



**Think
Tank.**

**Arts &
Métiers**

**INGÉNIEURS AU SERVICE
DE LA SANTÉ : DE NOUVELLES
COMPÉTENCES POUR
UNE SANTÉ AUGMENTÉE**

RAPPORT / MAI 2023

PRÉAMBULE

MÉTHODOLOGIE

Pour répondre aux objectifs fixés dans la lettre de mission et afin de cerner des problématiques pertinentes et produire des recommandations utiles, le groupe de réflexion a souhaité se focaliser sur les domaines des dispositifs médicaux (DM) et de la MedTech, tant dans leurs valences industrielles que hospitalières. Les travaux réalisés se sont appuyés sur diverses sources :

- Deux tables rondes autour des thématiques « Quelles perspectives de développement de l'industrie de santé ? Quelles compétences pour la développer ? » et « Quelle place pour l'ingénieur à l'hôpital ? Quelles compétences de l'ingénieur sont-elles utiles pour le médecin ? ». Les échanges entre les participants, aux expertises et parcours très différents, ainsi que ceux avec la salle, ont montré le grand intérêt pour les deux mondes (Santé et Ingénierie) d'un rapprochement et d'un travail synergique pour améliorer la qualité de vie des patients et de leurs proches. Beaucoup d'éléments issus de ces échanges sont cités dans ce rapport.
- Des interviews de personnalités des mondes industriel, hospitalier, universitaire et des start-ups, impliquées dans les réflexions sur les transformations des services de santé, de l'industrie biomédicale et des MedTech, ainsi que sur les besoins associés. Ces interviews, ouvertes, se sont appuyées sur un guide d'entretien permettant de conduire les échanges de façon rigoureuse. Les éléments les plus saillants associés à ces échanges

sont rapportés dans le rapport.

- Une enquête auprès d'ingénieurs et de médecins, concernant les passerelles de communication entre les deux mondes. Cette enquête, s'appuyant sur deux questionnaires distincts, avait pour objectif de comprendre comment les rencontres médecins/ingénieurs s'opéraient, si elles étaient simples, satisfaisantes et fructueuses. Les questionnaires utilisés sont présentés dans les annexes de ce rapport.

- Enfin, une recherche bibliographique couvrant, entre autres, les domaines suivants :
 - L'industrie des Dispositifs médicaux, des MedTechs et des BioTech, ses grands chiffres,
 - La place des ingénieurs dans les services de santé,
 - Les politiques publiques, tant au niveau national qu'europpéen, pour le développement des technologies de santé,
 - Les formations dans le domaine biomédical, les passerelles entre études d'ingénieur et étude de médecine, les formations courtes diplômantes,
 - Les profils attendus pour les jeunes ingénieurs dans le domaine de la santé.

Le groupe de réflexion s'est attaché à la plus grande neutralité dans son travail d'identification des tendances et de rédaction des synthèses. Il a mené son travail entre novembre 2021 et février 2023.

REMERCIEMENTS

Ce rapport « Ingénieurs et santé » est la réponse du groupe de réflexion que nous avons mené à la lettre de mission adressée par le conseil d'orientation du think tank des Arts et Métiers en novembre 2021. Les interactions entre ingénieurs et monde de la santé sont nombreuses, d'où un rapport comportant de nombreuses préconisations et impliquant des personnalités aux profils variés. Nous souhaitons remercier les membres du conseil d'orientation du think tank et plus particulièrement son président, Pierre MEYNARD, et son secrétaire général, Stéphane LAPUJOLADE, pour la confiance témoignée en nous confiant cet ambitieux travail. L'industrie de la santé et les structures de soins sont à repenser dans la conjoncture actuelle, et les ingénieurs doivent tenir leur place dans cette reconstruction à venir : leur voix est à porter.

Les relations entre ingénieurs et monde de la santé sont nombreuses, et l'équipe projet avec laquelle nous avons eu grand plaisir à travailler est le miroir de cette richesse. Benjamin BOUTOT connaît l'écosystème du dispositif médical et coordonne les interactions entre ses différents acteurs, privés comme publics. Kevin BREUT travaille dans l'industrie de la santé, c'est un spécialiste des dispositifs médicaux, de leur conception à leur mise sur le marché. C'est un habitué des interactions ingénieurs/cliniciens. Jean-Baptiste FRAYSSE est un entrepreneur, récemment tourné vers l'industrie de la santé, développant des technologies innovantes au contact des centres de recherche hospitaliers. Roman Hossein KHONSARI est un praticien hospitalier, professeur des universités, s'intéressant à l'apport des technologies numériques, de l'impression 3D et de l'ingénierie en général au sein de l'hôpital.

Les deux tables rondes organisées en juin 2022 ont été l'occasion de riches échanges autour des thématiques « Quelles perspectives de développement de l'industrie de santé ? Quelles compétences pour la développer ? » et « Quelle place pour l'ingénieur à l'hôpital ? Quelles compétences de l'ingénieur sont-elles utiles pour le médecin ? ». Les participants à ces deux tables rondes, hospitaliers, universitaires, représentants de structures publiques, entrepreneurs, industriels, ingénieurs travaillant dans les structures de soins ont apporté de nombreuses contributions citées dans ce rapport : qu'ils en soient remerciés.

De nombreuses rencontres ont jalonné notre parcours de réflexion, avec des discussions toujours très enrichissantes, liées à des décideurs des mondes universitaires, industriels et de la santé. Ils ont pu élargir notre vision parfois trop étroite des problématiques engageant les ingénieurs dans le domaine de la santé. Ils ont également pu nous permettre de comprendre l'historique des relations liant ingénieurs et santé, ainsi que comparer la place de l'ingénieur dans l'industrie médicale et le monde de la santé en France et à l'étranger.

Nous souhaitons également remercier nos relecteurs et lecteurs, que nous espérons nombreux : souhaitons que ce rapport fasse évoluer la vision, la visibilité ainsi que l'impact attendu des ingénieurs dans le système de santé.

Thomas BOTREL et Sébastien LAPORTE

SYNTHÈSE DES RECOMMANDATIONS

1. NOUVELLES TECHNOLOGIES

La révolution des technologies met les ingénieurs au cœur du système de santé. Des compétences sont, et seront de plus en plus attendues dans les domaines suivants : intelligence artificielle appliquée à la santé, dispositifs médicaux connectés, bloc opératoire augmenté, imagerie diagnostique et interventionnelle, implants, biomatériaux et organes artificiels.

2. FINANCEMENT

La France doit poursuivre ses efforts de soutien à l'industrie, notamment PME, ETI, start-ups, via son plan « Innovation Santé » dans le cadre de France 2030.

3. COLLABORATION

Soigner n'est plus du seul ressort des médecins : les ingénieurs doivent s'investir à l'hôpital comme ils le font historiquement dans l'industrie de la santé. Les médecins doivent symétriquement intensifier leurs relations mutuellement bénéfiques avec l'industrie.

4. COLLABORATION

Ingénieurs et soignants doivent collaborer et mettre en commun leurs compétences pour mieux coopérer/innover ainsi que redonner du temps de soin aux professionnels de santé. Ils doivent pour cela parler un langage commun.

5. TERMINOLOGIE

La classification des métiers pour les ingénieurs en santé n'est plus représentative de la multiplicité des rôles pouvant être joués par ces derniers. Cette classification doit être revue pour répondre aux besoins d'effacement de la dichotomie existante, ingénieur à l'hôpital/ingénieur dans l'industrie et favoriser un langage commun. Ingénieurs de recherche, ingénieurs de développement, ingénieurs d'opération, ingénieurs d'application et ingénieurs des données de santé sont des fonctions retrouvées dans les deux milieux.

6. FORMATION

La double formation ingénieur-médecin est intéressante, mais elle doit rester une exception : ce sont des enseignements d'ouverture qui sont à privilégier. Pour les médecins via des formations MD/PhD d'ingénierie ainsi qu'une possible réforme des études médicales incluant un troisième cycle d'ingénierie médicale. Pour les ingénieurs via des enseignements d'ouverture ainsi que des formations leur ouvrant la délégation de tâches techniques réalisées au lit du malade.

7. FORMATION

Les masters en ingénierie biomédicale doivent devenir un enseignement d'acculturation plus que de spécialisation technique, appuyant sur l'applicabilité des sciences de l'ingénieur à la santé tout en notant les spécificités du domaine médical.

8. ATTRACTIVITÉ

Les structures hospitalières doivent se réformer afin d'attirer les talents issus des écoles d'ingénieurs françaises. La place de ces professionnels doit être valorisée, de même que leur rémunération actuellement insuffisante au vu des standards constatés.

9. ATTRACTIVITÉ

Il faut créer les conditions d'un changement qui favorise l'arrivée de l'ingénierie à l'hôpital en valorisant l'impact des technologies sur l'humanisation des soins

ainsi qu'en créant de nouvelles structures d'ingénierie ouverte. Ces structures doivent être physiquement situées à l'hôpital et héberger divers intervenants issus de la recherche ou d'entreprises.

10. ATTRACTIVITÉ

L'ingénierie doit être valorisée dans les facultés de santé par une universitarisation de cette discipline, de même que les métiers de la santé doivent être promus auprès des ingénieurs. Ceci en appuyant sur le sens donné à l'ingénierie par les applications de santé, particulièrement auprès des jeunes étudiantes, sous-représentées dans les formations techniques.

11. ATTRACTIVITÉ

Les écoles d'ingénieurs ont intérêt à valoriser l'ingénierie de santé au sein de leurs enseignements ainsi que dans leur communication, afin de susciter des vocations nouvelles, d'attirer les talents supplémentaires et de répondre aux besoins générés par la croissance du secteur des MedTech en France.

INTRODUCTION

Santé et ingénierie, des mondes proches et distants à la fois !

«Santé et ingénierie», un vaste sujet! Deux mondes proches et distants à la fois! Deux mondes qui doivent mieux se connaître et se reconnaître, pour, entre autres, améliorer notre qualité de vie.

D'un point de vue sociétal, la santé est considérée comme une ressource importante pour le développement personnel et collectif, ainsi que pour la participation active et productive à la collectivité. La santé peut être influencée par de nombreux facteurs, tels que les conditions socio-économiques, l'environnement, les comportements de santé, l'accès aux soins et le système de santé en général. La santé et la médecine sont donc étroitement liées, mais elles sont distinctes. Les médecins, les infirmières et d'autres professionnels de la santé jouent un rôle crucial dans le système de santé via les soins médicaux aux personnes.

De son côté, l'ingénierie est présente historiquement dans divers domaines industriels, tels que la mécanique, l'électronique, les télécommunications, l'informatique, la construction ou l'aérospatiale. Le travail de l'ingénieur consiste

à résoudre des problèmes complexes en utilisant une approche systématique et scientifique pour trouver des solutions pratiques. Les ingénieurs jouent un rôle clé dans le développement technologique et économique de la société.

«L'ingénierie au service de la santé?». Cette notion recouvre un large panel d'applications et d'implications, s'étendant de l'industrie pharmaceutique aux services biomédicaux des établissements hospitaliers. Effectivement, les ingénieurs peuvent contribuer à la santé en travaillant sur des projets liés à la médecine et à la biotechnologie, tels que le développement de nouveaux dispositifs médicaux, la conception de systèmes de suivi de la santé ou la mise en place de solutions technologiques pour améliorer la qualité et l'efficacité des soins de santé. Les ingénieurs peuvent également travailler avec les professionnels de santé pour résoudre des défis complexes et trouver des solutions innovantes pour améliorer la prise en charge des patients. En utilisant leurs expertises, ils peuvent avoir un impact significatif sur la qualité de vie des patients et contribuer à la recherche médicale. Un rapprochement entre la santé et l'ingénierie peut conduire à de nombreux avantages pour la société, notamment une meilleure qualité et une plus grande efficacité des soins de santé, une réduction des coûts, une prévention accrue des maladies et une amélioration de la qualité de vie des patients.

Quels sont les apports présents et futurs de la collaboration entre ingénieurs, soignants et industriels dans le domaine de la santé? Comment s'articulera la collaboration entre médecine et ingénierie dans les prochaines années? Comment anticiper les besoins et, surtout, comment mettre en œuvre des réponses adaptées dans le futur? L'ingénierie de la santé peut-elle être une réponse à la quête de sens des jeunes diplômés? Ce rapport cherche à répondre à ces questions, sans perdre de vue l'objectif initial de la collaboration entre soignants et ingénieurs : rester au service des patients, de leurs familles et de la société.

SOMMAIRE

Préambule.....	2
Synthèse des recommandations	6
Introduction	9
I. LES NOUVELLES TECHNOLOGIES PÉNÈTRENT LE MONDE DE LA SANTÉ	13
1.1 La révolution en cours des technologies appliquées à la santé	13
1.2 La croissance rapide du secteur des Medtech.....	20
1.3 La France, terreau fertile de l'innovation en santé	23
II. VERS UNE PLACE PRÉPONDÉRANTE OCCUPÉE PAR LES INGÉNIEURS EN SANTÉ	27
2.1 Le rôle des ingénieurs et soignants dans l'industrie de la santé	27
2.2 Le rôle des ingénieurs dans les établissements de santé	33
2.3 Une nouvelle classification pour les ingénieurs en santé	37
III. ENTRE DEUX MONDES : NOUVELLES COMPÉTENCES, NOUVEAUX BESOINS DE COLLABORATION	44
3.1 L'ingénierie, réponse aux nouveaux enjeux rencontrés par le personnel soignant	44
3.2 La santé comme nouveau champ d'application des sciences de l'ingénieur	46
IV. LA NÉCESSAIRE ADAPTATION DE LA FORMATION AUX COMPÉTENCES ATTENDUES	48
4.1 Les adaptations de formation initiale à envisager	49
4.2 Les offres de formations complémentaires et hubs d'échange à développer	52

V. L'INGÉNIERIE DE SANTÉ : VERS UNE PROFONDE TRANSFORMATION	54
5.1 Porter un diagnostic lucide : en l'état, l'hôpital n'est pas attractif pour l'ingénierie	54
5.2 Engager une transformation profonde	56
VI. L'INGÉNIERIE DE SANTÉ : RÉPONDRE AUX NOUVELLES ASPIRATIONS DES INGÉNIEURS	60
6.1 Quête de sens, chez les jeunes ingénieurs.....	60
6.2 Ingénieur-e-s en santé.....	61
Conclusion	62
Annexe 1 : Lettre de mission	64
Annexe 2 : Acteurs du groupe de réflexion	65

LES NOUVELLES TECHNOLOGIES PÉNÈTRENT LE MONDE DE LA SANTÉ

1.1 La révolution en cours des technologies appliquées à la santé

Les technologies nouvelles, les diagnostics et thérapies innovantes ainsi que des données plus facilement exploitables notamment grâce à l'intelligence artificielle et aux objets connectés sont les grands enjeux de santé de demain.

Cet ensemble dessine un nouveau champ technologique, celui des technologies médicales, les « Medtech », en évolution très rapide.

S'ajoutant au domaine traditionnel de la pharmacie, lui-même révolutionné par les « Biotech », les « Medtech » sont issues de secteurs industriels variés : mécanique, métallurgie, plasturgie, électronique, informatique, robotique ou encore textile. Le numérique est omniprésent.

Ces technologies ont un impact fort sur les processus de soin, sur la prévention et donc sur la santé de la population. Elles sont également de nature à transformer l'organisation et le financement du système de santé. De nombreux travaux

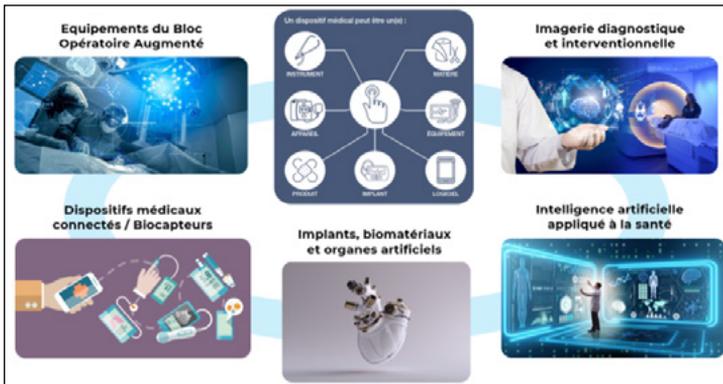
soutenus par les pouvoirs publics s'intéressent aux innovations attendues à fort impact pour le système de soins.

Des différents rapports publiés, nous retenons 13 principaux champs d'innovation :

1. Intelligence artificielle (IA) appliquée à la santé
2. Dispositifs médicaux connectés, biocapteurs
3. Équipements du « bloc opératoire augmenté »
4. Imagerie diagnostique et interventionnelle
5. Implants, biomatériaux et organes artificiels
6. Gestion, structuration, valorisation et protection de la donnée de santé
7. Logiciels de e-santé, télémédecine, télémonitoring
8. Thérapies digitales (*digital therapeutics*, DTx)
9. Interopérabilité des outils numériques
10. Modélisation, simulation et jumeau numérique
11. Robotique chirurgicale et médicale
12. Prothèses de membres, orthèses, exosquelettes/équipements de rééducation et solutions d'autonomie
13. Dispositifs médicaux de diagnostic *in vitro* (DM-DIV)

Parmi ces 13 domaines, nous en avons identifié 5 qui nous semblent particulièrement représentatifs de la transformation, en cours et à venir, de l'ingénierie de santé.

FIG 1. Principaux champs d'innovation de l'ingénierie en santé



DOMAINE TECHNOLOGIQUE 1 : L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE APPLIQUÉE À LA SANTÉ

L'entrée du numérique et de l'IA dans la sphère de la santé contribue à la transformation du système de soins et permet au patient de devenir acteur de sa propre santé, car ses données personnelles deviennent centrales dans la recherche et l'innovation.

L'IA est au cœur de la médecine du futur avec des applications diverses : chirurgie assistée, suivi des patients à distance, prothèses intelligentes, ou encore traitements personnalisés grâce au recoupement de données. Dans ce cadre, les chercheurs et ingénieurs développent des approches et techniques multiples, du traitement naturel du langage, de la construction d'ontologies à la fouille de données et à l'apprentissage automatique.

FOCUS : Health Data Hub

◆ La plateforme des données de santé ou Health Data Hub est un groupement d'intérêt public mettant en œuvre les grandes orientations stratégiques relatives au Système National des Données de Santé (SNDS) fixées par l'État. La France dispose d'un patrimoine de données de santé unique au monde concentrant les données médico-administratives de la quasi-totalité de la population en une seule base.

L'objectif du Health Data Hub (HDH) est de faciliter l'acquisition, le stockage, le chaînage et les procédures d'accès de ces données de santé, en vue de leur réutilisation pour des projets de recherche clinique, de recherche fondamentale, de gouvernance et d'innovation.

En pratique, le HDH offre un guichet unique pour développer des projets liés à l'utilisation secondaire des données de santé, construit un catalogue riche et diversifié et déploie une plateforme technologique sécurisée pour travailler sur ces données.

◆ *Impact sur l'ingénierie en santé : besoin de «data scientists», de formation mathématique et informatique, amenés à travailler en étroite collaboration chercheurs/soignants/patients.*

DOMAINE TECHNOLOGIQUE 2 : LES DISPOSITIFS MÉDICAUX CONNECTÉS

Les dispositifs médicaux sont l'ensemble des outils physiques technologiques mis à disposition du corps soignant. L'ambition de la personnalisation du suivi des patients se concrétise aujourd'hui grâce aux DM connectés et évolutifs.

Le développement d'un DM connecté est complexe puisqu'il intègre à la fois des composantes Medtech (implantables ou non), numériques (le logiciel) et liées aux données de santé (gestion des signaux) dans un contexte d'analyse en lien avec le paramètre physiologique et/ou la pathologie.

Les études de marché montrent une croissance très importante du marché de l'IoT (« Internet of Things ») en santé, dont font partie les DM connectés. Selon une étude réalisée en 2021, les revenus mondiaux sur le marché des dispositifs portables en santé étaient d'environ 61 milliards de dollars en 2019 et devraient atteindre 260 milliards de dollars en 2027 (x 4,3) (Source Statista, 2021).

Cette explosion du marché de l'IoT en santé s'explique par les bénéfices escomptés pour le patient, pour le système de soins et pour la recherche clinique. En effet, la connectivité permet le suivi de paramètres médicaux à domicile et en temps réel, comme par exemple lors de la télésurveillance, avec une densité inédite des données, qui ouvre des perspectives nouvelles en termes de développement thérapeutique, de prévention et de compréhension des phénomènes physiologiques.

◆ *Impact sur l'ingénierie de santé : besoin d'ingénieurs travaillant en collaboration étroite avec les professionnels de santé, en apportant des compétences telles que science des données, développement logiciel en interface avec dispositif physique, matériaux, instrumentation, prototypage, industrialisation, ou encore réglementation des DM.*

DOMAINE TECHNOLOGIQUE 3 : BLOC OPÉRATOIRE AUGMENTÉ (BOPA)

La chirurgie assistée par ordinateur est issue de la coexistence d'une multitude de domaines techniques avec des objectifs complémentaires : améliorer l'efficacité d'une intervention (assistants conversationnels et organisationnels), prédire et réduire les risques (chirurgie assistée par la robotique ou la réalité augmentée, jumeaux numériques) ou encore améliorer la formation des praticiens (simulation, réalité virtuelle).

Exemple de cette dynamique, la récente Chaire d'innovation BOPA - Bloc Opératoire Augmenté, réalisation conjointe Assistance Publique - Hôpitaux de Paris (AP-HP)/Institut Mines-Telecom, dirigée par le Pr Eric Vibert (Hôpital Paul Brousse, AP-HP) explore et valide, avec de nombreuses start-ups, les aspects bénéfiques des solutions de « cobotique » au bloc opératoire : précision du geste chirurgical avec la réalité augmentée et amélioration de la qualité (traçabilité en temps réel, suivi et analyse des procédures, déclenchement d'alertes contextualisées). La Chaire BOPA a également mis en place un tiers-lieu d'expérimentation, « BOpEx », espace inédit permettant de tester et valider l'usage d'une solution innovante en situation réelle, avec tous les utilisateurs finaux de l'hôpital.

L'utilisation des données massives de santé, la génomique, ou encore les marqueurs de mutations ouvrent la porte à une médecine de précision, personnalisée. Les actes chirurgicaux seront de plus en plus spécifiques pour chaque patient et intégrés dans un parcours thérapeutique élaboré, dans lequel le rôle des ingénieurs et des « chirgénéieurs » sera crucial, de la gestion des ressources à l'évaluation quantitative des résultats.

◆ *Impact sur l'ingénierie de santé : dans ce contexte, on comprend qu'il ne s'agit pas uniquement d'investissements matériels, mais bien d'interactions nouvelles. La présence d'ingénieurs au sein des salles d'interventions, avec leurs bureaux situés au contact de l'activité opératoire, sera une évolution naturelle de ces interactions.*

DOMAINE TECHNOLOGIQUE 4 : IMAGERIE DIAGNOSTIQUE ET INTERVENTIONNELLE

La crise sanitaire due à la COVID-19 a mis en lumière l'importance des équipements médicaux dans la prise en charge des patients. Cette forte demande d'approvisionnement de produits, et la fragilité des chaînes d'approvisionnement internationales ont montré la nécessité de repenser notre modèle industriel en santé, en France et en Europe. Ce secteur peine à se consolider en l'absence de grandes entreprises françaises dominant le marché français et international, capables de fédérer et d'entraîner l'ensemble des acteurs de la filière. Le marché de l'imagerie pèse plus de 35 milliards d'euros, selon une étude réalisée en 2015 (Xerfi, 2015).

Les technologies médicales font appel à des secteurs industriels très variés (mécanique, électronique, informatique, détection, ou encore traitements du signal), offrant des solutions purement « matériel » ou « logiciel », mais le plus souvent associant le matériel et le logiciel, par exemple pour les dispositifs intégrant de l'IA et des équipements d'imagerie.

L'imagerie diagnostique peut être définie comme domaine médical axé sur la production et l'interprétation d'images médicales produites par différents types de rayonnements : rayons X, IRM, ultrasons. Ce secteur médical a été le premier à bénéficier d'innovations numériques, notamment l'IA, qui permet d'aider le radiologue à détecter des anomalies difficiles à cibler – sans viser à le remplacer – et à optimiser les outils de visualisation (par exemple *via* des algorithmes de segmentation automatique).

La radiologie interventionnelle associe une technique d'imagerie radiologique (généralement par rayons X) à un geste mini-invasif à visée diagnostique et/ou thérapeutique. L'intervention, effectuée sous anesthésie (locale ou générale), est guidée et contrôlée par l'image radiologique. Elle permet souvent d'effectuer des actes ambulatoires, où le patient traité peut retourner chez lui le jour même.

◆ *Impact sur l'ingénierie de santé : Formation d'ingénieurs avec compétences en données & IA mais également en mécanique et électronique pour contribuer à construire le lien entre l'image et le geste, au contact des praticiens.*

DOMAINE TECHNOLOGIQUE 5 : IMPLANTS, BIOMATÉRIAUX ET ORGANES ARTIFICIELS

Vaisseaux et cœur artificiels, valves cardiaques, stents, implants dentaires, prothèses de hanche, os ou cartilages synthétiques, broches, drains, sutures cutanées, pompes portables ou encore greffes de cellules ou de tissus : tous ces dispositifs qui permettent de réparer ou de régénérer le corps humain ont en commun le fait d'exploiter les propriétés de biomatériaux.

Plusieurs catégories de biomatériaux existent aujourd'hui :

- Biomateriaux inertes, entièrement synthétiques qui interagissent peu avec l'environnement du site d'implantation : stents, prothèse de hanche.
- Biomateriaux bioactifs, équipés de molécules actives : facteurs de croissance, peptides et analogues.
- Biomateriaux vivants, tissus ou des organes vivants, manipulés afin de changer leurs propriétés (ex : bio-ingénierie cutanée).

Les DM implantables actifs (DMIA) sont dépendants d'une source d'énergie pour fonctionner à l'intérieur du corps humain. Ils sont utilisés en fonction des pathologies traitées : stimulateurs cardiaques (pacemakers, défibrillateurs implantables), dispositifs de stimulation cérébrale profonde, ou même cœur artificiel comme celui que développe la société française Carmat.

FOCUS : CAO et impression 3D à l'hôpital

◆ La révolution de la fabrication additive (impression 3D) permet d'installer des moyens de production professionnels au cœur des systèmes de soins. Au-delà du sur-mesure, la présence de structures de fabrication additive au sein d'établissements de soin permet la production à coût réduit, en petites séries, de dispositifs médicaux (par exemple plaques d'ostéosynthèse et bientôt tissus vivants), ce qui modifie la conception actuelle de la logistique d'un bloc opératoire par exemple. Des plateformes de fabrication (ateliers de prothèse, salle de plâtre) existent déjà au sein des établissements de soins mais l'association de la CAO à la fabrication additive permet un saut conceptuel : rapidité, reproductibilité, précision, contrôle qualité, et échange des designs.

◆ *Impact sur l'ingénierie de santé : les biomatériaux innovants et l'impression 3D vont révolutionner les processus de soin et l'organisation des établissements de santé. Le rôle des ingénieurs dans ce champ d'activité sera central dans les années à venir.*

1.2 La croissance rapide du secteur des Medtech

Le secteur des industries de la santé comprend traditionnellement les entreprises du médicament (les laboratoires pharmaceutiques) et les entreprises de production de dispositifs médicaux. La filière des Industries et Technologies de Santé (ITS) ajoute aujourd'hui deux sous-secteurs plus modestes, mais en développement très rapide : celui des diagnostics *in vitro* et celui du numérique de santé. Nous faisons le choix de mettre en lumière le développement du secteur des dispositifs médicaux (DM), particulièrement impacté par la révolution des technologies médicales.

FIG. 2 : Chiffres clés pour les industries de santé

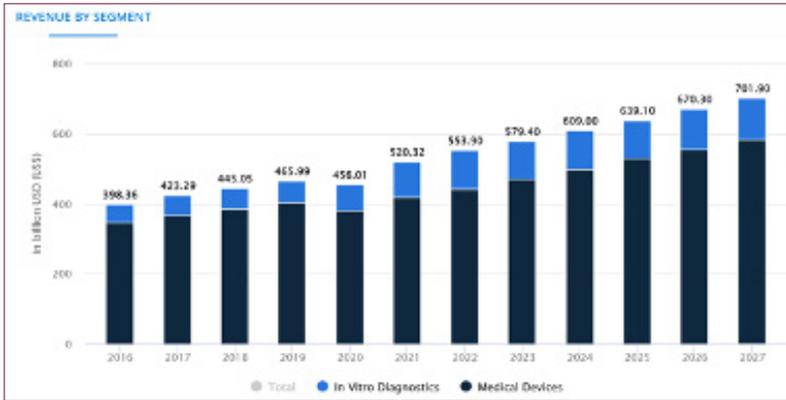


Ce domaine des dispositifs médicaux est aujourd'hui bien identifié, en particulier par le Syndicat National des Industries & Technologies Médicales (SNITEM). Il se situe à la frontière entre la médecine et de nombreux secteurs industriels : mécanique, métallurgie, plasturgie, électronique, informatique, robotique ou encore textile. Un DM se trouve souvent à l'interface patient-soignant : instruments chirurgicaux, équipements ou logiciels au plus proche du malade, matériels implantables donc biocompatibles.

UN MARCHÉ EN FORTE CROISSANCE AUX ÉTATS-UNIS

Le marché américain du secteur Medtech est le 1^{er} au monde. Il affiche un taux de croissance annuel (CAGR 2023-2027) de 4,91 %, ce qui se traduira par un volume de marché de 701,9 milliards de dollars en 2027. Sur les 10 plus importantes entreprises du secteur, 7 sont américaines et 3 européennes. Les industriels Medtronic, Johnson & Johnson, Abbott, GE Healthcare, Stryker ou Zimmer dominent ce marché.

FIG.3 : Évolution du marché Medtech aux États-Unis par segment



Source : Statista 2022

UN SECTEUR TRÈS INNOVANT EN FRANCE

Les sommes engagées par les pouvoirs publics comme par les acteurs privés montrent l'importance primordiale prise par le domaine de la santé auprès des décideurs politiques comme industriels, puisque relevant de la souveraineté nationale.

Secteur innovant par nature, la filière Medtech se caractérise par un tissu industriel riche et diversifié employant 88 000 collaborateurs en France, dominé par les start-ups & les PME (93 %). Les 1440 entreprises recensées (91 % ayant une activité exclusivement DM) par le SNITEM réalisent un chiffre d'affaires

de 30,7 milliards d'euros. L'ETI Urgo est la plus grande structure Medtech du territoire. Pour ces acteurs français, l'export, notamment le marché américain, représente encore aujourd'hui le principal facteur de croissance.

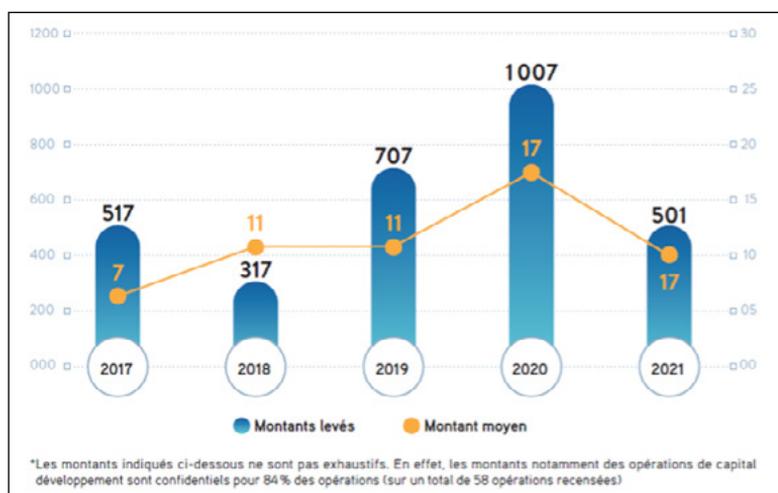
Le Plan « Dispositif Médical Innovant » (DMI) de 400 Millions d'euros a été annoncé en février 2022 pour faciliter le développement de nos start-ups et PME Medtech les plus innovantes, et les transformer en ETI pérennes.

UN SECTEUR BÉNÉFICIAIRE AUJOURD'HUI D'UN ENGOUEMENT DES INVESTISSEURS PRIVÉS

En France, d'après un rapport du cabinet de consulting EY, les start-ups HealthTech ont collecté un montant record de 2,3 milliards d'euros en 2021, soit une croissance de près de 50 % par rapport à 2020.

Selon le panorama 2021 du Snitem qui analyse pour la première fois le financement des entreprises françaises du secteur DM, les montants levés annuellement sont de à 680 M€ depuis 2017, pour un montant moyen supérieur à 11 M€ par transaction, avec une dynamique positive de 2018 à 2020 puisque les montants totaux levés ont triplé sur la période.

FIG.5 : Montants levés sur la base des informations publiques



Source : « Panorama de la filière industrielle des dispositifs médicaux en France », SNITEM 2021

1.3 La France, terreau fertile de l'innovation en santé

« Oui, la France peut devenir le leader mondial des technologies médicales », telle est l'ambition du Plan DM piloté par Medtech in France depuis l'été 2020. Ce plan de 13 mesures vise à soutenir une filière d'excellence française du Dispositif Médical au service des patients, des professionnels de santé et de nos territoires.

De nombreux travaux ont été récemment menés en France par des organismes tels que le Comité Stratégique de Filière des Industries et Technologies de Santé (CSF-ITS), le SNITEM, Medtech in France, France Biotech et les pôles de compétitivité comme Medicen Paris Région. Ils permettent de structurer les financements et promouvoir l'innovation s'agissant des Medtech. Les différentes régions de France ainsi que l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) proposent également des financements.

PLAN INNOVATION SANTÉ 2030

Pour répondre à l'enjeu de souveraineté sanitaire post-COVID-19, l'État a lancé, dans le cadre de France 2030, le Plan « Innovation Santé », défini par le Conseil Stratégique des Industries de Santé (CSIS) et doté de 7,5 milliards d'euros.

Ce programme historique est piloté par l'Agence de l'Innovation en Santé (AIS), créée fin 2022 avec pour objectif de faire de la France la première nation européenne innovante et souveraine en santé. Il se décline en 3 Stratégies d'Accélération :

1. Santé numérique : 650 millions d'euros,
2. Biothérapies et bioproduction : 800 millions d'euros,
3. Maladies infectieuses émergentes et NRBC : 750 millions d'euros.

Ainsi qu'un plan spécifique, Dispositif Médical Innovant (DMI), 400 millions d'euros.

Les dispositifs médicaux implantables sont utilisés dans des pathologies de plus en plus variées (cardiologie, orthopédie, urologie, maladies respiratoires,

maladies neuropsychiatriques, handicaps moteurs ou sensoriels) avec de prometteuses innovations. Pour autant, ils représentent un potentiel de risque élevé en raison de leur caractère invasif et implantable, de leur localisation et de leur durée de contact avec les patients. Pour ces raisons, le suivi régulier de la performance et de la tolérance de ces dispositifs dans le temps est devenu un enjeu majeur pour les cliniciens et les industriels, en termes de gouvernance, de modèle économique, d'interopérabilité et de procédures d'accès au marché.

Les robots chirurgicaux bénéficieront de nombreuses innovations au niveau de leur mécanique, de l'électronique et du logiciel. Ces changements majeurs devraient permettre de réduire les complications per et post-opératoires pour les patients.

L'objectif à long terme du plan est de faire émerger les dispositifs médicaux et les dispositifs de diagnostic *in vitro* de demain : bloc opératoire du futur, robotique chirurgicale, amélioration de la performance et de la tolérance sur le long terme des implants et prothèses, développement de solutions numériques pour la santé mentale et pour le vieillissement et la perte d'autonomie.

L'AIS coordonnera les travaux sur la prospective en santé pour caractériser les besoins à venir du système de santé et anticipera leurs impacts sur le système de prévention et de soin.

FIG.5 : Sources de financement public de l'innovation en santé



Autres financements publics français

L'État, principalement via Bpifrance et l'ANR, finance directement l'innovation : 1,2 Md€ d'aides ont été attribués en 2021 aux acteurs de la Health Tech pour accompagner près de 850 projets d'innovation et d'industrialisation.

Le plan de relance a permis de soutenir l'investissement, la modernisation et la relocalisation de l'industrie :

- Le 4^e Programme d'Investissement d'Avenir, avec 2 Mds€ d'enveloppe dédiée à la santé numérique, la «biothérapie et bioproduction» et les Maladies Infectieuses et Émergentes (MIE).
- 100 M€ d'aides de Bpifrance pour 53 projets en 2021.

L'État a financé à hauteur de 856 M€ les entreprises qui luttent contre la COVID-19 (vaccins, diagnostics, thérapeutique).

Bpifrance poursuit également sa dynamique d'accompagnement de 12 startups avec «Bpifrance Le Hub» et d'investissements avec 158 M€ investis au capital des sociétés de HealthTech et 205 M€ dans des fonds de capital-risque HealthTech en 2021.

Soutien à l'innovation

Certains incubateurs comme Paris Biotech Santé, EuraSanté, TechCare et désormais PariSanté Campus sont essentiels pour le développement de start-ups tant la législation, le système de santé et les modalités de remboursement dans le secteur médical sont complexes.

Les pôles de compétitivité santé (Medicen Paris Region, Lyonbiopôle, BioValley France, Eurobiomed, Clubster NSL et Atlantpole Biotherapies) proposent également un accompagnement à l'innovation médicale, basé sur la collaboration entre acteurs industriels, académiques, et cliniques.

Nouvelles passerelles

Des structures financées par des établissements privés, comme Future4Care, permettent de créer des passerelles pour répondre aux besoins de santé publique grâce aux solutions numériques.

D'autres structures créent des passerelles entre industriels, cliniciens et académiques comme PariSanté Campus avec l'ambition de structurer une filière française en rassemblant sur un même lieu tous les talents et expertises de la e-santé.

FOCUS : PariSanté Campus

◆ PariSanté Campus est un projet inédit de campus dédié à la santé numérique initié par les ministères de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et des Solidarités et de la Santé. Il a pour missions de :

- Stimuler la production et l'exploitation de données de santé
- Développer des programmes certifiants en e-santé
- Développer l'innovation à haut impact économique
- Améliorer l'organisation stratégique et l'efficacité du système de santé

FINANCEMENT EUROPÉEN : PROGRAMME HORIZON EUROPE (2022 – 2027) :

«Horizon Europe» est le nouveau programme cadre de l'Union européenne pour la Recherche et l'Innovation (R&I) pour la période 2021-2027, doté d'un budget de 95,5 milliards d'euros. Des programmes spécifiques à la santé, comme le Programme IHI (Innovative Health Initiative), qui a désormais 50 % de son enveloppe réservée aux entreprises du dispositif médical représentent une opportunité de financement européen. D'autres appels à projets collaboratifs européens spécifiques sont lancés sur la filière santé. Les industriels français du dispositif médical peuvent aussi bénéficier de programmes généralistes comme le Programme EIC (European Innovation Council, dont le EIC Accelerator).



VERS UNE PLACE PRÉPONDÉRANTE OCCUPÉE PAR LES INGÉNIEURS EN SANTÉ

Soigner n'est plus du seul ressort des médecins. Les avancées technologiques transforment les schémas de prise en charge des patients. L'ingénierie peut soigner, avec un impact d'autant plus important que les technologies développées sont rapidement utilisées dans les structures dispensant les soins. Désormais, aux côtés des médecins et au sein même des établissements de santé, les ingénieurs sont amenés à jouer un rôle majeur dans l'amélioration de la santé et des systèmes de soins.

2.1 Le rôle des ingénieurs et soignants dans l'industrie de la santé

Les industries de santé sont communément classées en entreprises du médicament (laboratoires pharmaceutiques), des dispositifs médicaux, du diagnostic *in vitro* et des technologies de l'information et de la donnée.

Le rôle des ingénieurs s'amplifie dans les secteurs en croissance que sont ceux des dispositifs médicaux et des technologies de la donnée.

LES MÉDECINS, PEU PRÉSENTS DANS L'INDUSTRIE DE LA SANTÉ

Les soignants travaillant dans l'industrie française de la santé (personnels médicaux ou paramédicaux) sont peu nombreux, certainement en raison de considérations déontologiques et de méconnaissance de ce secteur. Leurs fonctions actuelles dans l'industrie sont restreintes : information médicale et réglementaire, promotion et commercialisation, recherche et développement.

Dans les filières d'industries de santé non pharmaceutiques, les données concernant l'implication des médecins sont inexistantes.

Pour l'industrie pharmaceutique, des données concernant l'implication des médecins sont rassemblées par le LEEM (Les Entreprises du Médicament). Les personnels de santé sont recherchés par l'industrie pharmaceutique du fait de leur expertise scientifique (connaissance de la clinique, analyse des effets indésirables, évaluation du rapport bénéfice/risque), de leur expertise médicale (aires thérapeutiques, besoins cliniques, approche diagnostique, protocoles), de leur connaissance de l'environnement, de la santé publique (système de soin, parcours patient) et du secteur hospitalier (fonctionnement, réseau d'experts et de praticiens, hiérarchies), de leur légitimité issue de leur statut/diplôme.

Les soignants sont employés dans les fonctions de promotion et commercialisation (23 % des effectifs de l'industrie pharmaceutique : rapport LEEM sur l'emploi 2020), de recherche et développement (13 %), d'information médicale et réglementaire (4 %).

Malgré les différents rôles proposés aux médecins dans l'industrie de santé, leur emploi dans ce domaine reste extrêmement minoritaire, avec 161 praticiens déclarant auprès du Conseil National de l'Ordre des Médecins une activité industrielle pure (Atlas de démographie médicale 2022).

FIG.6 : Répartition des effectifs médicaux en 2022

Mode Exercice	Effectifs 2022	Pourcentage	Variation n-1 (2021)	Variation n-11 (2010)
Libéral	82 171	41,54%	-0,84%	-11,66%
Mixte	20 304	10,26%	-2,57%	-11,73%
Libéral-salarié	5 478			
Libéral-hospitalier	13 900			
Libéral-salarié-hospitalier	926			
Salarié	95 150	48,10%	0,79%	13,42%
Salarié	27 779			
Hospitalier	64 304			
Salarié-Hospitalier	3 067			
Divers	161			
Sans exercice déclaré	25			
Total France entière	197 811	100%	-0,14%	-1,12%

Source : « Atlas de démographie médicale », Conseil national de l'ordre des médecins, 2022.

LES INGÉNIEURS DANS L'INDUSTRIE DE LA SANTÉ

FIG.7 : Distribution des ingénieurs par secteur

Ingénieurs des 2 dernières promotions par secteur d'activité selon l'année d'enquête (et comparaison avec l'ensemble des ingénieurs en emploi tous âges confondus)						
Secteurs d'activité / Année d'enquête	2018	2019	2020	2021	2022	Tous ingénieurs 2022
Agriculture, sylviculture et pêche	2,4%	1,6%	2,2%	2,1%	3,0%	2,3%
Industrie	32,3%	32,5%	29,3%	28,7%	27,3%	36,7%
Industries extractives	0,8%	0,5%	0,7%	0,8%	0,5%	1,2%
I.A.A.	2,9%	3,5%	2,9%	2,8%	2,6%	2,3%
Chimie	2,2%	2,8%	2,1%	2,7%	2,2%	3,1%
Industrie pharmaceutique	1,7%	2,0%	0,9%	1,7%	1,7%	2,0%
Plastique et verre	1,3%	0,9%	0,9%	1,4%	0,9%	1,3%
Sidérurgie	2,2%	2,5%	1,9%	1,5%	2,2%	1,8%
Produits électroniques et optiques	1,6%	1,9%	1,6%	1,6%	1,7%	2,9%
Équipements électriques	0,9%	0,8%	0,5%	0,8%	1,3%	1,6%
Machines et ornements	3,9%	3,3%	3,4%	3,7%	3,5%	4,5%
Industries de transport	11,2%	10,5%	10,9%	7,4%	7,0%	12,4%
Aéronautique	3,1%	4,3%	5,6%	2,1%	2,5%	4,7%
Spatial	1,0%	0,7%	0,7%	0,5%	0,9%	1,1%
Automobile	5,6%	3,9%	3,0%	2,7%	1,7%	4,6%
Ferroviaire	0,6%	0,8%	0,6%	1,0%	0,9%	1,2%
Autres industries de transport	0,9%	0,7%	1,0%	1,1%	0,9%	0,9%
Autres industries	3,7%	3,8%	3,5%	4,4%	3,8%	3,5%
Électricité, gaz	3,7%	3,7%	3,7%	4,4%	4,0%	4,8%
Eau, environnement	1,7%	1,5%	1,6%	2,5%	1,9%	1,7%
Construction, BTP	7,7%	7,5%	9,9%	11,9%	10,0%	6,8%
Activités tertiaires (hors sociétés de services)	25,6%	23,6%	26,2%	25,6%	28,1%	30,8%
Commerce	0,8%	0,8%	0,8%	1,0%	0,7%	1,1%
Transport, logistique	0,9%	1,0%	1,5%	2,0%	1,2%	1,6%
Télécommunications	2,3%	1,8%	1,8%	2,3%	2,0%	3,0%
Banques, assurances	2,5%	2,5%	2,5%	2,8%	2,9%	4,4%
Sociétés de conseil (stratégie...)	7,7%	7,2%	7,7%	7,0%	7,7%	4,9%
Enseignement et Recherche	1,7%	2,0%	1,9%	2,2%	2,9%	4,2%
Autre administration	5,2%	3,7%	5,5%	4,8%	6,4%	6,6%
Autre activité tertiaire	4,4%	4,7%	4,6%	3,6%	4,4%	4,9%
Sièges de services et édition de logiciels	26,6%	29,6%	27,1%	24,7%	25,6%	16,9%
Conseil, logiciel et services informatiques	12,7%	14,0%	12,2%	12,3%	12,8%	9,4%
Sociétés d'ingénierie	13,9%	15,6%	15,0%	12,5%	12,9%	7,5%
Ensemble en activité professionnelle	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Source : « Enquête nationale 2022 ingénieurs & scientifiques diplômés en France par la Société des Ingénieurs et Scientifiques de France (IESF).

Nous brosons dans la suite de ce chapitre un panorama qualitatif des emplois et compétences des ingénieurs par secteur d'industrie de santé.

Les ingénieurs dans les entreprises pharmaceutiques

L'industrie pharmaceutique est depuis longtemps un secteur attractif pour les ingénieurs. D'après la dernière étude IESF, 2 % des ingénieurs français travaillent dans ce secteur. Plus de 3 000 ingénieurs français sont annuellement recrutés par l'industrie du médicament, dont un tiers à l'étranger.

La R&D est le premier grand axe d'emploi des entreprises de type pharma-biotechs. Les ingénieurs de recherche sont omniprésents : les compétences de chimiste et biophysicien sont particulièrement importantes, la compréhension du vivant s'appuyant en partie sur ces deux sciences.

L'étude du vivant a désormais recours à l'analyse des données massives : ces données doivent être acquises puis traitées, d'où l'apparition de « data scientists » et biostatisticiens dans les entreprises pharma-biotechs.

Développer de nouvelles biotechnologies impose de mettre en place de nouveaux procédés de fabrication, souvent complexes. On assiste de ce fait dans ce secteur à une forte nécessité d'embauche d'ingénieurs roboticiens/automaticiens (usines connectées et automatisées) sachant mettre en œuvre les procédés de bioproduction.

Les ingénieurs dans les entreprises de dispositifs médicaux

Le dispositif médical (DM) nécessite d'une part un support physique, d'où des compétences de recherche et développement en mécanique, électricité, matériaux. Au contact des patients, le DM suppose également une connaissance pointue de l'humain et la plupart des DM exploitent des technologies issues de l'informatique et de l'IOT.

Le besoin d'ingénieurs logiciels est d'apparition récente : intelligence artificielle appliquée à l'analyse de données et d'images, outils d'aide à la décision, objets connectés ou intelligents.

Le cycle de développement des produits intègre les contraintes réglementaires inhérentes à la commercialisation de dispositifs médicaux, selon la classe des DM (classes I/II/III) et en fonction des réglementations relatives aux données de santé.

La production des DM nécessite des connaissances concernant les matériaux et la biocompatibilité, la conception de modes opératoires, d'instrumentation, de prototypage, d'industrialisation à grande échelle et de maintenabilité.

Pour la commercialisation, la fonction de « product manager » est souvent dévolue à un ingénieur du fait de l'importance de la compréhension technique (explication des fonctions du produit, usabilité). L'ingénieur est mis à contribution en même temps que le commercial pour les besoins de formation des professionnels de santé utilisateurs des DM.

Les ingénieurs dans les entreprises des technologies de l'information et de la santé (e-santé)

Les systèmes d'information de la santé utilisent des données nécessitant une sécurisation. Cette sécurisation est encadrée par le secret médical (code de déontologie) et par la loi car touchant à des données personnelles et qualifiées de sensibles. La cybersécurité est ainsi au cœur de la e-santé. Gérer des données de santé implique également de s'intéresser à la gestion de données complexes, nombreuses, et variables. Cette compétence est celle des « data scientists ». Développer des outils numériques, c'est savoir interpréter les données, mais également traduire en langage informatique les caractéristiques d'intérêt, domaine où interviennent les ingénieurs développeurs logiciel.

Le développement de la e-santé s'accompagne d'une importance croissante de l'interface utilisateur, qu'elle soit destinée au patient ou au praticien médical ou paramédical. La conception de ces outils digitaux est également du ressort des ingénieurs.

Finalement, les ingénieurs développant des technologies numériques dans le domaine de la santé sont confrontés aux mêmes contraintes réglementaires que celles encadrant les DM physiques : ils doivent se tenir au courant des modalités de certification, des évolutions de la réglementation relative aux données, de même que des mécanismes d'accès au marché.

Les particularités de l'ingénieur travaillant dans les « start-ups santé »

Les start-ups et petites et moyennes entreprises (PME) représentent une large part de l'écosystème industriel du domaine de la santé. L'échelle start-up est un atout dans l'industrie de la santé, de par la proximité possible avec les services cliniques ainsi que par l'adaptabilité à un environnement sans cesse changeant.

Les professionnels travaillant dans ces entreprises sont placés dans des conditions particulières, caractérisées par l'esprit entrepreneurial et la multiplicité des rôles pouvant être demandés à un seul profil. Les ingénieurs sont particulièrement adaptés à ce type d'environnement mouvant, pouvant remplir des tâches aussi bien réglementaires que techniques, associées aux sciences médicales ou à la structure de l'organisation (travail en équipe transverse ou cross fonctionnel).

Les ingénieurs peuvent être aussi amenés à intervenir hors des domaines techniques pour accompagner le plan d'investissement lors d'une levée de fond ou suivre l'expression du besoin lors de négociations commerciales. La recherche de financements et la compréhension des mécanismes de levée de fonds imposent un sens aigu de la communication et de la négociation, de même que l'intégration des stratégies commerciales et de recherche et développement.

Travailler dans une entreprise de petite taille nécessite donc de s'adapter à différents types de publics : financeurs, hospitaliers, cliniciens, ingénieurs, commerciaux.

◆ *En résumé, les compétences demandées aux ingénieurs peuvent se concevoir de manière croisée :*

- *application de principes issus des sciences de l'ingénieur : compétences techniques, compétences en génie industriel, compétences en vente de produits à forte composante technique, compétences en gestion et maîtrise des risques.*
- *Compétences spécifiques au domaine de la santé : compétences réglementaires (dispositifs médicaux, données de santé), compréhension du fonctionnement du corps humain et des principes des soins prodigués : biologie, physiologie, physiopathologie, compréhension du fonctionnement hospitalier et du relationnel avec professionnels de santé.*

2.2 Le rôle des ingénieurs dans les établissements de santé

La place réelle des ingénieurs à l'hôpital reste à définir. Aujourd'hui, seuls les ingénieurs hospitaliers et les ingénieurs biomédicaux sont bien identifiés au sein des établissements de santé.

Les ingénieurs hospitaliers ont leurs missions et cadre d'exercice définis aux articles 1 et 2 du décret statutaire (Décret n° 91-868 du 5 septembre 1991). Ils sont approximativement 2000 en France. « La vocation première des ingénieurs hospitaliers est de faire en sorte que toutes les installations d'un établissement de santé soient opérationnelles pour permettre aux professionnels de santé de bénéficier de conditions optimales dans l'exercice de leurs fonctions » (source IHF : Ingénieurs Hospitaliers de France). Ils sont chargés de la coordination et du contrôle des services techniques de l'établissement.

Les *ingénieurs biomédicaux* ou ingénieurs cliniques sont au nombre de 500 en France, remplissant des fonctions plus ou moins bien définies par la liste des sous-spécialités du génie biomédical fournie dans le rapport de l'OMS (*Human resources for medical devices - the role of biomedical engineers*, WHO 2017) : ingénieur clinique, ingénieur biomécanique, ingénieur en réadaptation, ingénieur en bioinstrumentation. Ce rapport montre une grande variabilité à l'international dans le nombre de ressources disponibles, la France présentant 0,09 ingénieurs biomédicaux pour 10 000 habitants, soit l'une des plus faibles démographies européennes. Leur rôle est le plus souvent réduit à la gestion des équipements médicaux.

UN RÔLE FLOU ET MÉCONNU

L'hôpital a une méconnaissance de la définition de l'ingénieur, qui conduit la plupart des ingénieurs sur titres à l'hôpital à ne pas exercer sur statut d'ingénieur. En effet « ingénieur » est souvent, à l'hôpital, un grade que l'on atteint à l'ancienneté, ou via une formation continue d'un an, dans une école qui n'est en général pas une école d'ingénieurs. L'EHESP propose ainsi un cycle d'ingénieurs hospitaliers.

Les ingénieurs de formation initiale qui exercent à l'hôpital occupent le plus souvent trois types de postes.

- *Conseiller en organisation/chef de projet* : ils se voient confier des projets en lien avec les organisations, les flux, le SI ou encore l'automatisation. Cette équipe d'ingénieurs est toujours sous les ordres d'un directeur du corps des Directeurs d'Hôpital (DH), donc d'un directeur statutaire (même s'il est moins expérimenté).
- *Directeur des opérations* : lorsqu'un ingénieur parvient à intégrer le CODIR d'un établissement de santé, c'est en général sous ce titre, qui correspond le plus à de « l'ingénierie ». Cette direction peut être purement support ou avoir des secteurs en hiérarchie, le plus souvent des secteurs à forte dominante « flux », tels que les plateaux techniques (blocs opératoires), les consultations, le brancardage.

- *Directeur des blocs et des secteurs interventionnels* : il s'agit d'un intermédiaire aux deux cas cités précédemment, dans laquelle l'ingénieur peut se voir confier un bloc, ou plutôt un plateau technique interventionnel.

Cette place de l'ingénieur à l'hôpital reste difficile à ancrer, et les ingénieurs sont sous-représentés dans les CODIR des établissements. Ils reçoivent souvent le soutien du corps médical, qui les voit comme une « solution », mais sont mal intégrés par les directeurs. De plus, le milieu de la santé a un retard important quant à la rémunération des ingénieurs, qui le rend peu attractif par rapport à l'industrie.

L'ANIORH (Association Nationale de l'Ingénierie en Organisation Hospitalière) existe depuis 1985, et le nombre d'ingénieurs dans ces domaines à l'hôpital n'a pas fondamentalement évolué depuis cette époque.

Les possibilités de fonctions hospitalières sont pourtant nombreuses, même en dehors des domaines les plus innovants, et restent en rapport avec les connaissances acquises au cours de formations pour certaines spécialisées (ingénierie biomédicale à l'UTC Compiègne) : physiologie, instrumentation médicale, électronique et micro-informatique, capteurs et traitement de signaux physiologiques, traitement d'images médicales, organes artificiels et biorhéologie, techniques d'exploration fonctionnelle, qualité, maintenance et réglementation, organisation des systèmes de santé.

LE RÔLE D'AVENIR DE L'INGÉNIEUR À L'HÔPITAL

La question de la position de l'ingénieur au sein des établissements de soins en termes de gouvernance et de rémunération recoupe le problème de ses compétences spécifiques. La pratique dans un établissement de soins nécessite en premier lieu d'établir des liens personnels et fluides avec les soignants, en comprenant leurs impératifs professionnels, et en agissant dans le respect des règles hiérarchiques locales, parfois opaques.

Dans ce contexte, la création de départements d'ingénierie est particulièrement pertinente. Un « guichet » d'ingénierie interne ne sera efficace que s'il peut répondre de manière précise et rapide aux problèmes portés par les soignants.

L'introduction de compétences d'ingénierie sur le site d'exercice des soignants est confrontée à la capacité à utiliser les fruits du travail des ingénieurs en pratique clinique. Le statut réglementaire de « dispositifs médicaux » de la plupart des objets ou applications concernés par les demandes des soignants rend difficile leur optimisation sur mesure par les ingénieurs. La présence d'experts réglementaires est ainsi indispensable à toutes les étapes de la mise en place de ces innovations. Une interprétation réglementaire permettant un rôle actif et créatif des ingénieurs hospitaliers est nécessaire, avec la définition d'un statut spécifique leur donnant une liberté d'action et la responsabilité associée. Il en est de même pour l'utilisation des données de santé. L'acquisition, le stockage sécurisé, l'utilisation de données de plus en plus massives requiert des compétences en data sciences et en réglementation non enseignées au personnel soignant.

Enfin, l'ingénieur travaillant dans les structures de soins doit être le relais entre monde soignant et monde de l'innovation. Il doit être sensibilisé aux enjeux de propriété intellectuelle, de valorisation de la recherche, de relationnel avec les centres industriels. L'ingénieur doit être capable d'exporter le produit de la recherche et des besoins soignants vers le monde de l'entreprise.

FOCUS : le génie industriel à l'hôpital

◆ L'École des hautes études en santé publique (EHESP) forme les directeurs d'hôpitaux, qui assurent des fonctions aussi diverses que directeur financier, responsable des relations humaines, ou encore responsable de la recherche et de l'innovation. La formation aux spécialisations dure entre 4 et 6 mois à la fin des études, durée trop limitée pour la formation d'experts. Certaines spécialités sont à très fortes dominantes en sciences de l'ingénieur : direction des opérations (flux des patients, gestion des plateaux techniques et des blocs opératoires), direction des systèmes d'information (sécurité informatique, administration réseau, gestion des bases de données), direction de la qualité (normes en vigueur, processus liés au fonctionnement de l'hôpital), direction des travaux et des équipements, direction des achats. Dans le cadre de la direction des opérations, l'absence d'ingénieurs dans les structures de décision est troublante, par comparaison aux entités industrielles de taille équivalente. Une priorité est d'utiliser les compétences des ingénieurs pour appliquer à la gestion hospitalière des méthodes réellement pertinentes: implantation fonctionnelle, maîtrise du délai, respect des délais d'attente patients, gestion des flux de typologie extrêmement variée (répétables : consultation, hôpital de jour ; ou aléatoires : urgences médico-chirurgicales).

2.3 Une nouvelle classification pour les ingénieurs en santé

LA CLASSIFICATION ACTUELLE NE REND PAS COMPTE DES APPORTS MULTIPLES DE L'INGÉNIEUR EN SANTÉ

Le terme « ingénieur biomédical » est utilisé incorrectement par une partie des industriels et la majorité des cliniciens français. Leur définition est réductrice et ne prend en compte que la fonction d'ingénieur clinique, qui n'est qu'une sous-partie des fonctions de l'ingénieur biomédical.

Il existe une liste des sous-spécialités du génie biomédical fournie dans le rapport de l'OMS. Cette liste comprend :

- L'ingénieur clinique
- L'ingénieur biomécanique
- L'ingénieur en réadaptation
- L'ingénieur en bioinstrumentation

FIG.8 : Synthèse des spécialités par champs d'action de l'ingénieur biomédical (classification en vigueur)

L'ingénieur clinique	L'ingénieur biomécanique	L'ingénieur en réadaptation	L'ingénieur en bioinstrumentation
Management de la technologie	Biomécanique	Mécatronique	Imagerie médicale
Formation	Biomatériaux	Ingénierie neuronal	Capteur
Installation		Ingénierie tissulaire/ Régénérative	Biosignal
Qualification des équipements		Organe artificiel	Théranostique
Maintenance			

L'ingénieur clinique

L'American College of Clinical Engineering définit l'ingénieur clinique comme « un professionnel qui s'occupe et fait progresser la prise en charge du patient en appliquant des compétences de génie et de gestion aux technologies de soin ». Les ingénieurs cliniques gèrent les systèmes et équipements médicaux de l'établissement, s'assurent de leur bon état de marche et travaillent avec les médecins dans le but d'adapter les instruments aux besoins des praticiens et de l'hôpital. Dans le secteur industriel, l'ingénieur clinique, aussi appelé « ingénieur d'application », travaille pour un fabricant industriel de matériel médical. Il assure la promotion d'une gamme de produits et forme les utilisateurs.

L'ingénieur biomécanique

Les ingénieurs biomécaniques appliquent les principes de l'ingénierie pour approfondir la compréhension de la structure du corps humain, du squelette et des muscles qui l'entourent, de la fonction et des propriétés techniques des organes du corps. Ils conçoivent des implants et des instruments ainsi que des organes artificiels, le tout pour faciliter le traitement des patients blessés ou malades et leur permettre de jouir d'une meilleure qualité de vie.

L'ingénieur en réadaptation

L'ingénierie de réadaptation consiste à élaborer des dispositifs technologiques pour aider les personnes handicapées, maintenir ou améliorer l'autonomie et

l'indépendance d'une personne, faciliter la récupération des fonctions physiques et cognitives perdues en raison d'une maladie ou d'une blessure.

L'ingénieur en bioinstrumentation

Les ingénieurs en bioinstrumentation sont spécialisés dans la détection, la collecte, le traitement et la mesure de nombreux paramètres physiologiques du corps humain, des plus simples – comme la mesure de la température et du rythme cardiaque, aux plus complexes – comme la quantification du débit cardiaque, la détection de la profondeur de l'anesthésie chez le patient inconscient ou l'activité neuronale dans le système nerveux central.

Il semble difficile de considérer cette classification comme couvrant toute la diversité des missions des ingénieurs biomédicaux. Cette segmentation des rôles nécessite selon nous d'être complétée pour mieux prendre en compte la diversité des missions des ingénieurs biomédicaux, par :

- L'ingénieur en recherche clinique
- Le bio-informaticien
- L'ingénieur en organisation hospitalière

Fonctions devant être implémentées dans la classification OMS considérée :

L'ingénieur en recherche clinique

L'ingénieur en recherche clinique réalise des essais thérapeutiques et établit des lois et des prévisions afin de pointer les facteurs de risques susceptibles d'être associés à l'apparition et la propagation de maladies. Il doit aussi connaître et respecter les contraintes légales, déontologiques et éthiques qui entourent toute recherche sur la personne humaine. Cet ingénieur travaille en équipe avec des médecins, des infirmiers hospitaliers, des ARC (Attachés de Recherche Clinique) et des TEC (Techniciens d'Étude Clinique).

Le bio-informaticien

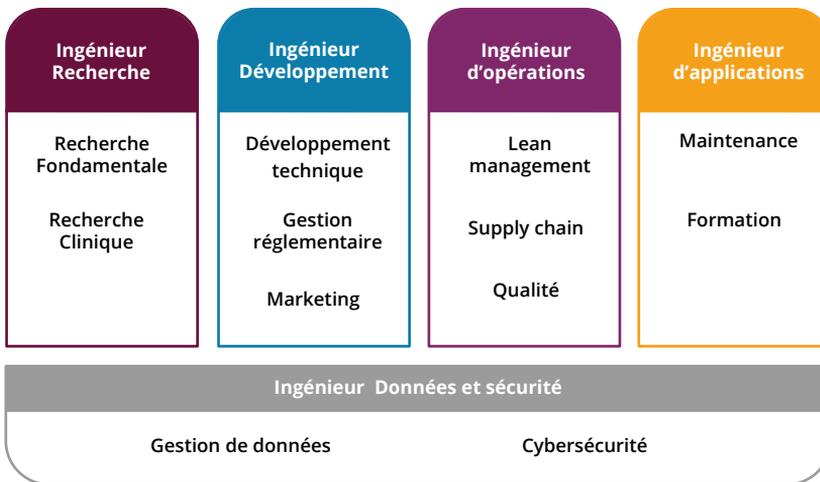
Cette branche de la science informatique s'intéresse au flux d'information dans les systèmes biologiques et de santé. Le bioinformaticien intervient pour concevoir des algorithmes (intelligence artificielle, biologie computationnelle) ainsi que des outils de visualisation des données.

L'ingénieur en organisation hospitalière

L'ingénieur en organisation hospitalière a une formation aux outils d'organisation (*lean*, gestion des flux, logistique), qu'il doit adapter à l'environnement spécifique du système hospitalier afin d'analyser, proposer et accompagner les différents projets d'organisation qui y sont déployés.

VERS UNE NOUVELLE CLASSIFICATION DES RÔLES ET COMPÉTENCES DES INGÉNIEURS EN SANTÉ

FIG. 9 : Nouvelle classification « ingénieurs en santé »



En complément de la classification OMS, la nouvelle classification proposée ici améliore la visibilité des ingénieurs dans le système de soins, et montre la continuité existant dans ses rôles possibles à l'hôpital et dans l'industrie. Elle ouvre plus d'opportunités dans la gestion des talents. Elle facilite la suppression de la barrière quasi-étanche entre le monde hospitalier et l'industrie où l'un soigne et l'autre développe des solutions. Elle permet des déroulements de carrière et la mobilité entre l'industrie et l'hôpital, dans les deux sens.

Le cycle de vie du dispositif médical ou du développement d'une innovation a été découpé en quatre phases : Recherche, Développement, Opérations et Applications. À chacune de ces phases correspond un jeu de compétences

spécifiques que l'on retrouve aussi bien à l'hôpital que dans l'industrie. Une phase transverse dans la gestion de la donnée et de la sécurité informatique du dispositif a été ajoutée : cette compétence se retrouvera en effet tout au long du cycle de vie avec une contrainte réglementaire forte sur la traçabilité et la sécurité des dispositifs médicaux.

Nouvelle classification :

Ingénieur de recherche

Rôle : L'ingénieur de recherche doit avant tout avoir effectué un parcours de formation à la recherche tel qu'un master recherche ou un doctorat. Il participe à la mise en œuvre des activités de recherche, de formation, de gestion, de diffusion des connaissances et de valorisation de l'information scientifique et technique incombant aux établissements où il exerce.

Postes en industrie : On retrouvera ces profils dans les centres de recherche (fondamentale et clinique), mais aussi tout au long du développement des produits par l'évolution de carrière et l'acquisition de compétences complémentaires.

Postes à l'hôpital : Il s'agira avant tout d'ingénieurs de recherche clinique avec un profil de master, mais aussi les bio-informaticiens et les ingénieurs biomécaniques. On pourra noter dans une comparaison internationale que de grands hôpitaux américains et européens disposent d'équipes techniques dédiées à la recherche, similaires à ce que l'on trouve dans l'industrie.

Ingénieur de développement

Rôle : L'ingénieur de développement doit assurer qu'une solution technologique satisfera à un cahier des charges. Il est en interaction permanente avec les services de recherche, de marketing et de gestion réglementaire. Les doubles compétences seront valorisées pour fluidifier le cycle de développement.

Postes en industrie : On retrouvera ces profils dans les centres de R&D, mais aussi dans les services marketing et réglementaires où la complémentarité des compétences techniques assurera une meilleure maîtrise du cycle de développement du produit.

Postes à l'hôpital : Des ingénieurs de réadaptation fourniront des solutions adaptées aux particularités de chaque handicap, aidés des ingénieurs biomécaniciens. Demain, leur rôle pourra être renforcé par l'internalisation des capacités de production afin de développer les dispositifs médicaux non couverts par l'industrie, notamment grâce à l'apport de l'impression 3D.

Ingénieur d'opérations

Rôle : L'ingénieur est au centre de l'Excellence Opérationnelle ou *Lean Management* pour améliorer la performance des organisations. Sous ce « barbarisme » sont regroupés plusieurs domaines de compétences tels que la gestion des flux, la gestion des processus, la logistique et la qualité. Comme l'automobile, le secteur du logiciel apporte de nouvelles méthodes d'organisation agiles facilitant la résolution des problèmes.

Postes en industrie : En industrie, les ingénieurs opérationnels se retrouvent dans tout le secteur de la production et de la supply chain. Ils assurent le suivi de la production en fonction de la demande. Leur rôle a été décisif par exemple lors de la crise de la Covid pour assurer la montée en charge pour la production des vaccins à ARNm et la distribution planétaire.

Postes à l'hôpital : Au-delà de la direction des achats et de la logistique, un nouveau rôle émerge, celui d'ingénieur en gestion hospitalière : le Lean Management permet de réorganiser les flux patients.

Ingénieur d'application

Rôle : L'ingénieur d'application assure le bon fonctionnement des dispositifs médicaux en formant le personnel et en en assurant la maintenance.

Postes en industrie : Les ingénieurs d'application dans l'industrie sont des ingénieurs de terrain assurant les maintenances lourdes ou spécifiques aux dispositifs médicaux. Ils doivent aussi former les personnels techniques ou soignants.

Postes à l'hôpital : C'est souvent sous les termes d'ingénieur biomédical ou en bio-instrumentation que l'on retrouve ce rôle. Il peut être dédié à un service comme en réanimation où de nombreux appareils différents sont nécessaires ou bien être attaché plus généralement à l'ensemble de l'hôpital. L'ingénieur biomédical généraliste est un atout en termes d'organisation, de recherche ou de développement.

Ingénieur des données de la santé

Rôle : La maîtrise des données de santé et la gestion de la cybersécurité sont des compétences nouvelles, transverses qui doivent infiltrer toutes les autres missions d'ingénieurs dans un environnement contraint par la RGPD et les menaces de cybersécurité.

Postes en industrie : Deux types de rôle d'égale importance se détachent en industrie de santé, le développeur de solutions d'un côté et l'intégrateur de l'autre. Le développement des solutions même brillantes peut se heurter soit à l'intégration dans le parcours de soins soit à un manque d'interopérabilité avec les dispositifs techniques existants. Par exemple, lors du déploiement d'une solution telle que Doctolib, le rôle d'intégrateur a mobilisé plus de ressources que le développement de la solution en elle-même.

Postes à l'hôpital : Aujourd'hui la gestion de la donnée est assurée par les services informatiques et dans le cadre des essais cliniques, mais c'est une compétence qui manque à l'hôpital. La gestion des modèles de données (Big Data, IA) est un levier puissant pour l'organisation et la recherche.

La cybersécurité doit être renforcée par la sensibilisation et la création de postes spécifiques à l'échelle des groupements hospitaliers. Le secteur de la santé est en effet très sensible à toute attaque cybernétique.



ENTRE DEUX MONDES : NOUVELLES COMPÉTENCES, NOUVEAUX BESOINS DE COLLABORATION

Le monde médical et le monde de l'ingénierie s'ignorent encore largement. D'un côté, seuls 0,1 % des médecins travaillent dans l'industrie ; de l'autre, seuls 0,2 % des ingénieurs travaillent dans les établissements de santé (2 500 sur environ 1,2 million d'ingénieurs en France).

Pour autant, les évolutions technologiques et le renouveau des processus de soin qu'elles permettent amènent inéluctablement à un rapprochement de ces deux mondes, voire à une coopération étroite dans un avenir très proche.

3.1 L'ingénierie, réponse aux nouveaux enjeux rencontrés par le personnel soignant

LA TECHNOLOGIE OUVRE LA POSSIBILITÉ POUR LES SOIGNANTS DE JOUER UN RÔLE DIRECT DANS L'INNOVATION

Les nouvelles technologies offrent des possibilités nouvelles pour les soignants de participer activement au renouveau du soin. Les soignants sont la plupart du temps à l'origine du processus d'innovation par la définition du besoin de création d'un nouveau dispositif ou d'amélioration d'un dispositif existant. Une organisation dédiée peut les accompagner sur les aspects de développement, de financement, de certification, voire de commercialisation, par exemple à travers la création de start-ups.

LA TECHNOLOGIE ET L'INGÉNIERIE APPORTENT DES RÉPONSES EFFICACES AUX INJONCTIONS DE PERFORMANCE, SOUVENT MAL VÉCUES PAR LES SOIGNANTS

La place de l'ingénierie au service des soignants est également majeure dans le développement d'indicateurs de santé, d'outils prédictifs ou d'évaluation des résultats. Les soignants sollicitent les ingénieurs pour optimiser l'utilisation des nouvelles technologies et rationaliser leur pratique en y introduisant des outils de mesure. Ces missions ne peuvent être remplies qu'avec une présence forte d'ingénieurs au sein des structures de soin.

Les structures de soins sont aujourd'hui, plus qu'avant, soumises à une obligation de résultat. Les soignants se plaignent d'un temps administratif démesuré par rapport au temps de soins disponible. Pour donner du temps de soin aux soignants, les ingénieurs peuvent apporter des solutions dédiées, inspirées de celles ayant cours dans l'industrie, pour prendre en charge les processus organisationnels et administratifs gérés aujourd'hui par les soignants.

LE DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE AMÈNE LES SOIGNANTS À TRAVAILLER DE PLUS EN PLUS ÉTROITEMENT AVEC LES INGÉNIEURS

Le personnel soignant est confronté à des outils technologiques de plus en plus complexes, numériques et physiques. Il n'est dans la majorité des cas pas formé à l'utilisation de ces outils. Le rôle d'interface soignants-technologie est dévolu à l'ingénieur hospitalier, mais le personnel soignant doit également

être un acteur de cet apport technologique, via des formations dédiées apportant une meilleure compréhension.

3.2 La santé comme nouveau champ d'application des sciences de l'ingénieur

LES INGÉNIEURS APPORTENT UN SAVOIR-FAIRE DE COOPÉRATION

Par les nouvelles technologies, l'ingénieur se retrouve au cœur du parcours de soin du patient, en interaction directe avec les équipes soignantes.

Il est illusoire d'envisager qu'un grand nombre d'ingénieur possède les compétences médicales indispensables pour développer des solutions adaptées aux soignants et patients. C'est plutôt du côté de la coopération ingénieurs-soignants qu'il faut chercher la voie d'avenir. Et c'est justement une des facettes de la compétence des ingénieurs que de savoir comment conduire des projets pluridisciplinaires, y compris leurs volets technico-économiques. L'ingénieur français présente un savoir-faire coopératif unique par la multiplicité des sciences et techniques abordées au cours de son cursus : l'acronyme CDIO (*Consult Design Implement Operate*) décrivant les fonctions portées par l'ingénierie prend tout son sens au contact du monde de la santé.

LES ÉCHANGES ENTRE INGÉNIEURS ET SOIGNANTS SERONT DE PLUS EN PLUS ESSENTIELS À TOUTES LES ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'USAGE DES TECHNOLOGIES DE SANTÉ

La collaboration commence dès la définition du besoin : utilisation prévue, population cible, scénario d'utilisation du dispositif. Le travail de l'ingénieur sera ensuite de traduire ce besoin en solutions techniques. La collaboration se poursuit lors de l'évaluation des risques cliniques liés à l'utilisation de cette nouvelle technologie. Cette étape permet à l'établissement de soins ou à l'entreprise de déterminer les activités nécessaires pour garantir la sécurité et

les performances du produit. L'équipe d'ingénieurs fait aussi appel aux professionnels de santé pour évaluer l'aptitude à l'utilisation du produit dès sa conception. Les professionnels de santé peuvent intervenir enfin dans la validation du dispositif médical en participant à des études cliniques pour évaluer l'efficacité et la sécurité du dispositif.

IV

LA NÉCESSAIRE ADAPTATION DE LA FORMATION AUX NOUVELLES COMPÉTENCES ATTENDUES

En France, dès le baccalauréat, deux « couloirs de nage » parallèles sont proposés aux lycéens : le cursus ingénieur, d'une durée de 5 années, majoritairement en écoles d'ingénieurs, et le cursus des études de médecine, d'une durée minimale de 9 ans, dans des institutions universitaires spécifiques, les Unités de Formation et de Recherche (UFR) de Médecine. Deux cursus très différents dans leur nature, très exigeants, laissant peu de place à la multidisciplinarité.

FIG.10 : Formations initiales actuellement proposées

	Formation	Accès	Durée	Diplôme obtenu
Double formation	Passerelle ingénieur -> médecin	Ingénieurs	5 + 7 à 10 ans	Ingénieur + médecin
	Double formation initiale	Post-bac	11 à 14 ans	Ingénieur + médecin
Double doctorat	Docteur en médecine + Docteur en science	Médecins	9 à 12 ans + 4 ans	Médecin + PhD science
Formation courte	Master d'ingénierie bio-médicale	Ingénieurs ou médecins	1 à 2 ans	Master ingénierie biomédicale

4.1 Les adaptations de formation initiale à envisager

LA DOUBLE FORMATION/DOUBLE COMPÉTENCE N'EST PAS UN OBJECTIF RAISONNABLE À LARGE ÉCHELLE

Les passerelles de formation menant des études d'ingénieur vers celles de médecine sont longues et coûteuses

Par la durée (12 à 15 ans) et le coût occasionné, il est illusoire de penser qu'une double formation successive ingénieur - médecin soit systématiquement possible et souhaitable.

Les doubles formations initiales co-dispensées par des écoles d'ingénieur et facultés de médecine présentent les mêmes travers

Les formations co-dispensées en 11 à 14 ans par des écoles d'ingénieurs et des facultés de médecine sont au nombre de deux en France : Centrale Lyon-Université Lyon 1 et Mines de St Etienne-Université de St Etienne. Ces co-formations peuvent être utiles, mais garderont également comme cible des profils exceptionnels intéressés par la double diplomation ingénieur/médecin.

OUVRIR LES MÉDECINS À L'INGÉNIERIE

La formation MD (doctorat médical) puis PhD (doctorat scientifique)

Les doubles parcours menant de la médecine vers l'ingénierie sont surtout le fait de projets de recherche portés par de futurs professeurs des universités de médecine. Un PhD est en effet nécessaire pour les médecins déjà diplômés d'un MD pour obtenir un poste universitaire de professeur de médecine (PU-PH). Les domaines scientifiques les plus sollicités dans ce cadre sont les plus facilement applicables à la médecine : biologie, physique, mathématiques, pharmacie.

L'enjeu est de diversifier les parcours existants pour les ouvrir à l'ingénierie. Cet enjeu doit être compris par les écoles d'ingénieurs doctorantes qui gagnent à ouvrir leurs formations à ce type de profils. Il doit également être compris par les professionnels de santé pour promouvoir ce cursus MD-PhD avec une valence ingénierie au cours des études de médecine comme dans les projets de recherche.

La formation MD avec un 3^e cycle en ingénierie

Le deuxième cycle des études médicales mène au choix d'un troisième cycle spécialisé dans une pratique de la médecine. Les spécialités pouvant être choisies sont avant tout médico-chirurgicales, mais comprennent également des domaines comme la biologie médicale et la santé publique.

Au vu du fort besoin en ingénierie de santé et sans allonger la durée des études, il pourrait être proposé un cursus menant vers un troisième cycle en ingénierie. Les écoles d'application seraient alors des écoles délivrant un titre d'ingénieur spécifique, au cours d'un cursus de trois ans. Ce diplôme médecin ingénieur permettrait d'accéder à des fonctions de recherche, d'ingénierie hospitalière ou d'ingénieur dans l'industrie de santé.

OUVRIR LES ÉCOLES D'INGÉNIEURS AUX APPLICATIONS MÉDICALES

Les applications médicales aux projets ayant cours dans les écoles d'ingénieurs doivent être plus nombreuses

Il faut sensibiliser les directeurs d'écoles et les élèves ingénieurs aux applications de leurs connaissances d'ingénierie au monde médical. Ceci par la prise en compte dans le cursus pédagogique de cas médicaux concrets, dispensés au cours des enseignements de mathématiques, physique, chimie, biologie, mécanique, de fabrication, d'innovation appliquée ou encore d'entrepreneuriat.

Des formations spécifiques doivent permettre aux ingénieurs de remplir les rôles les plus techniques incombant aux professionnels de santé

Aux Pays-Bas, une formation innovante est proposée aux étudiants ingénieurs souhaitant se spécialiser dans le domaine de la santé. Cette formation (cf. encadré Focus) co-dispensée par facultés de médecine et écoles d'ingénieurs forme des ingénieurs spécialement disposés à l'utilisation et la mise en pratique de matériel technologique au contact du patient.

Ce type de formation (Bac +5) en ingénierie médicale pourrait être définie dans notre pays par les sociétés savantes médicales et les instituts de formation. Son intérêt est double : libération de temps médical pour les actes requérant un savoir-faire technologique plus que médical et augmentation de l'attrait de l'ingénierie en santé.

FOCUS : *Technical medicine* aux Pays-Bas

◆ Le master « Technical Medicine » correspond à une approche originale du double cursus ingénierie/médecine. Ce master est dispensé par l'Université de Leiden en collaboration avec l'Université Technique de Delft (TU Delft), et par l'Université Erasme de Rotterdam et de leur faculté de médecine respective. Il accueille environ 100 étudiants par an. C'est un double cursus intégrant en trois ans les connaissances médicales et techniques/d'ingénierie, avec un important focus sur les processus médico-techniques. Des stages pratiques à l'hôpital ainsi que dans l'industrie sont réalisés durant les deuxième et troisième années d'étude. Deux principaux sous-sujets (*tracks*) sont proposés : imagerie interventionnelle (*imaging & intervention*) et détection et stimulation (*sensing & stimulation*). Les étudiants suivant ce cursus rejoignent pour un tiers l'industrie, un tiers des structures de recherche, un tiers l'hôpital ou des structures de soins. Des actes considérés comme médicaux en France leurs sont délégués : radiologie interventionnelle, endoscopies, monitoring des patients réanimatoires, simulation d'actes chirurgicaux (pour ceux issues de *sensing & stimulation*). Cette intégration aux soins a été progressive et de nouvelles filières d'activité sont envisagées (logistique hospitalière, biologie hospitalière).

PRIVILÉGIER DES FORMATIONS COURTES FAVORISANT LA DOUBLE CULTURE

Pour les ingénieurs, les formations complémentaires les plus répandues sont des masters formant à l'ingénierie biomédicale. Cette catégorie de diplômes vise actuellement à enseigner des notions poussées de thermodynamique, mécanique, mécanique des fluides, optique, propriétés des matériaux et électronique d'une part, et de biologie d'autre part, afin de permettre le développement d'applications cliniques (biomatériaux, prothèses, capteurs, ou encore imagerie). Ces formations durent entre une et deux années.

Pour les médecins, réaliser un équivalent de master 2 est, dans un bon nombre de spécialités et d'universités, nécessaire afin d'accéder à un post-internat en CHU. Proposer de telles formations en sciences de l'ingénieur peut être une porte d'entrée vers l'ingénierie médicale.

Ces masters doivent adapter leur programme pour se tourner vers des compétences utiles à l'industrie et aux établissements de santé.

Ils doivent enseigner l'applicabilité des sciences de l'ingénieur à la santé et en décrire leur spécificité : compétences réglementaires, compétences médicales, compréhension du fonctionnement hospitalier.

4.2 Les offres de formations complémentaires et hubs d'échange à développer

UNE NOUVELLE APPROCHE DE FORMATION CONTINUE

La formation continue est importante, car elle permet à l'ingénieur d'appréhender le secteur de la santé en tout point de sa carrière, et aux médecins de comprendre les sciences de l'ingénieur applicables à ses problématiques.

Les MOOC (*Massive Open Online Course*), avec des cours focalisés précisément sur les compétences souhaitées, dans un objectif d'autoformation ou de

formation diplômante, peuvent être des moyens de démocratiser l'ingénierie en médecine et les sciences médicales en ingénierie. Ces MOOC ou diplômes universitaires doivent être portés par des conglomérats de facultés et d'écoles d'ingénieurs désireuses d'apporter par leurs compétences propres une aide ponctuelle pour des projets en cours autour de l'ingénierie en médecine ou faisant appel à elle.

LA CRÉATION DE NOUVEAUX HUBS DE RENCONTRE

Les ingénieurs et les soignants ont besoin d'interactions, mais peinent à trouver des terrains de rencontre. Ces lieux doivent être implantés au cœur des structures hospitalières, sous la forme de plateformes d'innovation, couplées éventuellement à un laboratoire de recherche, mais indépendamment de celui-ci en termes de priorité de production scientifique.

Au sein de ces lieux d'interaction, des ingénieurs à plein temps construiront des projets avec les soignants. La localisation de ces lieux au sein des établissements de soin permet un accès à la compétence (présence des soignants sur site), aux données, et aux patients pour construire de manière accélérée d'éventuels protocoles de validation clinique. Par ailleurs, ces plateformes auront des modèles économiques facilités de par leur offre pour les industriels, combinant savoir médical, données et compétences d'ingénierie.

V

L'INGÉNIERIE DE SANTÉ : VERS UNE PROFONDE TRANSFORMATION

Pour bénéficier des apports des nouvelles technologies de santé, une transformation importante est indispensable. Mais c'est surtout un nouveau paradigme qu'il faut cultiver en réponse aux aspirations des nouvelles générations.

5.1 Porter un diagnostic lucide : en l'état, l'hôpital n'est pas attractif pour l'ingénierie

L'HÔPITAL N'ACCORDE QU'UN RÔLE SECONDAIRE AUX INGÉNIEURS

Du fait de son rôle, de son statut et de sa place dans la hiérarchie, l'ingénieur biomédical n'est pas perçu à la hauteur de ce que les ingénieurs peuvent apporter dans le processus de soins. À une époque où l'innovation technologique est susceptible de rénover les soins, il faut que les ingénieurs soient partie prenante du processus d'innovation, qu'ils contribuent aux créations d'entreprise portées par les équipes soignantes, qu'ils soient immergés dans les soins : *« pour apporter toute sa valeur, il faudrait que l'ingénieur puisse gérer le dispositif médical au lit du patient ».*

LEUR RÉMUNÉRATION EST INSUFFISANTE

Les ingénieurs travaillant dans les établissements de santé font face à la définition imparfaite de leurs missions, mais aussi à des grilles salariales qui sont significativement décalées par rapport au marché.

C'est particulièrement le cas dans les établissements publics où l'ingénieur hospitalier (comme le chargé de mission) est situé dans le décile des ingénieurs les plus mal rémunérés, et ce, du début jusqu'à la fin de sa carrière :

FIG. 11 : Rémunérations des ingénieurs / Rémunérations des ingénieurs hospitaliers

	Début de carrière	Fin de carrière	
ingénieur médian (tous secteurs confondus)	36	100	source IESF
maxi du premier décile des ingénieurs	33	55	source IESF
ingénieur hospitalier A 1870 APHP	32,6	54,6	source IESF
chargé de mission recherche niveau 4 APHP	28,5	49,5	source IESF

Dans ces conditions d'inadéquation au marché, l'hôpital se laisse peu de chance d'attirer les profils les plus innovants.

L'INGÉNIERIE SOUFFRE INDIRECTEMENT DE L'HOSTILITÉ QUE L'HÔPITAL VOUE TRADITIONNELLEMENT À L'INDUSTRIE

Si les jeunes générations de soignants se passionnent pour l'innovation et les nouvelles technologies, le monde de l'hôpital reste globalement suspicieux vis-à-vis de l'industrie, qui pourtant finance en grande partie l'effort d'innovation. La traçabilité omniprésente des liens d'intérêt à laquelle les médecins sont soumis et la culture autocentrée de chaque établissement constituent un frein au développement rapide d'une ingénierie de santé qui permettrait au patient de bénéficier du potentiel technologique.

5.2. Engager une transformation profonde

Comment accélérer le développement d'une ingénierie de santé pour bénéficier du foisonnement de l'innovation technologique en cours dans notre système de soin ? Nous pensons qu'il est nécessaire d'engager une transformation profonde.

Si une réforme issue du seul monde hospitalier semble peu réaliste, il faut néanmoins réussir à y créer les conditions d'un changement qui favorise l'arrivée de l'ingénierie.

Mais surtout, il faut mobiliser deux secteurs qui sont légitimes pour être moteurs de cette transformation : le monde de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (ESR) et le secteur des entreprises de santé.

CRÉER LES CONDITIONS D'UN CHANGEMENT QUI FAVORISE L'ARRIVÉE DE L'INGÉNIERIE À L'HÔPITAL

Pour se préparer à une arrivée massive des ingénieurs, qui nous semble non seulement souhaitable mais inéluctable, l'hôpital gagnerait à considérer deux pistes prometteuses et réalistes.

Valoriser l'impact des technologies sur l'humanisation des soins

S'il est désormais établi et accepté que les équipements sophistiqués permettent aux médecins spécialistes de se concentrer sur leur expertise, l'idée reste communément admise dans les hôpitaux que la technologie déshumanise.

Or, les technologies dont nous parlons ici – Medtech et e-santé – sont d'une autre nature. La plupart d'entre elles permettront à l'ensemble du personnel soignant de consacrer plus de temps au patient. Et certaines sont même de nature à redonner du sens et des marges de manœuvre au personnel soignant.

Un nouveau discours est nécessaire pour accompagner l'arrivée des ingénieurs. Comme les ingénieurs « méthode » ou les ingénieurs « process » le font

très bien dans l'industrie depuis des décennies, ils pourront jouer un rôle crucial dans l'adoption et la diffusion des nouvelles technologies et des pratiques associées auprès des soignants.

Créer de nouvelles structures d'ingénierie ouverte

Afin de bénéficier des synergies industrie-soin, nous préconisons la création de structures nouvelles, ouvertes, hybrides, qui facilitent l'innovation et la résolution rapide de problèmes, qu'ils soient réglementaires, éthiques ou techniques. Il est important que ces lieux de rencontre soient physiquement situés en hôpital, même si les divers intervenants sont issus de la recherche ou d'entreprises. Ces lieux, ces « hubs de santé » sont naturellement attractifs pour les ingénieurs qui y apprécient le fait d'exercer leur talent au cœur du système de santé tout en bénéficiant d'employeurs industriels ou de référents académiques qui leur sont plus familiers et plus favorables.

Ces lieux prendraient des formes spécifiques selon les besoins des établissements de soins en ménageant des espaces d'échanges entre soignants et ingénieurs : data centers, plateformes d'impression 3D, unités de biomécanique par exemple. Il pourra s'agir de partenariats publics-privés souples et évolutifs.

Le regroupement de projets d'ingénierie émanant de plusieurs champs du soin pourrait par ailleurs faire émerger des thématiques transversales portées par les ingénieurs, avec des bénéfices inattendus pour les soignants. Fondés sur une relation équilibrée entre ceux qui apportent les soins et ceux qui les facilitent, ces espaces seraient les lieux de la reconnaissance et de la légitimité des ingénieurs en santé.

MOBILISER LE MONDE ESR POUR DÉVELOPPER DE NOUVELLES FILIÈRES ATTRACTIVES

Pour effacer la frontière artificiellement créée entre ingénieurs et médecins, et en complément de la nouvelle classification développée en partie 2 ci-dessus, nous préconisons deux pistes.

1. Assurer la reconnaissance de l'ingénierie dans les facultés de santé

Le développement de l'ingénierie de santé passe par sa reconnaissance académique via la création de spécialités d'ingénierie qui seraient offertes autant aux médecins qu'aux ingénieurs.

Cette « universitarisation » correspondrait à la création de postes d'enseignants en ingénierie biomédicale au sein de facultés de santé, ce qui aurait également pour effet vertueux de faciliter la mise en place de terrains de formation plus bienveillants pour les étudiants ingénieurs intéressés par une carrière biomédicale.

2. Promouvoir des métiers de la santé en école d'ingénieur

L'enseignement en école d'ingénieur s'appuie principalement sur des exemples d'application tirés des domaines historiques d'ingénierie comme l'automobile, l'aviation, la construction ou la chimie.

Pour développer l'attractivité des métiers et des industries de la santé, nous préconisons donc de multiplier les cas « santé » dans les cursus de formation ingénieurs ainsi que les visites de services cliniques.

FAIRE JOUER UN RÔLE MOTEUR AUX ENTREPRISES DE MEDTECH

Le secteur, principalement composé de PME, ETI et start-ups, bénéficie d'une visibilité encore faible par rapport aux grands groupes industriels installés. Il doit prendre son destin en main, avec l'appui de ses syndicats professionnels, comme le SNITEM, ou ses pôles de compétitivité, comme le MEDICEN en région parisienne.

Nous leur suggérons plusieurs pistes d'actions :

- Proposer des partenariats, académiques ou hospitaliers, et cofinancer des hubs de santé.

- Accroître leur présence dans les salons étudiants et professionnels non spécialisés.
- S'appuyer sur les réseaux concernés d'alumni d'ingénieurs et de formation biomédicale pour promouvoir le secteur.
- Valoriser leur impact, leur innovation et l'environnement de travail (à l'instar de l'entreprise française de technologies médicales, CorWave, qui investit dans une usine urbaine 4.0 de production de pompes cardiaques à Clichy).

VI

L'INGÉNIERIE DE SANTÉ : RÉPONDRE AUX NOUVELLES ASPIRATIONS DES INGÉNIEURS

Nous avons besoin de plus de médecins. Nous avons également besoin de plus d'ingénieurs. Et nous avons besoin de compétences transversales entre les deux mondes. C'est un défi en termes de talents et donc de vocations.

6.1 Quête de sens, chez les jeunes ingénieurs

Depuis quelques années, les élèves et jeunes diplômés des écoles d'ingénieurs sont en quête de sens. Ils se posent des questions concernant leur travail et leur place dans la société; ils aspirent à un impact plus fort, plus concret, sur le bien commun. Si l'innovation est au cœur de son métier, l'ingénieur de demain veut la mettre au service de la société.

Alors, pourquoi ne pas s'investir dans les secteurs de la santé? Ce secteur est un domaine où l'innovation et les nouvelles technologies ont la part belle. Nous voyons dans le développement des nouvelles solutions de santé une opportunité formidable pour susciter des vocations et adapter avec succès les cursus de formation aux nouvelles aspirations.

Être au service du patient et de sa famille : une motivation sociale souvent exprimée par des élèves ingénieurs ayant hésité entre les études de médecine et celles d'ingénieurs.

Les nouvelles «solutions de santé» matérialisent la coopération des médecins et des ingénieurs de demain. Pour les soignants, c'est un signe d'espoir pour moderniser les pratiques médicales classiques et donc pour renforcer leur impact en dégageant plus de temps de soin au patient. Pour beaucoup d'ingénieurs, cela peut constituer la réponse à leur quête de sens, ainsi qu'une solution à la stagnation des vocations féminines pour l'ingénierie.

6.2 Ingénieur-e-s en santé

Le monde de la santé est très féminisé :

- Les femmes représentent 65 % des moins de 40 ans chez les médecins généralistes et 61 % des étudiants en sciences de la vie.
- Les femmes représentent 56 % des ingénieurs dans l'industrie du médicament, 45 % dans celle des dispositifs médicaux et 47 % dans les technologies pour la santé.
- Le domaine de la santé est celui où l'on trouve le plus de femmes cadres : 75 %, chiffre à comparer avec les 42 % de femmes cadres tous secteurs confondus.

Mais les jeunes femmes sont moins attirées par les études d'ingénieur :

- La part des femmes en école d'ingénieur plafonne à 28 % depuis plusieurs années à l'exception des formations de Biomedical Engineering où elles représentent parfois plus de 50 %.
- Elles ne représentent que 18 % à 20 % des entrepreneurs dans les domaines médicaux.

L'émergence d'un secteur clair de «l'ingénierie de santé» est donc certainement de nature à attirer de plus nombreuses femmes vers la filière ingénierie.

CONCLUSION

Par la diversité de ses membres, assurant sa neutralité, et par la variété de ses travaux : tables rondes, interviews, enquêtes, recherche bibliographique, le groupe de réflexion s'est appliqué à cerner les problématiques et à apporter des recommandations concrètes.

La crise de la COVID a fait prendre conscience des forces et faiblesse de notre système de santé. L'État, les régions et l'Union européenne ont mis en œuvre des mesures d'envergure, à partir de mi-2020, pour assurer une souveraineté sanitaire.

La révolution en cours des technologies est de nature à apporter durablement de nouvelles solutions de santé. Ces nouvelles technologies se matérialisent par l'essor du secteur des « MedTechs » (notamment les dispositifs médicaux), caractérisé par une forte innovation, une importante part digitale, des cycles rapides de la conception à la mise sur le marché, un tissu de PME, ETI et start-ups.

Pour ces nouvelles solutions de santé, les ingénieurs apportent leurs compétences reconnues, qu'elles soient de spécialité (mécanique, matériaux, informatique) ou de génie industriel (management de projet, supply chain). Leurs compétences entrepreneuriales et relationnelles (projets pluridisciplinaires, interfaces avec soignants et patients) seront de plus en plus requises. Les soignants sont également de plus en plus sollicités, leur métier nécessitant des connaissances et un intérêt accru pour les technologies : ils sont amenés à être co-développeurs de nombreuses solutions qu'ils doivent savoir mettre en œuvre.

Aujourd'hui souvent cantonnée à des fonctions de support technique, la nouvelle place des ingénieurs à l'hôpital reste à construire. Une nouvelle classification, commune aux établissements et aux industries de santé, est proposée autour de 5 compétences clés d'ingénierie de santé. Leur mise en œuvre devra se faire dans le cadre de processus de soins nouveaux, qui nécessiteront une collaboration étroite entre les personnels de santé et les ingénieurs.

Des propositions concrètes sont formulées pour adapter rapidement les formations des médecins et des ingénieurs face à ces évolutions du monde de la santé.

L'ingénierie de santé deviendra un nouveau paradigme par une transformation profonde permettant de valoriser l'impact des technologies sur la qualité de vie des patients et des soignants, par la mise en place de solutions co-développées.

Elle attirera ainsi de nouveaux talents, notamment féminins, motivés par le sens de leur engagement professionnel : « sauver des vies ».

ANNEXES

Annexe 1 : lettre de mission



Paris, le 2 novembre 2021

Lettre de mission

au binôme, Thomas Botrel et Sébastien Laporte, afin d'animer un groupe de réflexion sur le thème « les ingénieurs au service de la santé »

Cher Sébastien, Cher Thomas,

L'ingénierie pour la santé constitue un enjeu socio-économique majeur. Les dépenses mondiales de santé sont évaluées à 8700 milliards en 2020, en croissance de 25% depuis 2015 et représentent 10% du PIB. Au sein de l'Union Européenne, 10% de la population active travaille dans le domaine de la santé*. L'accélération des innovations technologiques propulse les ingénieurs au cœur de ces mutations.

Les écoles d'ingénieurs ont réagi et offrent de nouveaux cursus de formation d'ingénierie biomédicale et de recherche interdisciplinaires. On peut notamment citer l'Institut de Biomécanique Humaine Georges Charpak inauguré en 2013 par l'École d'Arts & Métiers, pour faire suite au Laboratoire de Biomécanique créé en 1979.

Mais l'enjeu semble aujourd'hui plus vaste : les domaines de l'e-santé, des Biotech, des Medtech, du sport, sont non seulement en croissance mais sont également de nature à révolutionner les systèmes de santé ainsi que le fonctionnement des établissements sanitaires traditionnels.

Afin d'éclairer les choix à venir, nous vous confions la mission d'animer un groupe de réflexion afin de caractériser ces secteurs, ainsi que le rôle croissant que les ingénieurs sont invités à y jouer.

Ce groupe de réflexion sera constitué de volontaires cooptés par vous : personnalités externes et membres de la communauté Arts et Métiers.

Les travaux du groupe porteront notamment sur les thèmes suivants :

- *Cartographier ces secteurs en croissance, entre industrie et établissements de santé,*
- *Identifier les champs d'innovations et les domaines technologiques ou organisationnels porteurs,*
- *Caractériser la place des ingénieurs aujourd'hui et dans l'avenir, dans l'industrie, dans le système de santé, hospitalier et privé.*
- *Etudier les passerelles entre le monde médical et celui des ingénieurs, en l'étayant si possible de comparaisons internationales.*
- *Formuler des recommandations utiles pour l'intégration des ingénieurs dans les problématiques de santé, pour l'attractivité des carrières dans l'industrie de la santé ainsi que pour la formation et la recherche en ingénierie de santé.*

Un premier ensemble de conclusions devrait idéalement être présenté au printemps 2022 en vue d'une publication à l'horizon de mi 2022.

Le groupe de réflexion est libre de choisir ses méthodes de travail et les moyens requis pour la mission, dans l'esprit de prospective, de créativité et d'agilité du Think Tank Arts & Métiers.

Vous aurez le soutien du Conseil d'Orientation et l'accès le plus large à la communauté Arts et Métiers pour mener à bien vos travaux.

Pour le Conseil d'Orientation, le Président,
Pierre MEYNARD

Annexe 2 : Acteurs du groupe de travail

RÉDACTEURS

- Thomas BOTREL, ingénieur Arts et Métiers, médecin anesthésiste-réanimateur des hôpitaux de Paris (AP-HP)
- Sébastien LAPORTE, École normale supérieure de Cachan, professeur des Universités Arts et Métiers, directeur de l'Institut de Biomécanique Humaine Georges Charpak, co-directeur du master BME Paris
- Benjamin BOUTOT, ingénieur Arts et Métiers, responsable filière MedTech, chef de projet Innovation santé, Medicen Paris Région
- Kevin BREUT, ingénieur Arts et Métiers, directeur R&D chez B. Braun
- Jean-Baptiste FRAYSSE, ingénieur Arts et Métiers, président Le Relais des Makers, innovateur en santé
- Roman Hossein KHONSARI, École normale supérieure (chimie & biologie), médecine UPMC, PhD King's College London, PU-PH, Hôpital Necker-Enfants Malades, UPC, AP-HP

CONTRIBUTEURS

Conférence 1 :

- Samuel BOTTANI, professeur de physique humaine, Université Paris Cité
- Line FARAH, directrice du Centre innovation dispositifs médicaux, Hôpital Foch
- Stephane MORVAN, directeur général, SpinEM Robotics
- Alexandre TEMPLIER, directeur général, Quinten
- Antoine TESNIERE, directeur de ParisSanté Campus
- Cécile VAUGELADE, directrice des affaires technico-réglementaires, SNITEM

Conférence 2 :

- Nicolas CHAMPAIN, responsable des services biomédicaux, CHU Clermont-Ferrand

- Virginie FORTINEAU, responsable excellence opérationnelle, Vivalto Santé
- Axelle MENU, experte médicale, Direction médicale, Health Data Hub
- Sabine SARNACKI, chirurgie viscérale pédiatrique, PUPH, CHU Necker-Enfants Malades, AP-HP
- François SIMON, chirurgie ORL pédiatrique, PUPH, CHU Necker-Enfants Malades, AP-HP
- Maxime TAVERNE, chercheur en biomécanique et biologie de l'évolution, Laboratoire Forme et Croissance du Crâne, CHU Necker-Enfants Malades, AP-HP

Audition libre :

- Marc CUGGIA, professeur d'informatique médicale, Université Rennes 1
- Gilbert FARGES, enseignant-chercheur émérite, UTC Compiègne
- Jaap HARLAAR, professeur de biomécanique et Responsable du cursus Technical medicine, Delft University (Pays-Bas)
- Feline STEUP, étudiante du cursus Technical medicine, Delft University (Pays-Bas)
- Natacha KADLUB, chirurgie maxillo-faciale, PUPH, CHU Necker-Enfants Malades, AP-HP
- Christine ROUZEAU, direction des ressources humaines, CHU Necker-Enfants Malades, AP-HP

Autres :

- Stéphane LAPUJOLADE, secrétaire du Think Tank Arts et Métiers

RELECTEURS

- Alain CHARMEAU, Stéphane LAPUJOLADE, Jean-Guy QUEROMES, Pierre MEYNARD (membres du CO du Think Tank Arts et Métiers)
- Pierre DE CHAMISSO, Jean GABERT, Antoine GEORGES-PICOT, Virginie FORTINEAU, Georges MANTION, Philippe ROUCH



Retrouvez l'ensemble des travaux du Think Tank sur :
think-tank.arts-et-metiers.fr

Et suivez nous sur les réseaux sociaux :



À propos du Think Tank

Le Think Tank Arts & Métiers a été créé en 2018, conjointement par l'École nationale d'Arts et Métiers et la Société des ingénieurs Arts et Métiers. Il se donne pour double mission de mener des réflexions prospectives sur l'industrie et la technologie dans une démarche d'intérêt général ainsi que d'alimenter la réflexion sur l'avenir de l'École et son identité.

Le Think Tank est politiquement et financièrement indépendant. Composé de personnalités provenant d'horizons professionnels, politiques et académiques variés, il agit dans la plus totale indépendance et dans le but d'éclairer la communauté des Arts et Métiers, en particulier, et, plus généralement, le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche autant que le monde industriel.