données de santé**

Une des difficultés majeures de la recherche en sciences numériques et IA pour la santé concerne l'accès, en intégrant les aspects éthiques et réglementaires, à des données de santé ou médicales, de qualité et robustes. Une autre difficulté concerne la nature même des données de santé qui proviennent de sources variées, sont hétérogènes structurellement et sémantiquement et sont le plus souvent difficilement utilisables ou réutilisables telles quelles. Pour cela ces données de santé sont d'ores et déjà le nerf de la guerre, mais aussi l'or noir de l'IA en santé et médecine. Sur le site d'Aix Marseille, l'AP-HM, l'IPC et AMU sont tous des producteurs majeurs de données de santé pertinentes (données de soins courants hospitaliers, données de la médecine préventive universitaire et hospitalière, données de recherche spécifiquement colligées pour une étude ad-hoc à l'hôpital ou à l'université, etc.). Ainsi, AMU, l'AP-HM et l'IPC ont la volonté de s'associer pour développer l'accès à ces données, et faciliter leur utilisation par les chercheurs.

# Structurons nos forces en sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé

## Introduction, Ambition, Objectifs

Au niveau international, tous les acteurs académiques, économiques et industriels investissent le domaine des sciences numériques et IA pour la santé. Le plus emblématique à ce jour (2019) est le projet Verily<sup>10</sup> qui fédère un géant du numérique (Google) et quatre poids lourds de l'industrie pharmaceutique (Pfizer, Novartis, Sanofi, et Otsuka) par un investissement partenarial de 1 milliard USD. Au niveau national, AMU a répondu à l'appel à projets I3A,<sup>11</sup> mais n'a pas été retenue. Un des principaux retours est l'absence de structuration suffisante dans les domaines visés, en particulier la santé.

Devant ce constat et le potentiel local décrit dans l'état des lieux, nous préconisons une structuration modulaire, active, dynamique et évolutive d'AMU et de ses partenaires dans le domaine.

Les membres de la commission IA/Santé se sont unanimement accordés sur la nécessité de fédérer les forces locales (*a minima* au niveau du CHU d'Aix-Marseille) en sciences numériques et IA autour de la santé, point fort de notre territoire. L'ambition collégalement partagée est de rendre le site d'Aix-Marseille nettement plus visible dans ce domaine d'application en proposant un projet structurant, dont l'objectif visé est : 1) à court terme, la création d'un institut de recherche en sciences numériques et IA pour la santé (l'Institut Laënnec) et 2) à moyen et long terme, la création d'un pôle reconnu nationalement et internationalement.

## Effet structurant, animation et coordination scientifiques

La mise en réseau des acteurs de notre site au travers de projets communs permettra d'assurer le développement, l'appropriation et la diffusion d'une culture commune. Fédérer les acteurs du domaine c'est réunir différentes compétences, approches et sensibilités issues du monde universitaire, hospitalier, et socio-économique autour d'un champ thématique commun, cher à tous, la santé telle que définie par l'OMS<sup>12</sup>. Ce projet implique 19 laboratoires (tableau 1) de notre université, aussi bien du secteur sciences, que santé et humanités. Ainsi, 521 personnels sont déclarés par les directeurs d'unités concernés comme travaillant dans le domaine et adhérant au projet, dont 356 Permanents (dont 33 ingénieurs) et 165 doctorants et post-docs. Ces différents laboratoires de recherche ont des spécificités et complémentarités scientifiques fortes dont les interactions permettront l'émergence de synergies novatrices, tant aux niveaux théorique et méthodologique, qu'applicatifs et de valorisation. Aujourd'hui, les différents

---

<sup>10</sup> <https://verily.com/> ; <https://fr.wikipedia.org/wiki/Verily>

<sup>11</sup> <https://anr.fr/fileadmin/documents/2018/CP-3IA-250718.pdf>

<sup>12</sup> <https://www.who.int/fr/about/who-we-are/constitution>

acteurs d'AMU dans le domaine sont dispersés (laboratoires, UFR, sites et centre d'intérêts, etc.) sans réelle colonne vertébrale.

Tableau 1. Recensement non exhaustif déclaratif par les directeurs d'unité et chefs d'équipes quant à l'adhésion de leurs personnels à l'institut.

Laboratoire	Domaine	C	EC	HU	Ingé.	Post-Docs	Docs	Titulaires	Total
I2M UMR 7373	Mathématiques		3			3	1	3	7
LIS UMR 7020	Informatique	0	30	1	1	8	4	31	44
Fresnel	Signaux, Imagerie bioméd.	1	2	5	3	1	2	8	14
CRMBM UMR 7339	Imagerie bioméd. RMN	6	1	4	2	2	2	11	17
LBA UMR IFSTTAR	Biomécanique	6	2	20	6	2	24	28	60
INP UMR 7051	Neurosciences	8	4	1	2	1	2	13	18
INMED UMR 1249	Neurosciences	10	3			6	5	13	24
INT UMR 7283	Neurosciences	4	2	2	1	5	3	8	17
INS UMR1106	Neurosciences	3	2	2	1	11	5	7	24
LNSC UMR 7260	Neurosciences	2	1	0	2	0	0	3	5
LPC UMR 7290	Langage, parole	3	2		1		2	5	8
C2VN UMR	Cardiovasculaire	1	4	7			2	12	14
CRCM	Oncologie	86						86	86
MMG	Génétique	1			1	2	3	1	7
CEReSS	Santé publique			26	7	2	36	26	71
SESSTIM UMR 1252	Santé publique	9	3	5	3	7	3	17	30
ADES UMR 7268	Droit, Ethique, Anthrop.		2			2		2	4
DICE UMR 7318	Droit	1	1			3		2	5
IM2NP UMR 7334	Microélectronique		8		2	2	3	10	15
INSM UMR 7287	Biomécanique/Imagerie	4	15	8		2	1	27	30
CERGAM			12		1	8		13	21
<b>Total</b>		<b>145</b>	<b>97</b>	<b>81</b>	<b>33</b>	<b>67</b>	<b>98</b>	<b>356</b>	<b>521</b>

Cette structure souple préservera l'identité de chaque laboratoire tout en constituant l'écrin d'un dialogue multi-, inter-, et trans- disciplinaire fertile entre médecins, informaticiens, physiciens, et mathématiciens autour de problématiques médicales. A des questions médicales issues du terrain seront apportées des réponses concertées sous la forme de solutions techniques opérationnelles et valorisables, respectueuses des contraintes juridiques et éthiques, et développées dans l'intérêt du malade. Il s'agit d'apporter les sciences numériques et l'IA au lit du malade.

Pour cela, cet institut sera sous l'égide d'AMU (Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales(FSMP), Faculté des Sciences), de l'AP-HM et de l'IPC. L'animation et la coordination scientifique sera spécifiquement menée en vue de remplir les missions suivantes :

- Faciliter, renforcer et afficher le potentiel des laboratoires en créant des groupes de recherche communs autour de problématiques médicales communes ;
- Promouvoir, en initiant et soutenant, des actions communes (organisation de colloques dont le colloque inaugural des 1 et 2 juillet 2020, co-encadrement de masters et thèses, communication grand public) ;
- Permettre de répondre avec pertinence et impact aux différents appels à projets de recherche ou structurants, en particulier les plus ambitieux (les cibles privilégiées de ces actions seront les programmes européens H2020 et le PIA), par la constitution rapide

de consortiums idoines de partenaires se connaissant et travaillant déjà ensemble et une aide au montage ;

- Faciliter l'accès à des plates-formes mutualisées, existantes ou à créer, comme par exemple les entrepôts de données de santé, les entrepôts de données de soins à vocation recherche, les plates-formes de stockage et de calcul ;
- Faire émerger de nouvelles thématiques fondamentales et appliquées issues de l'application des sciences numériques et de l'IA à la santé ;
- Accompagner les professionnels de santé à exprimer leurs besoins en formation dans le domaine et en assurer l'organisation.

Ainsi, les interactions synergiques s'exprimeront à la fois dans les activités de recherche, de pédagogie, de soin, et d'usages.

## Axes scientifiques d'excellence

Pour cela, la communauté IA/Santé s'appuiera sur l'existant et s'organisera autour de 4 pôles inter- et trans- disciplinaires : 1) technologies numériques pour la santé, 2) données numériques de santé, 3) pédagogie en santé numérique, et 4) droit/éthique et usages en sciences numériques et IA pour la santé.

### *Technologies numériques pour la santé.*

A l'heure du tout numérique et de l'IA, le domaine d'application qui est la santé et la pratique médicale a tout à bénéficier des avancées technologiques du monde digital. Les sciences numériques et l'IA pour la santé doivent sortir des laboratoires de recherche au profit des patients afin de compléter, enrichir et faciliter la pratique médicale empirique historique et la pratique médicale systématique plus récente, mais encore artisanale. L'objectif principal sera de proposer des solutions technologiques aux médecins praticiens qui présenteront leurs problématiques issues du terrain. Des solutions matérielles comme logicielles seront proposées. Chaque problématique soulèvera des verrous génériques et d'autres spécifiques qui seront autant de défis scientifiques. Les réponses apportées se fonderont sur une capitalisation de l'existant local le cas échéant, et sur de la Recherche et Développement spécifique si besoin. Ainsi, l'objectif stratégique sera de consolider les acquis pour être tête de pont dans certains domaines d'excellence identifiés. Ces solutions adresseront plusieurs champs d'application avec un focus sur l'aide à la pratique médicale. Les solutions technologiques proposées viseront à exploiter les renseignements accessibles afin d'en extraire des informations médicales pertinentes pour le praticien. Les renseignements accessibles pourront provenir de différentes sources : anamnestiques, examen clinique, et examens paracliniques dont la biologie, les signaux physiologiques et l'imagerie médicales. Des développements méthodologiques et technologiques matériels et logiciels seront réalisés aussi afin de générer ces renseignements accessibles, en plus de ceux actuellement existants. Il s'agira donc de développer de nouveaux dispositifs médicaux en particulier ceux adaptés à la pratique de la e-santé, de nouvelles techniques de visualisation des signaux et des images biomédicales, et enfin des algorithmes d'aide à la décision médicale. Quelques exemples : support d'aide au diagnostic, analyse automatisée d'images, aide à la stratification des populations à risque, etc. Certaines problématiques spécifiques nécessiteront de la R&D à caractère fondamental. Cela se fera en lien directe avec les instituts de recherche de notre établissement comme par exemple Archimède, Physique de l'Univers (équipe systèmes dynamiques du Centre de Physique Théorique), et Imagerie.

### ***Données numériques de santé.***

Il est stratégique pour le CHU que l'institut soit indépendant de tiers structures en termes de production et d'accès aux données de santé. Ainsi, il est important qu'AMU, l'IPC et l'AP-HM soient associés pour développer l'accès à leurs données de manière cohérente et concertée, afin de faciliter leurs utilisations par les chercheurs de l'institut. A l'heure de programmes industriels ambitieux comme Verily<sup>10</sup> il n'est pas non plus irrationnel d'envisager une valorisation de cette production unique. L'objectif principal du centre d'intérêt « données numériques de santé » sera de mettre en place un socle opérationnel au sein de cet institut ainsi qu'une plateforme facilitant le partage et la réutilisation de données dans le respect de la gouvernance et des règles d'accès des trois producteurs (APHM, IPC, AMU). Il faudra constituer et mettre à disposition des chercheurs des corpus de données de santé, anonymisées (en français notamment), pour faciliter la mise en œuvre/tests de méthodes de traitement numérique des données dont l'IA notamment. Cela permettra de faire émerger des projets/tester des idées de recherche en permettant de rapidement éprouver les méthodes employées dont l'IA avant un recueil de données propres à la problématique médicale soulevée. Ces corpus seront constitués de données structurées et non-structurées (pour rappel on estime généralement que 80% des données d'un dossier patient informatisé sont textuelles) issues de la pratique médicale courante et/ou d'études ciblées spécifiques. L'anonymisation des données de santé est un domaine de recherche en soit qu'il faudra mobiliser. Pour ce qui concerne AMU, il s'agira premièrement de recenser les données pertinentes qui pourraient être réutilisées (données issues de projets de recherche, de la médecine préventive, de la vie étudiante,...), de mettre en place une plate-forme d'hébergement et de requêtes, constituée d'entrepôts basés sur un modèle harmonisé et extensible, pour prendre en charge l'hébergement des données d'études répondant aux standards de sécurité et à la réglementation actuelle (particulièrement pour les données à caractère personnel qui, par définition, ne sont pas anonymisées). Cette plate-forme apportera une aide au respect du Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) et aux nécessaires études d'impact qu'il faut systématiquement réaliser. Cette plate-forme devra s'articuler avec celles existantes à l'AP-HM et l'IPC. Deuxièmement, il faudra, au sein de l'institut, promouvoir l'interopérabilité en favorisant l'usage des formats interopérables et des standards syntaxiques et sémantiques pour harmoniser les données utilisées dans les projets de recherche et déposées dans la plate-forme (facilite la réutilisation des méthodes de traitements, le partage et la réutilisation des données antérieurement colligées). Troisièmement il faudra inciter au partage et à la réutilisation de données colligées entre projets. Les producteurs de données seront identifiés, une réflexion sur la manière de les associer aux travaux portant sur les données qu'ils ont contribué à produire et à mettre à disposition devra être menée.

### ***Pédagogie en sciences numériques et IA pour la santé.***

Il n'existe pas, à notre connaissance, de formation initiale dédiée exclusivement aux sciences numériques et à l'IA à destination des étudiants en médecine. Or, demain, ces médecins auront à utiliser toute sorte d'outils numériques dont l'IA et ne seront pas armés pour exercer leur expertise de façon éclairée et critique. La génération actuellement en formation est née avec les ordinateurs, internet et les smartphones. Le but est de leur donner les bases nécessaires à la compréhension des outils de demain, actuellement en développement. Nous pensons qu'il est primordial de pallier l'écueil majeur actuel qui est de commencer à proposer des formations en sciences numériques et à l'IA pour la santé sans médecin. Nous souhaitons donc proposer une offre de formation pour les professionnels de santé, par les professionnels de santé, et portée par la FMSP. Trois déclinaisons sont identifiées : 1) les sciences numériques et l'IA doivent être enseignés aux acteurs de santé ; 2) les sciences numériques et l'IA peuvent être utilisés en pédagogie de la santé ; et 3) les sciences numériques et l'IA doivent être vulgarisés et démocratisés afin que la population générale ait une culture générale dans ce domaine et en

particulier dans ses applications à la santé. C'est le seul moyen d'avoir une confiance éclairée en cette technologie et donc demain, en notre système de santé. L'objectif principal sera de diffuser largement un socle de connaissances dans le domaine du numérique et de l'IA pour la santé afin que la population la plus large (enseignants-chercheurs, étudiants, population générale, etc.) s'acculture le domaine. Pour cela, premièrement il faudra créer un enseignement dédié dans le cursus médical et paramédical. Cet enseignement s'appuiera principalement sur les ressources de la FMSP, et des Facultés de Pharmacie et d'Odontologie. Il se déclinera en formation initiale en 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> cycles ainsi qu'en Enseignement Post-Universitaire et Formation Médicale Continue. En s'appuyant sur cet existant et sur les enseignants des disciplines spécifiques, nous proposons de mettre en place un enseignement généraliste qui intégrera l'ensemble des disciplines universitaires impliquées dans le domaine des sciences numériques et de l'IA pour la santé que sont les Sciences Humaines et Sociales (Éthique), le Droit (Droit de la santé), les sciences fondamentales (mathématiques appliquées et physique), les Sciences de l'Ingénieur, les Sciences de l'Information, le Big Data appliqué à la santé, et bien sûr la Médecine. Deuxièmement, il sera possible d'appliquer les sciences numériques et l'IA à la pédagogie médicale et paramédicale. L'IA peut s'intégrer dans une démarche pédagogique innovante par exemple en produisant des scénarii médicaux synthétiques plausibles issus du réel, dynamiques, et dont la fin est connue. De nouvelles techniques d'enseignement et d'évaluation sont alors envisageables. Enfin, il faudra ouvrir ces enseignements à tous les domaines de la santé et au grand public. Il s'agira de valoriser les sciences numériques et IA pour la santé à AMU à travers des actions pédagogiques et de communication ouvertes à la population non spécialiste. L'organisation de conférences transdisciplinaires et grand public sera la base de l'animation pédagogique au quotidien de cette communauté. La démocratisation du domaine permettra une prise de conscience sociétale de l'importance de s'éduquer dans le domaine afin de ne pas le subir.

### ***Éthique, droit et usages des sciences numériques et IA pour la santé.***

Pour s'inscrire dans une activité raisonnée et durable de R&D et de soins centrée sur l'application des sciences numériques et de l'IA à la médecine, nous mettons l'Humain au cœur de nos réflexions. C'est un des critères majeurs de différenciation d'avec les autres acteurs dans le domaine, en particulier ceux issus du monde socio-économique. L'irruption des sciences numériques et de l'IA dans le domaine de la santé soulève des problèmes éthiques principalement liés à l'utilisation de données sensibles. Pour pouvoir fonctionner efficacement, un outil doté d'IA doit être alimenté par une grande quantité de données. Les informations de tous ordres se retrouvent stockées dans de grands entrepôts, hébergées dans l'espace virtuel d'un Cloud, où elles doivent pouvoir servir à d'autres chercheurs que ceux qui les ont initialement collectées. Si l'on veut développer la recherche, il y a tout intérêt à tirer parti de la puissance de tels entrepôts de données. Là réside le premier problème éthique, dès lors que la gestion de ces entrepôts de données est aux mains de tiers non-médicaux. On perçoit les risques de dérives, lorsque l'on apprend en août 2018 que la firme 23 and Me a cédé les informations génétiques de ses 5 millions de clients à un industriel pharmaceutique britannique. Par ailleurs, l'enregistrement de ces données fait peser une menace sur le secret médical qui est un pilier de la relation médecin-malade et dérive d'un droit à la vie privée qui est un des principes fondamentaux de la Constitution. La contre-mesure qu'est l'anonymisation des données pose trois séries de questions d'ordre éthique et juridique :

- Questions liées à l'imperfection du processus d'anonymisation et aux possibilités de ré-identification qui en découlent ;
- Questions liées à l'intrication entre les domaines de la recherche et du soin (les données de l'un pouvant servir à l'autre) ;

- Questions liées au rôle du patient et aux modalités de son consentement à l'exploitation de ses données pour une recherche dont la finalité ne peut ne pas être fixée lors du recueil.

Il s'agit de savoir si le patient dispose d'un droit de reprise ultérieur sur ses données dès lors qu'il a consenti à leur utilisation à un ou plusieurs champs d'application. Pour répondre à ces questions, il faudra premièrement identifier le type de consentement le plus approprié. Un généticien demande au patient l'autorisation de conserver ses données aux fins de recherche, en lui donnant le choix de restreindre éventuellement son consentement à un certain type de recherche (ex. recherches sur le cancer) et pas à d'autres (ex. recherches sur les déterminants génétiques du quotient intellectuel). Il accepte sur la base d'un consentement exprès et d'une confiance faite au médecin. Quant aux données qui seront transférées dans un pot commun, le patient ne pourra jamais totalement savoir ce qu'il en advient. Une solution réside dans la possibilité pour le patient de suivre à intervalles réguliers le sort réservé à ses données individuelles. Différents types de consentement doivent être mis à l'étude (du consentement large au consentement dynamique en passant par la simple non-opposition). Deuxièmement, il faudra pallier le risque de déshumanisation.

Il convient de réfléchir au risque de réductionnisme, l'homme n'étant pas la sommation de ses données. Le médecin soigne un malade et pas une maladie. Ce qui fait la dignité d'une profession de santé est justement de ne pas traiter la personne comme l'échantillon d'une population statistique, mais comme un être ayant une valeur absolue, quelles que soient ses données. Si l'individu se trouve réduit à un agglomérat de données multiples, la relation avec le médecin devient de plus en plus facultative. Pour que la clinique ne soit pas réduite à néant par ce « tsunami » technologique (où l'IA et le plan « France génomique 2025 » vont redistribuer les cartes du soin et de la recherche), il importe qu'elle ne s'éloigne pas excessivement de la clinique qui reste son centre de gravité, et continue à reposer sur le trépied fondateur de la médecine hippocratique : diagnostic-pronostic-thérapeutique ». Enfin, il faudra assurer la garantie humaine. S'il faut reconnaître aux sciences numériques et à l'IA cet avantage de pouvoir déceler des corrélations entre des données qui nous avaient échappé, permettant de proposer une analyse plus précise et des options thérapeutiques, il ne faut pas oublier que l'humain est source de valeur ajoutée grâce à ses capacités d'écoute et d'observation. A l'aise dans la complexité, une IA est en difficulté face à ce qui est simple pour l'Homme. Elle sait répondre, mais c'est toujours l'homme qui pose les questions. La médecine nécessite aussi une intelligence collaborative, contextuelle, intuitive. Le principe de garantie humaine est un principe de régulation éthique dans la mesure où l'homme seul ressent des émotions qui le mettent en relation avec des valeurs (sollicitude, humanité, respect de la dignité...). L'IA n'ayant pas d'émotion ni d'empathie, elle ne peut avoir de dilemmes éthiques à la différence du médecin. Son amoralité intrinsèque peut amener un dispositif doté d'IA à délivrer des informations fortement anxiogènes pour les patients.

En s'appuyant sur ces quatre pôles, nous proposons de mener dans cet institut des actions au niveau recherche, formation, innovation, international et valorisation avec le monde socio-économique. Dans les paragraphes ci-dessous nous décrivons nos différentes actions pour chaque domaine :

## Recherche

L'Institut Laënnec se positionne clairement dans le domaine de la recherche appliquée, en proposant une application des sciences numériques et l'IA à la santé humaine. Cette activité pluridisciplinaire et interdisciplinaire nécessitera des interactions avec les autres instituts d'établissement aussi bien ceux issus du secteur santé, NeuroMarseille, Cancer et immunologie, MarMaRa, ISSPAM, que du domaine science AMUTech, Archimède, et IMAGING. Selon la thématique des projets à traiter, la sollicitation de ces instituts et une articulation inter-instituts systématiques seront exigées.

Afin d'identifier, évaluer, sélectionner, promouvoir et accompagner les projets de recherche soutenus par l'Institut Laënnec, un outil structurel et fonctionnel sera mis en place : le guichet unique. Ce guichet unique hospitalo-universitaire et socio-économique en Numérique – IA & Santé centralisera les demandes et offrira une chaîne de valeur allant de la question médicale jusqu'à la valorisation permettant d'amener le numérique et l'IA au lit des patients. Sa mission sera :

- Identifier les problématiques médicales issues du terrain
  - Créer des groupes de recherche communs impliquant médecins et théoriciens
  - Faciliter l'accès aux ressources de l'Institut Laënnec et de ses partenaires
  - Permettre aux chercheurs de répondre avec pertinence aux appels à projet ambitieux
  - Valoriser les recherches effectuées
- Transférer l'innovation

L'outil financier support de cet accompagnement global des projets de recherche depuis la question médicale jusqu'à la valorisation au lit du patient sera un processus allégé d'appel à projets au fil de l'eau de type mini-RHU@AMU (RHU@AMU = Recherche Hospitalo-Universitaire interne à AMU et à l'Institut). L'instituts accompagnera alors les équipes-projet ainsi formées par deux programmes, un programme doctoral et un programme postdoctoral. Cela permettra le financement des doctorants avec un double encadrement médecin/scientifique ainsi que des post-docs et professeurs invités. Nous envisageons, les premières années, de soutenir au niveau doctorat et post-doc tout particulièrement les thématiques prioritaires retenues par l'institut Laënnec tout en soutenant, au niveau master, les domaines d'application émergents. Une dizaine de thèses et une dizaine de post docs seront ainsi financés lors des 5 premières années de l'Institut Laënnec.

Les domaines d'application des sciences numériques et de l'IA retenus comme prioritaires par l'Institut Laënnec sont les neurosciences et l'oncologie-hématologie.

### ***IA & Neurosciences***

Au cours de la dernière décennie, la recherche sur le cerveau et les technologies associées ont pris une place prépondérante sur la scène mondiale. Les troubles cérébraux sont une cause majeure d'invalidité et de décès dans le monde. En 2016, les troubles neurologiques ont représenté 276 millions d'années de vie corrigée du facteur invalidité (AVCI) et 9 millions de décès dans le monde. En Europe, pas moins de 179 millions de personnes sont touchées par an, pour un coût économique de plus de 800 milliards d'euros. Face à l'accroissement et au vieillissement des populations, de nouvelles connaissances sont nécessaires pour développer des solutions de prévention et de traitement efficaces. L'Europe a décidé de donner la priorité aux progrès médicaux utilisant des approches basées sur les ICT (Information and Communication Technologies), notamment l'IA et les technologies numériques, et aspire à un rôle de leader mondial dans ce domaine. Cela se traduit par des investissements lourds, à grande

échelle et à long terme, tels que le flagship "Human Brain Project" (<https://www.humanbrainproject.eu>) et des infrastructures telles que EBRAINS (<https://www.ebrains.eu>). La France porte maintenant EBRAINS et AMU joue un rôle de plus en plus important dans ces efforts. Les chercheurs d'AMU occupent des positions de premier plan avec les contributions importantes d'une communauté de plus en plus nombreuse au sein d'AMU (INS, INT, CRMBM, APHM). Les recherches fondamentales et transnationales d'AMU sont au cœur de la science et de la technologie de simulation utilisées dans EBRAINS (par exemple The Virtual Brain (TVB), l'imagerie cérébrale IRM à haute résolution 7T).

Les investissements de la communauté européenne dans ce domaine s'échelonnent sur plusieurs décennies, et il est d'une importance stratégique de tirer parti du rôle de leader d'AMU dans ce secteur. Au sein de ces disciplines médicales, les activités dans le domaine numérique visent à développer des modèles d'anatomie, de physiologie, de comportement et de développement du cerveau, mais aussi à proposer des outils de diagnostic et de pronostic, ainsi qu'à établir des liens bidirectionnels entre l'IA et le fonctionnement du cerveau (IA pour aider à comprendre le cerveau, les neurosciences pour aider au développement de l'IA). Du point de vue de la modélisation, des modèles spatio-temporels des réseaux cérébraux et de leur dynamique sont développés, sur la base de données multi-échelles et multi-modalités. Cette approche analytique et intégrative vise à mieux comprendre le fonctionnement normal et pathologique du système nerveux central afin d'apporter une aide au diagnostic des pathologies neurologiques et psychiatriques. Au cœur de cet effort se trouve l'approche TVB développée à AMU qui permet la création de modèles de cerveau personnalisés capables de simuler des signaux cérébraux tels que mesurés par imagerie en routine dans les hôpitaux. La personnalisation est obtenue grâce à l'utilisation intensive de techniques d'IA et de calcul haute performance, ainsi qu'à une analyse sophistiquée des images cérébrales. Il existe également des projets structurants sur l'analyse de la connectivité anatomique et fonctionnelle du cerveau, la morphométrie corticale et le développement pathologique, la psychiatrie ou l'imagerie computationnelle ainsi que diverses pathologies du cerveau ou de la colonne vertébrale. D'un point de vue diagnostique et pronostique, l'enjeu réside dans l'analyse de très grandes bases de données cliniques multimodales et multicentriques pour lesquelles l'utilisation de l'IA permet de prendre en compte leur grande hétérogénéité (spectre des pathologies, variété des matériaux d'acquisition, etc).

### ***IA & Oncologie-Hématologie***

Les stratégies diagnostiques et thérapeutiques en cancérologie sont limitées par notre capacité à intégrer l'ensemble des données cliniques, biologiques (omiques), épidémiologiques, radiologiques, etc.

L'IA a le potentiel de transformer la façon dont nous étudions, comprenons, diagnostiquons, traitons et surveillons le cancer, notamment par:

1- l'intégration des résultats omiques dans le contexte de réseaux cellulaires complexes et la prédiction des conséquences phénotypiques de multiples altérations moléculaires retrouvées dans les tumeurs. Cette intégration permettra une meilleure mise en place d'essais cliniques innovants, de prédiction des réponses thérapeutiques et des mécanismes de résistance dans le domaine de l'oncologie de précision ainsi qu'en onco-immunologie (prédiction des néoantigènes par exemple). Elle a aussi la capacité à alimenter la recherche fondamentale en amplifiant de nouveaux champs d'exploration (réseaux géniques et fonctionnels, relation génotype-phénotype, chémo-informatique...).

2- la capacité à relier les données d'imagerie médicale à la physiopathologie moléculaire par la 'radiomics' et le développement de la pathologie digitale

3- l'analyse de données cliniques à grande échelle à partir de dossiers de santé électroniques, d'appareils portables et de données sociales. Il est également nécessaire de participer à des projets nationaux d'établissement de banques de données (type CONSORE, OSIRIS à IPC) qui permettent un accès facilité aux informations afin de créer des cohortes d'études rétrospectives adaptées aux questions émergentes et aux nouveaux traitements.

Aix-Marseille Université abrite un centre leader en cancérologie (CRCM), 2 hôpitaux de pointe dans la prise en charge des patients en cancérologie (IPC, 3<sup>ème</sup> centre de lutte contre le cancer français, et APHM, 3<sup>ème</sup> CHU français, en termes d'activités médicales et scientifiques) et un Institut Cancer et Immunologie dont la reconnaissance dans la génomique du cancer, l'oncologie de précision et l'immunothérapie est incontestable. Ces activités médicales et scientifiques bénéficieraient de façon très importante du déploiement d'une stratégie d'IA.

Pour AMU, il est essentiel de se positionner au plus tôt, car des instituts de data science pour la santé émergent un peu partout dans le monde : Département de Science des Données du NIH datant de 2018 ou le partenariat APHP-Inria de janvier 2021, et plus récemment dans le domaine de la cancérologie les partenariats IGR-Centrale Supélec et Institut Curie et Mines ParisTech. Il y a une opportunité unique à AMU grâce à une avance dans le domaine de la modélisation des données longitudinales d'essais cliniques, avec une forte intégration entre la communauté clinique, pharmaceutique et la modélisation (cf création de l'équipe Inserm-Inria COMPO au CRCM en 2021) qui peut être amplifiée en rapprochant les communautés médicales et scientifiques (mathématiques, statistiques, informatique) dans le cadre de projets cet institut structurant.

## Formation

Plusieurs établissements hors-métropole marseillaise proposent à ce jour des enseignements dédiés à la e-santé et santé connectée. En revanche, à notre connaissance, il n'existe pas d'enseignement coordonné, intégré des sciences fondamentales aux sciences humaines, dédié aux sciences numériques et IA pour la santé, porté par une faculté de médecine. Exemple 1 : Diplôme d'Université en Santé connectée. Proposé par Paris Descartes, ce DU s'adresse aux bac + 5 ou équivalent et a pour objet de comprendre, en une centaine d'heures, le cadre légal et déontologique entourant la E-santé et la médecine connectée, les recommandations du CNO, les enjeux sociétaux et économiques de la E-santé (parcours de soins, applications médicales, télémédecine). Exemple 2 : Master spécialisé e-santé. Proposé depuis la rentrée de 2014 par l'École supérieure d'ingénieurs en électronique et électrotechnique (ESIEE-Paris), le master e-santé forme les étudiants à la maîtrise des innovations techniques et des nouvelles thérapies qui nécessitent des connaissances de plus en plus poussées, à la fois dans le domaine informatique et dans celui de la santé. Exemple 3 : Master Sciences et Numérique pour la Santé de l'Université de Montpellier. Il est destiné à répondre à une demande croissante de la part des professions médicales de cadres susceptibles de s'insérer à l'interface entre les domaines de la Médecine et de l'Ingénierie au sens large, cet ensemble regroupe deux spécialisations des cycles ingénieurs, un DU de niveau Bac+5 et un Master Professionnel et Recherche intégrant trois spécialités.

Ainsi, au travers de cet institut, nous proposons d'être pionniers en la matière en offrant un ensemble d'enseignements coordonnés et intégrés couvrant la formation diplômante, en particulier au niveau de la formation médicale initiale et la formation de type master, ainsi que la formation continue qualifiante. Il s'agit de préparer les étudiants aux métiers de santé de demain. Nous pensons qu'il est primordial de pallier à l'écueil majeur actuel qui est de

commencer à proposer des formations dites de sciences numériques et IA pour la santé sans médecin.

Ainsi, nous avons créé un groupe de travail dédié à la pédagogie en sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé dans le cursus médical. Ce groupe de travail comprend Katia CHAUMOITRE, Stéphane DELLIAUX, Roch GIORGI, Mustapha OULADSINE. L'objectif est de créer un enseignement dédié adapté aux cursus médical et paramédical. Il se déclinera en formation initiale en 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> cycles ainsi qu'en Enseignement Post-Universitaire et en formation médicale continue. Nos réflexions et propositions doivent être fondées sur 1) les enjeux liés au numérique et à l'IA dans le domaine de la santé ; 2) les formations déjà existantes ; 3) les réformes actuelles des études en santé, portant sur les 3 cycles, s'opérant ou devant s'opérer dans un cadre national ; 4) l'aspect, majeur, de la contextualisation des enseignements aux problématiques de la santé.

Dans le cadre de la réforme du 2<sup>ème</sup> cycle des études de santé et de la Conférence des Doyens de médecine, ont demandé au directeur du Fonds Recherche & Innovation de la Fédération hospitalière de France de proposer un programme national de formation au numérique en santé (acculturation digitale). Il est probable que cette formation se substituerait alors à la « Formation informatique » existante actuellement. Le programme qui sera proposé devrait pouvoir être enrichi de contenus théoriques ou appliqués qui auraient été omis concernant notre domaine d'intérêt. Le programme devrait garder une vision et une approche contextualisée au domaine de la santé. Néanmoins, afin d'être exhaustifs et représentatifs des connaissances nécessaires à la compréhension des sciences numériques et IA pour la santé certains concepts et outils doivent être introduits dès le début de la formation pour assurer le continuum depuis le phénomène physique observé et l'utilisation à vocation médicale des données qui en sont issues.

Un document répondant à tous ces objectifs a été rédigé et proposé pour étude au doyen de la Faculté des Science Médicales et Paramédicales.

Nos actions, pour la formation, s'inscriront dans une stratégie aussi bien nationale qu'internationale.

Au niveau national, nous mettrons en place :

- Une politique de bourses de master avec des gratifications d'environ 1000€ par mois, pour attirer les meilleurs étudiants à travailler sur des sujets affichés par l'Institut dont la sélection sera réalisée sur critères d'excellence.
- Une politique de séminaires pédagogiques récurrents, 1 par trimestre. Ces séminaires pédagogiques seront animés par des personnalités extérieures sur invitation.
- Des projets communs santé/sciences avec un tutorat conjoint. Nous soutiendrons cette action par un volume d'heures de tutorat pour l'encadrement.
- L'alternance recherche dans les laboratoires et services hospitaliers. Nous soutiendrons également cette action par un volume d'heures d'enseignements pour l'encadrement.

Au niveau international, nous proposerons :

- La mise en place de master(s) européen(s) comme par exemple le parcours « biomarqueurs et IA » du master « Biologie et Santé ».
- L'ouverture d'enseignements en sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé aux pays du pourtour méditerranéen et à l'Afrique en proposant des processus de co-diplomation et/ou co-formation.

- Une politique de gratification des stages de niveau master afin d'attirer les bons étudiants étrangers.

## Innovation

Les principaux marqueurs d'innovation dans la proposition de l'Institut Laënnec sont principalement :

1. La création d'une plateforme de partage de données de santé pour la recherche commune aux partenaires
2. L'accompagnement appuyé à la valorisation des productions de l'Institut Laënnec
3. Le lien avec le monde socio-économique que nous voulons fort, durable et synergique

### *Plateforme de partage de données de santé.*

En sciences numériques et intelligence artificielle, et en particulier dans le domaine d'application de la santé humaine, la donnée a une place critique. Elle est un des éléments nécessaires à la réussite du projet car la donnée de santé robuste est rare, chère, et donc précieuse. Les différents partenaires de l'Institut Laënnec sont tous producteurs de données de santé (données de recherches, données de plateformes technologiques, données de soins à vocation recherche, etc.) et la création d'une plateforme d'accès et de partage raisonné entre partenaires de l'Institut Laënnec de ces données sera particulièrement génératrice d'innovation. Cette innovation se traduira dans le foisonnement d'idées de recherche induit et leur facilité de mise en œuvre permettant une valorisation accrue des données disponibles. Cette innovation sera aussi observable au travers des modalités de valorisation de ces données partageables que sera la proposition d'un catalogue de données valorisables disponibles

Les principales tâches à effectuer et les principaux jalons sont :

- Créer un groupe de travail « Plateforme de partage »
- Recenser et qualifier les bases de données existantes [cartographie, catalogue]
- Proposer une politique de gouvernance de la plateforme de partage [gouvernance]
- Définir les modalités d'accès aux données via la plateforme [protocole d'accès]
- Définir les modalités d'anonymisation des données [protocole d'anonymisation]
- Créer l'entrepôt de données de santé d'AMU (labos et plateformes techno.) [entrepôt AMU]
- Réalisation d'une uniformisation et un interfaçage avec l'AP-HM et l'IPC et leurs entrepôts respectifs [plateforme hospitalo-universitaire de partage des données de santé pour la recherche]
- Définir une politique incitative à l'interopérabilité et au partage des données de santé
- Réaliser une Veille juridique et réglementaire

### *Accompagnement à la valorisation.*

L'activité de recherche et tout particulièrement l'innovation en sciences numériques et IA pour la santé est d'une part extrêmement compétitive au niveau mondial et d'autre part extrêmement complexe du fait de nombreux aspects éthiques, déontologiques, juridiques, économiques, réglementaires, et normatifs nécessitant un savoir-faire spécifique. Ce savoir-faire ne fait pas partie de la formation initiale des acteurs de la recherche académique ou hospitalo-universitaire, mais est nécessaire à la finalisation de toute activité innovante, c'est-à-dire la transformation d'une innovation en un produit/service. Pour cela nous proposons un accompagnement appuyé

à la valorisation des productions de l'Institut Laënnec par la création d'une cellule interne de valorisation. Cette cellule sera constituée de représentants des différents partenaires de l'Institut Laënnec et s'articulera avec les structures institutionnelles de valorisation existantes (SATT, APHM, IPC, pôles de compétitivité). Cet accompagnement nécessitera, entre autre, un renforcement de l'équipe de direction de l'Institut Laënnec par du personnel spécialisé dédié. Deux ingénieurs pour l'aide au développement de logiciels et d'applications médicales seront recrutés afin d'aider les équipes-projet à finaliser le développement de prototypes logiciels issus de leur travail de collaboration entre médecins et technologues. La vie de l'Institut Laënnec comprendra une animation autour de l'innovation et de la valorisation. Cela comprendra l'organisation de séminaires/journées de sensibilisation et de formation en éthique, juridique, propriété intellectuelle, règlementaires (marquage CE et certification ISO, etc.).

Les principales tâches et les principaux [jalons] de cet accompagnement sont :

- Recruter de 2 ingénieurs
- Sensibiliser les chercheurs à l'innovation et la valorisation [plan de sensibilisation]

Cartographier les besoins médicaux exprimés, les projets présentés, les projets en cours, les DM développés, la propriété intellectuelle [Cartographie des valorisables]

### ***Liens avec le monde socio-économique.***

Étant donné le positionnement de l'Institut Laënnec dans un domaine clairement applicatif de l'utilisation des sciences numériques et de l'IA qu'est la santé au lit du patient, l'ancrage dans le monde réel et dans la pratique médicale de terrain est nécessaire et salutaire. Les liens avec le monde socioéconomique, qui se veulent forts, durables et synergiques font partie intégrante de l'aspect innovant de la proposition de l'Institut Laënnec qui propose une chaîne de valeur simple, claire, rapide, et ancrée dans le réel (...au lit du patient à court terme...). Ces liens sont par ailleurs autant de leviers d'innovation des équipes académiques de l'Institut Laënnec. Au-delà de l'aspect « innovation » de ces liens avec le monde socio-économiques, leur mise en œuvre au niveau de l'Institut Laënnec sont développés dans un paragraphe dédié ci-dessous.

## **International**

L'ensemble de nos actions concernant la formation, la recherche et la valorisation devront avoir une déclinaison internationale. Le but sera de promouvoir les activités en « sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé » au-delà des frontières nationales et ainsi faire rayonner l'Institut Laënnec et les établissements partenaires dans ce domaine.

Concernant la formation, nous travaillerons à la mise en place de masters européens comme par exemple le parcours « Biomarqueurs et IA » du master « Biologie – Santé ». Nous vous informons que nous avons entamé une démarche dans le cadre de CIVIS pour la création d'un master en IA – Santé dans lequel AMU sera le porteur du parcours « Biomarqueurs et IA ». Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'appel « Mécanisme d'Interconnexion de l'Europe » - MIE (ou *Connecting Europe Facility* - CEF) pour financer la création de masters transnationaux en IA. Nous travaillerons également à l'extension de ce type de formation vers l'Afrique par un processus de co-diplomation et/ou de co-formation.

Concernant la recherche, nous mettrons en place au moins 2 Chaires, senior ou junior, dans les 5 premières années. Ces chaires porteront sur les thématiques prioritaires de l'Institut Laënnec (IA & Neurosciences et IA & Oncologie-Hématologie). L'objectif est d'attirer sur notre site et pour chacune des chaires un(e) chercheur(se) considéré(e) par sa communauté comme étant

d'un excellent niveau. Des co-financements des chaires seront nécessaires et nous prévoyons de le faire au travers d'un partenariat public/privé. Nous nous appuyerons sur nos réseaux pour le recrutement de ces scientifiques comme par exemple le réseau EBRAINS pour le thème IA & Neurosciences et sur les collaborations existantes en IA & Oncologie-Hématologie avec Montréal (Canada) et Barcelone (Espagne) autour de l'étude de la dynamique moléculaire par l'IA.

Concernant la valorisation, des liens avec les entreprises internationales de premier plan (majors) ayant investi ou voulant investir le domaine des « sciences numériques et IA pour la santé » sont nécessaires. L'archétype de ces entreprises sont les industries de la microélectronique tel qu'IBM avec son programme Watson et les industries pharmaceutiques comme l'alliance Pfizer/Novartis/Sanofi. Nous sommes en contact avec ces différentes entreprises et d'autres pour un rapprochement et une collaboration structurante public-privé.

## Lien avec le monde socio-économique

Les activités de recherche de l'Institut Laënnec se traduiront par des collaborations industrielles multiples et une forte implication dans trois pôles de compétitivité concernés (pôle Solutions Communicantes Sécurisées SCS ; pôle Eurobiomed ; et pôle Optitec), qui ont fait de l'IA en santé leur priorité pour les années à venir. Nous avons à ce jour initié des partenariats privés intéressés par cette activité que ce soit avec des grands groupes ou des startups, comme par exemple IBM, STmicroelectronics, Be-ys, Witmonki. Certains nous ont déjà accompagnés lors de AAP RHU4 et souhaitent continuer ce partenariat dans le cadre de l'Institut Laënnec. Par ailleurs, nous avons aussi établi des contacts avec DASSAULT Systèmes et le CNES qui ont exprimé un intérêt de collaborer avec nous dans ce domaine.

Le comité de valorisation de l'Institut Laënnec qui comprendra des représentants des établissements de soins partenaires (APHM et IPC), de la SATT, et des pôles de compétitivité (Eurobiomed, SCS, et Optitec) aura pour charge de développer ces liens avec des interlocuteurs de qualité et bien implantés dans le domaine biomédical. Pour ce faire, la cellule de valorisation de l'Institut Laënnec, pourra s'appuyer, entre autre, sur le portefeuille de catalogues valorisables de l'Institut Laënnec comprenant : un catalogue des questions médicales soumise, un catalogue des Dispositifs Médicaux (DM) souhaités par le corps scientifico-médical, un catalogue des projets en cours, un catalogue des bases de données partageables, un catalogue des DM disponibles (logiciels et matériels), et un catalogue de la PI développé au sein de l'Institut Laënnec.

Les principales tâches et les principaux [jalons] relevant de l'activité de la cellule de valorisation de l'Institut Laënnec sont :

- Créer le comité de valorisation [Comité]
- Créer le portefeuille de catalogues [Portefeuille de catalogues]
- Créer un support de communication [Support de communication]
- Établir un plan de prospection
- Développer des contrats publics/privés [contrats]
- Proposer une animation autour de l'entrepreneuriat

À ce jour, les industriels identifiés, contactés et ayant exprimé un intérêt de principe pour le projet sont : IBM et be-ys et le pôle Eurobiomed (annexe A).

## Articulation avec l'écosystème

### *Instituts.*

L'institut de recherche en sciences numériques et IA pour la santé interagira naturellement avec les autres instituts de notre université. En particulier, il y aura des interactions naturelles majeures avec les sciences fondamentales sur lesquelles reposent les sciences numériques et l'IA (modélisation, optimisation, sciences des données, apprentissage, etc.). Ces compétences sont particulièrement regroupées à l'institut Archimède Math-Info. Par ailleurs, l'imagerie et les nanotechnologies seront indispensables à la mise en œuvre de solutions d'aide au diagnostic médical, à la fois matérielles et logicielles justifiant des interactions fortes avec l'Institut Imaging et l'Institut AμTEC. Enfin, des interactions majeures auront lieu avec les instituts existants dans le secteur santé, en particulier avec les instituts Cancer et Immunologie, Marseille Maladies Rares, NeuroMarseille, et l'Institut des Sciences de la Santé Publique d'Aix-Marseille, instituts déjà actifs dans les sciences numériques et l'IA.

### *Établissements de soins.*

Une des forces de cette proposition est l'intégration d'établissements de soins (AP-HM et IPC) dans le cœur même de cet institut, intégration par : les personnels enseignant-chercheurs y participant, les problématiques issues du terrain éminemment pratiques et axées sur la santé que nous souhaitons promouvoir, la quantité et la pertinence des données exploitables générées, l'aspect translationnel des recherches que nous souhaitons impulser, et leur participation à la commission IA/Santé perpétuée.

De par les contraintes structurelles, fonctionnelles, règlementaires, et juridiques spécifiques des établissements de soins, un soin tout particulier est à apporter à la gestion des données qu'ils génèrent, à la propriété de ces données et plus généralement à la propriété intellectuelle générée par l'activité de l'institut. Un groupe de travail de l'AP-HM, comprenant la Direction de la Recherche Clinique et de l'Innovation (DRCI) et la Commission d'Accès aux Données de Santé (PADS) est en train de formuler plusieurs scénarii de fonctionnements possibles compatibles avec les contraintes spécifiques de l'AP-HM et les ambitions de notre institut. En particulier, des conditions d'accès privilégiées à un entrepôt de données de santé à vocation recherche de l'AP-HM actuellement en cours de constitution sont en cours d'étude pour les partenaires de l'institut et les modalités d'interaction avec la DRCI sont discutées. Un travail équivalent est réalisé en lien avec l'IPC. L'ensemble de ces éléments feront l'objet d'un accord qui sera formalisé à la création de l'institut.

## Fonctionnement, Attractivité

### *Fonctionnement.*

Le fonctionnement de cet institut sera basé sur l'animation des 4 Pôles et passera par la création d'équipes projet. Les équipes projet auront vocation à répondre aux objectifs de chaque centre d'intérêt tels que décrits dans le paragraphe « Axes scientifiques d'excellence ». Ces équipes seront nécessairement interdisciplinaires et intersectorielles et constituées pour répondre à des problématiques médicales issues du terrain. L'objectif est d'amener les sciences numériques et l'IA « au lit du patient », c'est-à-dire au plus près de la pratique médicale (hospitalière comme hors les murs, voire à domicile). Pour cela, la réponse à apporter par les équipes projet aux problématiques médicales identifiées et retenues sera de type mini-RHU interne à AMU : durée courte, question médicale concrète, réponse transposable « au lit du patient » à court (prototype) ou moyen terme (essai clinique de preuve de concept). L'objectif visé sera à terme de nature à

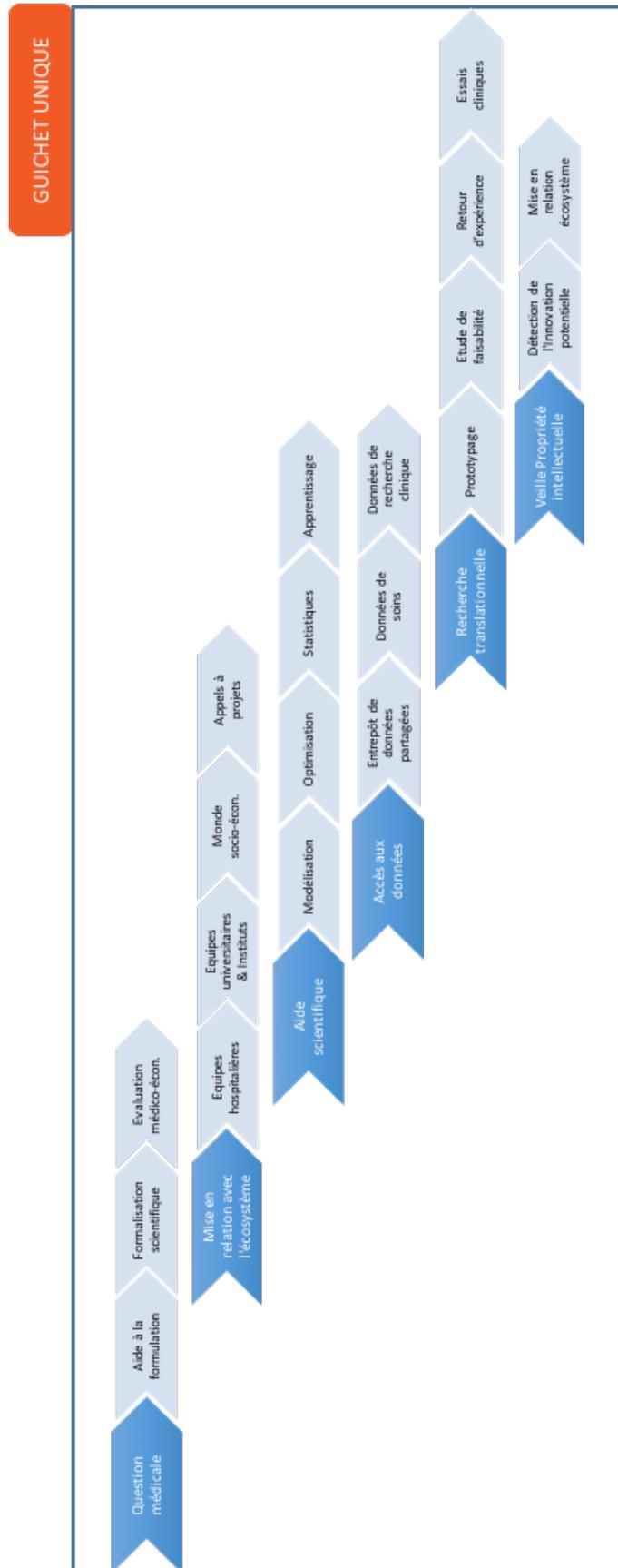
proposer un essai clinique de recherche translationnelle. Dans un premier temps, ces équipes projet seront constituées autour de *nuclei* existants, leaders au moins locaux dans leurs domaines, pour résoudre des problématiques scientifiques que la commission aura identifiées comme stratégiques, porteuses, et donc prioritaires et pour lesquelles elle catalysera la constitution de consortiums adaptés. La mise en place et la tenue d'un registre des activités dans le domaine et des réseaux de travail y afférant permettra d'avoir à disposition une cartographie dynamique en temps réel des acteurs les plus proches de la question médicale posée.

Afin d'identifier et d'accompagner les professionnels de santé cherchant des solutions à des problématiques médicales et relevant des sciences numériques et de l'IA (permettant par la même une cartographie dynamique des besoins médicaux) nous mettrons à disposition un guichet unique, centralisant les demandes d'aide et/ou de collaboration et proposant une facilitation au déroulé du projet tel que représenté en fig.5. Un registre des demandes, des travaux, et de leurs aboutissements sera tenu. Il s'agira de proposer un parcours structuré sur mesure, constitué d'un ou plusieurs éléments de la chaîne de valeur suivante, de la question médicale à la solution technique opérationnelle et valorisable.

### *Attractivité.*

Notre structuration, tout en capitalisant sur l'existant et développant de nouvelles activités, permettra de rendre plus visible et plus lisible notre recherche dans le domaine du numérique et IA pour la santé. Ainsi, nous augmenterons notre attractivité dans ce domaine qui se veut aussi bien nationale qu'internationale. Pour cela nous mettrons trois programmes en place : un programme master, un programme doctoral, et un programme post doctoral et invités. Programme Master : nous proposerons des bourses aux étudiants nationaux ou étrangers de deuxième année de master ou dernière année d'écoles d'ingénieurs. Ces bourses seront d'un montant mensuel permettant, en s'appuyant sur les différents réseaux de nos laboratoires et nos formations, d'attirer des étudiants de très bon niveau. Programme doctoral et postdoctoral : nous proposerons chaque année des bourses de doctorat et post-doctorat pour soutenir les étudiants choisissant l'interdisciplinarité. Les encadrements conjoints (médecins praticiens et scientifique spécialistes en IA) seront fortement favorisés. Programme postdoctoral et invités : en s'appuyant sur les relations internationales développées au sein de nos laboratoires, nous inviterons des chercheurs étrangers de renommée qui trouveront un intérêt particulier à venir passer une période plus ou moins longue dans nos murs. Il s'agit en général de chercheurs étrangers qui pourront être accueillis pour une période pouvant aller de quelques semaines à plusieurs mois, voire une année. Ces chercheurs travailleront en collaboration avec un couple laboratoire santé – laboratoire sciences de notre institut. Ils donneront pendant leur séjour plusieurs séminaires.

Figure 6. Le guichet unique : de l'idée de recherche aux essais cliniques translationnels, un appui à chaque étape.

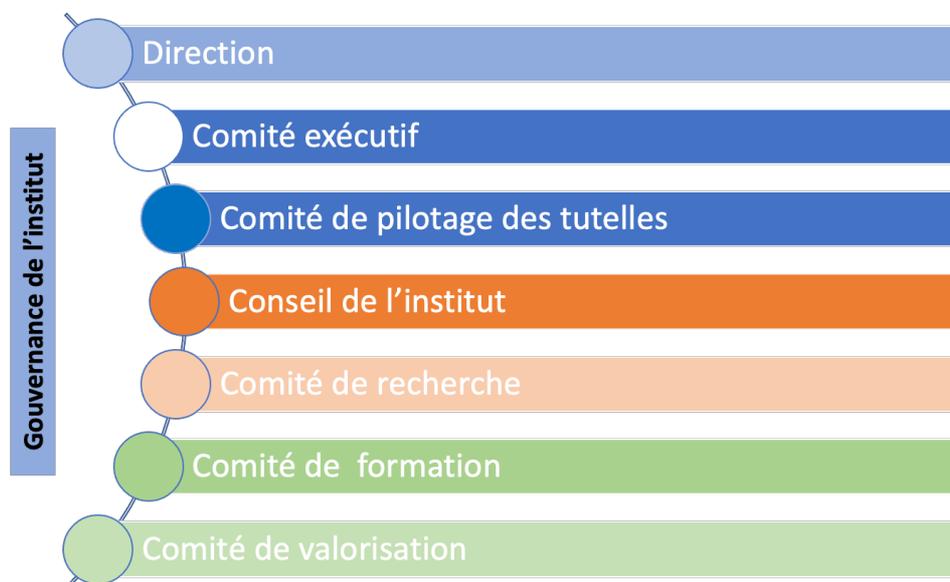


# Gouvernance

La gouvernance aura vocation à faire vivre l'institut, à organiser et monitorer son activité tout en gérant les aspects de propriété intellectuelle et de propriété des données. Les objectifs de la gouvernance seront :

- Stratégiques : s'assurer de la réussite du projet et de l'impact attendu ;
- Managériaux : promouvoir et suivre la communication interne à l'institut, la communication avec les institutions partenaires, et celle avec les partenaires socio-économiques ;
- Financiers : s'assurer de la récurrence des financements et monitorer la vie financière de l'institut afin de présenter un bilan financier sain et scrupuleusement adapté aux ambitions ;
- Et administratifs : établir un accord de partenariat, une gouvernance du consortium, et un conseil consultatif externe.

La gouvernance de l'institut s'inspirera du modèle proposé par A\*Midex et mise en œuvre dans les instituts thématiques d'établissements, mais devra, de par la nature hospitalo-universitaire de cet institut regroupant des établissements de soins en son sein, être adaptée. Pour cela, les partenaires seront invités à définir ensemble un accord qui fixera 1) les grandes lignes d'interaction entre partenaires, 2) la gestion de la propriété intellectuelle produite, 3) et posera les contours d'une gouvernance équilibrée. Cette gouvernance doit être simple et opérationnelle. Elle sera composée de plusieurs comités (direction, comité exécutif, comité de pilotage des tutelles, conseil de l'institut, comité de recherche, comité de formation et comité de valorisation) selon le schéma suivant :



## ***Direction.***

La direction sera initialement puis de façon pérenne constituée d'un directeur et d'un directeur adjoint qui devront former un binôme médecin - scientifique. Le rôle de la direction sera de : exercer la responsabilité tant scientifique que financière de l'institut vis-à-vis de ses partenaires, veiller à donner toute sa place à l'institut dans l'écosystème local, régional, national

et international, porter la politique scientifique et animer la vie aussi bien scientifique que pédagogique de l'institut.

### ***Comité exécutif.***

Le comité exécutif sera constitué de la direction (directeur, directeur adjoint), du chef de projet qui sera recruté pour l'institut et des responsables des quatre centres d'intérêt. D'un point de vue purement opérationnel, l'institut s'appuiera sur un chef de projet, et une personne en secrétariat/gestion. Ces personnels devront être recrutés ou identifiés dès le démarrage. Il constitue l'organe exécutif de la politique générale définie par le comité de pilotage de l'institut. Il soutient aussi la direction en la conseillant sur tous les domaines liés au fonctionnement de l'institut.

### ***Comité de pilotage des Tutelles.***

Comité de pilotage des tutelles est un comité d'importance stratégique. Il est constitué de représentant(s) des tutelles des unités de recherche et des établissements auxquelles sont rattachées les composantes, écoles... et se réunit annuellement.

A cet effet, le comité de pilotage :

1. Nomme le Directeur de l'institut sur proposition du conseil d'institut
2. Valide la feuille de route et son actualisation annuelle
3. Émet un avis et recommandations sur l'adéquation entre la feuille de route et le budget
4. Valide les investissements de l'année n+1

### ***Conseil d'Institut.***

L'Institut est administré par un Conseil d'Institut. Ce conseil constitue un organe d'informations, d'échanges et de discussions. Il sera consulté par le Directeur et le Directeur-Adjoint de l'institut sur : la coordination des recherches, les moyens budgétaires à demander et la répartition de ceux qui lui sont alloués, la gestion des ressources humaines, et toutes mesures relatives à l'organisation et au fonctionnement de l'institut. Le conseil sera en charge de la bonne articulation de la politique scientifique de l'institut entre les différents partenaires.

La Composition du Conseil d'Institut ainsi que les détails sur son rôle seront précisés dans le règlement intérieur de l'institut

### ***Comité de recherche.***

Le comité de recherche sera constitué de l'équipe de direction, d'un représentant par laboratoire impliqué, et un représentant de chaque établissement de soin. Ce comité se réunira régulièrement à l'initiative de la direction. C'est un organe consultatif de la politique scientifique de l'institut en termes de contenu, de moyens humains, financiers et matériels. Son rôle principal est de définir et d'arbitrer la politique scientifique interne à l'institut, en s'appuyant sur des spécialistes académiques des domaines de recherche de l'institut.

### ***Comité de formation.***

Le comité de formation sera constitué des représentants des masters en lien avec l'IA et la santé, des directeurs des écoles doctorales, des vice-doyens et directeurs adjoints « formation » des composantes impliquées dans l'institut. Son rôle principal est de mener une stratégie permettant d'introduire des modules d'enseignement afin de préparer les étudiants aux métiers de santé de demain.

***Comité de valorisation.***

Le Comité de valorisation sera constitué de l'équipe de direction et de deux ingénieurs, un expert en certification des dispositifs médicaux (essais cliniques, qualité et réglementaire) pour accompagner les chercheurs dans une démarche d'application des solutions au lit du malade et un expert en développement dont la vocation sera de proposer des outils logiciels robustes dès leur conception afin de gagner un temps considérable qui habituellement sépare l'idée de recherche et la sortie d'un logiciel certifié CE dispositif médical.



Figure 7. Recherche en sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé : structure et interactions.

annexe A  
Lettres de Soutiens



## Institut Laënnec

***Sciences Numériques et Intelligence Artificielle pour la Santé***

***Laënnec Institute***

*Digital Sciences and Artificial Intelligence for Health*

CA 22 juin 2021

# Objectif et vision de l'institut

- . Apporter la puissance du numérique et de l'IA « au lit du patient »
- . Une démarche centrée sur le patient et ancrée sur le terrain

## L'interdisciplinarité au service du patient



### SCIENCES

Statistiques [??]  
Modélisation [??]  
Simulation numérique [??]  
Apprentissage [??] [??]  
Sciences des données [??]  
Instrumentation [??]  
Aide au diagnostic/décision

### SANTÉ

★ Neurosciences  
Cardiovasculaire  
★ Cancérologie  
Imagerie médicale  
Génétique  
Santé publique  
Biomécanique et chirurgie

### SHS

Droit de la Santé  
Éthique  
Usages

1. Numérique et IA  
« au lit du patient »

2. Avec l'adhésion  
des patients

# Objectif et vision de l'institut: **Autonomie et souveraineté**

	RECHERCHE	FORMATION	VALORISATION
1	Technologies numériques pour la santé	Faire bénéficier le secteur santé des avancées technologiques du monde digital Solutions matérielles comme logicielles (Nouveaux DM)	
2	Données numériques de santé	Accès aux données de manière cohérente et concertée Valorisation de cette production unique Plateforme facilitant le partage, la réutilisation de données	
3	Ethique, droits et usages en santé numérique	Mettons l'Humain au cœur de nos réflexions Ethiques dans l'utilisation de données sensibles	
4	Pédagogie et santé numérique	Offre de formations pour les professionnels de santé Sciences numériques et l'IA à la pédagogie médicale et paramédicale.	

Mini-RHU@AMU

- Equipes projet dédiées aux problématiques médicales identifiées.  
Réponse transposable « au lit du patient » : Recherche appliquée

Formation

- Formation spécifique pour les professionnels de santé de demain, en commençant par les médecins

Plateformes

- Rationalisation et développement, une vraie richesse en données à exploiter et valoriser

# Contours de l'institut: Consortium

21 Unités de Recherche

3 écoles doctorales: ED 62 – 184 – 353

2 établissements de soins : AP – HM, IPC



Faculté des sciences  
médicales et paramédicales

Aix-Marseille Université



Faculté  
de Pharmacie

Aix-Marseille Université



Faculté  
des Sciences

Aix-Marseille Université



POLYTECH  
MARSEILLE

Aix-Marseille Université



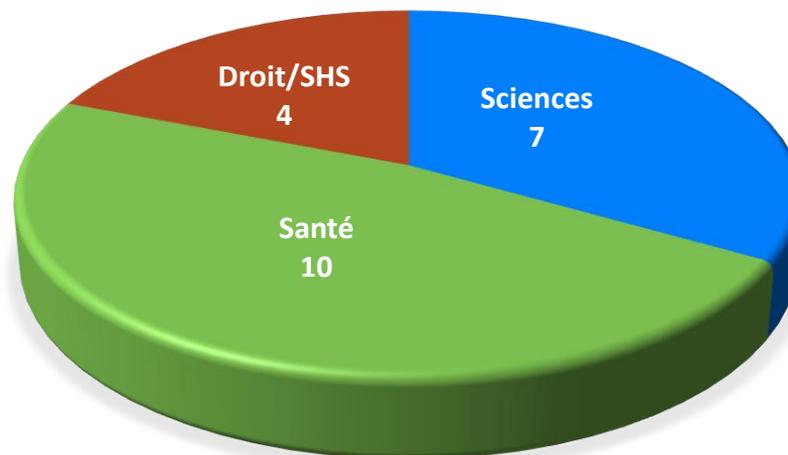
Faculté des  
Sciences du Sport

Aix-Marseille Université



Faculté des Arts, Lettres,  
Langues et Sciences humaines

Aix-Marseille Université



# Contours de l'institut: **Écosystème**

## Etablissements de soins

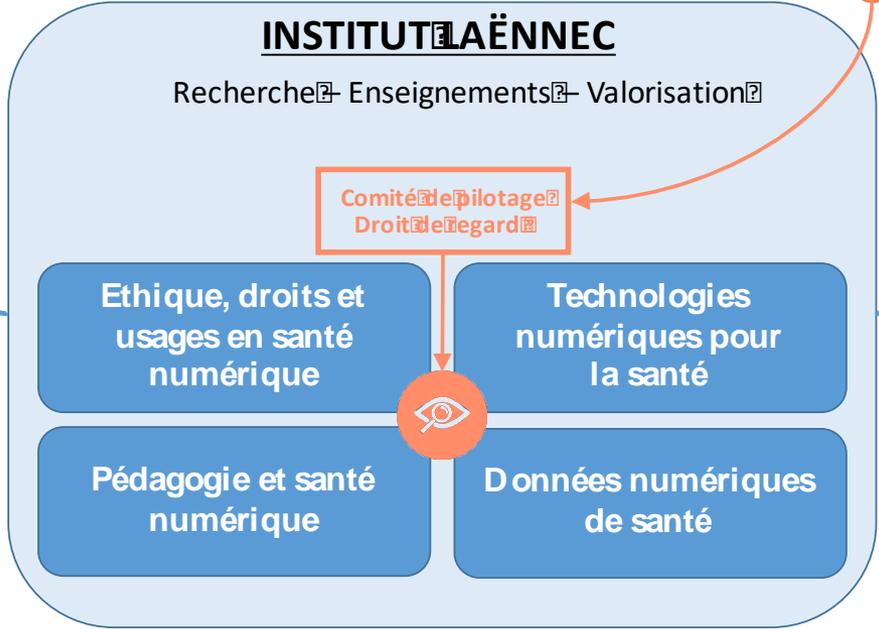


## Monde socio-éco

- Institut Carnot
- SATT
- CISAM
- Eurobiomed
- CCI
- StartUp
- Grands groupes



COMMISSION INTERNATIONALE NUMERIQUE POUR LA SANTE @AMU  
Veille et conseil stratégiques



## Composantes

- Faculté de Pharmacie  
Aix-Marseille Université
- Faculté des Sciences  
Aix-Marseille Université
- Faculté de Droit et de Science Politique  
Aix-Marseille Université
- Faculté des Arts, Lettres, Langues et Sciences humaines  
Aix-Marseille Université

## Instituts

- ARCHIMEDE
- PHYSIQUE
- IMAGING
- CANCER
- MALADIES RARES
- NEUROMARS.
- ISSPAM

# Objectifs en formation: Formations initiales, continues, permanentes et spécifiques

9 masters au cœur de l'IA existants

3 déclinaisons

5 lignes directrices

1. Formation des acteurs de santé
2. Pédagogie innovante et adaptée
3. Vulgarisation et démocratisation auprès des professionnels et du grand public

1. Enseignements dédiés au cursus (para)médical (10 ans)
2. Conférences inter/trans- disciplinaires et grand public
3. Aide à la formulation par les prof. de santé des besoins pédagogiques, mise en œuvre
4. Nouvelles formations à la carte (DU, parcours de masters)
5. Promotions partenariats internationaux

## Actions Nationales

6 à 10 bourses par an d'un montant attractif pour attirer les meilleurs étudiants

Politique de séminaires pédagogiques récurrents

Projet étudiants communs Santé/Sciences (tutorat conjoint)

Alternance recherche dans les laboratoires/services en santé

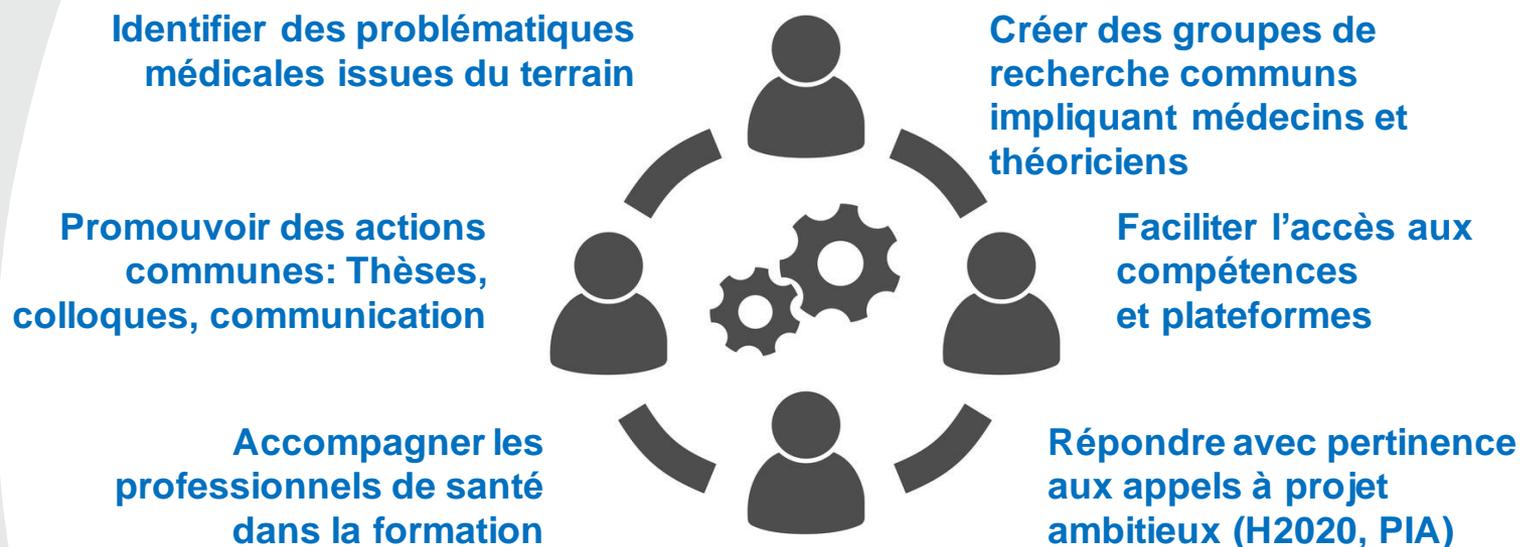
## Actions Internationales

Masters européens : Exemple Biomarqueurs et IA (partenaires CIVIS)

Ouverture vers la méditerranées et l'Afrique : Co-diplomations et/ou Co-formations en IA pour la santé

Gratifications de stages Master : Attirer les étudiants étrangers

# Objectifs en recherche : **Animation et Coordination scientifique et économique**



## Programme Doctoral

- Bourses
- Encadrements conjoints
- Sujets valorisables seront favorisés

Faire émerger de nouvelles thématiques fondamentales et appliquées

**Guichet unique  
hospitalo-universitaire  
et socio-économique en  
Numérique – IA & Santé**

## Programme postdoc. et invités

- Post Doc
- Professeurs Invités
- Chercheurs étrangers

## Conclusion

### – **Projet identitaire pour AMU** –

- . **Fédérateur et structurant dans le domaine de l'IA appliquée à la santé**
- . **Continuum interdisciplinaire, de la question médicale à la solution opérationnelle**
- . **Forte valence valorisation pour des retombées concrètes pour le patient**
- . **Potentiel de développement exceptionnel pour devenir un acteur majeur**