

Médecine exponentielle, vie exponentielle. La médecine qui nous calcule est-elle libératrice ?

École Polytechnique - Palaiseau

Vendredi 31 mars 2017



Coordination Scientifique

Christophe Calvin (CEA), Jean Latière (Caracal), Philippe Wlodyka (Ecole Polytechnique), Willy Mathot (Avocat)



Partenaire



Editorial Board

Dr. Christophe Calvin (CEA)

Mr. Laurent Duploux (BnF)

Mr. Philippe Włodyka (Polytechnique)

Mr. Pascal Pavel (CEA)

Dr. Thiên-Hiệp Lê (ONERA)

Ms. Régine Lombard (Polytechnique)

Médecine exponentielle, vie exponentielle. La médecine qui nous calcule est-elle libératrice ?

Séminaire Aristote, 31/03/2017 à l'École Polytechnique

Coordination scientifique

Christophe Calvin (CEA), Philippe Wlodyka (Ecole Polytechnique),

Jean Latière (Caracal), Willy Mathot (Avocat)

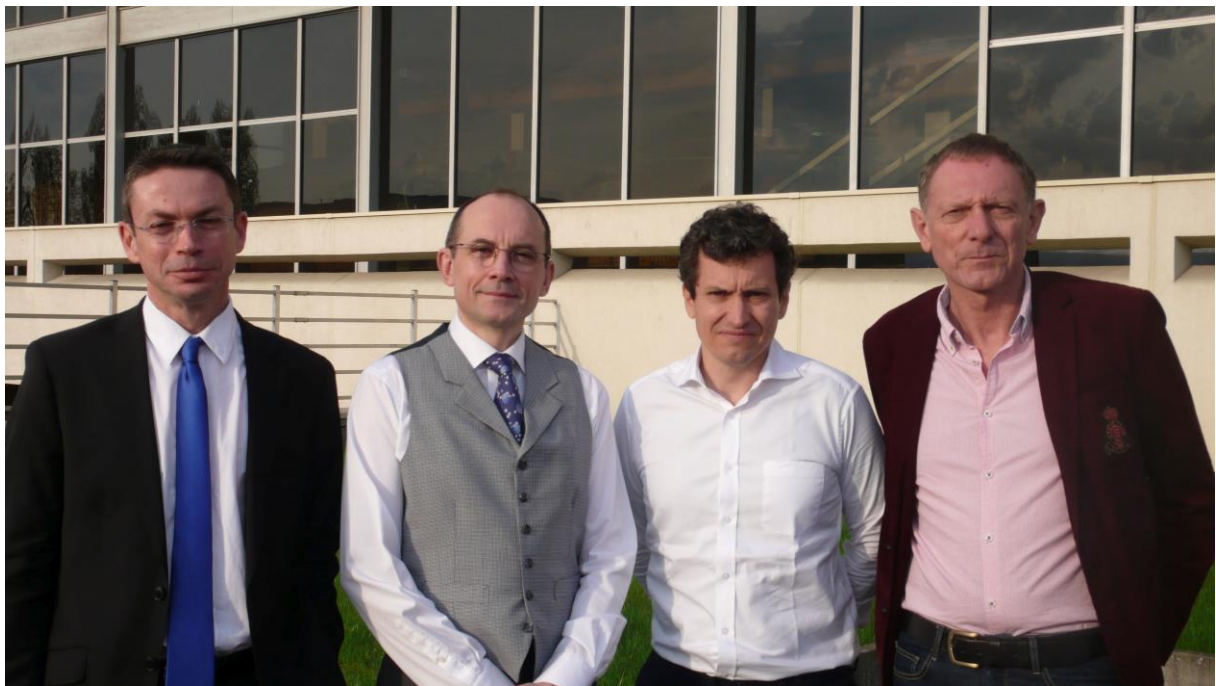


Table des matières

Compte-rendu des interventions	5
1. Big Data et Deep Learning : Nouveaux paradigmes de disruption de la santé	6
2. Plan national France Médecine Génomique et enjeux associés aux données	9
3. Le suivi automatique des étapes opératoires	11
4. Parcours de soin 2.0 : opportunités et risques.....	13
5. Les exosquelettes robotisés - Réalités et perspectives	16
6. Nous vivons dans un monde de science-fiction	18
7. La réalité virtuelle en santé	20
8. De l'homme réparé à l'homme augmenté	22
9. Vers où nous mènent les nouvelles technologies des sciences de la vie si nous les laissons sans contrôle ?	24

Compte-rendu des interventions

Introduction

Thiên Hiệp Lê, responsable scientifique du comité de programmes d'Aristote, présente Christophe Calvin (CEA), le nouveau président de l'association Aristote, organisatrice de la journée.

Christophe Calvin remercie les nombreux auditeurs d'être venus participer à ce séminaire de médecine exponentielle. Avec Jean Latière, Philippe Wlodyka et Willy Mathot il a conçu la journée en deux parties. Le matin seront abordées les questions scientifiques et technologiques, l'après-midi les questions de société. Chaque partie commence par des exposés suivis d'une table ronde.

1. Big Data et Deep Learning : Nouveaux paradigmes de disruption de la santé

Adnan El Bakri (InnovSanté)

Adnan El Bakri a 30 ans. IL est chercheur et interne en dernière année de chirurgie urologique à l'université de Reims. Il a fondé la start-up de santé numérique InnovSanté pour pallier le problème des data en France.



Le dossier patient numérique et son parcours de soins ? On est loin de sa réalité, affirme-t-il avant de retracer son parcours. Il est né au Liban et l'a quitté à 17 ans pour Marseille alors qu'il était anglophone. La France avait la réputation d'être une excellente école de médecine. Il a choisi le CHU de Reims. Une histoire l'a marqué. À 12 ans, sa mère enceinte de sa petite sœur a eu une hémorragie. L'hôpital le plus proche a refusé son admission car la famille ne pouvait pas payer. Adnan El Bakri affirme que cela ne se passe pas comme ça en France, mais qu'il faut préserver le système. Or on est en train de le détruire. En 4^{ème} année d'urologie, il s'est intéressé au big data sur le cancer du rein. En général on retire le rein et on surveille ce qui se passe sur 5 ans. Quelques patients qui reviennent après 5, 6 ou 15 ans ont encore des métastases. La surveillance doit être donc plus longue. Pour que la médecine prédictive soit robuste, il faut des données. Le projet qu'il a initié au CNRS prend en compte 100 patients sur une année. Il fallait imaginer un modèle à partir de microspectroscopie infrarouge qui génère beaucoup de données, des spectres, sur un seul patient (deux images sur la zone tumorale, une sur la zone saine, une sur la zone de jonction). Cela a fait 4 millions de données qu'il fallait conceptualiser. Il a appris à l'ordinateur à quelle zone correspondait chaque image afin qu'il apprenne à les reconnaître et ainsi qu'il puisse prédire l'évolution du cancer. Un algorithme prédictif de métastase a été construit. Il a été amélioré en intervenant sur les prédictions de l'ordinateur. À plus de 90%, l'ordinateur a réussi à prédire quelle tumeur allait donner des métastases sur 5 ans. Sur une image spectrale (pixel de 25 x25 µm) qui

est un datacube (un spectre pour chaque pixel), une analyse K-means clustering minimise par convergence la distance entre des clusters de données. Dans le big data, les 4V (volume, vitesse, variété, véracité) définissent les données. C'est une révolution technologique qui n'est pas encore réalité.

Le deep learning consiste à conceptualiser les données et aboutir à de l'intelligence artificielle pour arriver à la médecine des 4 P (participative, préventive, personnalisée, prédictive). Cela aboutit à l'automatisation du diagnostic et du pronostic. Pour Adnan El Bakri ce n'est pas la fin des médecins qui nourrissent les virtual Doc qui vont arriver dans quelques années. Innov Santé fait de la blockchain (comme Bitcoin ou Ethereum). Mais il y a des limites car cela implique de l'anonymisation. À moins de faire des blockchains privées. C'est comme une lettre recommandée à la Poste. On sait qui l'a envoyé, quand elle est reçue, mais on ne sait pas ce qu'il y a à l'intérieur. Sur une base de données collaborative, la blockchain privée permet de faire des smart contrats et des e-prescriptions partagées entre le médecin, la pharmacie, la sécurité sociale, etc. Mais certains disent qu'on aura du mal à faire confiance aux grandes sociétés de l'internet.

Un autre concept en e-santé est l'empowerment du patient, la capacitation du patient à être le centre du parcours du soin. C'est la route vers le parcours de soins 2.0 avec l'émergence des patients experts (professionnels de leur maladie, enseignants de leur maladie) et des e-patients (spécialistes du web). Le citoyen (avant d'être un patient) est au centre de la chaîne de santé pour faire de la médecine prédictive, de l'épidémiologie ciblée, mais aussi des économies de santé public sur le terrain.

Adnan El Bakri note un problème actuel : le dossier d'un patient ne suit pas le patient. Il n'y a pas d'interconnexion des systèmes de chaque hôpital. Depuis 2004, l'Etat essaie de lancer une application qui a coûté 1, 2 milliard d'euros pour rien. La loi de modernisation des systèmes de soins de janvier 2016 dit que le patient est propriétaire de ses données. Or ce n'est pas le cas, les médecins rechignent. Ainsi, le big data en France ce sont des archives papiers, des données sécu, autant de silos d'informations avec très peu de bases communes. En France, on réfléchit encore comment faire. Il faut créer des APIs qui parlent avec toutes les bases existantes. Une vision prospective est d'utiliser le même logiciel. Ce n'est pas possible. La France est en retard. La loi LMSS a mis encore plus de barrières. La création du système national des données de santé, c'est encore de l'administratif. Ce n'est pas intéressant. Il faut changer de vision. Pour que le big data fonctionne, il faut vectoriser la donnée. Avec le patient au centre, car c'est lui qui est présent partout pour sa santé. Il faut donc créer le PasseportVital, une carte vitale 2.0. Mais à la sécurité sociale, on est contre afin de ne pas arrêter le projet de carte vitale qui a déjà coûté 1,2 milliard d'euros. Le QR code inclut dans le PasseportVital permet de se connecter sur le logiciel patient. Il donne accès à un dossier médical universel (biologie et imagerie), d'enregistrer les rendez-vous santé, la télémédecine embarquée ou de la téléconsultation et des e-ordonnances. Le modèle économique biface en e-santé, décrit pas le prix Nobel Jean Tirole, s'appuie aussi bien sur le patient que sur les professionnels de santé. Un même produit peut être aussi sur deux plateformes (celle du patient et de leur mutuelle et le software sur le Cloud accessible par les professionnels de santé). Il faut donc un Cloud santé interopérable. C'est plus facile au Liban qu'en France, car au Liban on part de zéro.

À noter aussi que la santé est aujourd'hui sur les réseaux sociaux : les journaux, les congrès, etc. sont sur Twitter, des groupes de patients ou de pathologies sont sur Facebook, les associations de patients sont sur LinkedIn, les photos de maladies sur Instagram, les vidéos sur Youtube. L'étude de ces données des réseaux sociaux permet de voir par exemple des effets thérapeutiques indésirables.

En conclusion, Adnan El Bakri veut sortir du système fermé qui tire vers le bas. Ce n'est pas simple, mais possible car « un entrepreneur est quelqu'un qui se jette d'une falaise et qui construit un avion sur le chemin de la descente ».

2. Plan national France Médecine Génomique et enjeux associés aux données

Franck Léthimonnier (Aviesan)

Franck Léthimonnier travaille pour l'Alliance nationale pour les sciences de la vie et de la santé (Aviesan) qui pilote le Plan national France Médecine Génomique 2015 qu'il décrit.



La médecine génomique est un domaine à forte compétition internationale. Le coût du séquençage d'un génome de $3 \cdot 10^9$ bases ou d'un exome ($6 \cdot 10^7$ bases soit 2% du génome) suit le loi de Moore. On est aujourd'hui en mesure de voir comment intégrer ces données dans la pratique médicale. Les Anglais, les Américains, les Chinois ont lancé des grands plans nationaux. Il y en a aussi en Australie, au Japon, en Allemagne. En France, on s'est aperçu que 3000 patients étaient allés en Espagne se faire séquençer leur génome. Il faut donc faire quelque chose. Tous les plans nationaux visent l'application clinique. Il faut des infrastructures en recherche et d'autres pour la transposition vers le soin. Il faut aussi éviter la fragmentation entre domaines (cancer, maladies rares). Seul l'Estonie et la Slovaquie pratiquent le séquençage des exomes avec un remboursement. Il y a un véritable enjeu économique et stratégique. Au printemps 2005, le Premier ministre a demandé au président de l'Aviesan de proposer les conditions nécessaires au séquençage (faisabilité technique, économique). Plus de 160 personnes ont été mobilisées pendant 1 an (institutions, industriels, scientifiques, etc.). L'ambition est d'intégrer le séquençage dans un parcours de soin générique et de développer une filière nationale de la médecine génomique. Il y a des enjeux de santé publique (accès égal au séquençage, modification du parcours des soins) scientifiques et technologiques et des enjeux économiques qui restent à démontrer (réduction des coûts, développement d'une filière industrielle).

Le plan, annoncé en juin 2016 et commencé en septembre 2016, (670 millions d'euros) a trois objectifs. Le premier est la mise en place d'instruments : permettre l'intégration et l'exploitation des données patients dans le parcours de soin, se doter des capacités de séquençage en réseau, créer un « collecteur Analyseur des données ». l'objectif n°2 est d'assurer la mise en œuvre opérationnelle) : mise en place d'un centre de référence, d'innovation, d'expertise et de transfert (Crefix), lever des verrous technologiques, cliniques et réglementaires (4 projets pilotes (maladie rare (déficience intellectuelle), commune (diabète de type 2 atypique), cancer, génétique de la population générale (la France était en retard sur la photographie génétique en France))), mise en place d'un dispositif d'évaluation et de la validation des nouvelles indications, disposition de nouvelles compétences, garantie d'un parcours sécurisé et de qualité. Le troisième objectif concerne les outils de suivi et de pilotage : mobilisation des acteurs industriels, éthique, réglementation et société (modalités de recueil des consentements dans le cadre des projets pilotes).

Franck Léthimonnier revient ensuite sur les données. Il faut trouver les variants génétiques pertinents dans les génomes ou les exomes c'est-à-dire dans des fichiers de 150 à 300 Gb. Il y a aussi les questions de stockage, de calcul et de pré-analyse. Il faut aussi conceptualiser dans des annotations (qualité des données, localisation de la mutation, fréquence dans la population). Et faire des études au niveau du gène et au niveau du phénotype. L'interprétation pose encore des problèmes car il y a des manques. Dans la logique clinique, il faut pouvoir revenir en arrière donc conserver les versions du logiciel.

Le soin est amélioré sur la base des connaissances des cohortes. Cela accroît la recherche clinique autour des biomarqueurs par l'enrichissement des données. Il faut absolument que les mondes de la santé et de la recherche se rapprochent.

Dernier point, les contraintes réglementaires. Selon Franck Léthimonnier, beaucoup de travail reste à faire sur la chaîne soin et la chaîne recherche (deux autorisations différentes à la Cnil et les logiciels d'aide à la décision doivent être acceptés par l'ANSM) sans oublier qu'il faut avancer sur la réglementation en matière de diagnostic génétique et autres sur l'usage des données.

3. Le suivi automatique des étapes opératoires

Yasser Jebbari (DeepOR)

Yasser Jebbari est co-fondateur de DeepOR, une start-up spécialisée en intelligence artificielle appliquée au bloc opératoire. Il commence par son histoire personnelle. Il a joué au foot, a connu deux blessures, dont l'une au Texas où il a dû se faire opérer du genou. Le bloc opératoire américain est assez différent du bloc français. Quand il a pris rendez-vous, on lui a dit de revenir dans deux mois. Le délai était vraiment trop long. Mais il y a pire. Au Canada, une chirurgie de l'œil a dû attendre six mois. Tout compte fait, il s'est fait opérer plus tôt au Pakistan. Sans cela il aurait perdu la vue.



Cela pose la question de l'optimisation des blocs opératoires qui ne sont pas utilisés au maximum de leur capacité. L'installation a changé : plus intelligente, plus chère. Sur 10h, 3h sont inutilisées alors que les patients attendent des rendez-vous. Avec sa start-up, il essaie de résoudre le problème. En France, cela semblait plus efficace, mais le problème est le même. Pourquoi ? En assistant à une quinzaine d'opérations (de l'arrivée du patient à sa sortie) il a étudié la question. Beaucoup d'acteurs participent (infirmiers, chirurgien, anesthésistes, administration, etc.). Comme il faut noter tous les actes, ceux qui agissent pendant l'opération doivent aussi faire ce travail informatique supplémentaire. Les logiciels hospitaliers ont des ergonomies très mauvaises et aucun dialogue n'est possible entre différents logiciels. Donc les acteurs n'utilisent pas ces outils ou remettent ce travail à plus tard avec les risques d'erreurs inhérents. La durée de certaines chirurgies est ainsi surévaluée ce qui influe sur le post-traitement du patient. Le logiciel de DeepOR fait le travail à la place des acteurs par reconnaissance des actes et des images. C'est la même technologie que celle des voitures autonomes ou de reconnaissance des valeurs des chèques. La vision par ordinateur utilise du deep learning, de l'apprentissage par bonnes et mauvaises réponses. Plus on lui donne de cas, plus l'ordinateur est capable de dire la bonne

réponse. L'avancée de l'algorithme est due en particulier aux processeurs graphiques et à la masse des données disponibles. DeepOR utilisent les images fournies par les caméras présentes dans les blocs opératoires. Elles montrent les actes chirurgicaux (acteurs et patient). Les bonnes ou mauvaises réponses concernent la classification des étapes des actes chirurgicaux. Le logiciel peut dire à quelle étape opératoire l'image analysée intervient. Cela permet de prédire la disponibilité de la salle. Y compris pour le long terme : un acte chirurgical peut ainsi être mieux appréhendé, ce qui permet d'éviter les 30% de temps d'inoccupation des blocs opératoires.

Yasser Jebbari avoue que quand le logiciel a été présenté, les acteurs étaient sceptiques tout en reconnaissant l'intérêt du logiciel. Mais deux chirurgiens ont accepté de donner deux semaines de vidéo. Les résultats les ont bluffés. L'interprétation a été bonne dans 97% des cas. La prochaine étape est une expérience in vivo à l'institut Curie sur 3 mois avec un ensemble de blocs afin de prouver la possibilité d'automatiser, d'informer des brancardiers, des salles de réveil, etc. Cette expérience commence le 3 avril 2017.

4. *Parcours de soin 2.0 : opportunités et risques*

Table ronde

Betty Sfez (Sfez Avocats), Jacques-Charles Flandin (Les Business Angels des Grandes Écoles), David Sainati (Medappcare), Stéphanie de Marco (Angel Santé), Jean-Michel Rondeau (ATOS)

Animée par Christophe Calvin (CEA) et Valérie Masson-Patrimonio (École Polytechnique)

Valérie Masson-Patrimonio introduit la table ronde en notant que la technologie est là, mais aussi le cœur c'est-à-dire la vie de chacun. C'est même le moteur de ces technologies. La question centrale est le citoyen patient. L'aspect écosystème tourne autour de lui. C'est un chantier important pour que la confiance soit au rendez-vous. Elle présente ensuite les intervenants.



Pour commencer par les aspects système, comment s'organise cet écosystème. Il semble que technologiquement tout est là mais qu'il y a un problème dans la conception et du fonctionnement de l'écosystème. Les pays où l'e-santé fonctionne bien communiquent beaucoup. Où en est-on en France ? Les business angels présents autour de la table sont là pour aider les acteurs.

Stéphanie de Marco prend la parole en notant qu'en France on devrait être champion dans l'e-santé. Or on est en retard. Quels sont les freins ? Le problème est effectivement l'écosystème mais seulement quelques groupes à l'intérieur (les opérateurs industriels, les supporteurs-financeurs-conseils des start-up qui se sont améliorés depuis 5 ans), mais surtout le système de santé dont les éléments ne sont pas interconnectés. Or c'est sur l'interconnexion que l'e-santé se développe. La fédération d'investisseurs privés

d'Angel Santé a une valeur ajoutée : apporter une lecture aux financeurs généralistes qui leur permet de se positionner. Ils arrivent à réunir 2 millions d'euros par tour. XMP

Entrepreneurs, représenté par Jacques-Charles Flandrin, fait partie de ceux-là. Il pense que l'e-santé n'est pas différente des autres domaines. Les start-up ont des problèmes de licences, de brevets qui freinent les investisseurs. Avec XMP Entrepreneurs, les start-up ont un support pour se retrouver dans la forêt inextricable de la constitution des dossiers.

La juriste Betty Sfez reconnaît que le cadre réglementaire est compliqué en France mais aussi en Europe. Pourtant le législateur tente de s'adapter aux nouvelles technologies. Pour les juristes ce n'est pas évident car tous les six mois de nouveaux textes paraissent. C'est encore plus difficile pour les entrepreneurs. Mais le point positif est la prise de conscience des législateurs d'adapter la législation actuelle à la révolution numérique. Cela nécessite de prendre des précautions pour la propriété industrielle et l'économie du business. Autre point positif, comme la France avait une des législations les plus strictes en matière de santé, les entrepreneurs avaient une arme forte pour attaquer les marchés étrangers. Certains étrangers se conforment aussi à la réglementation française pour attaquer les autres marchés. Tout n'est donc pas mauvais dans la loi et la réglementation, surtout qu'elle existe pour protéger le patient et le citoyen. La France est en avance sur ce sujet.

David Sainati travaille quant à lui sur la certification. Sa société certifie environ 25 applications par an soit la moitié des demandes. L'une d'entre elles est Ameli de la Sécurité Sociale. Il insiste sur le fait que la santé connectée fait peur. Plus de 80% des Français sont pour la création d'un label sécurisant les données de santé. Car l'offre est pléthorique, les applications sont peu claires. Le référentiel que sa société a mis au point comporte des questions de sécurité, des questions juridiques mais c'est un label privé afin de garantir la confiance des acteurs de santé et des payeurs. En tant qu'expert de la Commission Européenne sur les aspects de santé, il voit que des querelles de chapelle minent l'avancée de l'e-santé en Europe. Il y a encore une marche à franchir.

Valérie Masson-Patrimonio lui demande de préciser les freins. Il répond sur la façon dont certains acteurs trainent des pieds en Europe. Par exemple, un critère anodin sur le pictogramme des applications a pris beaucoup de temps de discussion ce qui a fait perdre du temps. Or des sociétés de labellisation veulent aller vite, ce qui est frustrant. Mais il ne faut pas multiplier les groupes de travail. Les intérêts communs sont à discuter au niveau européen, ce qui n'est pas facile.

Jean-Michel Rondeau intervient en citant des anecdotes. Un programme de big data n'a pas pris en compte l'accessibilité à un silo de données ce qui l'a bloqué. Idem au niveau de la sécurité sociale. Sur l'aspect écosystème, il note que cela commence par la communication envers les étudiants afin qu'ils apprennent l'environnement puis remettent en question l'ordre établi et essaient. Dans sa société, Atos, une entreprise très orientée plates-formes et infrastructures, ils vont aussi vers des aspects métiers comme le suivi patient et le parcours de santé dans lequel le fondement technologique est important. Mais comme le dit son Pdg, le XXI^e siècle est celui des données. Il faut être orienté vers un monde ouvert. Accessibilité et questions d'utilisation demandent de suivre tout le spectre des données (valeur des données internes, besoin de données

externes) qui est très riche. Le monde des start-up est très utile à ce niveau par sa souplesse.

Valérie Masson-Patrimonio se demande de quel type est le partenariat entre industriels et start-up. Jean-Michel Rondeau dit que leur démarche est de partir petit et de faire bénéficier la start-up des outils de leur groupe dont les data centers sont habilités santé.

Stéphanie de Marco répond à une question d'Adnan El Bakri sur la difficulté de récupérer des fonds d'amorçage pour les start-up. La problématique est que le panel d'aide au démarrage est un maquis dans lequel on ne se retrouve pas. Cela permet de survivre à la phase de prototypage. Les business angels n'interviennent pas à ce niveau.

Jacques-Charles Flandrin note qu'un fond comme Demeter n'intervient que si la start-up a déjà un chiffre d'affaires de un million d'euros. Stéphanie de Marco insiste sur la fiscalité française qui bride les investisseurs étrangers et sur la non-solvabilité du marché de l'e-santé en France qui empêche les financeurs de participer aux aventures des start-up françaises. Elle les incite à chercher des marchés solvables comme les États-Unis puis revenir en France plus fortes pour attaquer le marché européen.

Christophe Calvin intervient pour rebondir sur une intervention de Willy Mathot disant que la France est un grand incubateur de start-up. Il se demande si de grands groupes étrangers ne pourraient pas prendre le pas. Willy Mathot lui répond qu'au niveau macroéconomie, ce n'est pas un problème, mais que cela l'est pour la micro-économie.

L'après-midi est fait pour prendre du champ, de permettre la diversité des regards sur cette médecine moderne, comme l'indique Philippe Wlodyka. Ces regards croisés commencent par la présentation de Nathanaël Jarrassé.

5. Les exosquelettes robotisés - Réalités et perspectives

Nathanaël Jarrassé (Inserm)

Nathanaël Jarrassé est chargé de recherche à l'Institut des systèmes intelligents et de robotique (Isir) à l'université Pierre-et-Marie-Curie à Paris, et chercheur associé à l'Imperial College de Londres. Ses thématiques de recherche portent notamment sur l'interaction physique homme-robot, les prothèses et la robotique de rééducation.



Les exosquelettes sont partout. Le mythe du cyborg (Alien, Ironman) et le courant transhumaniste fascinent et favorisent l'imaginaire de l'homme augmenté. Pourtant la technique est loin d'être aussi aboutie. L'idée d'exosquelette est ancienne. En 1965, le Hardiman de General Electric n'a pas été actionné. Mais dès 1969, l'exosquelette d'aide à la marche fonctionnait déjà. Il y a différents buts : la rééducation (Armeo) ou l'assistance (suppléance au handicap ou augmentation pour un opérateur sain). Pour la suppléance au handicap, la machine sert à récupérer les capacités motrices, mais comme pour l'opérateur sain, l'exosquelette doit être porté tout le temps. La rééducation est très complexe car le patient veut récupérer ses anciennes capacités. L'exosquelette ne doit pas laisser de traces. Pour la rééducation, le leader est Hocoma (Suisse). Il commence à équiper des hôpitaux. Pour les jambes, il est lié à un tapis roulant. D'autres (Rewalk de Robotics en test en Bretagne, Rex de Bionics, Ekse de Bionics) sont simples mais aident à la marche. Le Wandercraft a été annoncé par des jeunes centraliens. Les systèmes sont très entravants. C'est normal. Ce n'est que le début. Pour les opérateurs sains, la société auxerroise RB3D ou Lockheed Martin développent un système pour porter une caméra steadycam. Le système détecte ce que vous êtes en train de faire. À venir, des exosquelettes passifs pour des troubles musculo-squelettiques (Exhauss de L'Aigle, GoBio ou RobotMate) permettent l'assistance au maintien postural ou prévient des postures dangereuses (exemple, le squelette force une genuflexion quand on soulève

une lourde charge). Certains vont aider à réduire les coûts métaboliques (aide à lever le talon) mais tous permettent une augmentation ponctuelle. Nathanaël Jarrassé note que la surcapacité sacrifie la polyvalence humaine (exemple, porter une lourde charge empêche la marche aisée). Et il existe des verrous technologiques (les batteries, la puissance de calcul, la légèreté, la rigidité, la robustesse des structures), mais aussi des verrous scientifiques (partage du contrôle, détection des intentions motrices, compréhension du système sensorimoteur humain). Dans le cas de la rééducation post-AVC, il y a des troubles du tonus et des dystonies, des syncinésies... La rééducation conventionnelle consiste à des exercices passifs puis actifs. Pour progresser, il faut améliorer l'intensité des exercices et la maîtrise les paramètres physiques. Au cours des séances, l'exosquelette doit pouvoir agir de moins en moins. C'est un processus d'apprentissage auquel le patient doit s'adapter. C'est un compromis technologique. Le plus important est de respecter les intentions motrices. Les capteurs doivent être placés aux endroits adéquats afin de mesurer les mouvements du patient.

En résumé, il n'y a pas de polyvalence dans les exosquelettes et les applications sont limitées par des problèmes scientifiques simples. Il y a peu de robots réellement disponibles et les problèmes d'interaction physique sont encore peu considérés.

6. *Nous vivons dans un monde de science-fiction*

Ariel Kyrrou (Culture Mobile)

Ariel Kyrrou nous fait voyager dans la littérature par un détour par la science-fiction (SF). On imagine que les avancées, quelles qu'elles soient, partent de technologies, mais aussi des usages, mais on oublie l'imaginaire. Or l'imaginaire est le moteur.



La science-fiction comme l'art sont fondamentaux. Sans eux le moteur de recherche Google n'existerait pas. Ce sont souvent des délires porteurs qui font avancer. Il va donner de nombreux exemples et montrer comment la SF fait avancer ou réfléchir. Philippe K. Dick, né en 1928 et décédé en 1982 est l'auteur le plus pillé par Hollywood (Blade runner, Minority report, Total recall). P. K. Dick a peu abordé les questions médicales mais a souvent averti ses lecteurs des possibles dangers. Dans un extrait de documentaire qu'Ariel Kyrrou a réalisé, les sujets abordés sont la télésurveillance (nous sommes nous-mêmes nos propres Big Brother), les mensonges d'État (la fausse guerre nucléaire afin d'obliger les travailleurs de devenir des robots souterrains), le réchauffement climatique (la politique du pire) et la police prédictive (les 4 P de la médecine ?).

Minority report n'advient pas, mais appuie sur un problème qui peut survenir. Google ne veut-il pas « anticiper » tous nos désirs ? Andy Rubin a créé Android (avant de la vendre à Google) car il est un fan de Blade runner. Les dirigeants de Google sont aussi fous de SF. Afin de régler les questions de Big data, Google a acheté 8 des grandes sociétés de robotique en 2013, deux start-up de deep learning en 2014, sa filiale Calico a conclu un partenariat avec le leader de la généalogie génétique. Google a créé Verily (anciennement Google Life Sciences) fin 2015 pour dégager les causes profondes des maladies. Google considère que les moteurs de recherche, c'est terminé. Nous sommes à

l'ère de l'assistance. Ray Kurzweil, directeur de l'ingénierie es IA chez Google considère la vieillesse comme une maladie qui peut être éradiquée. Dans « Jack Barron et l'éternité », Norman Spinrad pose la question de la vie éternelle et du prix à payer pour y parvenir. La SF permet d'avancer mais aussi de critiquer. Exemple avec « Bienvenue à Gattaca » sur l'eugénisme, « Le Meilleur des mondes » ou encore « 1984 ». Des ouvrages comme Harmony de Keikaku Itoh décrivent des mondes parfaits mais pas forcément désirables. Là c'est l'utilisation à outrance des données de santé qui sont pointées du doigt.

7. La réalité virtuelle en santé

Judith Nicogossian (MGEN)

Judith Nicogossian est anthropologue de la santé. Elle s'occupe de plusieurs projets de recherche entre autres sur la réalité virtuelle en santé, en particulier sur le cerveau qui fascine.



Les chercheurs veulent savoir comment il fonctionne. Il pèse 1,5 kg et contient 100 milliards de neurones, chacun d'entre eux étant en contact avec de 10 000 à 100 000 autres. Le nombre de combinaisons excède celui des particules dans l'Univers observable. Depuis le milieu du XX^{ème} siècle, on s'est rendu compte que les neurones peuvent s'inspirer des actions que nous faisons pour les anticiper. Il y a une réciprocité neuronale forte, puisque même si on n'a plus de bras, voir quelqu'un faire un geste occasionne le même jeu de neurones chez soi. La réalité virtuelle et augmentée essaie de reproduire des dispositifs apparus au cours de l'évolution. Le cerveau a une grande habilité à percevoir le mouvement, mettre en correspondance différents sens, anticiper, prédire et même modifier le schéma corporel pour créer des illusions en tant que solution. La question de la douleur des membres fantômes peut être réglée en suggérant au patient la réalité de ce membre (vision par miroir du membre manquant) ou par réalité virtuelle (ressentir les mêmes sensations que notre avatar). La réalité virtuelle est le fait de recréer des fonctions cérébrales innées. Cela nécessite une collaboration entre ingénieurs et spécialistes de la cognition. La réalité a autant de définition que d'êtres humains. La réalité virtuelle (RV) aurait dû s'appeler « réalité vicariante » qui indique que le cerveau se plie à des rééquilibrages face à des illusions. La réalité augmentée (RA) est différente. Dans la RV, l'univers n'existe pas, alors que la RA intègre des éléments virtuels dans le champ de vision réel en temps réel et en 3D. La RV permet de changer de temps, de lieu, d'incorporer une autre symbolique. La RV connaît des problèmes techniques comme la latence entre l'action de l'utilisateur et la perception

des conséquences de cette action sur l'environnement virtuels. En chirurgie, l'œil du chirurgien peut être augmenté en voyant à l'intérieur du corps et à des échelles invisibles à l'œil nu. Des lésions peuvent être visibles et modélisées sur des photos ce qui permet d'optimiser l'intervention chirurgicale. Le Salon de Laval qui vient de se terminer fédère les acteurs autour de la RV.

Pour conclure, Judith Nicogossian cite Baudrillard : « le simulacre n'est jamais ce qui cache la vérité. C'est la vérité qui cache qu'il n'y en a pas. Le simulacre est vrai ».

8. *De l'homme réparé à l'homme augmenté*

Guy Vallancien (Académie Nationale de Médecine)

Guy Vallancien est professeur d'urologie. Jamais il n'aurait imaginé en tant que chirurgien se trouver à trois mètres de la table d'opération à manipuler des joysticks. Il pense, que très prochainement, la machine fera mieux que nous. La main robotique peut tourner sur 360°. Et le diagnostic numérique fera mieux que lui. Des Japonais ont déjà changé de diagnostic grâce à la machine Watson.



Pour analyser 3 milliards de bases, la machine est aussi bien meilleure. Mais contrairement à ce que disent les gurus de la Silicon Valley, un microprocesseur n'est pas un neurone. Un cerveau n'est actif que par l'environnement. L'homme est bien plus qu'un cerveau. Nous avons tué les dieux, mais on retrouve des démiurges. L'immortalité est une absurdité totale. Mathématiquement, l'infini n'est pas mesurable. Le Qi n'est rien. 1% de notre activité est consciente, le reste est automatique. Et le cerveau ne s'arrête jamais. « Je me reconstruis tous les jours. Il n'y a pas de normalité », déclare-t-il. L'essence de la vie, c'est le fait de passer aux autres. C'est comme ça que nous évoluons. Les Chinois ont séquencé des gamins de 130 de QI pour voir comment en créer avec des QI de 150. C'est absurde. L'humanité est le pouvoir de se sacrifier pour les autres. Ce qu'une machine ne saura pas faire, puisqu'elle ne pourra refuser de faire ce qu'on lui demande. Mais aux Etats-Unis, tout le monde joue le même jeu. Aucune entreprise européenne ne peut damer le pion aux GAFA. Si on les avait, nous jouerions différemment. L'Occident a été le violeur du monde. Nous mesurons actuellement les dégâts. De toute façon, les astrophysiciens disent que la Terre va bouillir dans quelques milliards d'années. La vie n'est donc pas éternelle sur Terre. Six fois déjà, nous avons subi des catastrophes planétaires. Mais la vie s'est adaptée. Il faut ouvrir le champ des recherches. Sur l'embryon, bien sûr, sur l'utérus artificiel aussi. Ce n'est pas un problème de science mais de société. Quand Oppenheimer a fait éclater Trinity (le premier

test de bombe atomique), il a pris peur du monstre qu'il avait créé. Le nucléaire est exactement dans la problématique du bénéfice-risque. Si les risques sont plus grands que les bénéfices, il faut arrêter la technologie. Pas avant. Guy Vallancien ne veut pas qu'on l'empêche de chercher. Même si tout progrès technologique commence par casser avant de construire. Il faut contrôler le développement technologique issu de la science. L'homme blessé, malformé ou malade doit être soulagé. C'est normal. Mais demain on va lui demander d'augmenter les hommes sains. La chirurgie plastique quelle qu'elle soit dénote un malaise, donc une pathologie. On interdit aux sportifs des produits ou des combinaisons et en même temps on autoriserait des anabolisants numériques à tous ?

On ne connaît rien. L'homme est l'infiniment complexe, face à l'infiniment grand de l'univers. La mémoire n'est pas localisée comme l'est une mémoire morte d'ordinateur. Ce sont des milliards de connexions toutes les microsecondes. Guy Vallancien ne veut pas que l'homme puisse être augmenté sciemment. Cette intelligence artificielle et cette robotique nous obligent à nous interroger sur nous-mêmes. Or c'est cela l'important. En robotique ou dans le numérique, il n'y a jamais de mots d'amour.

Il pense que son métier de biologiste clinique et de chirurgien va disparaître, mais il se penchera alors sur le plus important, l'homme. C'est pareil pour le radiologue et les autres spécialités. Le seul qui restera en place est le médecin généraliste, car dans 90% des cas, le patient ne rentre pas dans le moule des administrations. Il faut prendre le temps d'écouter. Il pense que nous y arriverons en discutant de plus en plus souvent de ces questions de mutations car c'est notre survie qui est en jeu.

9. *Vers où nous mènent les nouvelles technologies des sciences de la vie si nous les laissons sans contrôle ?*

Débat

Judith Nicogossian, Guy Vallancien, Nathanaël Jarrassé et Ariel Kyrrou

Animé par Thierry Keller (Journaliste)

La fin de la journée est consacrée à un débat. Thierry Keller note que les questions éthiques ont déjà été un peu abordées, mais la question du contrôle de ces technologies est importante. Qui contrôle qui ? Sommes-nous déjà sous assistance ?



Comme il le dit lui-même, Ariel Kyrrou répond comme un normand : nous contrôlons certaines technologies, et nous sommes contrôlés par d'autres. Il faut se rendre compte qu'on ne maîtrisera jamais tout. On n'avance pas sans concevoir l'absence de contrôle. Sinon on aboutit à une bêtise néotechnologique comme le roman d'Orwell « 1984 ». Guy Vallancien dit que l'homme est le seul être vivant à sortir de son territoire autrement que pour survivre. C'est sa faculté avec ses dérives insupportables. Nous avons créé la bombe atomique, nous allons créer le monstre et alors on se posera la question si on arrête ou non.

Judith Nicogossian aimerait être optimiste et penser que le fait de penser que demain c'est fini est intrinsèque à l'homme. L'homme est immature à la naissance. Il est dépendant de ses parents très longtemps. Il a utilisé la technologie pour s'adapter à son environnement, ce qui a favorisé sa créativité.

Nathanaël Jarrassé distingue entre outils et machines. Les dispositifs actuels sont des outils contrôlés par l'humain. Et cela le restera longtemps. Il n'y a pas d'homme augmenté.

Judith Nicogossian déclare que dans l'utérus artificiel il est possible de déterminer le sexe du bébé et des caractéristiques physiques. N'est-ce pas de l'augmentation ?

Pour Guy Vallancien, nous sommes déjà dans l'eugénisme, pas dans l'augmentation mais dans la récupération des possibilités. À Los Angeles on peut choisir la couleur des yeux ou de la peau et d'autres caractéristiques. Les enfants pourront alors tenter des procès à leurs parents pour ces choix.

Thierry Keller revient sur le transhumanisme. Guy Vallancien trouve que l'idée que l'homme n'est rien est stupide. Pour Nathanaël Jarrassé, les transhumanistes sont davantage aujourd'hui sur la question existentielle que sur l'homme augmenté. Il y a un débat idéologique sur le bien ou le mal de la technologie, mais il est dangereux de simplifier le discours. Guy Vallancien veut retrouver le secret et pouvoir mentir. Chacun est unique et est libre de vivre comme il veut. L'important pour Judith Nicogossian est de savoir ce que veut l'humain pour lui-même. Pour Guy Vallancien, l'expérience nous montre que les machines, en l'occurrence les écrans, appauvrissent l'homme. Pour Ariel Kyrou, la technologie n'est pas neutre. Le chanteur Brian Eno parle du corps et du cerveau au sens large. Si on vit comme si le temps n'existe pas, on fera du surplace. Guy Vallancien répond que le seul langage universel est l'art et qu'il est étonnant que Google ne sache pas du tout créer de l'art. Microsoft a bien créé un Rembrandt en mélangeant 140 toiles du peintre, mais des experts, s'ils reconnaissaient l'allure d'un Rembrandt, y voyaient des dessins que Rembrandt n'aurait jamais réalisés.

En fin de débat, Ariel Kyrou cite le philosophe Bernard Stiegler : « la technologie est un pharmakon, un poison comme un remède. »

À la fin de cette journée, Christophe Calvin et Jean Latière remercient les participants de leur venue et les invitent à venir au prochain séminaire du 27 avril 2017 sur « l'économie bleue ».