

L'innovation, entre mythe et réalité

09

L'innovation, entre mythe et réalité

Sous la direction d'Alexis Rayapoullé,
Nicolas Castoldi, Martin Dumont et
Fabrice Gzil.

Publication tirée du cycle de séminaires
«L'innovation, entre mythe et réalité»
(2023-2024), organisé par l'Espace éthique
Île-de-France et la Chaire de philosophie
à l'Hôtel-Dieu (AP-HP/ENS-PSL), en
collaboration avec l'initiative @Hôtel-Dieu
(AP-HP/Université Paris-Cité).

Avant-propos		
L'innovation comme concept		
Alexis Rayapoullé		04
Nicolas Castoldi		05
1. Introduction		09
Une philosophie de l'innovation		
Conférence		
Thierry Ménissier		11
Discussions		
L'éthique de l'innovation		17
L'innovation sociale		18
L'expérience existentielle de l'innovateur/innovatrice		21
2. Prédiction		23
La prédiction assistée par intelligence artificielle en cancérologie		
Conférences		
Jean-Emmanuel Bibault		25
Julia Tinland		31
Discussions		
L'intelligence artificielle est-elle innovante ?		35
L'innovation, le bricolage et le progrès		37
La régulation de l'innovation		38
Le fonctionnement de l'algorithme		38
Le rôle du médecin dans la programmation		39
3. Modèles de langage		41
La documentation clinique générée par intelligence artificielle		
Conférences		
Alexandre Lebrun		43
Nicolas Castoldi		46
Discussions		
Fonctionnement de l'algorithme		51
Logiciel unique, besoins spécifiques		51
Sécurité et confidentialité		53
La relation médecin-malade		54
Fiabilité de l'IA générative		55
Contrôle et vérification		56
Diffusion et adoption d'une innovation		57
Innovation technique ou innovation sociale ?		58
4. Robotique		59
Quelles relations avec les robots dans l'espace du soin ?		
Conférences		
Jérôme Monceaux		61
Martin Dumont		64
Discussions		
L'interaction humain/robot		68
Le robot dans le réseau de soin		70
L'humanisation du robot		73
La fiabilité du robot		74
Qu'y a-t-il d'innovant ?		76
5. Portabilité		79
L'échographie portative		
Conférences		
Mehdi Benchoufi		79
Alain Loute		81
Discussions		
Fiabilité de la technique		85
Transformations de l'activité et du rôle de la clinique		86
L'innovation pédagogique		88
Qu'y a-t-il d'innovant ?		89

6.	Reconnaissance d'images	93
	Le diagnostic radiologique d'endométriose accompagné par l'intelligence artificielle	
	Conférences	
	Raphaëlle Taub	95
	Vincent Israel-Jost	97
	Discussions	
	Diffusion de l'IA en radiologie	100
	Fonctionnement de l'algorithme	100
	Données d'entraînement	102
	Les femmes dans le monde de l'innovation	103
	La force rhétorique du mot « innovation »	104
	Définition de la maladie et catégorisations nosologiques	105
	Performance et rapport au temps	107
	Réalisme, constructivisme et progrès	108
7.	Écosystèmes	109
	L'écosystème de l'innovation	
	Conférences	
	Thomas Landrain	111
	Gérald Gaglio	116
	Discussions	
	Laboratoire et communauté d'expérimentation	118
	Institutions publiques, institutions communautaires	120
	Collaboration, open source et modèle économique	121
	Organisation du vivant, organisation de l'innovation	124
	L'éthique dans les initiatives communautaires	124
8.	Conclusion	127
	La régulation de l'innovation thérapeutique	
	Conférence	
	Étienne Lengline	129
	Discussions	
	Progrès ou innovation ?	136
	Nouveauté et présomption d'innovation	137
	L'erreur dans le jugement d'innovation	137
	Enregistrement vs évaluation	138
	Le périmètre de la notion de « médicament »	139
	Le développement concomitant d'innovation	139
	Faire face à l'accélération	140
	Bilan	
	Vers un concept d'innovation ?	
	Martin Dumont	146
	Fabrice Gzil	147
	Nicolas Castoldi	149
	Alexis Rayapoullé	152

Alexis Rayapoullé

Docteur en médecine, spécialiste en santé publique, Assistant hospitalier universitaire à l'Espace éthique Île-de-France (AP-HP/Université Paris-Saclay)

L'objectif de ce séminaire n'est pas seulement de parler des innovations sujet par sujet, mais d'essayer de trouver le point commun entre les différentes choses que l'on nomme « innovation »; de réfléchir ainsi à ce que pourrait être l'innovation comme concept, comme notion qui unifie des choses qui pourtant, en apparence, sont très différentes. Pourquoi avons-nous associé les idées de « mythe » et de « réalité » à ce concept d'innovation? Parce que nous pouvons poser cette question de différentes manières, qui impliquent différents rapports au réel.

Un *concept* n'est pas exactement la même chose en fonction de la tradition philosophique à laquelle on se réfère. Dans la tradition qu'on pourra appeler *idéaliste*, dont Platon est le penseur emblématique, le concept est une abstraction qui capture une forme essentielle de la réalité. Dans cette perspective, l'innovation en tant que telle serait une réalité, puisque les idées elles-mêmes sont réelles. Elles s'incarnent alors dans des choses matérielles qui font les innovations que l'on rencontre dans notre vie sensible. Avec ces lunettes, il s'agit de se demander ce qu'es la *vraie* idée d'innovation, de réfléchir et d'essayer d'en découvrir l'essence, la nature fondamentale. La perspective idéaliste implique que nous captions directement une propriété de la réalité avec notre concept d'innovation.

Une autre approche, qu'on pourrait qualifier de matérialiste, davantage descriptive, consiste à se contenter d'observer qu'il y a des gens qui utilisent le mot « innovation » et à essayer de comprendre quel est le rôle de ce mot. On s'intéresse alors à son rôle social et aux situations dans lesquelles on l'utilise. Cependant dans ce cadre, ce que l'on dit des choses - les discours - n'a pas d'importance capitale car le seul moteur de l'histoire sont les choses matérielles. Cette approche se retrouve largement dans la méthode historique et sociologique, que nous n'allons que peu aborder ici, en dehors de l'intervention de Gérald Gaglio, sociologue, qui pensera l'innovation comme d'un écosystème, un milieu dans lequel les gens se retrouvent et produisent des choses¹; pas des innovations en tant qu'objets.

Enfin, nous pourrions penser les concepts selon la vision *pragmatiste*. Dans ce cas, le concept est non seulement un mot que l'on pose sur des choses - un discours plutôt que le réel lui-même - tout en conférant aux discours le pouvoir d'agir sur la réalité. Les conséquences des discours sur la réalité ne sont pas seulement d'ordre matériel, mais aussi psychologique, spirituel, etc.

Dès lors, la question n'est pas tant de découvrir ce qu'est l'innovation – la *nature* de l'innovation – mais de se demander quel concept nous aurions intérêt à créer. Que doit-on mettre dans la notion d'innovation, quel est le but de cette notion ? Que veut-on croire à propos de l'innovation ?

On comprend alors le titre de ce séminaire «Entre mythe et réalité» comme représentant les différentes manières de rapporter les concepts, spécifiquement celui d'innovation, avec la – différentes approches qu'il convient de garder à l'esprit à la lecture des différents positionnements qui seront développés au fil des séances. Raison pour laquelle ce séminaire prend la forme d'une discussion entre des personnes qui sont dans l'activité d'innovation, qui *font* l'innovation (et qui auront peut-être une tendance réaliste) et des gens qui viennent des sciences humaines et sociales (dont l'approche sera sans doute plus inspirée de l'analyse du discours et des concepts).

Pour terminer, un exemple concret de la manière dont le discours de l'innovation pose des questions qui dépassent strictement «l'innovation» elle-même. L'Agence européenne des médicaments (EMA) a créé une filière de régulation spécifique pour ce que l'on nomme en français les «Médicaments de thérapie innovante», que j'ai étudiée pour ma thèse de médecine². Lorsqu'un médicament est basé sur une technique de thérapie génique, d'ingénierie tissulaire ou de thérapie cellulaire, il a droit à ce qualificatif «d'innovant» et n'est par conséquent pas régulé de la même manière que les autres produits de santé. Concrètement, l'EMA s'engage à ce que le médicament entre plus vite sur le marché.

Cela pose tout un tas de questions : pourquoi ces techniques-là sont-elles innovantes plutôt que d'autres ? Quand cessent-elles de l'être ? À partir de quand, après l'invention de la thérapie génique, ce n'est plus une thérapie innovante ? Même si on admet qu'elles sont techniquement innovantes, s'ensuit-il automatiquement qu'elles soient innovantes dans leur champ thérapeutique ? Et puis, quel est l'intérêt de les qualifier d'innovantes pour les réguler autrement, alors que les régimes spécifiques de régulation pour accélérer la mise sur le marché existent déjà pour des raisons éthiques, notamment pour répondre à des urgences de santé publique ou à des maladies rares ? Les réguler spécialement parce que ce sont des techniques innovantes pose question. Et voilà comment le simple fait de mettre le mot «innovation» sur quelque chose a des effets concrets qui ne relèvent pas seulement de disputes verbales.

Nicolas Castoldi

Directeur exécutif de l'initiative
@ Hôtel-Dieu, codirecteur de l'Espace
éthique Île-de-France

Pourquoi le concept d'innovation est-il difficile à appréhender ? Bergson aborde ce sujet de manière brillante dans *La pensée et le mouvant*, son dernier recueil d'essais. Ce recueil, admirablement écrit et pensé, contient un court texte, d'une quinzaine de pages qui peut se lire de manière autonome, dans la première partie de l'introduction. C'est une lecture stimulante qui pose bien les bases de la question et permet de s'y plonger plus en profondeur. Dans ce texte, Bergson effectue un double mouvement. D'abord, il explique que notre manière de raisonner tend à interpréter chaque nouvelle chose arrivée comme si elle avait toujours été possible, comme si elle avait toujours existé en arrière-plan, fût-ce comme une simple possibilité inscrite dans l'essence des choses. Penser la nouveauté revient donc souvent à expliquer pourquoi ce qui est nouveau était déjà là, ne serait-ce que comme une possibilité qui n'attendait qu'à se concrétiser. En d'autres termes, penser la nouveauté revient rapidement à ne plus parvenir à expliquer ce qu'il y a de nouveau dans la nouveauté, à ne plus saisir cet événement qui fait advenir quelque chose qui n'existait pas auparavant. La nouveauté comme événement ou la nouveauté comme avènement sont difficiles à penser. Le mouvement

naturel de notre esprit nous porte à croire que ce qui vient d'arriver a, en quelque sorte, toujours été vrai ou possible.

Bergson nomme cette tendance «le mouvement rétrograde du vrai». Selon lui, ce mouvement intellectuel présente deux caractéristiques. La première est qu'il nous empêche de considérer le nouveau comme véritablement nouveau; nous en venons toujours à penser que ce qui est arrivé aurait pu advenir ou se produire avant, comme une simple recombinaison d'éléments préexistants. En fin de compte, nous n'arrivons pas à percevoir ce qu'il y a de radicalement neuf dans la nouveauté, et nous passons à côté de ce qui fait la singularité et l'originalité de la création. Cette dernière n'existait pas avant, elle n'était pas prévisible, et pourtant elle intervient ici et maintenant. Bergson critique également les jugements rétrospectifs qui tendent à relire le passé pour y trouver des signes qui auraient pu annoncer ce qui est arrivé, rendant ainsi le nouveau prévisible, donc non surprenant pour qui savait lire ces signes.

Pour résumer Bergson de manière très synthétique, l'expérience de la nouveauté est indissociable de celle de la durée, c'est-à-dire d'un temps vécu, créateur et individuel. En d'autres termes, la durée implique qu'il n'y a pas de nouveauté sans un individu pour l'éprouver, à la fois en tant que créateur et en tant que témoin d'un avant et d'un après la naissance de la chose nouvelle. Dans cette perspective, il devient possible de ressaisir le nouveau en tant que tel.

Ce qui est intéressant dans ce mouvement est qu'il nous renseigne sur une partie de notre problématique. Nous tentons sans cesse de penser l'innovation en oscillant entre deux pôles. D'un côté, il y a le hasard, l'imprévisible; quelque chose de nouveau, d'innovant, qui surgit sans cause apparente. C'était impensable et pourtant c'est advenu. Au passage, cette figure de l'innovation s'incarne souvent dans celle du génie innovateur, capable de produire de l'exceptionnel, qui n'était pas écrit d'avance. Cette figure créatrice est souvent présentée comme artiste ou inventeuse. De l'autre côté, une autre tendance vise à réduire cette nouveauté à quelque chose de préexistant, ramenant l'innovation à une simple actualisation d'un potentiel toujours déjà là. Nous sommes pris dans cette tension entre une forme de hasard et une forme de nécessité, ce qui rend l'innovation difficile à penser. Soit on la considère comme quelque chose de totalement exceptionnel et inexplicable, un privilège réservé à quelques individus dotés d'un talent particulier; soit, à l'inverse, on la perçoit comme une conséquence inévitable de forces déjà en place - les choses arrivent parce qu'elles devaient arriver - rendant l'identité du créateur presque secondaire.

Un enjeu actuel consiste donc à tracer une voie médiane entre ces deux obstacles, entre Charybde le hasard et Scylla la nécessité. Essayer de mieux comprendre ce qui dans l'innovation n'est pas une simple création, ce qu'il y a de véritablement neuf, sans glorifier un génie infaisable et inexplicable. Pour éviter cette tension entre mythe et réalité, chaque séance du séminaire nous permettra de travailler sur un cas concret, en créant un dialogue entre des innovateurs et des penseurs (philosophes, scientifiques) pour éclairer la question à partir de ces situations spécifiques.

Mon deuxième point concerne cette tentative de voie médiane entre les deux extrêmes évoqués. Je propose l'hypothèse que l'innovation est une réponse singulière et originale à une question collective. Ce qui fait qu'une innovation est innovante, c'est qu'elle parvient à résoudre un problème partagé par tous par une approche singulière. Cela explique pourquoi des innovations proches peuvent émerger simultanément dans des contextes géographiques différents. C'est d'ailleurs aussi vrai pour la recherche scientifique. On connaît plein de cas intéressants de découvertes qui ont eu lieu à peu près au même moment, à des milliers de kilomètres de distance et à des époques où la circulation des idées n'a rien à voir avec ce qu'elle est aujourd'hui. Ce faisant, on peut comprendre comment il y a des chaînes d'innovateurs. On peut comprendre aussi pourquoi certaines approches nous parlent immédiatement, pourquoi.

Certains problèmes sont identifiés et partagés collectivement, et qu'ils sont parfois résolus de façon similaire par différents innovateurs.

Cela nous amène également à considérer l'innovation comme inséparable de son époque et de son contexte technologique et social. L'innovation ne s'apprécie pas de manière abstraite et éternelle. On innove à un moment donné pour des raisons données. Par exemple, si le générateur automatique de comptes rendus de Nabra³ connaît un grand succès, ce sera parce qu'il répond à un besoin actuel des médecins. Cette idée, exprimée ici de façon abstraite, est une version philosophique du concept de *product market fit* dans l'univers des start-ups, c'est-à-dire la rencontre entre un produit et un marché qui éprouve un besoin réel. Dans les milieux de l'innovation, on rappelle souvent aux entrepreneurs que ce qui importe, ce n'est pas la technologie en elle-même, mais le problème qu'elle permet de résoudre. Cela signifie que l'innovation est liée à l'esprit du temps, de l'époque - ce qu'on peut nommer le *Zeitgeist*.

Les séances du séminaire viseront à explorer cette idée, en observant les problèmes que nous tentons de résoudre et le monde que nous construisons en y répondant. L'objectif ne tient pas à une simple succession de séances distinctes. En passant d'un thème à l'autre, nous essaierons de mieux saisir ce que signifie l'innovation, dans le champ de la santé, et peut-être en général.

Enfin, pour conclure, cet exercice doit potentiellement nous donner l'occasion de fermer un sujet. Il existe une impression selon laquelle l'innovation pourrait finir par tuer l'innovation elle-même. Certaines technologies, comme l'intelligence artificielle, sont perçues à la fois comme des prototypes d'innovation et comme des outils susceptibles de stériliser la politique d'innovation, en répliquant sans véritablement créer. En parallèle, certains relient l'omniprésence de l'innovation à la catastrophe écologique en cours. Le défi de ces séances d'étude sera donc également de construire un discours juste et critique.

1. Cf. Chapitre « Écosystèmes », pp. 116-117
2. Alexis Rayapoullé, « Enjeux éthiques, politiques et épistémologiques des *CAR-T cells* pour la médecine et la santé publique » (Thèse pour le diplôme d'État de docteur en médecine, UFR santé Simone Veil, Université Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, 2023).
3. Cf. Chapitre « Modèles de langage », p. 41

Une philosophie de l'innovation

Thierry Ménissier

Thierry Ménissier est professeur des universités en philosophie politique à Grenoble. Il a soutenu une thèse sur la pensée politique de Machiavel, l'un des auteurs qui développe le plus précocement une conception de l'innovation. Aujourd'hui, Thierry Ménissier est responsable de deux programmes collectifs : une chaire « éthique et IA » à Grenoble au sein de l'Institut multidisciplinaire en intelligence artificielle, et le projet TIQuA, *Tools for interdisciplinarity for QuantAlps*, qui a pour but de réfléchir avec les sciences humaines à l'émergence des enjeux liés aux technologies, et en particulier aux technologies d'innovation. Les travaux de Thierry Ménissier interrogent la manière dont, au sein de nos sociétés qui sont des sociétés d'innovation, les nouvelles technologies modifient les concepts hérités de la philosophie moderne : des concepts comme l'autonomie, l'autorité, la responsabilité ; et particulièrement dans le contexte actuel de transition environnementale et climatique. Il a publié un certain nombre d'ouvrages, de volumes collectifs, d'articles de revues, en particulier, *Innovation, une enquête philosophique*¹ aux éditions Hermann en 2021.

1. Thierry Ménissier, *Innovations: une enquête philosophique*, Philosophie (Paris: Hermann, 2021).

Conférence Thierry Ménissier

Thierry Ménissier

Professeur des universités en philosophie politique à l'université de Grenoble-Alpes, responsable de la chaire Éthique et IA (MLAI ANR PIA), responsable du projet TIQuA (IDEX UGA)

Comme philosophe, j'ai été formé à l'école de Machiavel, qui n'était pas à proprement parler philosophe, mais un intendant, un secrétaire de chancellerie. Je suis aussi spécialisé sur des auteurs comme Xénophon par exemple. Mon positionnement philosophique implique une attention portée à la fois aux organisations et aux techniques et à la manière dont les techniques, les technologies, les humains et les organisations interagissent. Ce positionnement m'a conduit à enseigner dans un institut public de management. Ce que je justifie également pour des raisons de conviction politique, les IAE [*Instituts d'administration des entreprises*] en France, il y en a une dizaine, font fonction d'ascenseurs sociaux, parmi les rares qui restent aujourd'hui à l'université. D'autre part, j'enseigne le management de l'innovation dans le cadre d'un Master, original à l'époque, que notre équipe pédagogique a fondé il y a douze ans, qui fait interagir les sciences de gestion et les sciences humaines et sociales (chose finalement rarissime) et devenu depuis deux ans «innovation-responsable». Personnellement, j'aurais préféré «management responsable de l'innovation». En fait, j'étais, après mes travaux sur Machiavel et sur la civilité politique contemporaine, en deuil de ce que Machiavel appelle la vertu civique; je cherchais une voie qui me permette à la fois de retrouver le même type d'énergie humaine et de former des jeunes qui l'éprouvaient. Après mon habilitation, j'ai beaucoup œuvré, entre philosophie et sciences politiques, à travailler sur l'ethos civique et la notion de corruption civique, à me demander quelles institutions et quelles civilités sont nécessaires pour les sociétés contemporaines. Dans ce contexte est apparu cet appel à projets de l'Agence nationale pour la recherche, qui mettait en avant l'hapax, terme qui n'était pas usité, de «sociétés innovantes». Il y avait cinq pages avant l'appel à projets qui promettaient de considérables financements de recherche pour les heureux élus qui réussissaient à associer les sciences humaines et sociales avec les sciences de l'ingénieur et les sciences des technologies de santé de manière globale. J'ai personnellement candidaté trois fois à cet appel, sans obtenir de financement – tel est l'ordinaire du métier de chercheur – mais les cinq pages d'explications sur ce que sont les sociétés innovantes ont littéralement changé ma trajectoire. J'ai trouvé la personne qui avait écrit cet appel à projets extraordinaire qui commençait comme rarement dans un texte de ce type par ce que j'identifiais comme une prise de position en philosophie politique. La collègue m'a dit: «extraordinaire début, n'est-ce pas?». L'appel à projets est revenu à quatre reprises, la dernière fois en 2018, avec un effort sémantique supplémentaire: «société innovante, intégrante et adaptative». Je ne sais pas si cet énoncé est beaucoup plus éloquent... méfions-nous des adjectifs qualificatifs! Je me suis dit que surgissait ici quelque chose de très intéressant. La

première question me taraudait: qu'est-ce que c'est qu'une société innovante? Je déclinais en deuxième question en intégrant la science et la technologie pour ces sociétés. Je n'ai pas été déçu en m'interrogeant sur la notion d'innovation et en découvrant qu'évidemment, elle est ancienne dans les langues latines, mais que son usage massif est récent.

À partir des années 1980 apparaît dans le langage du haut management international l'idée que l'on peut devenir, en innovant, le maître du changement; l'ouvrage de Rosabeth Moss Kanter (professeur de management à la Harvard Business School), *The Change Masters* (1983) est symptomatique de cette tendance. Pour un spécialiste de Machiavel qui s'est penché sur les relations entre la *virtù* et la *fortuna*, la promesse de pouvoir être *change masters* représente quelque chose de considérable, tout se passe en effet comme si se trouvait réécrit le chapitre 25 du *Prince* sur la qualité principale du responsable politique, qui consiste en la capacité de saisir l'occasion opportune afin de donner une forme à l'histoire. J'ai eu l'intuition qu'il y avait une considérable proximité entre les deux thématiques. J'ai alors orienté mes recherches sur ce thème de l'innovation. Ce qu'on pourrait nommer le logiciel machiavélien, la vision du monde de l'auteur du *Prince*, fonctionne bien pour aborder le sujet de l'innovation à l'époque contemporaine. En approfondissant, j'en suis même venu à faire l'hypothèse qu'il s'agit d'un nouveau paradigme.

La notion de paradigme (d'après le terme grec qui signifie «modèle») renvoie aux travaux d'épistémologie et d'histoire des sciences de Thomas Kuhn (*La Structure des révolutions scientifiques*, 1962), qui estime que l'histoire des sciences ne progresse pas, mais qu'elle se nourrit de révolutions et de ruptures. Kuhn explique de cette manière le changement de modèle théorique, avant d'être expérimental, qui a eu lieu avec Copernic puis avec Galilée et Newton. Je soutiens pour ma part l'hypothèse que l'innovation représente le modèle pour comprendre notre condition, non seulement sociale, mais aussi technologique et économique, puisque c'est la particularité de ce modèle, par rapport à celui qui le précède et dans lequel il s'emboîte partiellement, de mettre en premier lieu l'acte d'achat d'une technologie ou d'un service considéré comme nouveaux. C'est ainsi que ma collègue de la Business School d'Harvard pouvaient mettre en avant que l'on est maître du changement quand on conditionne l'acte d'achat réalisé par les consommateurs. Vous avez deviné quel est le paradigme précédent dans lequel s'emboîte partiellement l'innovation: c'est celui du progrès.

Une certaine confusion règne, elle me semble même entretenue en permanence lorsque nous ne sommes pas suffisamment rigoureux, entre progrès et innovation. Et pourtant les deux concepts sont très différents. L'auteur qui a inventé la notion d'innovation au sens strict, au sens non pas vague de synonymique de progrès, mais au sens strict, est un économiste extrêmement célèbre qui est aussi un très grand esprit, un philosophe de l'économie, Joseph Alois Schumpeter, Autrichien réfugié aux USA. On a pu le présenter comme le prophète de l'innovation (tel est le sous-titre de l'ou-

vrage de Thomas K. McCraw paru en 2007: *Prophet of Innovation: Joseph Schumpeter and Creative Destruction*) parce qu'il écrivait à une époque qui n'était pas du tout propice à ce que nous connaissons aujourd'hui, c'est-à-dire un marché des technologies qui transforme la société par le biais des usages. Dans les années 1940, Schumpeter se désespérait que l'économie capitaliste – selon lui, la toile de fond économique des sociétés libres – était exsangue parce que dans les régimes d'avant 1942-1943 (on ne savait pas dans quel sens allait tourner l'histoire), on voyait fleurir des nations conquérantes devenant des empires sur la base d'une économie strictement dirigiste. Ici, le fascisme et le nazisme, là, le stalinisme.

La théorie qu'il défend est extrêmement intéressante, et j'ai tenté d'en faire la généalogie. Mon travail est une enquête philosophique, comme Hérodote faisait une enquête historique dans le monde antique et comme ensuite d'autres auteurs, par exemple David Hume et les empiristes, ont fait des enquêtes philosophiques sur le fonctionnement de l'esprit humain. Dans celle que je propose sur l'innovation, j'inclus une partie de généalogie avec le rôle majeur, dès qu'on utilise le ressort mental de l'innovation pensée de manière rigoureuse, qu'a produit cet auteur. Ce qui, je crois, produit un effet extrêmement impressionnant. Schumpeter est connu pour sa théorie de l'entrepreneur, avec l'idée que, précisément, il y a une portée prométhéenne ou démiurgique, comme l'ont montré certains commentateurs de son œuvre, avec une portée surhumaine de l'entreprise pour changer le sens de l'histoire.

Je soutiens que cette énergie-là est fondatrice dans la notion d'innovation, ainsi que ses figures bien connues le montrent. La notion d'innovation, à la différence de celle de progrès – si du moins on la pense par rapport à son standard de référence schumpeterien –, s'illustre et s'exprime par des gens souvent présentés comme peu fous, énergiques, intempérants. Sur ce plan, on a vraiment l'impression qu'on est au plus loin du modèle du progrès, avec des personnes qui sont dominées par leur passion, leur désir de gloire. Il y a même l'ambition, dans leur positionnement et le discours sur elles, que des personnes comme Elon Musk et Jeff Bezos « nous montrent la voie ». Par suite, je développe l'idée qu'il existe une mythologie individualiste de l'innovation. Évidemment, tout ceci est largement illusoire, mais il s'agit également d'un ensemble de croyances qui ont une effectivité : la mythologie fonctionne. Une *keynote technology*, comme on dit sur la côte ouest des USA, de l'un de ces personnages, correspond à des millions de dollars de levées de fonds.

Il y a donc un véritable mythe de l'entrepreneur hyperactif, tout puissant, dont les désirs font l'ordre du monde. En réalité, l'innovation relève toujours, quelle qu'elle soit, d'une démarche profondément collective.

Une des meilleures contributions sur cet aspect des choses est celle de François Caron, en 2010, *La dynamique de l'innovation. Changement technique et changement social (XVI^e-XX^e siècle)*. Elle montre, à travers l'examen des différents moments de la révolution industrielle, que ce sont des collectifs de métiers différents, avec des intérêts variés, qui ont interagi pour créer des percées technologiques et ont transformé les organisations et l'ensemble des sociétés. Evoquer cette contribution indique aussi que lorsqu'on parle d'innovation, il est nécessaire de mobiliser de la culture, ce que la saturation du mot innovation dans l'idéologie dominante ne permet pas d'avoir facilement.

Ensuite, les spécialistes du management de l'innovation, par exemple Sarazin, Cohendet et Simon, auteurs d'HEC Montréal, se sont intéressés plus récemment aux communautés d'innovations et ont montré plus précisément comment une telle dynamique fonctionnait. Encore plus récemment (en 2023), les sociologues et historiens des sciences du management, comme Gaglio Godin et Vinck, dans un très beau livre – *Les théories alternatives de l'innovation [Critical Studies of innovation]* –, ont montré aussi que c'était des collectifs qui innovaient, au plus loin de la mythologie individualiste de l'innovation. En tant que spécialiste de Machiavel, je soutiens qu'on retrouve les mêmes phénomènes à l'œuvre dans les dynamiques collectives de la politique.

Une de mes questions de recherche, inspirée par les auteurs de la Renaissance, est « Vivons-nous une nouvelle renaissance ? ». La réponse est affirmative, du fait du brassage technologique et technique, comme autrefois, qui transforme la société. Mais on le vit aussi du fait de la puissance conquérante de ces grandes familles comme autrefois les Médicis par exemple, des drapiers devenus des banquiers, puis des grands-ducs de Toscane. Au-delà de l'intérêt matériel, ce sont les mêmes motivations qui animaient ces personnes : un désir de gloire, de reconnaissance inextinguible. On peut y voir Schumpeter avant Schumpeter, en quelque sorte.

Il est possible de comparer la Renaissance de manière plus précise avec notre époque, comme une volonté d'inventer de nouvelles manières de voir le monde.

La théorie de la perspective des mathématiciens de l'époque, les outils de mesure de la perspective entre architecture et mathématique. Des ingénieurs ont été favorisés par ces entrepreneurs car cela promouvait une vision du monde qui n'était pas celle, figée et rasurante d'autrefois, de la théologie médiévale. Les Médicis ont largement favorisé les sciences et les arts dans l'idée qu'il y avait un changement de vision du monde, un peu comme aujourd'hui avec les innovations. Je procède à une généalogie de l'innovation en fonction de ce référent, et il me semble qu'aujourd'hui la Renaissance se reproduit effectivement, d'ailleurs pour le meilleur et pour le pire : apports de la science, mais aussi perte des points de repère et, corrélativement, développement d'une inquiétude extrêmement puissante émotionnellement.

Les théories schumpétériennes sont intéressantes car elles installent une représentation du temps originale, celle que les startuppers vivent intuitivement, mais qui consiste à vivre finalement la vie et la mort en même temps en permanence. En présentant les choses de la sorte, je force un peu le trait, mais cela permet d'apercevoir les référents sur lesquels s'appuyait Schumpeter de manière très implicite. Il avait en effet lu les anarchistes de son époque avec cette idée que la joie de la destruction est en même temps une joie créatrice – on dirait du Elon Musk, mais c'est du Bakounine (*La Réaction en Allemagne, 1842*) –, avec ce thème de la destruction créatrice chez Schumpeter, qui est un thème absolument fondamental pour sa théorie économique et pour sa philosophie de l'histoire. On trouve aussi là, très clairement – ce point a été établi par les commentateurs qui ont travaillé sur l'entrepreneuriat chez Schumpeter –, une trace nietzschéenne très forte. Deux types d'auteurs – philosophie anarchiste et nietzschéenne – extrêmement différents des auteurs du progrès.

Quant à l'idée de progrès, justement, je soutiens que l'innovation doit être considérée comme un concept post-progressiste. Si du moins on se tient avec rigueur aux standards schumpétériens, obligatoirement, l'innovation est un concept post-progressiste et même antiprogessiste. Post-progressiste, encore mieux dit, puisque les deux modèles sont relativement emboîtés l'un dans l'autre, notamment sur le plan historique. Or, souvent on prend, quand on n'y prête pas assez attention, l'un pour l'autre. Et pour comprendre ce qu'est l'idée de progrès, on peut faire référence au livre de Taguieff, *Le sens du progrès*, notamment le chapitre 2 «Progrès, avenir, histoire: la configuration moderne».

On entend par progrès une évolution générale et améliorante qui reposerait sur une accumulation de connaissances, ce qui implique une représentation linéaire de l'histoire de la vérité. En fait, d'un point de vue épistémologique, et pour une raison simple, ce modèle est faux: comme l'a montré Kuhn, que j'évoquais tout à l'heure, littéralement, les sciences ne progressent pas: il y a des ruptures révolutionnaires, des révolutions scientifiques. Au sein d'un paradigme, on a l'impression d'une évolution, mais au plan global, il n'y a pas vraiment de progrès linéaire dans l'histoire des sciences, mais plutôt de véritables ruptures et des révolutions.

En tout cas, le progrès est facteur de santé, de confort, de prospérité et de bonheur. Il y a une ambition sociale dans la notion de progrès. Stricto sensu, cette ambition sociale s'est évanouie dans la notion d'innovation. On peut dire que l'innovation, c'est le progrès débarrassé de l'ambition sociale ou du scrupule humaniste. Moi-même, je suis assez fortement impliqué dans des programmes d'enseignement dans les écoles d'ingénieurs à Grenoble, et je constate parfois que plus de la moitié des élèves ingénieurs n'a comme seul désir que d'être PDG d'une startup à 25 ans. La dimension sociale profondément structurante du progrès semble relativement absente de leurs motivations, du moins avant qu'ils aient eu l'occasion de réfléchir au sens plus profond de leur future profession.

Pour l'idéologie du progrès, la connaissance rationnelle conduit au bonheur. Nous autres, modernes aussi bien que contemporains, sommes plus ou moins en accord avec ce point. J'attire votre attention sur le fait que ce n'est pas si évident: de nombreuses civilisations ne sont pas d'accord sur ce point, sans même parler de civilisations traditionalistes, ou aujourd'hui revivalistes, campées sur leurs acquis traditionnels, ni même évoquer les Grecs et leurs auteurs tragiques. Voyez l'histoire de ce pauvre Œdipe: dans la tragédie de Sophocle, il devient enquêteur, juge et justicier, et quand il découvre la vérité, il se crève les yeux. Derrière ce mythe, il y a la sagesse grecque qui consiste à ne pas trop chercher à savoir la vérité. De son côté, à travers une idéologie progressiste construite dans l'histoire, notre science fait de nous des êtres conquérants se rêvant «comme maîtres et possesseurs de la nature», selon l'expression de Descartes, moderne parmi les modernes. Et si l'on continue de documenter l'idéologie progressiste, il faut évoquer des auteurs comme Saint-Simon (1760-1825) et sa théorie de l'industrialisme avec cette remarquable vision de l'histoire qui consiste à dire que la connaissance va éclairer l'avenir et nourrir un modèle de société harmonieux. C'est le saint-simonisme, du nom de l'économiste et philosophe français, qui a été attaqué par Marx qui l'a appelé méchamment «socialisme utopique». Un «socialisme utopique» composé selon lui de rêves qui visaient à transformer pour l'améliorer, par la science mise en industrie via les différentes techniques et technologies, la société et en faire finalement l'expression sociale de

la Révolution française. Avec, par exemple, des représentations d'usines présentées comme de véritables palais pour le peuple, comme le phalanstère de Fourier, un des modèles imaginés pour que les ouvriers soient heureux d'y travailler.

J'achève le constat en soutenant qu'aujourd'hui, il existe une perte de valeur pour l'idée de progrès. Pourtant, elle constitue encore le ressort implicite des sociétés de haute technologie. On peut, pour s'en rendre compte, sonder nos enfants. Moi-même, avec les miens, en leur demandant quand on doit changer de téléphone mobile, j'ai pu avoir ce genre d'échanges: «— C'est bien, tu t'intéresses à l'électronique. — Mais, papa, je ne m'intéresse pas à l'électronique. — Tu veux changer d'appareil tous les deux ans, tu t'intéresses donc à l'électronique? Tu es un obsédé de la puce, mon fils. — Mais pas du tout, ça ne m'intéresse pas la manière dont ça marche, ça ne m'intéresse pas de savoir ce que ça peut apporter aux humains. Ce qui m'intéresse, c'est le confort de la haute technologie.» On pourrait suggérer qu'à partir de ces réponses se dessine le type humain de l'innovation, du moins au sens schumpétérien du terme, c'est-à-dire quelque chose qui n'est pas simplement l'apparition des technologies, mais les technologies mises en société via des marchés, avec une stimulation du désir qui, grâce aux ressources extraordinaires du marketing, fait passer les désirs pour des besoins. Cet aspect avait été remarquablement anticipé par Jules Verne avec le personnage de Nemo (1872), ingénieur misanthrope et résistant politique au capitalisme anglais, qui coule les bateaux de commerce avec son sous-marin *Le Nautilus*: une figure *high tech* en résistance à la dynamique industrielle et capitaliste.

Comme le dit très bien Étienne Klein dans un livre ancien qui défendait la valeur des études scientifiques, un essai sur la perte de vocation des étudiants en sciences qui souhaitent devenir startups, mais sans l'amour des sciences étudiées pour elles-mêmes. En décrivant ce contexte, Klein écrivait: «*Nous prétendons ne plus croire au progrès, mais nous tenons à lui encore farouchement même si ce n'est plus que de façon négative, c'est-à-dire en proportion de l'effroi que nous inspire l'idée qu'il puisse s'interrompre*». Cette jolie formule signifie que le progrès, on prétend ne plus y croire, mais on y tient avec une force extraordinaire, quoique de façon négative: c'est-à-dire en proportion de la très grande peur que nous inspire l'idée qu'il puisse s'interrompre. Si le progrès s'interrompt, l'histoire, la temporalité devant nous, n'a en effet plus de sens. Souvenez-vous de ce que suggérait Taguieff: la configuration moderne, c'est ce qui met en relation progrès, avenir et histoire. C'est-à-dire que la philosophie de l'histoire, impliquée dans l'idée de progrès – le fait que les sciences et les techniques transforment la société –, tient lieu de promesse téléologique, pour employer une expression philosophique, à la place des eschatologies religieuses: à la place des grands récits de la fin du monde ou de l'arrivée du Messie, nous, les modernes, avons le progrès. La notion de progrès, qui renvoie à la responsabilité des scientifiques, des savants via l'industrie et qui est en crise aujourd'hui. Apparemment, cette notion de progrès a trouvé dans l'aiguillon très fort de l'innovation de quoi la ressourcer ou la maintenir un peu en vie. Mais cela même n'a rien d'évident: Étienne Klein, dans ses derniers ouvrages, s'oppose par exemple à l'innovation tout en vantant les mérites du progrès. Il admet lui aussi que ce sont deux modèles extrêmement différents.

J'en viens à mon concept majeur. Souvent, des collègues philosophes m'ont recommandé d'abandonner aux économistes l'innovation et son prophète Schumpeter. Mais non! Schumpeter doit bel et bien

être regardé comme un économiste philosophe qui propose une vision de l'histoire. Et sur la base de cette vision, le concept majeur que je propose est «l'innovation sauvage». Cette notion de sauvagerie entre en résonnance avec les émotions que j'ai déjà évoquées à propos des grands patrons des GAFAM, startups devenus grands multimilliardaires, et est assez particulière pour qualifier l'innovation au regard du progrès. Il y a une sagesse dans le progrès. L'idéal de progrès porte en lui une sorte de sérénité. En réalité, dans l'innovation sauvage on trouve des aspects plus inquiétants, plus dangereux aussi, que mon prédécesseur le philosophe Bernard Stiegler, décédé en 2019, avait déjà mis en avant.

Vous connaissez peut-être Bernard Stiegler. Au sein d'une œuvre proliférante un de ses derniers ouvrages paru en 2016 s'intitule *Dans la disruption* et le voit transformer en concept le mot anglais *disruption*, qui signifie «rupture». Cette transformation en un concept, c'est le propre du travail philosophique que j'appelle sémantiser : examiner scrupuleusement ce qui dans les mots peut devenir concept, quelque chose qui éclaire le réel tout en nourrissant la pensée. Ce livre décrit la situation dans laquelle nous vivons, celle de la disruption. Le sous-titre précise : *Comment ne pas devenir fou*. Stiegler, qui évoque notamment les infinies transformations sociales engendrées par la révolution numérique, suggère que la profusion d'options possibles n'offre pas une orientation claire. Il y a une multiplicité de champs de bataille tactiques et on ne saisit pas la perspective générale du combat qu'il y a à mener contre l'obscurantisme, contre les différents maux, etc. Stiegler s'intéressait vraiment aux relations entre la technique, la technologie et le temps. Il a d'ailleurs fait sa thèse sur ce sujet, ce qui a donné son grand livre, *La technique et le temps*.

L'hypothèse, qu'il pousse à son terme, c'est qu'aujourd'hui, comme le disait Shakespeare dans *Hamlet*, «le temps est hors de ses gonds». Il n'y a plus de relation entre le sens profond de ce que nous faisons, avec les connaissances scientifiques mises en technologie et industrialisées, et nos propres désirs. Dans le même sens, certains auteurs de la théorie critique, comme Hartmut Rosa, ont parlé d'accélération. Rosa opère une critique générale de la situation industrielle qui me semble pouvoir concerner la notion d'innovation. Dans ce livre extrêmement intéressant, il est démontré que la variable temporelle de l'activité sociale échappe désormais à la mesure humaine. Cette situation me semble typiquement liée aux outils technologiques que nous utilisons et à la manière dont ils sont diffusés dans la société via les différentes formes d'actes d'achats. Parfois même, on ne se rend pas compte qu'on achète ces outils - vous vous souvenez du slogan qu'on trouve en innovation : «si c'est gratuit, c'est que le produit, c'est vous». Parfois, les *business models* sont tellement subtils qu'on se dit «mais c'est gratuit» alors qu'en fait ce n'est pas le cas et qu'on nous vend quelque chose, bien sûr.

On peut faire ici plusieurs remarques. Tout cela tend à montrer comme d'autres l'ont fait mieux que moi dans la théorie critique - Habermas, Marcuse et aujourd'hui Feenberg, philosophes inspirés par la théorie critique de l'école de Francfort - qu'aucun système technique n'est neutre. Il reflète des valeurs et exprime des intérêts, en ce sens que quand vous achetez une technologie mise en marché qui transforme la société, vous collaborez à un système de valeurs capitalistes, présentes de manière invisible et implicite. Voilà ce que dit la théorie critique. L'acte d'achat d'une solution, par exemple informatique, numérique ou algorithmique performante, ou

d'un service, consiste à souscrire sans résister à un système global.

Je soutiens ainsi qu'on peut considérer l'innovation comme le modèle de notre condition éco-socio-technique, au sein de laquelle les valeurs éthiques jouent un rôle fondamental. Dans la chaire éthique & intelligence artificielle que j'anime dans l'institut grenoblois d'IA, MIAI, nous soutenons que ce qu'on appelle éthique de l'intelligence artificielle, souvent, consiste en des déclarations décoratives, un masque pour vendre des solutions.

Comme des valeurs sont bel et bien présentes dans toute innovation, il faut aller plus loin et militer en faveur d'une éthique substantielle des technologies, notamment une éthique des vertus. Des valeurs douteuses sont parfois littéralement incorporées dans les objets techniques, par exemple, pour certaines marques d'automobiles, des valeurs virilistes. D'où le fait que leurs conducteurs sont conduits par leur usage normal de tels véhicules à se comporter en fonction de valeurs humainement discutables. En regard de quoi, une éthique arétaique, une éthique visant à identifier les vertus, donc une éthique substantielle des technologies, est tout à fait possible à condition d'envisager une réelle éthique des technologies, ce qu'on ne fait jamais. Le marketing se trouve implicitement chargé de l'approche éthique. En fait, il n'existe pas d'éthique de l'innovation, tout repose sur le consommateur qui donne son consentement à telle ou telle innovation via l'acte d'achat. Pour une philosophie éthique et politique qui s'intéresse aux technologies et aux services innovants, la marge d'amélioration de la réalité apparaît ici énorme. Nous ne sommes qu'aux débuts de ce qu'il faut transformer. C'est la première remarque.

Deuxième remarque, la transition technique engendre toujours des formes de résistance, de contestation, voire de violence. L'exemple qu'on peut donner en France, ce sont les canuts lyonnais qui se sont opposés avec courage à la transformation de l'artisanat du tissage au profit des métiers à tisser qui les mettaient au chômage. C'est un exemple très important historiquement, mais l'exemple le plus connu en la matière est celui du ludisme, terme qui renvoie à une histoire peut-être mythologique, dont Marx atteste dans le livre I du *Capital*. Il parle d'un acteur social étonnant qui se serait appelé John Ned Ludd, qu'on appelait «Captain Ludd», «General Ludd» ou «King Ludd» et qui avait pris la tête des gens qui brisait les machines à tisser. On connaît aujourd'hui des vagues de néo-luddisme, par exemple dans l'opposition aux mégabassines. Ce néo-luddisme s'oppose à la fois aux transitions technologiques et à l'industrialisme, en l'occurrence dans des domaines comme l'agroalimentaire. Ce genre de mouvement donne à penser le statut de la résistance à l'innovation (et je consacre dans mon livre un chapitre entier à la notion de résistance à l'innovation).

L'innovation sauvage, évidemment, du fait qu'elle est insérée dans une dynamique capitaliste d'enrichissement très rapide, met au chômage des personnes. Vous connaissez peut-être l'histoire de Kodak qui a vu divisés ses actifs par je ne sais combien en seulement un an et demi. Tandis qu'un de leurs employés avait conçu une nouvelle manière de réaliser des photos, grâce à l'électronique et sans papier ni chimie, Kodak n'a pas su saisir la portée de cette innovation - on dit souvent que cette société n'avait juste pas vu qu'elle ne fabriquait pas des photos, mais des souvenirs. La firme ne pouvait pas anticiper : elle devait gérer des bataillons de chimistes spécialistes de la réaction photographique sur papier alors que bientôt, et très rapidement, produire des images al-

lait devenir moins cher avec des moyens électroniques. C'est le grand problème des transitions à propos duquel Schumpeter pouvait écrire que «le nouveau ne provient pas de l'ancien, mais surgit à côté de lui et lui fait concurrence jusqu'à le ruiner» (*Théorie de l'évolution économique*, 1911). Par suite, dans la compétition de l'innovation, selon la théorie standard, il est extrêmement difficile d'identifier ses concurrents. Le concurrent n'est pas dans le rétroviseur, il ne va pas vous rattraper, il va arriver d'ailleurs. Et, du coup, la brutalité des transitions historiques liées à l'innovation représente pour toutes les organisations, surtout celles qui sont très installées, un vrai challenge.

Au cours de mon enquête, au sein des organisations où je pouvais enquêter, j'ai de plus identifié des tensions entre ceux qui produisent l'injonction à innover et ceux qui la reçoivent et qui doivent s'accommoder sur le terrain en faisant des sacrifices, moyennant parfois des formations et des réorientations. Parfois, ce n'est pas possible. D'où un certain nombre de questions.

Peut-on réellement substituer l'innovation au progrès, comme l'époque contemporaine ne cesse de le faire croire? Qu'est-ce qu'une innovation réellement améliorante? Questions cruciales puisque ce que l'on nous vend, ce sont souvent des gadgets. Le concept d'innovation peut-il être entendu au-delà ou en dehors du capitalisme? Enfin, comment apprivoiser l'innovation sauvage, qui plus est en période de transition environnementale? Ce sont des questions à portée éthique et politique. Il faut penser une éthique à tous niveaux de cette question de l'innovation. Doit-on prendre au sérieux ce que j'appelle le caractère post-progressiste et pourtant structurant du changement innovant? Je vais quelque peu développer ce point. Cela est en effet possible en inventant ce que j'appelle un espace-temps collectif cohérent, robuste et doué de sens.

Je vais expliquer comment cela est possible, en prêtant attention à un ordre de faits très important dont je n'ai pas encore parlé: l'innovation sociale. Cette expression renvoie à tout ce qui n'est pas technologies industrielles, capitalistes, managériales et organisationnelles. Alors de quoi parle-t-on? De tout le reste, en renvoyant à la démarche collective d'engagement de la nouveauté orientée par des designs qui ne sont pas tous commerciaux. On a pu observer ce genre de démarches typiques de l'innovation sociale dans le secteur hospitalier durant la crise du COVID-19 lorsqu'il y a eu la crise des masques et que les équipes devaient opérer au bloc et qu'il y a eu une pénurie de masques sanitaires. Dans cette phase particulière où la France avait détruit ses stocks de masques et n'avait pas pu en acheter d'autres (quand on ne lui avait pas volé ceux qu'elle avait achetés...), que s'est-il passé? On ne peut pas oublier le symbole: on a détourné les choses, comme souvent dans l'esprit d'innovation, et des opérations chirurgicales ont eu lieu dans des blocs opératoires avec des masques Décathlon, des masques de plongée. Quand on connaît un peu le milieu médical, on imagine très bien la manière dont l'idée a initialement été reçue par la direction de l'hôpital. «— Qu'est-ce que vous faites? — Ce qu'on fait, c'est qu'on se débrouille. On agit sur le terrain avec quelque chose qui ne sert pas à ça, mais qu'on utilise à cette fin». Je vous rappelle que lorsque Galilée a braqué la lunette astronomique sur la Lune, la lunette astronomique existait depuis 200 ans, elle servait à envoyer des boulets de canon sur les ennemis, usage intéressant mais évidemment limité. La lunette servait à la balistique, Galilée l'orienta autrement. C'est une innovation radicale et on lui a dit «qu'est-ce que tu fais? Un si bon télescope, que vas-tu donc le braquer sur les étoiles?».

Mais justement, par ce détournement d'usage, Galilée redonne des possibles à cet objet usuel, et invente une manière révolutionnaire de voir et de penser.

Ainsi, l'innovation sociale est quelque chose qui naît parfois dans la nécessité, transforme les usages et donne le pouvoir à ceux qui s'en emparent dans l'adversité. On a vu de très nombreux cas pendant la Covid où des équipes, sur le terrain, non seulement réinventaient l'esprit de l'innovation, mais s'en emparaient pour accomplir leurs tâches, alors que les hiérarchies et les organigrammes n'étaient pas spontanément disposés à accepter les modifications apportées à des procédures contraintes. Or, ce genre de démarche a beaucoup transformé les choses et cette idée est très forte. On peut en effet affirmer que dans l'innovation sociale se joue une nouvelle institution imaginaire de la société. Je vais expliquer ce que signifie cette formule. Les projets d'innovation, quels qu'ils soient, sociaux et autres, intègrent toujours des communautés dont les intérêts sont très différents. Cela conduit à interpréter, je crois, la dynamique de l'innovation dans un sens non pas capitaliste, mais politique, tout en conservant sa dimension sauvage, la dimension de réinstitution de la société à partir d'une idée nouvelle, souvent brutale et qu'on ne voit pas venir.

J'emprunte la notion d'institution imaginaire de la société à un auteur majeur de la tradition philosophique et politique, le philosophe grec français d'adoption, Cornelius Castoriadis. Il a écrit un livre en dialogue critique avec l'œuvre de Marx, en voulant montrer que la dynamique sociale n'obéit pas à l'économie, mais à une autre logique qu'il appelait «l'imaginaire». Et cette notion d'imaginaire renvoyait pour lui à des pratiques, et précisément à la mise en œuvre, au sein des pratiques, d'un *logos* et d'un *teukhein*. Le *logos* est le fait de construire un récit, un discours; le *teukhein* renvoie à l'agencement technique, à la fabrication. Si Castoriadis n'évoque pas directement l'innovation, le référent sur lequel il se fonde nous donne à penser l'innovation sociale. Il s'agit de la Grèce antique, dont il pensait qu'elle était le berceau de l'humanité. À Athènes, sur la colline de l'Acropole, on a construit le Parthénon et avec ce prodige un discours de grandeur. Voilà pourquoi il y a une institution imaginaire: de manière originale sont associés des moyens pour produire un tournant civilisationnel.

Je souligne le fait qu'en interprétant les choses de la sorte, il y a une ressource dans l'innovation qu'il n'y avait pas dans le progrès. Elle est en effet beaucoup plus libre. Plus sauvage aussi, mais plus libre. Elle ne dépend pas des planifications, comme dans le cadre du progrès. Elle ne demande pas une très haute expertise. Dans le progrès ce sont des savants qui opèrent. Dans l'innovation, ce sont parfois des *outsiders* qui transforment les choses. Et souvent les plus belles réussites naissent au fond de garages. Les deux modèles sont très différents à cet égard. Dans la notion d'innovation telle que je l'interprète, on trouve encore une ressource qui n'a pas été révélée jusqu'ici. La dimension politique des processus d'innovation n'a pas été tellement comprise. Je dirais que l'innovation sociale apprivoise l'émergence sauvage de la nouveauté qu'avait bien théorisée Schumpeter sur le plan capitaliste, mais pas sa puissance perturbatrice de capacité à changer de manière imprévisible grâce à des solutions ingénieuses et intéressantes. Et cela permet de réorienter, réinventer l'activité collective et sociale dans le sens de socialiser. On a pu voir ça dans toutes les équipes qui, sur le terrain, ont eu beaucoup de difficultés et ont inventé une solution originale, parfois devant le scepticisme de leur hiérarchie.

On peut donc affirmer que, malgré les apparences, l'innovation véritablement améliorante ne provient jamais du tout technologique. On peut même démasquer le bluff technologique avec Jacques Ellul, philosophe chrétien tendance anarchiste, en mobilisant sa fameuse notion de « bluff technologique » (1988). Le bluff technologique, c'est le fait de toujours croire que la dernière solution technologique mise en marché par l'industrie est capable de transformer notre vie en mieux. On peut ajouter qu'il convient, au contraire, de garder l'innovation dans ce qu'elle a d'intéressant, mais de critiquer ce qu'Ivan Illich appelait, dans son livre sur la convivialité par exemple (1973), le « monopole radical ». Illich est un auteur qui écrivait contre la médecine technologique, contre l'Éducation nationale, contre tous les monopoles. Il est le premier auteur qui a démontré calculs à l'appui que bientôt - de son point de vue dans les années 1970 - les vélos iraient plus vite que les voitures en centre-ville du fait de la concentration industrielle des automobiles en milieu urbain.

Ma conclusion est que l'innovation véritablement améliorante provient du type de socialité, du type de relation humaine qu'on peut faire naître dans cette dynamique de l'adversité face aux difficultés, dans les difficultés, pas du tout contre les opportunités technologiques mais avec elles, de manière mesurée, grâce à une concertation entre les parties prenantes qui implique que l'on puisse s'entendre sur la convivialité. La convivialité illichienne n'est pas seulement un échange social, elle est un échange social *via* les technologies. Le propos de cet auteur est typique de l'apparition de la société industrielle consumériste qui est la nôtre. Formé par le thomisme, lui-même d'inspiration chrétienne, Illich développe une éthique arétaïque dans laquelle il vante le bénéfice de certaines vertus éthiques, lorsqu'il évoque la joie dans la modération et la sobriété.

Dans cette perspective, puisque l'éthique consiste à coordonner un sens et des règles pour la vie, on peut évoquer à ce propos le travail de la philosophe étasunienne, Martha Nussbaum, sur ce qu'elle appelle « l'imagination participative ». Cela consiste à enrôler dans les différents niveaux sociaux ou collectifs en souffrance, la volonté de se réapproprier les valeurs, de les formuler explicitement et de dialoguer dans les parties prenantes pour créer de nouvelles capacités. Il y a donc un socle philosophique qui permet d'assurer cette notion d'innovation sociale. On peut l'évoquer pour achever ce propos dans différents ateliers autour des projets d'innovation; c'est ce que je cherche à faire moi-même, et pour cela j'ai inventé des méthodes pour que les acteurs de telle ou telle branche d'activité, par exemple les soignants, puissent se réapproprier le sens de leur activité alors qu'ils sont en souffrance parce qu'on leur impose pour la réaliser des procédures contraintes et des outils rigides (comme des plateformes numériques) qui leur font violence. Le type de questions à poser est alors: comment peut-on négocier avec les ingénieurs, avec la hiérarchie qui veut de la performance et avec leurs propres valeurs, avec les usagers qui en l'occurrence deviennent des consommateurs dans les cliniques? Comment faire pour reconstituer un paysage d'intérêts qui tient compte de ce qui est possible, ce qui est souhaitable et pour assouplir ce qui n'est pas négociable pour certains? Telle est la clé d'un management responsable de l'innovation. Ce management responsable de l'innovation devient nécessaire. On peut nommer cela le *co-design*, terme à la mode, et en français on dirait: « innovation participative ».

J'ai décidé moi aussi d'innover ce soir, car je vous réserve la primauté d'un concept. Pour ma part, j'aime bien inventer des concepts. On a révélé que l'innovation pouvait représenter un concept douteux parce qu'il est d'origine capitaliste. Or, mon expérience des situations d'innovation m'a permis d'observer que l'innovation sociale fournit les bases d'une pratique qui peut très bien exister en dehors du capitalisme; mais pour bien la démarquer de l'innovation intéressée, vectrice de profits, il faut peut-être changer de terme. C'est pour cela que je veux vous proposer un terme nouveau, « l'exnovation ». On a gardé *novation* parce qu'il s'agit bien de désigner la production d'une nouveauté, et même de conserver la puissance perturbatrice qu'aurait aisément appréciée un auteur comme Castoriadis, j'en suis certain. Par les pratiques d'innovation sociale, s'institue en effet un imaginaire. Tout à coup à l'hôpital, vous vous faites opérer, vous ouvrez les yeux, ils ont tous des masques Décathlon. L'imaginaire du bain, à la mer ou à la piscine est projeté dans la salle d'opérations de l'hôpital! Il se produit au moins un déplacement des imaginaires. Et c'est bien ce qui choque les hiérarchies et les organigrammes, toujours gardiens des temples. Mais les soignants, en situation d'adversité, ont retrouvé le sens de leur activité en créant les conditions d'un nouvel imaginaire. Dans les pratiques d'innovation sociale, on trouve un énorme potentiel de création de nouveautés, il importe de le mobiliser. La notion d'exnovation permet de souligner cette dimension d'émergence, de réinvention de la vie sensée dans le mouvement même de l'activité. On pourrait dire que l'exnovation, c'est l'innovation rendue à sa nature vraiment sauvage, vectrice d'émancipation à travers la réaffirmation permanente de l'autonomie des acteurs.

Discussion ①

L'éthique de l'innovation

Question 1

Membre du public

Ce qui m'intéresse est ce qu'on nomme en anglais «*reverse innovation*». C'est-à-dire que nous sommes habitués à ce que l'innovation soit issue des pays développés, mais on voit ces dernières années que des innovations viennent des pays en voie de développement. Comment garantir l'éthique de ces innovations, là où il est très rare de poser cette question de l'éthique ?

Thierry Ménissier

Comme vous le savez, l'idéologie du progrès n'a pas empêché des rapports Nord-Sud extrêmement déséquilibrés. Et même, il y a aujourd'hui des critiques du progrès qui s'inscrivent dans cette dimension. Plusieurs auteurs critiquent en effet le progrès en mettant en lumière le fait que le progrès des Européens se trouve lié à une dynamique industrialiste qui spoliait les ressources des pays pauvres, des pays conquis et qui, d'autre part, asservissaient la nature. Donc l'idée de progrès n'a pas le vent en poupe du point de vue d'un certain nombre de critiques, pour des raisons tout à fait fondées, notamment du point de vue géopolitique. Le progrès est aussi un concept qui, géopolitiquement, dans l'histoire des 19^e et 20^e siècles, s'avère impérialiste. Cela fait que la notion d'innovation en est venue à perturber complètement ce schéma, au point que des start-ups africaines ou asiatiques développent des standards totalement originaux. Cela fait profiter les pays de manière plus ou moins endogène, il y a souvent des capitaux extérieurs, mais il n'en demeure pas moins qu'il y a des cas de transformation sociale par l'innovation. Par exemple, depuis les années 1990 la téléphonie mobile a «*disrupté*» pour le meilleur le système bancaire européen, au profit des transferts de fonds directs à sa famille, par exemple. On a vu aussi les drones être inventés en Afrique, là où il y a des mauvaises routes à cause du paysage, à cause du climat, des routes de brousse, des drones pour pouvoir transporter des vaccins ou des poches de sang de manière beaucoup plus efficace. Le pouvoir «*sauvage*» de l'innovation est attesté dans les pratiques innovantes d'aujourd'hui. Ça permet de compenser les mauvais côtés du progrès et le caractère fondamentalement critiquable du progrès si on entend par là la puissance industrielle des pays Occidentaux.

Membre du public

Sur le plan pratique, si l'on prend par exemple un réseau social comme TikTok, d'origine chinoise, il y a une certaine frustration, une certaine crainte de ce réseau social parce que l'on n'est pas sûr qu'il respecte les codes de l'éthique. Je pense que la solution serait d'aller vers une «*cour suprême de l'éthique*» qui contrôlerait tout le monde, l'IA, les humains.

Thierry Ménissier

Combien y a-t-il d'utilisateurs de TikTok ? Des millions. Et ce nombre d'utilisateurs a été très rapidement atteint. De telles compagnies obtiennent des valorisations monstrueuses en un nombre très limité d'années. Leurs inventeurs, leurs promoteurs, et à plus

forte raison leurs financeurs, sont riches à milliards en quelques mois. Du point de vue machiavélien qui est le mien, du point de vue de l'observation lucide de rapports entre les intérêts, ce monde ne souhaite pas du tout qu'on le contrôle éthiquement. Les utilisateurs de ces technologies n'accepteraient que très mal, dans le monde hédoniste dans lequel nous vivons, qu'il y ait un tribunal suprême, une «*cour internationale de l'éthique*» selon votre intéressante suggestion. En revanche, je dirais qu'en montrer les méfaits, parvenir à une meilleure autonomie des personnes dans l'évaluation de leurs propres pratiques par le biais de l'éducation ne me semble pas incompatible avec la société libérale dans ce qu'elle a de meilleur : considérer que les personnes sont fondamentalement libres et responsables de ce qu'elles font. J'aurais tendance à dire que, du coup, ce sont les excès de ce système qui vont le condamner. En somme, on voit bien que l'industrialisme hédoniste délirant est déjà en train de régresser, d'une certaine manière sous l'effet de l'urgence environnementale. On voit bien qu'il y a un grand nombre de mauvais aspects dont les gens commencent à avoir conscience, et à cet égard il se produit un combat entre d'une part le désir de s'étourdir, le désir de jouir qui n'est pas limité et ne désire pas l'être et, d'autre part, la prise en compte des méfaits de cette manière de faire. Il s'agit d'un combat permanent qui passe par la conscience des usagers. Mais si vous instituez un tribunal du réseau numérique sur le plan éthique en plus, je ne suis pas certain que cela puisse fonctionner.

Question 2

Membre du public

Vous avez parlé à juste titre de l'éthique de l'innovation, est-ce qu'il y en a une ? Je parlerais aussi de la gestion de l'innovation. Nous sommes confrontés, par exemple dans les hôpitaux, aux thérapies innovantes. Les thérapies géniques ont un coût énorme et, dans un budget, on est amené à avoir une réflexion éthique pour savoir qui peut en profiter. Surtout quand on fait profiter quelqu'un de cette thérapie très coûteuse, sans enlever d'autres traitements et d'autres accès au soin sur des thérapies plus conventionnelles et moins scandaleuses. Il y a donc une gestion qui pourrait introduire ailleurs l'éthique de l'innovation.

Thierry Ménessier

Se pose à moi la même question du point de vue de l'éthique des technologies algorithmiques. Souvenez-vous qu'on nous a présenté l'intelligence du véhicule autonome dans sa capacité à faire des choix qui évoque ce qu'on appelle *the trolley problem*: le dilemme du tramway. Le véhicule serait intelligent parce qu'il choisit de tuer deux personnes pour ne pas en tuer cinq dans l'habitacle, ou quatre. Se développe actuellement toute une fausse éthique des innovations sur le mode de ce type de dilemme conséquentialiste, largement critiqué par la théorie morale. Mais vous voyez, le problème des ingénieurs et des managers, c'est qu'ils n'ont pas assez de connaissance en théorie morale. On habille donc souvent aujourd'hui des arguments et revient sans cesse ce problème, ce dilemme du sacrifice. Ce dilemme qui nous contraint à ne pas faire l'économie d'une véritable réflexion de type éthique et politique sur les situations dans lesquelles nous sommes. Je crois que c'est malheureusement la circonstance dans laquelle nous sommes, de l'évolution même des technologies, de la pénurie des moyens, qui va nous amener à développer des comités d'éthique

des innovations qui vont amener très probablement les instances hospitalières - là-dessus elles devront avoir suffisamment de recul - à nous contraindre à faire des choix drastiques qui sont inhumains. Le problème du dilemme du tramway, c'est qu'il est fondamentalement non éthique parce qu'il est toujours légal. Vous ne pouvez pas imaginer à quel point, par exemple, les informaticiens qui fabriquent les algorithmes font semblant d'être persuadés que c'est un argument éthique. Mais ça ne l'est pas du tout et ça ne l'a jamais été dans la tradition de philosophie morale. Or, on le retrouve pourtant partout ce dilemme sacrificiel qui s'accommode très bien du capitalisme, étroitement entendu, qui ne fait pas société, qui ne développe pas de vivre en commun. Merci pour votre remarque, elle est très puissante. Après, on retrouve l'esprit d'innovation sociale. Il faut trouver des structures, des lieux, des manières de faire pour dialectiser cela, les porter au dialogue critique et inventer des manières d'être.

Discussion ②

L'innovation sociale

Question 3

Membre du public

Je voulais vous entendre un petit peu plus sur la question de l'innovation sociale car, pour moi, c'est un peu un barbarisme: deux termes collés ensemble que je n'arrive toujours pas bien à comprendre au-delà de l'injonction, au-delà de l'analyse qu'on peut faire en soi du terme d'innovation. J'ai plutôt l'impression que c'est une manière d'absorber un peu l'univers techno et avec tout ce que cela draine (culture de la performance, de la mesure, etc.) dans ce qui relève du social et des relations sociales. Donc, quand on parle d'innovation sociale - vous citez l'exemple des masques de plongée de Décathlon pendant la crise du Covid -, j'ai du mal à nommer cela comme une innovation sociale. C'est un usage bricolé en temps de pénurie, heureusement, ça ne s'est pas développé ensuite. Les chirurgiens ou les soignants n'utilisent plus de masques de plongée en lieu et place de masques.

Du coup, pour moi, le social, ce sont des modes de relation. Je me disais donc que dans l'innovation sociale, dans tous les exemples que vous avez pu donner, qu'est-ce qui change dans les relations sociales ? La structure de l'entreprise, la hiérarchie de l'entreprise,

la structuration de l'hôpital n'ont guère été changées par cet usage, etc. Donc, je ne parlerais pas d'innovation sociale: j'appellerais cela du «bricolage».

Thierry Ménessier

Alors, cette notion de bricolage est régulièrement appelée. Vous êtes sociologue; les sociologues visent souvent la pureté du social. Or, on le sent bien, la pureté du social est comme salie avec le mot «innovation». Certes, je vous le concède. La notion d'innovation sociale est mal qualifiée. Je vous l'ai dit, elle sert à désigner dans la littérature courante, dans l'état de l'art même, tout ce qui n'est pas innovation technologique, organisationnelle, managériale, etc. C'est quelque chose de très varié. Elle est mal qualifiée. C'est probablement un monstre théorique. C'est presque un oxymore. J'aurais tendance à affirmer que c'est un oxymore, puisque vous voyez que je respecte l'origine de la généalogie schumpeterienne. Je suis donc d'accord avec vous. Il n'en demeure pas moins, et c'est là je crois l'idée forte de l'institution imaginaire de la société dans ce que j'essaie de montrer, qu'il y a des collec-

tifs qui bricolent des solutions qui leur sont adéquates. Ensuite, qui les mettent parfois en situation orthogonale par rapport aux hiérarchies. Que la hiérarchie, l'organigramme, reprenne ses droits en situation normale montre clairement la limite du potentiel révolutionnaire de ces expériences-là, mais cette limite n'est pas absolument certaine. Si l'on entend par innovation sociale la réinstitution du social, c'est-à-dire d'un réseau qui porte des existences humaines dans des moments de crise ou face à des besoins que les usages courants ne couvrent pas, j'estime pour ma part qu'il y a clairement la capacité à évoquer l'invention sociale, ou plutôt la réinvention du social grâce à du bricolage. Mais j'ai pu observer que l'ensemble des méthodes pour innover dans un *business* sont utiles, même en dehors de la logique des affaires commerciales. J'ai en effet vu des designers professionnels intervenir dans l'économie sociale et solidaire et cela donnait des résultats extraordinaires dans un sens qui n'avait pas à voir avec le *business*. Voilà pourquoi j'aime bien la notion d'innovation sociale dans ce qu'elle a de choquant parce que ce sont les mêmes modes, les mêmes méthodologies, une épistémologie compatible avec d'un côté du *business* et de l'autre des situations sociales où il faut réinventer une vie ensemble. J'y tiens beaucoup. Je pense que ce n'est pas incompatible que des designers œuvrent à même le social pour faire du social. Je conçois que ce rapprochement choque beaucoup. Il y a une culture, disons sociale ou de gauche, qui est choquée par ce rapprochement et, de fait, il y a des raisons de l'être, je ne le cache pas. Mais séparer les deux secteurs me semble très contre-performant du fait que dans cette séparation, ce sont toujours les mêmes qui sont perdants. Personnellement, j'avoue ne pas être révolutionnaire, en tout cas spontanément, car je ne crois pas à la solution politique révolutionnaire, qui est évidemment la grande alternative, la transformation générale avec une révolte compte tenu des injustices. Certes, il peut exister des révoltes, mais je ne suis pas certain que la révolution soit quelque chose de possible et de viable sur le long terme pour concilier transformation sociale et libertés. C'est encore mon côté machiavélien, puisque Machiavel estime qu'une révolution, c'est un coup d'État qui a réussi. Il est très rude sur ce point. Du coup, œuvrer à même la réinvention du social de manière bricolée et modeste me

semble une bonne chose. Il faut en tout cas assigner les gens qui font des profits monstrueux grâce à l'ancienne forme d'innovation, à leurs responsabilités, en disant «vous avez des choses qui pourraient servir le social». Comment réinventer un lien si ce n'est en dénonçant précisément les excès d'innovation managériale, technologique, entrepreneuriale? Là-dessus, je pense que nous sommes d'accord.

Question 4

Membre du public

Je suis directrice générale d'établissements médico-sociaux pour personnes handicapées et particulièrement intéressée par cet espace. Je mène un projet où l'on développe un concept et j'aimerais savoir ce que vous en pensez au regard de celui de l'innovation: c'est celui de l'ingénierie sociale, qui consiste à trouver des solutions très concrètes à des problèmes qui sont apportés par les personnes en situation de handicap. Qu'en pensez-vous? Est-ce un concept efficace?

Thierry Ménissier

Il est synonyme d'innovation sociale de toute façon, et il a le mérite de partir des équipes et d'intégrer la question du soin sous la forme de l'accompagnement. Vous êtes dans le vrai, puisqu'il s'agit de faire sens par la pratique au sein des difficultés qu'on rencontre. Cela traduit, avec à chaque fois des modes originaux, avec de la créativité, avec une écoute très forte à ce que les personnes ont envie d'apporter, la volonté d'améliorer un système à l'encontre d'une logique de performance dont on voit toutes les limites, en tout cas sur les personnes humaines et les relations sociales.

Membre du public

Il a le mérite d'associer la question de l'ingénierie, que l'on place plutôt sur le plan technologique, à la question sociale.

Question 5

Membre du public

Je suis infirmière et je fais de la formation à de futurs soignants. Y a-t-il eu une notion d'étendue dans l'innovation sociale ? Y a-t-il une question de persistance de l'innovation sociale pour que cela ait du sens ? Une découverte éphémère, qui n'existerait qu'au moment, serait-elle de l'innovation sociale ?

Thierry Ménissier

Vous venez d'inventer une institution, ou de souligner la nécessité qu'il y ait un conservatoire des innovations sociales. À côté du CNAM, il devrait y avoir un conservatoire des innovations sociales. En tout cas, la réponse qu'on peut faire à partir d'observations des pratiques, de la connaissance de l'état de l'art et de la littérature, c'est que l'innovation technologique et managériale, comme l'innovation sociale, connaît un déchet extraordinaire. De toute façon, dans l'innovation au sens schumpeterien du terme, vous avez en général 10 % des idées qui réalisent quelque chose, qui s'incarnent dans une transformation, dans un dispositif et un procédé, dans une invention. Il y a beaucoup, beaucoup de déchets. En fait, dès qu'on suit les projets – par exemple, je suis les élèves entrepreneurs du site grenoblois – les ingénieurs et les étudiants entrepreneurs, très souvent, au final leur projet ne marche pas. Leur idée initiale va survivre avec un projet de trois à cinq ans, bien financé. Les gens arrivent à vivre, mais après, l'idée ne survit pas et le projet s'éteint. Ce n'est pas très grave, le problème n'est pas là. Un des problèmes de la France, c'est qu'elle est peu innovante de manière générale. Le modèle anthropologique (j'emploie un grand mot) de l'entrepreneuriat, les Français en ont peur. Il y a de bonnes raisons. Il est clair que sur le plan politique, on le voit bien, nous ne

sommes pas les États-Unis. Nous ne sommes pas un pays ultralibéral. Mais le problème avec cela, c'est que l'entrepreneur est quelqu'un qui prend des risques au bénéfice des autres. Bien sûr, ceux qui aiment bien se comporter de la sorte, les têtes brûlées, s'y retrouvent, mais souvent ce ne sont pas les meilleurs du point de vue éthique. Peut-être que vous avez vu la série Netflix sur Bernard Tapie, qui était vraiment éloquent et effrayante de ce point de vue. Elon Musk, on l'a connu chez nous : c'était Bernard Tapie, et c'était effrayant. En revanche, le défaut d'entrepreneuriat se ressent même dans l'innovation sociale. Souvent, j'ai pu voir des gens découvrir ce que c'était de pratiquer la créativité, il s'agit de se mettre dans un état d'inquiétude favorable à la génération d'idées nouvelles. On se livre à des petits jeux ludiques mais, au bout de quelques minutes, on se dit « je suis vraiment fatigué » parce qu'on est obligé d'imaginer, de se projeter, d'inventer, etc., toutes choses finalement assez rares dans l'activité ordinaire. Ce qui est intéressant – je fais ma réponse un peu détournée pour vous dire que ce n'est pas grave si ça ne dure pas – c'est d'avoir participé. Je vous dis cela par rapport à vos ateliers d'ingénierie sociale. C'est une culture. La France est relativement en retard sur cette culture, qu'il s'agisse de l'entrepreneuriat pour apporter des richesses aux pays et à l'Europe (avec beaucoup de concurrents à l'extérieur) ou qu'il s'agisse de l'entrepreneuriat social où les gens vont trouver collectivement des solutions.

Question 6

Membre du public

Que pense Machiavel de la question de l'innovation sociale ? Est-ce encore très machiavélien comme notion ? À terme, je me demandais s'il faut repenser le rapport entre le progrès et l'innovation et essayer de conserver la dimension au service de la société de l'innovation. Pensez-vous que la catégorie du soin va être un modèle de lieu où essayer de tester dans quelle mesure l'innovation va reproduire une amélioration ? Et être une catégorie un peu moins idéaliste que celle du progrès, moins rationaliste, moins grandiose, mais dans laquelle on puisse aussi pointer ce que l'on va refuser absolument en termes d'innovation, si on se met du côté du soin : les pathologies que cela peut créer, dans quelle mesure cela prend vraiment soin des personnes, etc. Peut-être avons-nous un autre levier que celui des vertus pour orienter l'innovation.

Thierry Ménissier

Vous vous souvenez que Machiavel est connu surtout pour *Le Prince*, mais en réalité, son œuvre, quantitativement et qualitativement, est composée à 90 % de livres sur l'autre partie : Machiavel est le serviteur d'un régime républicain. Il se sent patriote, profondément attaché à la cité florentine et il met en avant la notion de vertu civique. C'est donc un arétisme politique qui définit toute l'œuvre de Machiavel, même dans un chapitre du *Prince*, le neuvième, qui traite de l'engagement pour le peuple comme la vertu princière au sens fort du terme. Ce qui est intéressant, c'est qu'un machiavélien, sur le plan politique, tend par le biais de l'aré-

taïsme à retrouver certaines qualités éthiques, celles valables pour l'éthique publique. Il y a peu de choses très approfondies dans la littérature, puisque, comme j'ai essayé de le dire, je suis le seul à avoir mis en lumière cette notion d'innovation sociale en la corrélant avec des ressources politiques au sens arétaique du terme, où se reconstitue le politique par le biais de l'entreprise aventureuse qu'on mène dans les difficultés. Bien sûr, avoir eu ces idées est lié à mon background machiavélien. Quant à la question vraiment très puissante que vous me posez sur le soin, je réponds que oui, nous avons des raisons extrêmement fortes pour non pas dépasser ou mettre de côté la théorie des vertus, mais considérer que l'éthique du *care* relève elle-même d'une théorie des vertus. Je vous rappelle que dans l'éthique du *care*, ce qui est au cœur, c'est le soin comme relation. C'est-à-dire que ce qui se joue dans le *care*, c'est une amélioration de la condition de celui qui reçoit le soin, mais aussi de celui qui donne le soin. Il y a une exigence partagée dans la relation de soins qui donnerait en effet une sorte de clé, de critères plus que de variables, pour peut-être apprécier la valeur de telle ou telle innovation qui se prétendrait améliorante. C'est une superbe idée, que vous me donnez l'envie de développer. Je ne sais pas si l'éthique du *care* n'est pas une éthique arétaique, puisque dans le *care*, il y a des vertus qui sont vraiment mises au premier plan, ce qui fait que les gens qui sont conséquentialistes ou étroitement utilitaristes, n'en comprennent pas la pertinence. Cela révèle en effet la profondeur de l'humanité, ce qu'a parfois du mal à comprendre un conséquentialiste.

Discussion ③

L'expérience existentielle de l'innovateur/innovatrice

Question 7

Membre du public

J'aimerais avoir votre avis sur l'impact de l'innovation sur celui qui la porte. Si l'innovation marche - on est arrivé, on a trouvé -, y a-t-il un sentiment de vide après une dynamisation ou, au contraire, un impact sur la personne qui arrive à voir différemment le monde ?

Thierry Ménissier

C'est une belle question. Mon expérience, c'est que libérer la disposition à innover d'une personne, *via* les méthodes qui sont utiles pour cela, en créativité, en utilisant toute forme de design, crée toujours des résultats surprenants en ce sens que le résultat du processus n'est pas déductible de ce que la personne savait d'elle-même. Il y a, disons les choses, une sorte d'épreuve dans l'innovation, quelle qu'elle soit. Je vous rappelle qu'une épreuve, c'est une expérience où il faut mobiliser des ressources qu'on ne se sait pas avoir. Je crois que cet état de fait nous conduit à dire qu'innover, c'est se transformer. J'ai vu des gens littéralement se croire les maîtres du monde - on a évoqué tout à l'heure quelques patrons de GAFAM, qui ont quelques raisons de le croire vu leur puissance - et puis j'en ai vu se transformer, découvrir qu'en fait, ce qui les intéressait dans l'entreprise, ce n'est pas l'enrichissement personnel, mais la satisfaction du client. Ce qui les intéressait, c'était les relations d'équipe au sein de l'organisation qu'ils avaient créée. Et je pense que c'est plus souvent ça, dans la mesure où, comme je vous le disais, il faut en finir avec la mythologie individualiste de l'innovateur. En fait, porter une idée nouvelle implique des compétences variées, des étayages, des gens qui vous disent « mais si je crois en toi, j'ai confiance en toi ». Un des ressorts fondamentaux de cette marche en aveugle vers l'inconnu, où de temps en temps les personnes engagent leurs fortunes personnelles, leurs ressources, c'est la confiance. Donc, confiance en soi, bien sûr, mais confiance qu'on a grâce aux autres. On peut toujours fermer les yeux là-dessus, mais on est bien obligé de reconnaître que l'histoire porte ce genre de cas. Vous le savez peut-être, Steve Jobs passe pour le génie. Mais, du point de vue technique, qui était le vrai génie ? Steve Wozniak. Or, il avait un défaut, il s'infériorisait en permanence par rapport à Steve Jobs. Sans Wozniak, qui était le vrai génie technologique, le génie marketing et presque métaphysique de Steve Jobs, sa vision des choses, son esthétique, n'aurait pas existé.

La prédiction assistée par intelligence artificielle en cancérologie

Jean-Emmanuel Bibault

Jean-Emmanuel Bibault est professeur en oncologie à l'Université Paris-Cité et praticien à l'Hôpital européen Georges Pompidou. Il mène des travaux de recherche à l'INSERM dans le domaine de l'intelligence artificielle, en particulier appliquée à la médecine. Il a notamment publié un livre intitulé *2041, L'odyssée de la médecine* en janvier 2023 aux éditions L'Équateur¹, dans lequel il tente de montrer que les techniques d'IA bouleversent la pratique de la médecine de manière globale, que ce soit dans les essais scientifiques, mais aussi dans le rapport au soin et même dans ce qui fonde les spécialités médicales. En plus de cela, il effectue un travail prospectif pour se projeter dans ce que nous pourrions vivre d'ici dix, voire vingt ans avec l'arrivée de l'IA.

Julia Tinland

Julia Tinland a effectué une thèse sur l'éthique de la détection des interventions précoces en psychiatrie. Elle est aujourd'hui chercheuse à l'Université Aix-Marseille et travaille sur les thématiques de cancer et de démocratie en santé. Ses recherches s'inscrivent en particulier à la croisée entre la philosophie des sciences et l'éthique biomédicale, notamment sur des enjeux comme l'évolution des classifications de diagnostics, plus spécifiquement en psychiatrie et en oncologie. Elle s'interroge sur la manière dont l'innovation en médecine se donne pour ambition d'identifier les personnes à risque ou vulnérables, les personnes en phase précoce d'une maladie, et étudie en quoi cela peut impacter les classifications de diagnostics et la pratique.

¹ Jean-Emmanuel Bibault, *2041, L'odyssée de la médecine: comment l'intelligence artificielle bouleverse la médecine* (Paris: Éditions des Équateurs, 2023).

Conférence ①

Jean-Emmanuel Bibault

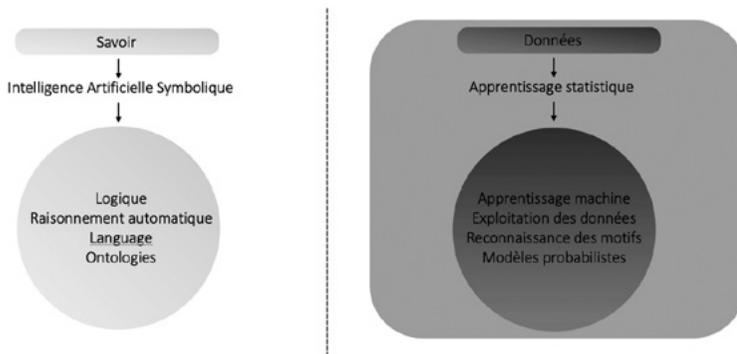
Jean-Emmanuel Bibault

PU-PH en oncologie, Université Paris-Cité, Hôpital européen Georges Pompidou (AP-HP) et chercheur INSERM, équipe HeKA, ParisSanté Campus

Mon but est de vous donner quelques concepts historiques et quelques définitions, mais surtout des cas pratiques, de vous montrer plusieurs applications – uniquement des applications qui sont publiées ou utilisant des données publiques.

On entend beaucoup parler de l'IA actuellement. Beaucoup d'émissions sont consacrées à cette thématique et finalement, on ne sait pas toujours exactement de quoi on parle. Quand on évoque l'IA de nos jours, on parle surtout de *machine learning*, c'est-à-dire de l'apprentissage automatique. Mais il faut savoir que l'IA n'est pas que le *machine learning*, c'est aussi ce qu'on appelle l'IA symbolique, c'est-à-dire une forme d'IA un peu plus ancienne, principalement faite de règles qui ont été créées manuellement par des experts dans le domaine.

Pour illustrer cela, nous avons à gauche ce que l'on appelle l'IA symbolique et qui date à peu près de la fin de la Seconde Guerre mondiale, où l'on va demander à des experts de définir à la main une série de règles qui peuvent permettre de classifier quelque chose ou, en médecine, de poser un diagnostic. Ce type d'IA repose avant tout sur une forme de représentation du monde qui serait la plus précise possible et la plus complète et exhaustive possible, notamment via ce qu'on appelle des anthologies. Cette partie de l'IA est un peu en retrait actuellement.



De nos jours, nous parlons surtout de *machine learning*. C'est l'apprentissage-machine, l'apprentissage automatique ou l'apprentissage statistique. A partir de règles faites par des humains, on va prendre des données brutes – les plus propres possible, les plus exhaustives possible et les mieux structurées possible – et on va les fournir à un algorithme qui va, à partir de ces données, créer lui-même les règles qui permettent d'obtenir une décision, un diagnostic ou autre.

Au sein de ce qu'on appelle le *machine learning*, de très nombreuses méthodes existent, plus ou moins lourdes en termes informatiques, qui vont aller de l'arbre décisionnel jusqu'au *deep learning* ou apprentissage profond. La grosse majorité des travaux que je vais aborder et ceux dont on parle beaucoup dans les médias repose avant tout sur du *deep learning*, c'est-

à-dire de l'apprentissage profond, des réseaux neuronaux artificiels profonds. Il est toutefois important de savoir qu'il n'y a pas que cela.

L'histoire de l'intelligence artificielle n'est pas récente. On en parle beaucoup depuis à peu près 2016-2017, mais en réalité c'est une histoire qui remonte à la fin de la Seconde Guerre mondiale et qui a vu une succession de périodes vraiment fastes et de périodes où les chercheurs en IA étaient quasiment vus comme des parias par les mathématiciens ou les chercheurs en *pure science* comme on dit en anglais. Cette histoire est très fortement liée au domaine militaire, notamment aux Etats-Unis, puisque les premiers financements des travaux ont été apportés par la Darpa, une agence de financement et d'innovation militaire américaine, qui continue d'ailleurs à financer beaucoup d'innovations.

Après ce qu'on a appelé l'hiver de l'IA, dans les années 1970-80 jusqu'aux années 1990, nous avons maintenant un véritable âge d'or de l'IA. On le doit à certains pionniers qui travaillent sur ces thématiques depuis les années 1980, notamment trois chercheurs : Geoffrey Hinton, Yann LeCun – un français qui travaille maintenant chez Meta –, et Joshua Bengio un chercheur canadien de l'Université de Montréal. Ces trois personnalités sont très reconnues dans le *deep learning* parce qu'ils l'ont inventé. C'est très débattu, car un autre chercheur suisse en revendique aussi la paternité, mais ces trois-là, on les appelle les parents du *deep learning*. Ce sont vraiment eux qui ont quasiment créé ce domaine.

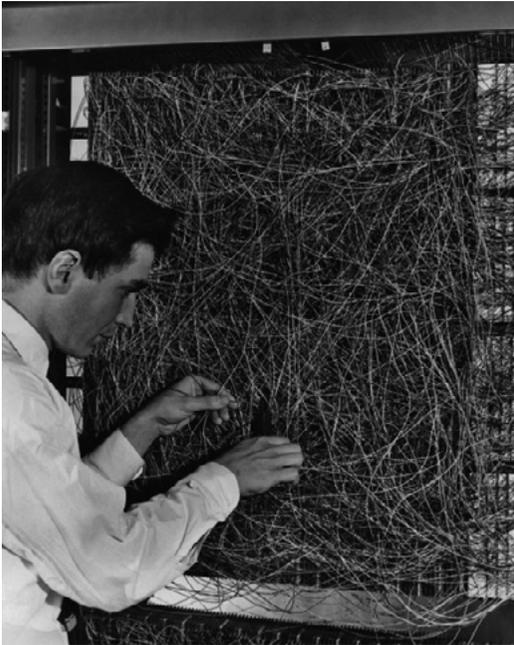
Pourquoi vivons-nous un âge d'or de l'IA, plus particulièrement en médecine aujourd'hui ? Nous sommes à la convergence de plusieurs phénomènes.

Le premier est la digitalisation des données de santé, liée à la digitalisation de nos pratiques. On va profiler les patients de façon numérique, mais on va aussi administrer les soins de façon numérique. Tous les logiciels à l'hôpital et dans les cabinets sont utilisés pour profiler, mais aussi administrer le soin et documenter le suivi. Toutes ces informations peuvent être utilisées pour créer des modèles de *machine learning*.

Le deuxième phénomène qui explique l'âge d'or que nous vivons actuellement est la facilité que nous avons aujourd'hui à créer ces modèles, parce que l'on a accès à des puissances de calcul bien supérieures à ce qui existait avant, notamment via les GPU, qui sont les cartes graphiques que l'on peut utiliser pour lancer beaucoup de calculs en parallèle. Sur le plan logiciel, il y a aussi l'apparition de bibliothèques de logiciels. Il est intéressant de savoir que ces bibliothèques de logiciels sont financées, pour la plupart, et éditées par les grands acteurs américains de l'informatique. TensorFlow, qui est un peu en perte de vitesse, c'est Google. Pytorch, c'est Meta. Le seul qui est un peu la boîte à outils en *machine learning* et qui n'est pas édité et distribué par les grands acteurs, c'est Scikit Learn qui est édité et distribué par l'Inria, une école française d'ingénierie informatique.

De nos jours, il est beaucoup plus facile qu'avant de faire des réseaux neuronaux profonds avec ce genre de logiciels. Vous avez à gauche la première machine capable de voir véritablement, en 1952 : le Perceptron. À l'époque, chacun des « neurones » était relié par un

véritable fil électrique physique. Il faut imaginer la complexité de cette machine. Maintenant, tout cela est complètement virtualisé. On n'a plus besoin de faire cela, évidemment. Tout est fait de façon logicielle, mathématique.



Voici quelques exemples d'applications actuelles récentes de l'IA en médecine.

J'ai pris le parti de vous présenter des applications en fonction du type de données utilisé pour faire l'algorithme. J'aurais pu faire d'autres choses, j'aurais pu choisir la tâche que l'on cherche à remplir ou la maladie que l'on cherche à explorer, mais je suis parti de ce postulat. Les applications sont très diverses et le but est aussi de montrer que certaines de ces applications sont parfois un peu étonnantes, peut-être même un peu effrayantes.

Le premier exemple correspond à un travail que j'ai pu faire à Stanford il y a quelques années déjà, qui consistait à prédire dix ans à l'avance la survie de quelqu'un atteint d'un cancer de la prostate. C'est intéressant parce que le cancer de la prostate est une maladie qui peut évoluer très lentement chez certains patients, mais aussi très vite chez d'autres. Parfois, on a du mal à discerner les patients dits à haut risque des

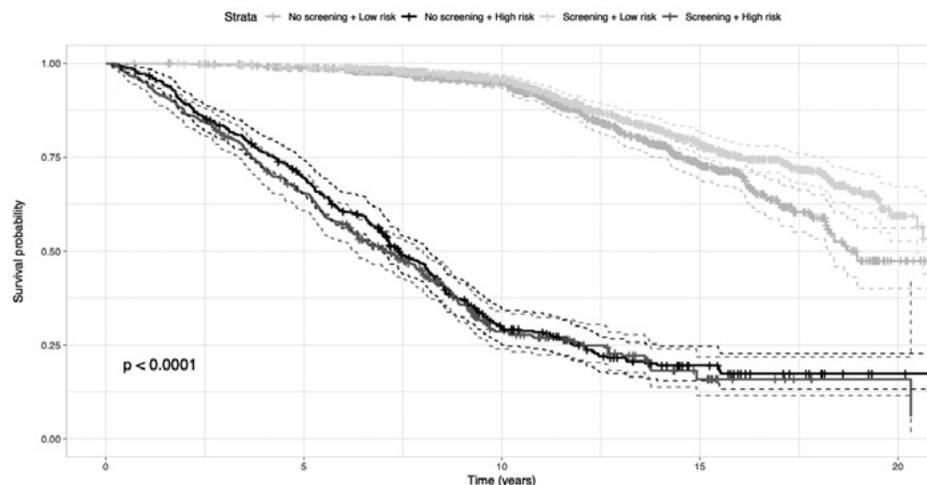
patients qui sont dits à bas risque. Pour cela, on aurait besoin de modèles informatiques qui permettraient de mieux trier les patients, avec l'idée derrière de proposer un traitement à un patient à haut risque, mais pas forcément aux patients à bas risque, les traitements que l'on propose provoquant beaucoup d'effets secondaires.

Pour vous donner une idée, aux Etats-Unis, il y a à peu près 200 000 nouveaux cas de cancers de la prostate par an et l'on considère qu'il y a environ 35 000 surdiagnostics. Au sein de ces 200 000, 35 000 personnes sont donc surtraitées. En France, le pourcentage doit être sensiblement identique.

Sans entrer dans les détails techniques, pour illustrer les points les plus importants, qui sont communs à toutes ces études, nous avons pris des données de bonne qualité issues d'une étude prospective sur un grand nombre de patients, environ 80 000, dans plusieurs centres. Il est important d'avoir plusieurs centres de soin car cela va augmenter la représentativité de l'échantillon utilisé. Nous avons aussi utilisé certaines caractéristiques que j'ai résumées. En tout, il y en a environ une trentaine pour pouvoir profiler les patients atteints d'un cancer de la prostate.

Les caractéristiques des patients étaient relativement bien distribuées, en fonction de l'âge et de l'agressivité du cancer. Sans entrer dans le détail, nous avons les critères de qualité des modèles obtenus. Il faut savoir que nous avons fait deux modèles, un modèle capable de prédire la survie globale, le risque de décéder quelle que soit la cause, et un modèle capable de prédire votre risque de décéder du cancer de la prostate. Grosso modo, il ne sert pas à grand-chose de savoir que vous allez décéder de votre cancer de la prostate si, en réalité, vous allez décéder d'un infarctus du myocarde cinq ans avant. Il fallait avoir ces deux possibilités. Plus on est proche de 1, plus le modèle est bon. Là, nous avons donc une très bonne qualité pour ces modèles.

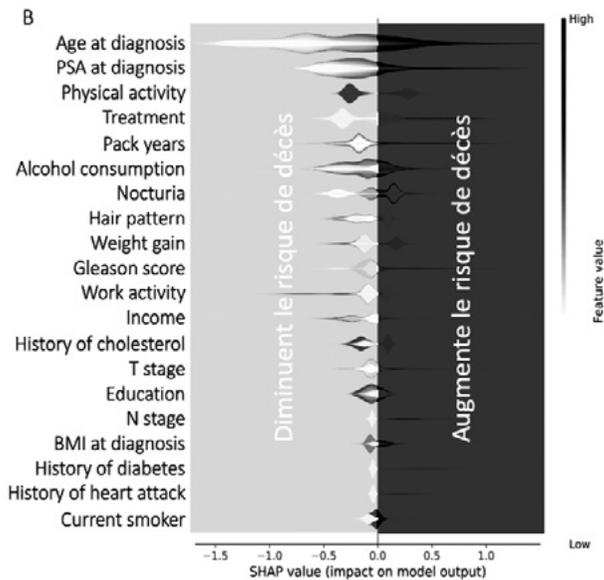
En France notamment, mais pas seulement, il existe une grande polémique sur l'intérêt du dépistage du cancer de la prostate, par le toucher rectal ou le taux de PSA, car plusieurs études ont montré que ce dépistage ne permettait pas d'améliorer la survie des patients dépistés, tandis que d'autres prouvaient l'inverse. Voici cette courbe de survie, avec en abscisse le temps et en ordonnées le taux de survie. Si l'on fait un dépistage classique par toucher rectal ou PSA, on n'arrive jamais à bien discerner les patients à haut



risque et à bas risque. On va avoir une seule courbe. En revanche, si l'on fait un dépistage en deux étapes, c'est-à-dire le dépistage classique et ensuite un calcul du facteur de risque par ce modèle d'IA, on arrive parfaitement bien à voir les patients qui sont très à risque et ceux qui ne le sont pas.

Savoir que vous avez beaucoup de chances de décéder à dix ans peut être extrêmement anxiogène pour le patient, mais il faut bien comprendre que le modèle développé est interprétable. Il donne les raisons pour lesquelles le patient est à risque de décéder. Comme on connaît le motif potentiel de décès, on va potentiellement pouvoir réaliser une intervention de santé dessus, c'est-à-dire un traitement préventif ou un traitement curatif.

Voici les caractéristiques cliniques les plus importantes qui permettent de prédire la survie pour cette cohorte de patients ayant servi à entraîner le modèle. A gauche, les valeurs qui diminuent le risque de décès et à droite, les valeurs qui augmentent le risque de décès. Nous pouvons par exemple observer quelque chose qui, parfois, est un peu contre-intuitif avec le savoir médical: la troisième caractéristique la plus importante pour la prédiction est l'absence ou au contraire la réalisation d'une activité physique régulière. Les patients qui n'ont pas d'activité physique et qui ont un cancer de la prostate sont beaucoup plus à risque de décéder que ceux qui ont une activité physique. C'est plus puissant que le traitement que vous allez leur faire, qui est en quatrième position. C'est même plus puissant que le nombre de cigarettes fumées par jour. L'activité physique est donc extrêmement puissante sur la prédiction de votre survie quand vous avez un cancer de la prostate et probablement d'autres cancers.



Ce modèle a été déployé en ligne. On peut faire de l'inférence. On peut aller sur internet, mettre ses caractéristiques et obtenir sa propre prédiction personnalisée à l'échelle d'un patient. Si l'on prend l'exemple d'un patient virtuel qui aurait un cancer de la prostate très grave, mais qui n'aurait pas beaucoup de comorbidité. Le modèle va nous dire que son risque de décéder de toutes causes est de 20 % et son risque de décéder du cancer de la prostate est de 19 %. Ce patient est donc très clairement à risque de décéder presque uniquement de son cancer de la prostate. Il faut donc absolument le traiter. On n'est pas du tout dans un surdiagnostic. Il va falloir le traiter, parce qu'il va en tirer un vrai bénéfice.

Le deuxième type de modèle que l'on peut faire en IA médicale, c'est à partir de l'imagerie médicale. L'exemple que l'on entend le plus souvent dans les médias, avec notamment cette étude maintenant ancienne, qui a six ans, et qui a été faite à Stanford par un chercheur américain qui est maintenant à Harvard. Il a entraîné un réseau neuronal profond assez large à reconnaître, sur des radiographies de thorax, les pathologies que l'on pouvait potentiellement diagnostiquer. En plus, le modèle indique la zone sur laquelle la pathologie potentielle se trouve. Là, il s'agit d'une carte de chaleur, l'endroit rouge étant le plus suspect de pneumopathie.

Ils ont fait cela pour une quinzaine de pathologies et cela marche extrêmement bien pour toutes les pathologies. On pourrait potentiellement faire de l'interprétation automatisée de radios de thorax. Ce n'est pas nouveau. Cela fait six ans maintenant que cela a été publié. Entre-temps, on a vu qu'il y avait pas mal de biais sur cet algorithme, mais les choses se sont sensiblement améliorées. De nos jours, il y a des startups qui font déjà cela pour l'interprétation par exemple de radiographies de chevilles automatique. C'est déjà évalué dans certains hôpitaux, je pense aux hôpitaux Cochin ou George Pompidou (AP-HP) à Paris, pour le dépistage automatique de fractures de chevilles aux urgences.

Si l'on continue à avancer dans les choses de plus en plus innovantes ou de plus en plus étonnantes ou effrayantes, cette étude vient d'une équipe australienne et date de 2017. Ils ont pris des scanners réalisés dans un service d'urgence en Australie. Ils ont pris des patients qui étaient venus aux urgences, des patients vivants et des patients décédés. Ils ont regardé leur scanner cinq ans avant et ils ont essayé de voir s'ils arrivaient, simplement à partir de leur scanner, à prédire leur risque de décéder cinq ans après, sachant que les scanners en question ne présentaient pas d'anomalie visuellement perceptible par un radiologue.

Ils montrent qu'on peut très bien, à partir d'un simple scanner fait pour tout autre chose, voir si vous êtes à risque ou pas de décéder dans cinq ans. Cette IA ne dit en revanche pas pourquoi. Cela peut être assez angoissant. Imaginez que vous alliez aux urgences pour une suspicion d'appendicite. On vous fait un scanner et on vous dit: on a vu que vous aviez un risque de décès à cinq ans assez significatif, donc il va falloir que l'on fasse quelque chose. Ce genre d'application, ce que l'on appelle de la radiologie opportuniste, est en train de révolutionner la radiologie. Ce sont certainement des choses que nous allons tous avoir dans 10/15 ans en tant que patients.

Un exemple un peu plus positif, un peu moins étonnant. Jusque-là, les études étaient principalement des études avec une validation *in silico*, c'est-à-dire sur des patients présents dans l'ordinateur, pas sur des patients dans la vie de tous les jours. Avec cette étude publiée en août 2023 dans *The Lancet Oncology*, c'est très différent. Ils ont comparé de façon randomisée, donc au hasard - c'est la meilleure méthodologie d'essai clinique - 80 000 femmes en Suède pour le dépistage du cancer du sein. Ils ont comparé deux lectures par deux radiologues différents de la même mammographie, ce qui se fait en France actuellement, versus un radiologue et une IA. Ils montrent que le radiologue et l'IA font aussi bien que les deux radiologues, mais en 44 % de temps en moins. Souvent, pour celles qui font ce dépistage, on a un temps de latence entre la première et la deuxième étude qui fait que le dépistage prend du temps. Avec ce genre d'algorithme, qui est validé de façon prospective avec les plus hauts standards de qualité d'essai, on pourrait vraiment diminuer le temps nécessaire pour le dépistage, donc le démo-

cratiser potentiellement - sachant qu'en France, on estime que seulement 50 à 60 % des personnes susceptibles de faire un dépistage le font vraiment. Cela pourrait donc être intéressant pour améliorer ce ratio.

Si l'on regarde d'autres types d'images, pas des images médicales, mais d'autres images, on peut aussi faire des choses intéressantes. Il y a cet exemple emblématique de 2016 à Stanford aussi, qui a comparé les performances d'un réseau neuronal profond et celles de vrais dermatologues pour identifier les mélanomes. Cela avait beaucoup fait parler à l'époque et montrait que l'algorithme créé de cette façon, en regroupant un peu les pathologies visuellement sur la dermoscopie et en entraînant l'algorithme à voir les caractéristiques, faisait mieux que les dermatologues américains experts pour simplement identifier un mélanome. Ce qui est intéressant, c'est que les auteurs de cette étude étaient intervenus à la conférence de Google. Ils avaient le modèle sur leurs téléphones portables et ils scannaient en live des peaux pour voir s'il y avait ou pas des mélanomes. Cela marche très bien et très vite, quasiment en instantané.

La seule petite chose dont on s'est rendu compte quelques mois plus tard, c'est que dans les données utilisées pour faire l'algorithme, il n'y avait pas de peaux afro-américaines, de peaux noires. L'algorithme est donc très mauvais pour faire du dépistage de mélanomes sur peau noire, parce qu'il n'a jamais appris à le faire. Tout ce qui est biais de données va se retranscrire dans l'IA que vous allez créer, c'est quelque chose à avoir en tête quand on se sert de ce genre d'outillage.

Un autre exemple très connu lui aussi et qui date lui encore de 2016: le dépistage et l'évaluation de la rétinopathie diabétique sur les fonds d'œil. On a comparé un réseau neuronal à plusieurs ophtalmos et montré que cela marchait très bien. A tel point que Google a terminé cet été son essai prospectif clinique d'évaluation de cette méthode en Inde, où il y a beaucoup de diabétiques et peu d'ophtalmos. Google a une machine capable de diagnostiquer et d'évaluer la rétinopathie diabétique de façon totalement automatique, validée par un essai clinique. Je pense qu'ils vont sans doute bientôt commercialiser leur solution, soit Google, soit l'une de ses filiales.

Si l'on va encore plus loin et que l'on sort un peu de l'image statique pour regarder l'image animée, les vidéos, nous avons une étude de Stanford qui, une fois de plus, s'intéressait à essayer d'entraîner l'IA à reconnaître les instruments chirurgicaux en live sur des vidéos d'opérations chirurgicales. Là encore, cela marche très bien: l'algorithme est capable d'identifier correctement les instruments chirurgicaux en mouvement, pendant l'intervention. Cette étude est intéressante parce qu'elle préfigure ce qui va arriver dans les années qui viennent. Nous avons déjà des robots chirurgicaux pilotés par des médecins humains, télé-guidés à distance par des médecins humains. Nous avons déjà les robots. Nous avons déjà le «*hardware*». Ce qui nous manquait, c'était le *software*, c'est-à-dire le cerveau capable de piloter ces robots de façon automatique. Avec ce genre de méthode, un jour, on pourrait complètement imaginer, puisque l'IA est déjà capable d'identifier les instruments, que le robot soit capable de les bouger et potentiellement de réaliser dans un premier temps les interventions chirurgicales les plus simples, puis peut-être des choses plus complexes ensuite. Les opérations chirurgicales totalement automatisées ne sont pas de la science-fiction totale. Cela pourrait arriver d'ici 10 à 15 ans, d'abord aux Etats-Unis ou en Chine, puis en Europe.

Avançons dans les applications étonnantes. Il faut savoir qu'avec l'IA, nous sommes capable de prédire

le risque de dépression de chacun à partir des images que l'on poste sur Instagram. Potentiellement, à partir des couleurs de vos photos, du contenu, des objets ou des filtres utilisés, on pourrait vous profiler. Votre employeur, votre assureur, que sais-je, pourrait prendre votre compte et évaluer votre risque de dépression et ensuite, voir quelle prime il vous met. Attention à ce que l'on met sur internet, même des photos qui semblent inoffensives pourraient se retourner contre vous.

Si l'on prend un peu de hauteur, il y a cette autre étude faite à Stanford où l'on s'est intéressé à essayer de prédire la prévalence du cancer à partir uniquement d'images satellitaires. L'idée est que la prévalence du cancer est une donnée très importante à avoir pour définir les politiques de santé. Si vous ne savez pas qui a un cancer, où est-ce qu'il y a des cancers dans un pays, vous ne pouvez pas adapter vos politiques de dépistage ni vos politiques de prévention, vous ne savez pas où il faut ouvrir des hôpitaux et des endroits pour soigner le cancer. Le problème, par exemple aux Etats-Unis, c'est que l'on a des données épidémiologiques que pour 28 % de la population. Pour une écrasante majorité de la population, on ne sait pas exactement comment se répartit le cancer sur le territoire à une échelle spatiale haute.

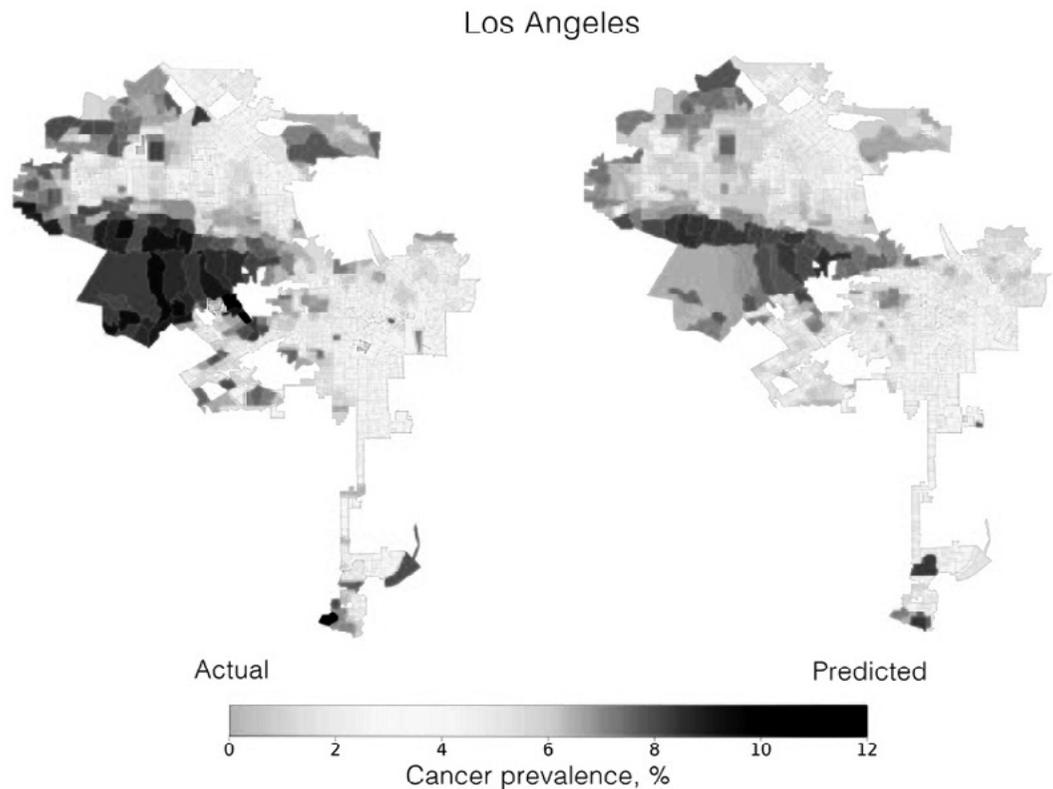
En France, c'est encore pire: on a des registres épidémiologiques à l'échelle régionale et départementale, ce qui est une échelle très médiocre. On ne pourrait même pas reproduire ce genre de travail en France, parce qu'on n'a pas les données pour entraîner le modèle. A mon sens, le département n'est pas une analogie spatiale suffisante.

Là, le travail que l'on a fait portait sur des zones qui comprennent à peu près 4000 personnes. On a fait ce travail sur sept des plus grandes villes américaines, ce qui correspond à environ 14,5 millions de personnes. Pour ces sept villes, on a téléchargé des images Google Map, les mêmes que celles que vous avez quand vous faites vos itinéraires, et l'on a pris un réseau neuronal pour extraire un vecteur mathématique représentant le contenu de l'image. Ensuite, on a entraîné un modèle à faire la relation entre la prévalence du cancer et le contenu de l'image. Cela marche extrêmement bien.

A gauche, la carte de la prévalence du cancer à Los Angeles et à droite, la carte telle qu'elle est prédite par cette méthode. Même si la prédiction n'est pas parfaite, vous voyez que les zones où il y a des cancers sont très bien identifiées. Cela pourrait tout à fait être utilisé pour avoir une estimation assez précise de la prévalence du cancer dans des zones où on ne la connaît pas du tout.

Aujourd'hui, quand on parle d'IA, on ne peut pas ne pas parler d'IA générative et notamment de ChatGPT, qui fête aujourd'hui même ses un an. ChatGPT est un chatbot qui rend disponible un modèle développé par OpenAI, qui est une startup de Palo Alto en Californie, et qui permet de générer du texte. Qui a déjà essayé ChatGPT? Vous posez une question, vous pouvez lui demander de faire beaucoup de choses. Il est assez performant et impressionnant. Tellement impressionnant que cela a fait peur à certains chercheurs, dont Geoffrey Hinton dont je parlais plus haut qui, à la suite de la sortie de ChatGPT, a démissionné de Google en disant: «je ne me sens pas capable d'assumer la responsabilité de ce qui va se passer avec l'IA vu ce qui se passe actuellement». D'autres sont un peu moins pessimistes.

Quoi qu'il en soit, ChatGPT est un modèle LLM, un grand modèle de langage, qui a été entraîné à partir d'énormément de données textuelles aspirées très



souvent d'internet. Il faut savoir que dans la création de ce modèle, il y a une très forte implication humaine, notamment dans l'étape 2 où on a demandé à énormément de gens de noter la qualité des réponses faites par ChatGPT pour ensuite utiliser ces notes pour le réentraîner et affiner ses performances. ChatGPT, ce n'est pas de la machine seule, c'est quelque chose qui a été très malaxé par des humains.

En médecine, cela a potentiellement énormément d'applications, surtout sur ce que l'on appelle le Patient Tracing AI. Tout cela, ce sont des outils dont les médecins pourraient potentiellement se servir; mais ChatGPT est plutôt un outil, un LLM en général, dont les patients pourraient se servir. C'est un domaine où l'innovation et l'usage ne vont plus être imposés par les médecins, mais par les patients, exactement comme Facebook ou Twitter. C'est sur ce domaine que le régulateur aura beaucoup de mal à faire de la régulation, car cela sera un réel raz-de-marée par rapport aux patients.

Pourquoi est-ce intéressant? Il y a plusieurs choses à savoir. D'abord, on sait que dans sa version 4, ChatGPT est capable de passer la portion écrite de l'examen pour devenir médecin aux Etats-Unis (USMLE) avec 85% de bonnes réponses. Les Américains classent leurs étudiants en fonction du pourcentage de réussite. 85%, c'est le niveau expert. Ils ont assez peu d'étudiants en médecine au niveau expert.

Deuxièmement, une équipe d'Harvard évalue régulièrement les logiciels faits pour donner un diagnostic à partir de symptômes. Ils font du benchmarking. Jusque-là, les logiciels qui existaient faisaient à peu près 55% de bonnes réponses. Vous leur donniez une trentaine de tableaux cliniques - un tableau clinique, c'est une somme de symptômes - et ils évaluaient la capacité du logiciel à trouver le bon diagnostic correspondant aux symptômes. On arrivait à peu près à 55%. ChatGPT, dans sa version 4, fait 87% de bonnes réponses. Là où cela devient un peu problématique, c'est que si vous posez les mêmes questions à des médecins humains, on n'a que 65% de bonnes réponses.

Cela veut dire que sur la pure démarche diagnostique - même si la médecine, c'est beaucoup plus que de la simple démarche diagnostique - ChatGPT fait déjà mieux.

Il y a eu une publication il y a deux semaines, qui ne s'est pas intéressée à des tableaux cliniques communs, mais à des maladies rares, à des diagnostics difficiles et là, ChatGPT fait 90%, beaucoup mieux que les médecins humains. Nous avons tous entendu parler, dans notre famille ou nos amis, de gens qui sont en errance de diagnostic, parce qu'ils ont une maladie que les médecins en général ne connaissent pas très bien, une maladie rare. Pour ChatGPT, une maladie rare n'est pas un problème. Il a toute cette connaissance déjà acquise et il peut vous trouver la maladie rare ou pas.

ChatGPT n'aura jamais l'empathie nécessaire à la relation médecin/patient, mais une publication est sortie cet été dans un très grand journal américain, qui s'appelle le *JAMA of Medicine*, qui a évalué la capacité de ChatGPT à simuler l'empathie. Je ne sais pas si les médecins simulent l'empathie, mais c'est ce qu'ils ont évalué. ChatGPT simule l'empathie mieux que l'empathie donnée par les médecins qui ont participé à l'étude. Ce n'est donc pas une sorte de dogme inébranlable, quelque chose qui va de toute façon empêcher d'utiliser l'IA.

Pour terminer, quelles sont les perspectives? Evidemment, comme pour tout outil très puissant, les risques sont très importants. J'en ai évoqué quelques-uns, mais pas tous. Sans doute va-t-il falloir redéfinir le rôle des professions médicales et paramédicales. Il faut que les médecins s'approprient ces outils et s'intéressent à leur développement, parce que de toute façon, ils vont être développés et il ne faut pas qu'ils soient développés uniquement par des labos de recherche ou des équipes de startup. Il faut que des médecins soient impliqués pour qu'on en fasse un bon usage.

Il y a sans doute besoin d'une législation. L'Europe a déjà fait l'AI Act, dont le *draft* est aussi passé cet été et qui devrait être appliqué dans un peu plus d'un an. Il classifie les dispositifs d'IA en fonction du risque potentiel qu'ils représentent. La santé sera dedans, avec un risque assez élevé.

Sur ce point, un petit bémol. L'Europe a tendance à beaucoup trop se réguler, par rapport à la Chine et aux Etats-Unis. Or cette régulation a déjà énormément freiné l'innovation. Je pense au RGPD. Si vous voulez faire de la recherche en France, le RGPD, déjà actuellement, vous bride énormément. Je pense que c'est un problème.

Evidemment, il ne faut pas négliger les limites de ces approches. Plein de choses, parfois, ont l'air un peu magiques. En fait, elles ne sont pas magiques du tout. Cela ne marche pas toujours. Il faut parfois aller regarder dans les détails pour voir que cela ne marche pas. L'algorithme qui identifie les mélanomes ne marche pas sur les peaux noires.

Cela veut dire qu'il va falloir être très vigilant sur la correspondance entre les populations utilisées pour faire l'algorithme et les populations d'utilisation. Un algorithme fait aux Etats-Unis ne va pas forcément marcher pour une population française.

Comment va-t-on faire pour valider leur utilisation clinique ? Beaucoup de choses se font avec des validations *in silico*, contrairement à la mammographie qui est une belle validation prospective. Mais pour l'instant, il n'y a que deux études comme celle-ci. C'est la prochaine frontière : valider cliniquement, sur de vraies populations, prospectivement, comme on le ferait pour des médicaments, mais pour de l'IA.

Et puis, il y a des choses un peu plus vertigineuses. Comment faire évoluer la médecine si beaucoup de ce que l'on fait repose sur de l'IA qui, par définition, est créée à partir de données du passé ? A cause de cela, la HAS a rendu un avis très juste en janvier où elle dit que la recherche en IA médicale est une très bonne chose, mais qu'elle ne peut se faire au détriment de la recherche clinique classique qui, elle, va continuer à faire avancer la médecine probablement différemment de ce que peut faire l'IA.

Il y a aussi la problématique de la perte de compétences. Nous avons tous appris à faire du calcul mental quand nous étions à l'école élémentaire et puis, quand nous avons eu une calculatrice, nous avons un peu perdu notre capacité à faire des divisions ou des multiplications complexes. C'est pareil en médecine. Si l'on ne fait plus que de la radiologie où les radios sont interprétées par de l'IA, nous n'aurons plus besoin d'internes pour faire l'interprétation et pour les former. Si eux-mêmes ne sont plus formés, quand ils vont devenir seniors, ils ne sauront plus faire et ils ne sauront plus former la génération suivante, et ainsi de suite. A la fin, il n'y aura plus personne pour vérifier que l'IA ne fait pas n'importe quoi, puisque personne ne saura le faire. C'est un vrai problème. Il va donc falloir réfléchir à l'enseignement de la médecine et aussi à la formation continue des médecins utilisant l'IA.

Le rôle du médecin va être redéfini. Il y aura probablement beaucoup moins de technique qu'actuellement. Depuis les années 1980-90, beaucoup de patients se plaignent, à juste titre, que la médecine s'est très fortement technicisée. Paradoxalement, l'IA va détechniciser la médecine et la rendre plus humaine. En tout cas, c'est comme cela qu'il faut la développer et c'est pour cela que les médecins doivent s'impliquer dans son développement.

Jusqu'à quand ? On constate des progrès significatifs sur la robotique, y compris les robots dits humanoïdes qui pour l'instant sont assez ratés. Probablement qu'un jour, cela va s'améliorer. Le problème de l'interface entre le patient et le médecin qui, pour l'instant, est soit textuel avec Chat GPT par exemple, soit visuel sur un écran, n'est pas une frontière infranchissable. On peut imaginer que des robots, un jour, fassent ce que les médecins savent faire.

Conférence 2

Julia Tinland

Julia Tinland

Post-doctorat en philosophie/éthique biomédicale, UMR SESSTIM, CanBioS, Aix-Marseille Université, dans le cadre de la Chaire « Démocratie en santé et engagement des personnes concernées par le cancer » portée par Sandrine de Montgolfier

L'IA peut aider à développer la médecine de précision et notamment pourra aider à identifier les risques auxquels font face les personnes à un niveau individuel.

Parlons d'innovation des classifications et des pratiques diagnostiques, de tous les enjeux éthiques autour du développement de la médecine de précision.

Quand on réfléchit à l'innovation diagnostique, on va avoir tendance à penser l'impact de l'innovation en termes de rapport bénéfices/risques. Si l'on réfléchit aux implications éthiques de ces innovations, la plupart du temps, c'est l'une des premières choses qui va être mise sur le tapis. Qu'est-ce que l'utilisation de ces innovations, l'utilisation de l'intelligence artificielle et le développement de la médecine de précision vont avoir comme implications et vont poser comme risques ?

Par exemple, cela pourra nous pousser à nous poser la question : est-ce que la détection ultra-précoce fait courir plus de risques aux personnes qui subiraient une forme de surdiagnostic - et potentiellement de surtraitement, donc des personnes dont la pathologie n'aurait eu aucun impact négatif sur leur qualité de vie et/ou longévité - qu'elle apporterait de bénéfices aux personnes dont la maladie, détectée suffisamment tôt, aura pu être traitée à temps ?

C'est classiquement une approche bénéfices/risques sur ce type de question et cela fait partie des premières questions que l'on va se poser.

Sinon, on va aussi pouvoir réfléchir en termes d'utilisation et de mobilisation de ressources limitées. On investit énormément dans l'innovation en médecine. On sait que dans le financement de la recherche, il y a certains mots clés, dont ce qui fait partie de tout cet imaginaire de l'innovation, qui fait que l'on obtient des financements plus facilement que quand on travaille sur d'autres thématiques. Par exemple, la médecine de précision fait partie de ces choses qui, en ce moment, engrangent énormément de financements, d'intérêt, parce que les promesses qui y sont attachées sont extrêmement séduisantes. Cela pourrait permettre de régler les problèmes auxquels nous faisons face en médecine aujourd'hui et ce serait une solution absolument extraordinaire si elle pouvait tenir ses promesses.

Les investissements dans le développement de l'innovation diagnostique et de la médecine de précision apportent-ils suffisamment en termes de progrès sur le plan clinique pour justifier une telle mobilisation ?

En médecine, la plupart du temps, nous avons affaire à des ressources limitées et l'une des grandes questions éthiques est la priorisation qui s'opère dans ce vers quoi nous allons aller, ce sur quoi nous allons nous pencher, ce que l'on va essayer de développer.

Ces questionnements sont absolument essentiels et permettent de mettre en lumière des enjeux éthiques liés à l'innovation en santé, aux promesses qui encouragent le développement de la médecine de

précision et aux indications problématiques que l'innovation peut avoir. Il ne s'agit pas du tout de remettre en question ces premiers questionnements, au contraire, ils sont absolument cruciaux.

En revanche, il est aussi important de s'interroger sur la façon dont l'innovation diagnostique peut transformer le rapport à la santé, à la maladie, nos rapports aux risques et plus largement au rôle de la médecine.

L'idée de détection ultra-précoce. Cette idée que grâce à l'intelligence artificielle, grâce à la médecine de précision, nous allons pouvoir avoir des profils de risques individuels, personnalisés, qui vont permettre d'avoir une idée de plus en plus précise des risques auxquels fait face chacun. Cela va nous aider à faire une distinction conceptuelle entre les processus de médicalisation et de démedicalisation et les problèmes de surmédicalisation et de sous-médicalisation.

Cela va aussi me conduire à évoquer le statut du risque et à poser la question de savoir où l'on situe le risque dans le spectre qui s'étend du normal au pathologique. Là, on voit apparaître des concepts en philosophie de la médecine qui sont ceux des prépathologies. Ensuite, on va se pencher un peu plus précisément sur l'impact que ces nouvelles technologies ont sur les classifications de diagnostics. Comment l'usage de l'intelligence artificielle, la détection des risques, la médecine de précision vont faire bouger les lignes du normal et du pathologique ? Comment vont-elles être intégrées dans les classifications diagnostiques et du coup, comment cela va impacter notre vision de la santé et de la maladie, notre vision du rôle de la médecine, etc. ?

Pour vous parler de la médicalisation, historiquement, ce concept a émergé de la sociologie. Ce concept peut avoir l'air positif, mais historiquement, il était chargé de connotations extrêmement négatives. Il y avait déjà une critique sous-jacente à la médicalisation. Médicaliser quelque chose, c'était déjà une intrusion de la médecine dans les parties de la vie humaine qui auraient dû rester épargnées par la médecine. C'est l'idée de base. La médicalisation était d'emblée entendue comme surmédicalisation.

Plusieurs grandes figures ont une approche critique. Pour Ivan Illich, la médecine, à force de médicaliser, faisait passer le message que toute souffrance humaine était évitable. Il a une approche un peu rigoriste, parce qu'il considère que l'expérience de la douleur fait partie des expériences humaines essentielles et qu'il ne faut pas essayer systématiquement de l'éviter. Thomas Szasz s'intéresse aussi beaucoup à l'idée de la médecine présentée comme solution à tout type de problème humain. C'est une forme d'infantilisation pour lui. Michel Foucault, lui, identifie le biopouvoir, donc l'étendue du pouvoir médical, à un pouvoir de l'Etat. Irving Zola considère que la médicalisation, le fait de médicaliser un phénomène, de considérer que ce problème est un problème médical et que c'est à la médecine de s'en emparer, est un dépolitisateur de beaucoup de problèmes. Que c'est une façon pour le politique de se désinvestir de certains problèmes, par exemple la santé mentale. Il y a vraiment cette idée que c'est à la médecine de se charger des problèmes de santé mentale plutôt qu'aux politiques alors qu'on sait que le fait de vivre dans la pauvreté et dans la précarité

accroît de façon exponentielle le risque de développer des troubles psychiques. Telles sont les grandes critiques de la médicalisation.

L'idée est de s'interroger sur l'impact de l'innovation sur les processus de médicalisation ou démedicalisation. On a vraiment besoin d'arrêter d'imaginer que la médicalisation est systématiquement surmédicalisation et il faut donc une clarification conceptuelle entre médicalisation et démedicalisation comme des processus, et la surmédicalisation (qui englobe d'autres problèmes comme le surdiagnostic, le surtraitement, etc.) et la sous-médicalisation.

Le processus de médicalisation est un processus constant. Nous allons parler de la médicalisation du risque et du fait que le risque est de plus en plus considéré comme un phénomène et un problème médical. En ce qui concerne la démedicalisation, l'exemple le plus connu est l'homosexualité qui, pendant très longtemps, a été un diagnostic inclus dans le DSM (Diagnostic and Statistical Manual of Psychiatry). Elle a été interprétée et définie comme un problème médical et, dans les années 1970, n'a plus été considérée comme telle. Elle a quitté les classifications et on ne considère plus du tout l'homosexualité comme relevant de la médecine.

Beaucoup de groupes de patients militent contre ce qu'ils estiment être la surmédicalisation de leurs conditions. On entend par exemple parler des entendeurs de voix. Je parle beaucoup de santé mentale car j'ai travaillé sur ces thématiques pendant plusieurs années et au cours de mon doctorat. Les entendeurs de voix sont des personnes qui ont des hallucinations auditives et qui considèrent pouvoir vivre avec. Cela fait partie de leur expérience du monde et de la vie, et ils refusent que ces expériences soient systématiquement médicalisées et diagnostiquées.

Concernant la sous-médicalisation, on a beaucoup entendu parler de l'endométriase ces derniers temps. Un problème dont beaucoup de personnes ont souffert pendant longtemps et qui n'a pas été suffisamment reconnu par la médecine, qui n'a pas été suffisamment recherché par la médecine et qui serait sous-médicalisé.

La médicalisation est un processus par lequel la juridiction ou l'autorité biomédicale s'étend, notamment pour couvrir de nouvelles conditions et comportements.

Afin de réfléchir sur les enjeux éthiques autour de la médicalisation, et donc au problème de surmédicalisation ou de sous-médicalisation, nous avons besoin de nous poser la question de savoir ce qu'est un diagnostic. Si l'on a affaire à des algorithmes qui vont de plus en plus être chargés de diagnostiquer les personnes, il va falloir s'interroger sur le rôle que joue le diagnostic, sur la façon dont le diagnostic va impacter ensuite les pratiques cliniques et c'est seulement en poussant ces questionnements jusque-là que l'on va pouvoir ensuite réfléchir de façon posée à l'impact de ces innovations.

On se pose ainsi la question : à quoi sert le diagnostic ? Il faut réfléchir à plusieurs niveaux, qu'il va falloir prendre en considération. Déjà, dans le cadre de la recherche, le diagnostic est utilisé pour établir des critères et pour sélectionner des participants à une étude. C'est ce qui permet de distinguer certaines populations sur lesquelles on va pouvoir tester, par exemple, un traitement, la réponse à un traitement. C'est aussi tester la validité de ces critères et expliquer les mécanismes sous-jacents à une maladie.

Au niveau de la recherche, si l'on a un diagnostic qui nous permet de faire ça, c'est déjà assez considérable.

En clinique, c'est ce qui va permettre de définir un traitement adapté. Ce sont quelques usages du diagnostic, mais cela fait partie du rôle principal qu'on donne au diagnostic aujourd'hui. Sélectionner un trai-

tement adapté, établir un pronostic, mais j'y reviendrai, et pour le patient, c'est la reconnaissance du statut de malade par la société. Ce rôle est absolument essentiel. C'est ce qui permet à beaucoup de personnes qui souffrent d'un problème de recevoir une forme de légitimité de la part du corps médical vis-à-vis de ce problème. C'est une forme de reconnaissance et c'est ce qui peut leur permettre d'être reconnus par leurs proches, par leurs pairs, par leurs collègues, par la société plus généralement comme souffrant d'un problème médical.

C'est un rappel et une explication, donc quelque chose qui va impacter leur identité aussi, et c'est l'accès à une communauté de personnes qui sont dans une situation similaire et le fait de ne pas se sentir isolé dans ces expériences.

Cette liste de plusieurs rôles que peut jouer le diagnostic n'est pas exhaustive et il va falloir les garder en tête quand on va se poser la question de savoir comment l'innovation en santé va impacter le diagnostic en lui-même.

La médicalisation est un processus qui peut être légitime, qui peut être recherché et une philosophe (Emilia Kaczmarec) a proposé des critères pour établir qu'un processus de médicalisation est légitime ou pas. Elle pose plusieurs questions. Nommons X un certain phénomène ou une situation : a-t-il été reconnu à juste titre comme un problème ? Est-ce qu'on a raison de le considérer comme un problème ? Si on reprend l'exemple des entendeurs de voix, eux considèrent que les hallucinations auditives ne doivent pas être considérées comme un problème médical systématiquement, parce que pour eux, ce n'est pas un problème dans leur vie. Est-ce que reconnaître X comme un problème aboutit à des attentes sociales infondées ou exagérées ? Là aussi, les entendeurs de voix vont estimer que l'attente de prendre un traitement pour diminuer ou éradiquer leurs hallucinations auditives est une attente infondée alors qu'eux vivent bien avec cette expérience.

La médecine emploie-t-elle les méthodes les plus adéquates pour comprendre X et ses causes ? La médicalisation de X offre-t-elle les méthodes les plus efficaces pour résoudre ce problème ?

Si on veut voir s'il y a un phénomène de médicalisation légitime ou pas, voilà ce que proposent les philosophes de la médecine pour essayer de trancher cette question.

Pour repartir un peu sur les reproches adressés au problème de surmédicalisation, on voit souvent apparaître des critiques assez récurrentes. Il y a l'idée que l'utilisation de catégories et traitements médicaux s'étend pour contrôler les comportements dits « déviants ».

La médecine s'arroge donc le droit de déterminer que certaines choses sont anormales et qu'elles doivent être traitées. L'élargissement des catégories de diagnostic devient tel que finalement, personne n'est épargné. La marchandisation de la santé, le fait que la plupart du temps, la médicalisation aboutit à des traitements et que ces traitements ne sont pas du tout sans impact sur la vie des gens. La privatisation de la pratique médicale et le rôle des entreprises pharmaceutiques dans l'élaboration du diagnostic et des traitements. Là, on peut voir que l'innovation, effectivement, offre une place de choix à l'industrie, à la recherche médicale et aux entreprises dans l'évolution des classifications des maladies.

Si l'on repart sur l'innovation et la médicalisation du risque, un peu plus spécifiquement, c'est vraiment cette idée que les facteurs de risques commencent à être identifiés, de plus en plus et de plus en plus tôt, et à un niveau de plus en plus personnalisé et indivi-

duel, et donc que les facteurs de risques qui font l'objet de traitements préventifs vont tendre de plus en plus à être appréhendés comme des maladies à part entière. C'est Elodie Giroux qui le souligne. Du coup, nous avons affaire à une population de personnes qui sont des patients ou des « demi-patients », des « patients perpétuels », des « patients en attente » ou des « patients en suspens ». Toutes ces personnes chez qui on va identifier des risques, mais qui ne sont pas encore à proprement parler « malades ». On va voir qu'avec l'IA, l'utilisation de l'IA, le développement de la médecine de précision, on arrive à détecter les maladies de façon tellement précoce qu'on est presque au-delà du stade présymptomatique. La pathologie est à peine présente.

Ce qui m'interroge particulièrement dans ces questions, puisque je travaille notamment sur les questions de cancer, c'est l'évolution des approches diagnostiques, des approches catégorielles où il y avait une démarcation claire entre le normal et le pathologique, avec une liste de symptômes et de critères : soit la personne correspondait à cette classification, soit elle n'y correspondait pas. En cancérologie, la stadification, qui marque une gradation en termes de sévérité entre le normal et le pathologique, est très utilisée, mais pas seulement. C'est cette idée que la maladie est un processus qui évolue dans le temps à travers une série de stades. On part du stade 0 jusqu'au stade IV dans le cancer par exemple, le stade IV étant le niveau métastatique, le niveau le plus élevé. Le stade 0 concerne une tumeur extrêmement localisée, voire juste le moment de la mutation des premières cellules.

On arrive enfin à la médecine de précision et ce qu'on appelle la stratification. La stratification, et c'est vraiment là-dessus que se font beaucoup de recherches sur le diagnostic et l'évolution diagnostique en ce moment, est cette idée selon laquelle parmi toute une population de patients qui seraient au même stade, il va y avoir plusieurs profils, notamment moléculaires. La médecine de précision s'intéresse énormément à l'interprétation du cancer. Dans les approches standardisées. Au stade II, par exemple, on va avoir tendance à traiter ou à avoir les mêmes types de traitements offerts à tout le monde. Il ne va pas y avoir d'individualisation du profil de cancer, etc.

La médecine de précision, la stratification, c'est justement avoir une approche qui s'adapte au profil moléculaire de chaque cancer. On a des sous-groupes de maladies, et donc des sous-groupes de patients qui sont identifiés, basés sur des marqueurs qu'on dit prédictifs ou pronostiques selon qu'ils permettent de définir quelle va être l'évolution de la maladie naturellement ou alors comment la maladie va répondre à un traitement particulier.

Les promesses de la médecine de précision font énormément envie et, comme je l'indiquais plus haut, elles sont extrêmement puissantes. Cela fait partie de ces thématiques en médecine et en recherche en médecine en ce moment qui suscitent le plus d'enthousiasme et de financements. Effectivement, si on pouvait avoir une thérapie ciblée pour chaque sous-groupe, cela bouleverserait entièrement le champ de la cancérologie.

On passe de la stadification à la stratification, sachant que les deux ne sont pas du tout incompatibles. En clinique, on continue vraiment à utiliser la stadification sauf que, maintenant, les approches moléculaires, la stratification, commencent à jouer un rôle de plus en plus important.

Avec la stadification, le diagnostic vise à comprendre comment les maladies évoluent dans le temps

ou dans l'espace à travers les stades identifiables. C'est un modèle de la maladie qui est linéaire. C'est Laura Esserman qui le souligne, il y a vraiment cette idée que la maladie est une sorte de continuum dans le temps et, laissée tranquille, elle va évoluer vers des stades de plus en plus sévères. L'implication derrière ce modèle de la maladie et du cancer, c'est que plus on intervient tôt, mieux c'est, puisque plus on avance en termes de sévérité, plus il va être compliqué de traiter la pathologie et de stabiliser la maladie, voire de l'empêcher de passer à un stade plus sévère.

Evidemment, quand on a un modèle linéaire de la maladie comme celui-ci, beaucoup d'efforts vont être concentrés sur la détection précoce et la prévention.

Ensuite, nous avons la stratification qui classe les patients en sous-groupes pronostiques, prédictifs, basés sur des marqueurs spécifiques, notamment des marqueurs moléculaires. Là, nous avons affaire à un modèle qui, dans l'idéal, est causal, c'est-à-dire qu'il va permettre d'identifier tous les mécanismes qui aboutissent au développement de cette maladie. Les gènes que l'on peut appeler « drivers » dans le cancer, sont ceux qui vont causer des mutations successives qui aboutissent à une pathologie sévère. Mais, la plupart du temps, c'est un modèle probabiliste. C'est-à-dire que les personnes qui sont identifiées comme appartenant à tel ou tel sous-groupe pronostique ou prédictif vont, la plupart du temps, avoir ce type de développement de la maladie. C'est un modèle qui reste la plupart du temps probabiliste.

C'est la notion selon laquelle les biomarqueurs identifiables peuvent aider à prédire précisément l'évolution d'une maladie comprise comme une entité distincte puisqu'en fait, ce que la stratification fait, c'est que la maladie n'est plus simplement un processus : elle explose en une quantité importante de sous-types différents qui chacun reconstruit une nouvelle entité, un nouveau diagnostic. En clinique, en oncologie, on arrive à des diagnostics qui n'évoquent plus grand-chose pour les gens, puisqu'on ne parle plus de cancer du poumon, on parle de tel ou tel sous-type de cancer du poumon.

Le fait est qu'il existe plusieurs présuppositions sous-jacentes à ces différents modèles. Quand on va côté stadification, on voit la maladie comme un processus alors que dans la stratification, on la voit plutôt comme une entité. On a, d'un côté, un modèle plutôt linéaire de la maladie et de l'autre un modèle plutôt causal, probabiliste. En fait, il va y avoir plusieurs implications et problèmes éthiques et épistémologiques qui vont apparaître avec ces différents modèles.

La stadification. Premier problème, elle part du principe qu'on peut identifier des stades successivement plus sévères de pathologies. En fait, la distinction entre ces stades est beaucoup plus complexe qu'il n'y apparaît et, sur le plan clinique, n'est pas du tout pertinente à certains moments. Par ailleurs, il y a ce qu'on appelle la compression des stades. Comme je l'expliquais, comme on se concentre énormément sur la détection précoce, la plupart du temps, on va commencer à identifier les gens qui vont tous être au même stade et l'utilisation de la stadification, à la base, est pour permettre de faire un pronostic et de sélectionner un traitement. Or maintenant, avec la compression des stades, puisque presque tout le monde est au même stade, finalement, l'utilité de la stadification s'amointrit, puisqu'on a besoin de faire la distinction entre les gens qui sont à très haut risque et les gens qui sont à très faible risque.

C'est le troisième point. Les gens qui sont au même stade peuvent suivre des trajectoires qui sont tota-

lement hétérogènes. Des gens qui ont un cancer au même stade peuvent avoir une forme indolente de leur pathologie ou alors une forme très agressive et progressive. Là, c'est la médecine de précision et la stratification qui sont censées apporter des réponses. C'est là que l'intelligence artificielle pourrait apporter quelque chose, puisque c'est notamment grâce à l'utilisation d'algorithmes qu'on pourrait espérer diversifier un peu le niveau de lecture, en y intégrant des données qui ne sont pas limitées au moléculaire. Pour l'instant, c'est encore en phase de recherche.

Il y a l'utilité clinique, puisqu'en fait, les sous-groupes pronostiques et prédictifs qu'on identifie concernent une toute petite partie des populations de patients et la plupart du temps, sur le plan clinique, la révolution de la médecine de précision n'a pas eu lieu. Ce sont des promesses qu'on a du mal à tenir et surtout, la raison pour laquelle on a du mal à tenir ces promesses, c'est que l'on a affaire à des pathologies beaucoup plus complexes qu'on l'avait imaginé. Pendant très longtemps, on a eu ce modèle du cancer qui, finalement, partait d'un principe simple avec, à un moment, une mutation problématique qui restait localisée dans une tumeur et qui se disséminait petit à petit dans le corps. En fait, nous avons affaire à une pathologie extrêmement complexe et dès le départ, on peut utiliser un échantillon d'une tumeur qui ne va représenter qu'une toute petite partie de cette tumeur. On va faire un profil génétique ou moléculaire par rapport à cet échantillon, qui va du coup centrer toutes les thérapies ciblées sur les marqueurs moléculaires qui ont été identifiés, sans prendre en compte le fait que la tumeur est beaucoup plus complexe, que cela va encourager la prolifération d'autres cellules problématiques, qu'il y a des interactions avec le micro-environnement cellulaire, avec le système immunitaire, et plus généralement avec l'environnement.

La stadification et la stratification posent donc des problèmes potentiels de surmédicalisation, de surdiagnostic et de surtraitement.

Je ne travaille pas directement sur le cancer de la prostate, mais je travaille sur la leucémie lymphoïde chronique qui est une pathologie qui est, dans beaucoup de cas, indolente. Au moment du diagnostic, environ deux tiers des patients n'ont pas de symptômes et n'ont donc pas besoin de traitement. Parmi ceux-là, la moitié n'aura jamais de symptômes et donc jamais besoin de traitement. Ce sont des personnes à qui on annonce qu'elles ont une leucémie, mais qui vont être beaucoup plus impactées par le diagnostic, par le fait de recevoir ce diagnostic, que par la pathologie elle-même.

Ce sont des patients qui vont être confrontés à l'incertitude et qui ne sont pas encore en mesure de savoir s'ils vont avoir un jour une forme évolutive de la maladie. On a discuté avec des patients qui ont été diagnostiqués il y a quatre ans et ils disent avoir encore la boule au ventre tous les jours d'angoisse, alors que leur maladie n'a jamais progressé. D'autres patients ont eu une forme progressive assez rapidement. C'est très variable. Finalement, l'espoir de la médecine de précision, c'est qu'on puisse commencer à apporter des réponses, puisque le sentiment de l'épée de Damoclès est évoqué par beaucoup de ces patients. Cela pose la question de l'impact du diagnostic lui-même, de la surveillance active.

On n'a pas affaire à un surtraitement ici. Les patients concernés ont le diagnostic et ensuite, on les surveille pour voir s'ils ont une forme progressive de la maladie. Ils voient un hématologue une fois tous les ans, pendant quinze minutes environ, après avoir fait une prise de sang. Ils sont juste surveillés comme ça jusqu'à ce qu'un jour la maladie commence à progres-

ser ou pas. Tout l'enjeu de ce projet de recherche est d'essayer de mettre en lumière que le simple fait de diagnostiquer n'est pas du tout anodin pour ces personnes. Cela a un impact significatif chez elles, en termes d'anxiété, etc. Cela se pose dans le cancer de la prostate, où il y a beaucoup de cancers indolents, et dans le cancer du sein, puisqu'il y a aussi une polémique qui est la même que celle du cancer de la prostate. Pour un certain nombre de chercheurs, il n'est pas démontré que les campagnes de dépistage permettent réellement la réduction de la mortalité. Là aussi, c'est l'espoir de la médecine de précision que l'utilisation de ces algorithmes permette d'identifier les patientes à très haut risque et les patientes à faible risque. Il y a aussi le cancer de la thyroïde. Ce sont trois exemples de cancers que l'on peut mentionner.

En termes de promesses de la médecine de précision, il y en a beaucoup. Il y en a un certain nombre qu'elle n'est pas encore parvenue à tenir. (1) L'idée de pouvoir individualiser le pronostic et la prédiction : en réalité, c'est valable dans certains cas très spécifiques, mais la plupart du temps, ce n'est pas encore le cas. (2) L'idée d'adapter les traitements grâce aux thérapies ciblées : là encore, l'efficacité de ces thérapies est à relativiser, c'est-à-dire que cela fait des miracles dans certains cas, mais dans beaucoup d'autres, il s'agit encore pour l'instant d'un véritable échec clinique. Finalement, l'une des promesses les plus intéressantes est vraiment de déterminer quels patients sont à très haut risque d'avoir une forme agressive et/ou sévère de la maladie, ce qui permettrait de compenser un peu ces problèmes.

Pour finir, une question sur laquelle je travaille en ce moment : finalement, avec tous ces progrès de la médecine, avec toutes ces innovations, avec l'utilisation de l'intelligence artificielle qui va décupler ces capacités, c'est une question qui est aussi sémantique, et pas juste éthique et épistémologique. C'est la question qui a été posée par Timmermans et Mourad dans un article de 2019 où, ouvertement, ils s'interrogent : ne devrait-on pas renommer les cancers à faible risque de progression ? Cette question est assez ignorée pour l'instant par les professionnels de santé qui n'imaginent pas ne pas dire à un patient qu'il a un cancer si le cancer est détecté, même s'il est détecté à un stade extrêmement précoce et même s'il est indolent. Laura Timmermans soutient l'idée que les patients sont inutilement alarmés par le diagnostic de tumeur alors qu'ils sont en fait à faible risque. Mourad estime que plutôt que de changer de terminologie, il faudrait éduquer la société pour qu'on comprenne petit à petit que le cancer n'est plus nécessairement une maladie extrêmement grave, extrêmement sévère et mortelle. C'est l'idée d'opérer ce changement grâce à l'impact de ces innovations qui vont permettre de traiter précocement et plus efficacement, mais aussi qui vont décupler la détection.

Discussion ①

L'intelligence artificielle est-elle innovante ?

Question 1

Alexis Rayapoullé

Pour recentrer sur le concept de l'innovation, sur la nature même de la technique: vous avez dit que ce n'était pas nouveau. On le fait depuis la Seconde Guerre mondiale. Ma première question est alors: pourquoi l'intelligence artificielle a-t-elle encore aujourd'hui le droit d'avoir le qualificatif d'innovation ?

Jean-Emmanuel Bibault

Les techniques d'IA ont tellement évolué que les résultats que l'on peut obtenir et espérer ont aussi beaucoup changé. Ce que l'on pouvait espérer dans les années 1950, ce n'est pas du tout ce que nous pouvons espérer de nos jours. Je pense que cela pose la question de la distinction entre ce que l'on imagine pouvoir tirer d'une technique et ce que l'on peut véritablement en faire. Cela montre la différence entre un écrivain de science-fiction qui imaginerait quelque chose d'incroyable et quelqu'un qui le ferait réellement.

Même si l'idée était de créer des machines capables de faire preuve d'intelligence au sens très large, qui date de la Seconde Guerre mondiale, sa réalisation n'est même pas encore vraiment faite de nos jours.

Cela reste donc de l'innovation. Peut-être même que dans cinquante ans, nous n'aurons toujours pas réussi à vraiment faire ce qu'on appelle l'AGI, c'est-à-dire l'intelligence artificielle générale, qui dépasse l'intelligence humaine en tous points. Je pense que du coup, cela restera de l'innovation.

Dans l'innovation de la technique pure, il y a l'application que l'on en fait. Imaginons que l'on ait une IA capable de tout. Si on lui trouvait un nouveau domaine d'application qui révolutionne le domaine, cela resterait aussi de l'innovation.

Je pense donc que l'on peut encore sans aucun doute parler d'innovation.

Question 2

Membre du public

Vous avez parlé de techniques d'IA à la place d'IA. Quand on pense à l'IA, on voit « patients, médecins, IA ». Si on change la sémantique, d'un seul coup, ce triptyque n'est plus évident et on continue à voir un patient, un médecin et sa technique.

Jean-Emmanuel Bibault

C'est certain. Quand on parle d'IA, souvent dans les médias, on a très souvent l'impression d'une espèce d'entité un peu déifiée, capable de tout, ce qui n'est pas du tout le cas. Dire « techniques d'IA », cela ramène plus à un état d'outil que l'on utilise comme on utilise le stéthoscope ou le scanner ou l'IRM tous les jours. C'est sans aucun doute plus correct. C'était pour la rapidité d'expression, mais je pense qu'il faudrait dire des outils d'IA ou des algorithmes d'IA, ce serait encore plus pertinent. Tout le monde dit « l'IA ». Une IA, ce n'est pas une vraie intelligence comme on peut l'entendre au sens humain du terme. Ce n'est pas un terme très adapté.

Question 3

Fabrice Gzil

Vous avez beaucoup utilisé le terme d'innovation, mais je ne suis pas encore convaincu par le fait que ce que vous avez décrit relève de l'innovation. J'aimerais que vous nous donniez des arguments. Soit c'est dans l'histoire de l'informatique ou de ce domaine qu'est l'intelligence artificielle, mais y a-t-il quelque chose de profondément nouveau dans la pratique ? Cela se voyait un peu sur votre frise historique, mais on sait bien qu'historiquement, on peut passer des ruptures ou pas. Qu'est-ce qui, du point de vue de ce savoir, de cette science fait qu'à vos yeux, ce qui se fait aujourd'hui est en rupture avec ce qui se faisait avant ? Ou est-ce que, du point de vue de la médecine, de la façon dont elle conçoit les maladies ou de la façon dont elle intervient, dont elle diagnostique, dont elle traite des pronostics, il y a vraiment un changement majeur ? Qu'il y ait du nouveau, oui, ce sont des choses que nous ne faisons pas à cette échelle, à cette vitesse, avec cette quantité de données. C'est du nouveau. Mais que ce soit de l'innovation, se parer de ce mot, cela ouvre des portes, notamment financières, considérables, et donc il y a un enjeu. Qu'est-ce qui, soit dans un domaine, soit dans l'autre, soit en termes purement techniques, soit en termes d'application, justifierait qu'on emploie véritablement ce terme ?

Petite question additionnelle: souvent, une technologie vraiment innovante oblige des usages, des métiers, des choses socialement innovantes. Si la réponse à la première question est oui, qu'entreprenez-vous comme innovation qui ne serait pas seulement technique ou scientifique en termes de métiers, de compétences, d'organisation nouvelle ?

Jean-Emmanuel Bibault

Je ne sais pas trop où il faut situer le curseur pour parler d'innovation, mais si on est très pragmatique, par exemple, en radiothérapie, on se sert de l'IA au quotidien pour préparer les traitements. Quand on fait de la radiothérapie, on fait un scanner des patients et ensuite, on va dessiner à la main sur l'ordinateur l'endroit qu'on doit viser. On le faisait à la main. On le fait encore beaucoup à la main. Cela prenait une journée pour les cas compliqués, parce qu'il faut contourner sur les centaines de groupes scanners. Cela prenait beaucoup de temps. Maintenant, on peut le faire avec du *deep learning*. C'est quand même quelque chose que l'on ne pouvait pas faire il y a dix ans, c'est certain, et cela a de très bons résultats. Je pense quand même qu'on peut vraiment parler d'innovation et il y a une vraie traduction très pratique pour les patients. Un traitement qui prenait plusieurs jours ou plusieurs semaines à préparer, à calculer, on peut le faire en deux heures.

Fabrice Gzil

C'est une accélération du calcul.

Jean-Emmanuel Bibault

Est-ce que le fait de gagner du temps en tant que tel est une innovation ? J'aurais tendance à dire oui. C'est un premier exemple.

Cela permet de répondre à la deuxième question. Sur l'organisation des soins en radiothérapie, cela va complètement modifier ce que font les gens dans les services. Vous imaginez que le service à l'hôpital Georges Pompidou, c'est à peu près une soixantaine de personnes en tout. Chacune a un rôle très précis. Cela va complètement redistribuer tout ce que vont faire les gens et cela va créer plein de métiers.

L'un des métiers que cela va créer dans un groupe d'hôpitaux comme l'AP-HP, c'est qu'on peut imaginer des services d'assurance qualité de l'IA. On sait qu'on a déjà des services d'assurance qualité des scanners, c'est-à-dire des ingénieurs biomédicaux qui vont aller vérifier que nos scanners fonctionnent bien, que l'image qui est acquise correspond à la réalité. Cela existe déjà et, heureusement, c'est normal. On peut imaginer, dans quelque temps, qu'il y ait des gens chargés de vérifier que les systèmes d'IA qui sont déployés dans les hôpitaux font bien ce qu'ils sont censés faire. Cela n'existe pas pour l'instant, donc il va falloir des écoles, des formations, des compétences, des postes dédiés pour cela. Il y a plein d'autres exemples sur ces thématiques.

Il y a maintenant ce qu'on appelle, aux Etats-Unis surtout, les ingénieurs de *prompt*. Ce ne sont plus des ingénieurs informatiques, ce sont des ingénieurs qui sont censés construire des *prompts*, c'est-à-dire des phrases qu'on utilise pour piloter ChatGPT. C'est très spécifique. On peut créer des *prompts* très complexes pour arriver à certaines choses. Maintenant, c'est recherché aux Etats-Unis, par exemple. Il y a plein de métiers qui vont apparaître, c'est sûr. Et certainement, des métiers qui vont disparaître. Quand on a mis en place l'éclairage urbain il y a quelque temps, les gens qui allumaient le gaz le soir ont arrêté de travailler. Cela va poser des problèmes sociaux, c'est sûr. J'ai lu que 30 % des métiers allaient disparaître. Je ne pense pas que ce sera dans de telles proportions, mais je me trompe peut-être.

Alexis Rayapoullé

Sur le plan du raisonnement médical, Julia, est-ce que vous voyez une rupture ?

Julia Tinland

Cela transforme la façon dont on conçoit le rôle du diagnostic, la façon dont on conçoit le risque. Rien que cela est lié à une forme d'innovation. C'est quelque chose qui va transformer la façon dont on pense la pathologie, la maladie, le médical.

Fabrice Gzil

Des cas symptomatiques et asymptomatiques, il y en a en médecine depuis très longtemps, donc où est la nouveauté ?

Julia Tinland

La symptomatologie existe depuis très longtemps. L'identification des patients à risque est très ancienne. Moi qui viens du champ de la santé mentale, par exemple, qui est un domaine médical particulièrement intéressant, parce qu'il y a des systèmes de classification qui sont en compétition les uns avec les autres - contrairement au champ de la cancérologie qui est relativement homogène et qui s'accorde sur la classification - la psychiatrie, ce n'est pas du tout le cas. Il y a plusieurs modèles de pathologies qui sont en compétition les uns avec les autres. L'innovation, que ce soit dans l'oncologie ou en psychiatrie, va vraiment avoir un impact sur la façon dont on conçoit ce qu'est la maladie qu'on est en train de traiter. L'exemple que je donnais dans la stratification relève de ça. C'est l'identification de sous-pathologies qui sont tellement précises qu'on perd complètement l'objet qui était né de l'observation clinique et de la symptomatologie. On ne parle plus du tout de cela à certains moments avec le développement de cette technologie. Le cas clinique est en train de se transformer. Ce n'est plus la même lecture du même cas.

Discussion ②

L'innovation, le bricolage et le progrès

Question 4

Martin Dumont

Sur cette question de l'innovation, quand j'entends parler de l'IA, chaque fois, je suis un peu perturbé par le fait que c'est censé représenter des systèmes rigoureux de calcul avec du symbolisme un peu opaque, mais bien identifié. Très souvent, les gens qui parlent de l'IA, donnent l'impression d'une approche très artisanale qui tend vers le bricolage. On ne sait pas bien ce que l'on fait. Il y a plein de données et on ne sait pas ce qui va sortir. Du coup, pensez-vous que c'est plutôt un tic de langage ? Il y a un décalage avec l'image de l'ingénieur. Pensez-vous que c'est une posture ? Que cela correspond à la réalité ? L'innovation est-elle une trouvaille complètement due au hasard ?

Jean-Emmanuel Bibault

C'est tout à fait vrai. Il y a énormément d'empirisme. Il faut comprendre que quand on lance un entraînement, plus la tâche est grosse et les données importantes, plus ça va prendre du temps, mais on va préspecifier un certain nombre de paramètres, qu'on appelle des hyperparamètres à partir desquels l'algorithme va partir pour faire son apprentissage. Ce sont des fonctions d'optimisation. Beaucoup de paramètres différents. Quand on fait du *machine learning*, on passe son temps à faire ce qu'on appelle de l'optimisation d'hyper paramètres. C'est ultra empirique. C'est ultra artisanal. Cela peut être le coup de chance ou le coup de malchance. Il y a tout un pan de la recherche qui consiste à optimiser ces hyper paramètres avec un cout informatique le plus faible possible, sinon ce qui pourrait vous prendre trois jours peut vous prendre trois mois si ce n'est pas optimisé. Pour l'instant, ce n'est pas une posture, il y a un énorme côté empirique et on ne comprend pas forcément très bien pourquoi tel paramètre marchera mieux qu'un autre.

Pour prendre un exemple récent sur des LLM, de grands modèles de langages type Chat GPT, il y a une startup qui s'appelle Mistral et qui a fait beaucoup par-

ler d'elle récemment. Elle a levé beaucoup d'argent et elle a sorti un LLM qui s'appelle Mistral 7B, qui marche très bien, qui est très léger. Quand on regarde la différence entre Mistral 7B et LLAMA qui est le modèle de Meta qu'ils ont mis en open source, il y a une différence sur 40 lignes de codes. Cela représente 0,001 % du code. Ces 40 lignes de codes qu'ils ont changées par rapport à LLAMA font que leur modèle est mieux que LLAMA. On ne s'explique pas très bien la différence entre les deux.

C'est fou de se dire qu'une startup qui a levé plusieurs centaines de millions d'euros n'a eu qu'à changer 40 lignes de codes, ce qui une fois de plus ne représente strictement rien, pour sortir un modèle comme si c'était un truc extraordinaire. Les gens qui défendent Mistral disent que c'est ce qui montre qu'ils sont bons. Ils n'ont eu à modifier que 40 lignes et ils ont fait mieux que ce qu'il y avait.

Alexis Rayapoullé

Cela fait penser à l'ADN quand on voit que quelques différences constatées sur une séquence peuvent faire des êtres complètement différents.

C'est intéressant ce que vous dites par rapport à ce que nous a présenté Thierry Ménissier dans sa conférence introductive¹. Il parle du « paradigme de l'innovation ». Quelque chose d'assez sauvage, comme ce bricolage. On ne sait pas trop où ça va, par rapport au paradigme du progrès où il y a quelque chose de linéaire et d'un peu finaliste. Le développement de l'IA, c'est beaucoup plus dans ce paradigme de l'innovation.

1 Cf. chapitre « Introduction », pp. 11-16

Question 5

Membre du public

Pour rebondir sur ce point, finalement, on a un peu l'impression qu'avec l'IA, il y a une partie des choses qu'on ne sait pas totalement expliquer et par ailleurs, cela met en évidence des corrélations qu'on ne sait pas très bien expliquer. Cela nous conduit à la fois à avoir une description du réel qu'on améliore sans que l'on comprenne forcément très bien ce qu'il y a derrière.

Par rapport à ce qu'était la médecine il y a dix ou quinze ans, avez-vous le sentiment qu'on comprenait mieux avant ? On a l'impression qu'on sait très bien catégoriser, on sait intervenir, mais derrière, les relations ne sont pas très claires. Est-ce un vrai sujet ?

Jean-Emmanuel Bibault

On comprend vraiment mieux les choses maintenant qu'avant. Il y a dix ou quinze ans, j'avais commencé mon internat et on disait : on va avoir des thérapies ciblées, donc on va guérir les gens. En fait, on se rend compte qu'il y a des résistances qui se développent, il y a d'autres cascades moléculaires qui s'enclenchent.

On est en train de comprendre tout ça. Donc on comprend quand même mieux les choses qu'avant, mais on ouvre une porte qui ouvre sur cinquante autres portes et on se rend compte qu'en réalité, on ne comprenait rien avant. C'est un peu au-delà de l'IA en général.

On dit souvent que l'IA n'est pas créatrice, elle ne fait que répéter ce qu'elle a déjà appris sur des combinaisons différentes. On peut espérer qu'en médecine, on puisse peut-être découvrir de nouveaux mécanismes physiopathologiques qui échapperaient à l'intuition humaine, mais qui seraient mathématiquement ou biologiquement pertinents. Il y a un exemple. Hier, une startup de Google a annoncé qu'ils avaient développé une IA qui avait découvert plusieurs dizaines de milliers de nouveaux matériaux, c'est-à-dire de nouvelles combinaisons d'atomes qui font de nouveaux matériaux que nous-mêmes, nous n'avons jamais créés. C'est un exemple qui montre qu'à mon sens, l'IA va être créatrice. Elle va permettre de faire des choses nouvelles, notamment en médecine je l'espère.

Discussion ③

La régulation de l'innovation

Question 6

Alexis Rayapoullé

Faudrait-il s'interdire de développer certains outils, en amont, avant même de les développer, si cela implique de prédire des choses que l'on ne va pas savoir, de perdre en compétences ou de produire des effets de dépolitisation ? Devrait-on s'interdire de développer certaines choses ? Qu'est-ce que l'on pourrait faire ?

Julia Tinland

Je ne sais pas si on peut éviter le développement de ces nouvelles technologies. Il me semble compliqué de réguler et je ne vois pas quelles instances seraient suffisamment puissantes pour réellement juguler ces développements.

Jean-Emmanuel Bibault

Il y a le côté pratique et le côté théorique. Sur le côté théorique, est-ce qu'on devrait empêcher le développement d'une IA ? Cela va au-delà de la médecine. Il y a quelques mois, il y a eu une tentative de moratoire d'une centaine de personnes qui voulaient stopper temporairement le développement de l'IA, parce que l'on ne sait pas trop où l'on va, etc. En réalité, les gens qui avaient signé le moratoire étaient tellement en retard économiquement qu'ils espéraient rattraper leur retard - parmi lesquels Elon Musk qui, deux mois après, annonçait la création de sa cohorte en IA qui s'appelle xAI. Il sort l'équivalent de Chat GPT la semaine prochaine ou dans dix jours. Il faut se méfier aussi des fausses bonnes intentions.

Geoffrey Hinton, l'un des trois qui a presque créé le domaine avec l'un de ses thésards en 2012 et qui maintenant dit qu'il n'est pas prêt à assumer la responsabilité de ce qu'il a fait et préfère démissionner de Google et avertir les gens, a fait des interviews sur de grandes chaînes américaines d'informations où il a très clairement dit qu'il craignait que l'IA puisse sup-

planter un humain et être même menaçante. Qu'un vrai expert dise cela, c'est très étonnant. D'ailleurs, en début de semaine, il s'est un peu écharpé avec Yann LeCun, qui est un tenant de l'autre côté et qui dit : il ne faut surtout pas freiner l'innovation, parce que tous les gens qui disent que l'IA va éliminer l'humain sont des *doom sayers* - *doom* qui veut dire « être maudit ». Yann LeCun s'oppose donc totalement à Hinton.

Cela revient à un vieux principe, qui est très ancien : le principe de précaution. Est-ce qu'il faut absolument, y compris pour l'IA, appliquer ce principe ? J'aurais tendance à dire que non, parce que nous voyons les patients et nous voyons le besoin qu'ils ont d'avoir accès à de nouveaux outils pour mieux traiter et mieux guérir certaines maladies. Ce sont souvent les tenants des opposants au principe de l'innovation qui sortent ce genre d'arguments, mais dans la vie de tous les jours, quand c'est votre peau qui est en jeu, vous avez envie d'avoir accès à ce qu'il y a de mieux. Je pense que c'est aussi une responsabilité de ne pas freiner cette innovation, mais qu'elle soit développée dans un cadre, si tant est qu'on puisse en faire un - et je pense qu'on peut le faire -, qui soit compatible avec un bénéfice pour tous.

Alexis Rayapoullé

L'IA peut déterminer cinq ans à l'avance le risque de mortalité sur des scanners normaux. Quand on sait l'impact qu'a un diagnostic ou un pronostic, je ne peux pas m'empêcher de penser que c'est presque dommage que cela ait été mis au point.

Jean-Emmanuel Bibault

Pour l'instant, ce n'est utilisé par personne. Le modèle est sur un disque dur. Cela n'empêche pas qu'effectivement, dans l'absolu, si vous avez du vol de données ou de la fuite de données d'imageries ou autres, cela arrive, on pourrait profiler les gens.

Discussion ④

Le fonctionnement de l'algorithme

Question 7

Membre du public

Je suis chirurgien. Quel est le nombre de vidéos requis pour entrainer une IA comme celles de la recherche de Stanford ?

Jean-Emmanuel Bibault

Dans cette recherche faite sur des vidéos rendues disponibles par l'Institut de chirurgie de Strasbourg, il y a très peu de vidéos utilisées. Par exemple, si c'est du 30-34 images/seconde, si vous avez ne serait-ce que vingt vidéos, cela va déjà faire beaucoup d'images. C'est un travail qui peut être reproduit assez vite sur assez peu de vidéos de laparoscopie.

Membre du public

Pensez-vous que vingt vidéos de dix heures d'intervention seraient suffisantes ?

Jean-Emmanuel Bibault

Dix heures, c'est long. Ce qui va être difficile, et c'est ce qui prend du temps quand on fait de l'IA en général, c'est de labelliser les vidéos. Il faut qu'un humain intervienne sur toutes les *frames*, toutes les images de la vidéo...

Discussion 5

Le rôle du médecin dans la programmation

Question 8

Membre du public

Vous avez beaucoup travaillé sur l'IA. Vous programmez vos algorithmes vous-même ou à un moment, est-on obligé de basculer du statut de médecin à un autre ?

Jean-Emmanuel Bibault

J'ai une thèse en informatique donc, jusqu'à récemment, je faisais tout cela moi-même, mais je n'ai plus trop le temps. Je vérifie ponctuellement.

Dans les médias et dans beaucoup d'interventions, les gens qui parlent de cela n'ont jamais codé la moindre ligne et ne savent pas vraiment de quoi ils parlent. C'est extrêmement frustrant, parfois même très énervant. Je pense qu'il faut savoir un minimum. On ne va pas faire des réseaux gigantesques et des choses incroyables, mais savoir quand même coder, savoir faire des choses simples, je pense que c'est obligatoire pour comprendre de quoi on parle, ce qu'on fait. Avoir un peu de crédibilité.

Les vrais ingénieurs qui ne font que du *machine learning* estiment d'ailleurs que même un médecin qui sait coder sait moins bien qu'eux-mêmes qui savent vraiment mieux faire. Tout ceci avec le petit recul près que maintenant, avec ChatGPT, on peut coder tout ce qu'on veut sans savoir coder. Cela va donc devenir de moins en moins vrai. On n'aura même plus besoin de savoir coder parce que ChatGPT code déjà pour nous.

Modèles de langage

03

La documentation clinique générée par intelligence artificielle

Alexandre Lebrun

Alexandre Lebrun a obtenu un Master d'informatique à l'École polytechnique et a monté plusieurs entreprises dans le domaine. VirtuOz, destinée à créer des agents virtuels de type Siri pour les entreprises, puis Wit.ai, une plateforme d'IA qui permettait de construire des applications à partir du langage naturel. Pour cette séance, il présente la dernière entreprise qu'il a co-fondée, Nabla, dont il est le PDG. C'est une entreprise d'IA en santé, basée à Paris et qui utilise les grands modèles de langage (LLM) pour générer de la documentation clinique.

Nicolas Castoldi

Nicolas Castoldi, co-organisateur de ce séminaire, a été formé à l'École normale supérieure de Paris en philosophie, a suivi un Master en affaires publiques à Sciences Po Paris et a fait sa leçon d'agrégation de philosophie sur «la nouveauté». Il a un parcours professionnel à cheval entre le monde des sciences et techniques et le monde de la politique. Il a effectué une partie de sa carrière au cabinet de Valérie Pécresse, alors ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, où il était conseiller en charge des sciences humaines et sociales et sur le discours ; puis, plus tard, auprès de Frédérique Vidal, devenue ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation – marquant au passage l'irruption du mot «innovation» dans les intitulés ministériels. Depuis 2020, il est directeur délégué auprès du directeur général de l'AP-HP, et directeur de l'initiative @Hôtel-Dieu. Il est également codirecteur de l'Espace éthique Île-de-France depuis janvier 2023.

Conférence ①

Alexandre Lebrun

Alexandre Lebrun

Cofondateur et PDG
de Nabla

Le meilleur moyen d'expliquer ce que l'on fait chez Nabla est de faire une petite démonstration.

Le problème que l'on cherche à résoudre chez Nabla est le manque de médecins et le fait que nombre d'entre eux - 3 sur 5 aux États-Unis selon les études - souffre de burn-out et envisage d'arrêter. La cause principale: ils sont débordés par les tâches administratives.

Dans toutes les statistiques, les médecins passent 50 % de leur temps en moyenne sur des tâches administratives. Quand on consulte en tant que patient, on voit plus souvent le médecin en train de taper sur un ordinateur et se battre contre le logiciel médical, plutôt que de vous écouter, de vous regarder dans les yeux, d'avoir une vraie relation avec vous. Ce n'est pas agréable pour le patient, mais ce n'est pas agréable non plus pour le médecin qui préférerait dispenser du soin et écouter plutôt que de devoir se battre contre un logiciel au travers de son écran.

Dans un monde idéal, on changerait tous les logiciels utilisés par tous les médecins, mais c'est impossible car ce sont des logiciels extrêmement complexes, qui ont coûté des milliards et qui ont mis des années à être déployés, donc ce n'est pas réaliste. Et il est encore moins réaliste pour des start-ups d'attaquer le problème par ce bout.

Que faire? On peut créer un assistant intelligent au service du médecin (ou de l'infirmier), qui va s'insérer entre le médecin et le logiciel médical pour faire des choses administratives à sa place dans le logiciel-médecin.

Le logiciel Nabla est quelque chose qui tourne typiquement sur un téléphone pour les consultations en cabinet. Le médecin arrive, pose son téléphone sur la table et lance Nabla. On écoute la consultation - donc on ne l'enregistre pas, on ne la garde pas - on l'écoute, on capte l'audio temporairement et on la transcrit en texte. Vous allez voir le texte, mais le but n'est pas de transférer toute la consultation en texte. Le but, à partir de ce texte, est de générer toute la documentation clinique nécessaire. C'est-à-dire mettre à jour le dossier du patient dans le logiciel et ce, quel que soit le logiciel utilisé. Cela veut dire, par exemple, rédiger une lettre d'adressage pour les confrères, faire une déclaration pour l'assureur, la mutuelle, la Sécurité sociale, etc.

Toutes ces tâches administratives qui suivent les consultations, on les automatise dans ce produit Nabla qu'on a appelé Copilot - et ce n'est pas par hasard - pour bien dire au médecin: «c'est vous le pilote. Ce n'est pas un logiciel qui prend des décisions de diagnostic médical, qui décide des choses. Nous, nous sommes le secrétaire, nous prenons note de ce que vous décidez.»

Donc, si le médecin dit: «je vais vous donner telle prescription et je pense que c'est telle maladie», nous documentons ce qui a été dit et faisons ce qu'il faut faire derrière. C'est la raison pour laquelle le produit s'appelle Copilot et non pas Pilot. Voilà ce que l'on essaye de faire.

J'ai demandé au Dr A. de venir avec moi pour avoir un vrai médecin. Moi, je vais plutôt faire le patient. Une démonstration est projetée sur l'écran de l'amphithéâtre.

Imaginez que j'arrive en consultation. Voilà ce que verrait le Dr A. sur son téléphone ou sur son ordinateur. En réalité, elle ne regarderait pas cela car, précisément, elle me regarderait, moi, le patient. Démarrons la démonstration.

- Bonsoir à tous. Bonsoir, M. Lebrun. En quoi puis-je vous aider?
- Bonsoir, Docteur. J'ai très mal au dos. Je suis rentré du ski et je me suis fait mal au dos.
- Alors, si vous le voulez bien, étant donné que c'est la première consultation, je vais vous poser quelques questions. Et après, vous me parlerez plus en détail de ce qui vous est arrivé. Est-ce que vous avez des problèmes de santé?
- J'ai mal au dos, comme je vous le disais, mais sinon, non, je vais bien.
- Vous ne vous êtes jamais fait opérer?
- Si, j'ai été opéré de l'appendicite en 2003.
- D'accord, donc une appendicectomie dans l'enfance. Est-ce que vous avez des soucis de santé?
- J'ai une rhinite allergique et c'est tout.
- Et vos parents ont des soucis de santé?
- Beaucoup. Mon père est diabétique de type 2, ma mère fait de l'hypertension et ma grand-mère est décédée d'un cancer du sein.
- D'accord. Ça fait déjà beaucoup de choses. Est-ce que vous fumez?
- Deux ou trois cigarettes par jour, pas plus.
- Est-ce que vous buvez de l'alcool?
- Oui.
- Quotidiennement?
- Quatre ou cinq verres par jour.
- D'accord. Tous les jours, constamment?
- Oui, oui, parfois plus.
- Vous savez qu'il faudrait boire quelques verres en moins? Mais nous aurons l'occasion d'en reparler plus tard.
- On en reparlera plus tard.
- Que faites-vous comme métier?
- Je suis ingénieur en informatique.
- Est-ce que vous avez des allergies connues?
- Je suis allergique à l'aspirine.
- Prenez-vous des traitements au long cours, tous les jours?
- Non.
- Très bien, racontez-moi ce qui se passe?
- J'ai mal au dos. Je fais beaucoup de ski. Je ne pars pas très longtemps, mais cette fois, je me suis fait mal au dos.
- C'est une grande passion le ski, visiblement. Donc ça fait combien de temps que vous avez mal au dos?
- Ça fait sept jours.
- Sept jours, d'accord. Est-ce que c'est une douleur qui irradie au niveau des jambes? Est-ce qu'il y a des sensations, par exemple, d'engourdissement?
- Non.
- Et c'est la première fois que ça vous arrive?
- Oui.
- Est-ce que vous avez perdu les urines ou les selles de manière incontrôlée?
- Non.
- Non plus. Très bien. Écoutez, j'ai les informations qu'il me faut.
- Ah oui, au fait, c'est dans le bas du dos. J'ai oublié de vous le dire. C'est vraiment dans le bas du dos.

- Je vais procéder à l'examen clinique.
- D'accord.
- Du coup, je fais un examen clinique. Vos constantes sont très bien. Vous avez 12/8, donc c'est une tension tout à fait normale. Vous avez une fréquence cardiaque à 60. C'est bien, vous avez un cœur de jeune homme. Il n'y a pas de température, vous avez une température à 37 degrés, donc pas de fièvre. Au niveau de l'examen clinique, votre consultation cardiopulmonaire est normale. Au niveau abdominal, c'est également normal. Pour ce qui est de l'examen neurologique, alors effectivement, lorsque je palpe le bas du dos, vous avez une douleur localisée. Ce qui est rassurant, c'est qu'il n'y a pas de trouble sensitivomoteur, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de perte de force ni de troubles de la sensibilité. Vos réflexes ostéotendineux sont normaux. Ça aussi, c'est rassurant. Vous avez ce que l'on appelle un lumbago, une lombalgie commune, c'est-à-dire une douleur localisée. Il n'y a pas de signe de sciatique associée. Le traitement est simple, vous allez prendre des antalgiques. Vous allez pouvoir prendre du paracétamol 1 g, 1 comprimé toutes les 6 heures pendant 5 jours. Vous n'avez pas d'allergie à l'ibuprofène ?
- Non.
- Vous en avez déjà pris ?
- Oui.
- Donc vous allez prendre de l'ibuprofène 400 à raison d'un comprimé toutes les 8 heures pendant 5 jours. Et puis au niveau des consignes, vous pensez bien à marcher, à vous mobiliser.
- Il y a un petit arrêt de travail peut-être ? Je suis un peu venu pour ça, quand même.
- Je dois pouvoir vous arrêter 3 jours. Pour votre cadeau de Noël. Après, sachez que c'est à titre exceptionnel. Donc vous allez vous arrêter 3 jours et je vous propose ensuite qu'on se revoie d'ici la semaine prochaine pour faire le point. Pour voir si cette douleur persiste malgré le traitement.
- Donc, le 26 décembre ?
- Le 26 décembre, il me reste une place à midi si ça vous va.
- Parfait. Merci, Docteur.
- Je vous en prie.
- Merci beaucoup, Dr A.

Voilà une consultation qui vaut ce qu'elle vaut. Pendant une vraie consultation, ça peut être touffu, on peut parler d'autre chose, c'est compliqué. Vous avez vu le texte, c'est clair, mais le médecin ne regarde pas ça. Le but, c'est qu'il ne regarde pas l'écran. C'est plus pour vérifier si tout fonctionne.

Nous allons générer le compte rendu. Je n'ai jamais vu deux médecins d'accord sur ce que serait le meilleur compte rendu. Nous avons donc plusieurs options, plusieurs modèles. Selon nous, un médecin qui aurait eu un temps infini pour bien documenter ce qu'il s'est passé dans son logiciel écrirait : «lombalgie suite au ski». Moi, j'ai dit : «J'ai mal au dos», mais on ne veut surtout pas indiquer cela sur le compte rendu. Cela s'appelle «une lombalgie». «Douleur au dos depuis 7 jours, pas de douleur irradiante, pas de sensation d'engourdissement, pas de perte de contrôle des urines». C'est ce que le logiciel a estimé qu'il était important de retenir dans la partie «histoire de la maladie».

Concernant les antécédents, il évoque la rhinite allergique, mais rien d'autre. C'est beaucoup plus compliqué pour le machine learning de noter l'absence de quelque chose plutôt que de trouver quelque chose. Donc, là, c'est ce que l'on a fait en disant qu'il n'y avait pas d'autre problème de santé, en tout cas mentionné, lors de la consultation. On a parlé de l'opération

de l'appendicite et on a bien noté l'appendicectomie dans l'enfance. Concernant les antécédents familiaux : le père, la mère et la grand-mère. Le mode de vie a lui aussi été bien retenu, sans mettre toute la conversation autour du ski. Enfin, les allergies, le «pas de traitement en cours», les constantes ont été mesurées.

Ce qui est intéressant, c'est que quand les médecins commencent à utiliser Nabla tous les jours, ils finissent par réaliser beaucoup plus ce qu'ils font avec le patient, y compris les choses qu'ils noteraient sans le dire, parce qu'ils savent que leur Copilot écoute et que ce sera automatiquement mis à jour dans le dossier du patient. Ils vont donc verbaliser les examens. Et - même si ce n'était pas prévu au début -, nous nous sommes rendu compte que les patients adorent que le médecin verbalise, même s'ils ne comprennent rien. Ça les rassure qu'il y ait un examen et des choses compliquées qui soient dites.

Concernant l'évaluation, encore une fois, nous ne sommes pas là pour évaluer, nous sommes là pour documenter l'évaluation faite par le médecin. La conduite à tenir, l'arrêt de travail, la prescription et le prochain rendez-vous. Là, c'est la version texte, mais quand on est intégré avec le logiciel métier, on va pouvoir automatiquement générer l'ordonnance, l'arrêt de travail, tous les documents : c'est structuré, codifié, nous savons ce qu'il faut faire.

Tel est à peu près l'objectif central de Nabla. C'est utilisé par 15 000 médecins dans le monde dont un peu moins de 2 000 en France, la plus grande partie se trouvant aux États-Unis où le besoin de documentation parfaite est très fort. Nous avons donc une très grosse accélération aux États-Unis, notamment chez Kaiser Permanente, le plus gros fournisseur de santé en Californie, qui nous utilise pour 10 000 médecins aujourd'hui.

Pour terminer, je vais vous expliquer comment cela fonctionne sur le plan technique.

D'abord, il y a un micro qui capte la conversation. La première phase est ce que l'on appelle STT, *Speech To Text*, qui consiste à convertir l'audio en texte. Vous l'avez vu s'afficher en temps réel pendant la démonstration. C'est un modèle que l'on a fait nous-mêmes, rapide et extrêmement précis, surtout sur les termes médicaux, sur lesquels il ne faut surtout pas se tromper. Nous avons donc surentraîné notre modèle pour qu'il soit fort sur ces choses qui comptent.

Dès que l'on a la sortie du texte, on retire toutes les informations d'identifiants : non seulement les noms, mais si la personne dit qu'elle a été opérée dans tel hôpital, à telle date, tout ce qui permettrait de vous retrouver, on le sort du texte. On «pseudonymise» et ensuite on appelle des LLM, des grands modèles de langage qui vont faire le gros travail de structurer ce texte. On transcrit mot pour mot la consultation pour en faire un langage structuré, comme la documentation clinique et la prescription. C'est vraiment un travail de langage naturel fait en grande partie par des LLM.

Vous connaissez tous GPT-4 mais également des modèles open source comme LLaMa2 qu'on héberge nous-mêmes et qui effectuent ce travail de structuration du texte en documentation clinique. Le problème de ces larges modèles qui sont derrière des choses comme GPT, c'est qu'ils peuvent «halluciner» : ils peuvent inventer des choses. C'est extrêmement gênant, dans le cadre d'une consultation médicale, si un médecin voit, une fois, que l'on a inventé une chose que le patient n'avait pas dite. Nous avons donc un système «adversarial» qui cherche à se battre contre le premier modèle et qui va remettre en cause tout ce qu'il dit. Si le patient a dit qu'il était allergique à ceci ou cela, le second modèle va essayer de retrouver dans

la source le moment où le patient avait dit ça. Et si l'on n'est pas sûr à 100 % d'avoir retrouvé la source, il va le supprimer. C'est très important. C'est un modèle «adversarial» qui va supprimer les choses dont on n'est pas sûr.

Ensuite, on va remettre les informations identifiantes qui peuvent être utiles pour le médecin. On retire, par exemple, un nom. Si le patient a été opéré à l'Hôtel-Dieu, on remplace le nom de l'hôpital par «X». Ainsi, quand on appelle les LLM, dont certains sont dans le cloud comme OpenAI, on ne leur envoie jamais d'information identifiante. Et quand il nous donne la réponse, si l'on retrouve le nom de l'hôpital X, on va remettre «Hôtel-Dieu» à la place de X. C'est une manière, au moment où la data sort, de la rendre la moins sensible possible.

Ensuite, on normalise. On montre la note à l'utilisateur, donc au médecin, à l'infirmier et souvent (dans 8,5 % des cas), il va nous faire un retour, comme s'il parlait à un assistant en lui disant: «là, tu as fait telle faute d'orthographe sur tel nom de médicament». Ou au contraire: «c'était très bien aujourd'hui, bravo!». Dans ces cas-là, grâce à ce feedback, nous allons pouvoir améliorer les modèles et entraîner ce machine learning. Voilà à peu près la boucle d'utilisation.

Conférence ②

Nicolas Castoldi

Nicolas Castoldi

Directeur exécutif de l'initiative @Hôtel-Dieu, codirecteur de l'Espace éthique Île-de-France

Une des briques fondamentales derrière ce que vous proposez est le modèle de type GPT. C'est vraiment un cas d'usage de choses que l'on connaît aujourd'hui sous la forme de ChatGPT ou autre, qui n'est sans doute pas du tout ce que l'on a en tête quand on parle de ChatGPT, ce que je trouve assez intéressant. Que peut-on dire sur le plan philosophique de ces modèles d'IA générative ?

Le thème de ce séminaire est de savoir ce qui fait de l'innovation. C'est la question que nous essayons de placer au cœur de notre travail collectif. Et au fond, derrière cette question, il y a deux questions. Une première serait : qu'est-ce qui fait qu'une innovation est réellement une innovation ? Et une deuxième : qu'est-ce qui fait qu'on désigne, qu'on appelle, qu'on utilise le terme d'innovation pour qualifier quelque chose de nouveau ? Il y a la réalité, et puis il y a le discours, et les mots ne sont pas forcément les choses.

Enfin, une des questions que je voudrais traiter est de savoir si cette idée – que les mots ne sont pas les choses et qu'entre ces deux dimensions il y a un écart – tient. Est-ce qu'à travers ces questions d'IA générative, nous allons, d'une manière ou d'une autre, amener à repenser le rapport entre le langage et la réalité ?

Quand on parlait d'intelligence artificielle, on est parfois frappés de l'utilisation de ce terme comme si tout cela était une forme d'entité unique, sans jamais mettre l'accent sur ce que ces outils permettaient de faire. La formule « IA » ne veut pas dire grand-chose mais on s'y cramponne beaucoup, sans jamais vraiment se centrer sur ce que fait vraiment l'IA et comment elle le fait.

Je voudrais que l'on commence par essayer de comprendre de manière simple, ce que fait un modèle de type GPT. Il organise la production d'une succession de mots et le faire sur une base statistique. La clé étant la probabilité qu'un mot suive un mot, ce qui évidemment est une affaire de contexte.

D'une certaine manière, un modèle de type GPT n'est pas autre chose qu'une fonction d'autocomplétion – ce que vous pouvez avoir sur Gmail ou dans plein de logiciels qui font des suggestions de mot suivant, voire des suggestions de réponses à vos e-mails. Si vous prenez Gmail, quand vous écrivez un mail ou que vous le recevez, vous avez en bas une proposition de réponse type du type : « Oui, parlons-en », « Super ! ». Ce n'est pas autre chose que ça.

Le point vraiment important est que ce sont des modèles qui reposent sur des probabilités, des statistiques qu'un mot succède à un autre, et ils sont fondés sur des analyses d'immenses corpus de textes qui permettent de qualifier ou de quantifier cette probabilité qu'après tel mot, arrive tel autre.

Pourquoi est-ce intéressant ? Parce que ce que cela nous dit, c'est qu'un système d'IA générative de ce type est purement autoréférentiel : il formule un énoncé sur la base d'autres énoncés. En un sens, la génération de ces énoncés n'a aucune prétention à la vérité en soi, GPT ne décrit pas, ne qualifie pas une relation logique : il enchaîne les mots.

Et pour le dire dans un langage kantien, un énoncé d'IA générative n'est ni un jugement synthétique ni un jugement analytique. Ce n'est pas analytique parce que ça ne décompose pas un concept. On ne tire pas un concept d'un autre concept. Ce n'est pas un jugement synthétique au sens où cela ne vient pas tirer parti des leçons de l'expérience en ajoutant une notion à un concept. En somme, GPT n'est ni logique ni factuel. Il repose sur une forme logique qui est la statistique.

Donc un énoncé de ChatGPT n'est pas du tout un jugement au sens philosophique. Autrement dit, quand un chatbot vous dit que « X est Y », il n'attribue pas un prédicat à un sujet, il ne qualifie pas une relation, il ne prétend pas vous donner une connaissance : il ordonne simplement des mots sur la base d'une régularité statistique.

Cette régularité elle-même, comme je le disais, est insérée à partir du corpus préexistant. Le texte généré artificiellement est en quelque sorte un palimpseste numérique, c'est-à-dire un texte réécrit dans les textes – une sorte de synthèse moyenne de ce qui a déjà été dit. Notons au passage que c'est une idée absolument merveilleuse de pouvoir avoir un outil capable de nous générer, à la demande, un texte pertinent généré à partir de tous les textes, et de l'avoir disponible à la demande. Ce texte a bien quelque chose d'unique à chaque fois, de telle sorte qu'un même prompt ne donne pas nécessairement le même résultat ; ce qui ouvre, je pense, des espaces abyssaux à des démarches artistiques diverses.

De là à affirmer que ChatGPT est un pur système de langage, il n'y a qu'un pas. C'est de ce pas que témoignent les fameuses « hallucinations » qu'Alexandre Lebrun évoquait. Ce n'est tellement pas un générateur de vérité logique ou de vérité factuelle que GPT (ou tout autre modèle d'IA générative de ce type), par nature, peut halluciner. D'ailleurs, en un sens, ça n'est une « hallucination » que parce que nous-mêmes, nous rapportons ce que dit GPT à quelque chose d'autre. Dans son fonctionnement, il est parfaitement possible qu'un modèle GPT dise des choses qui ne soient pas logiquement vraies ou factuellement réelles. Et ce par définition, car encore une fois, il n'y a pas de vérification logique ou de vérification empirique mais une complétion statistique.

Depuis que GPT est apparu, cela m'a conduit à développer deux idées simples.

La première, est que ChatGPT est l'incarnation du sophiste : il ne dit pas le vrai, mais le vraisemblable. Au fond, ChatGPT est indifférent à la vérité.

Et même si vous avez sans doute tous appris, comme nous, que la philosophie s'était construite dans l'opposition à la sophistique, on retrouve cette tension entre le vrai et le vraisemblable dans d'autres champs de la philosophie. Aristote dit par exemple dans un de ses textes classiques que la vérité historique est parfois moins vraie que la poésie, parce que la poésie expose les relations essentielles entre les choses tandis que l'histoire raconte ce qui est arrivé. Ce qu'il s'est passé, parfois, est moins vrai pour Aristote que ce que l'on pourrait raconter, parce que ce que l'on raconterait serait fondé sur des relations générales, universelles, et non sur l'incident.

Ainsi le vraisemblable n'est pas un concept faible en philosophie. Dire que quelque chose est vraisemblable, dire que ça s'inscrit dans une connaissance ordinaire des choses, n'est pas nécessairement être dans un degré inférieure à la réalité. Quoi qu'il en soit, GPT est un merveilleux sophiste, et cela doit alerter tous les philosophes qui se retrouvent face à cet adversaire permanent.

Deuxième commentaire: GPT, d'une certaine manière, est une forme de validation expérimentale de théories nées chez Roland Barthes et chez Michel Foucault qui donnent un primat absolu au texte par rapport à l'auteur. Il y a ici une double dissolution de l'auteur. Non seulement il n'y a pas d'intention discernable dans le texte lui-même, de sorte qu'il faut l'interpréter en tant que texte pour lui-même et pas comme texte écrit par un autre, mais en plus le texte tel qu'il est écrit lui-même n'a plus d'auteur.

L'IA générative est donc le sacre de l'intertextualité; on pourrait dire «l'intertextualité élevée au double rang d'artifice et d'art». Tout cela semble conforter l'idée que GPT nous montre qu'il y a un monde possible des textes et des énoncés, un monde potentiellement autosuffisant et clos. C'est une sorte de variante du monde de l'IA tel qu'on se l'imagine, une nouvelle dimension, un espace, puisque tous les textes produits par l'IA enfantent une nouvelle série de textes sans qu'il y ait besoin d'avoir une forme de référence au réel.

C'est intéressant car c'est une manière assez originale de qualifier ce qui relève de notre crainte permanente de l'IA, mais d'une manière très différente. En général, on voit la logique numérique comme de la logique d'automatisation des choses, de réduction à une succession logique. Or là, nous avons une espèce d'IA foisonnante, littéraire en réalité, capable de nous générer indéfiniment de nouveaux énoncés à partir des énoncés existants. Voilà donc mon premier temps de raisonnement.

Mon deuxième temps va conduire à nuancer ce que je viens de dire. Peut-on considérer que GPT ne marche que par référence aux autres textes? N'est-ce que cela? La réponse est clairement non pour une raison assez simple: un générateur de textes comme celui-ci doit générer un texte pertinent à partir de tous les textes disponibles. Pas simplement générer un texte, mais générer un texte pertinent. Et cette notion de pertinence est capitale et doit s'adresser à un double niveau.

Premier niveau: nous n'utilisons pas les modèles de langage à des fins purement poétiques, c'est une évidence. Quand GPT génère un compte-rendu pour un médecin, ce n'est pas simplement la création de textes qui est l'objectif en soi. Si cet usage existe, il n'est qu'anecdotique. Pour l'essentiel, ce que l'on cherche à avoir, c'est un texte pertinent et cette pertinence n'est pas que contextuelle - au sens où la réponse aura un rapport avec la question -, elle a à voir avec l'adéquation à la réalité, c'est-à-dire avec une forme de vérité. J'en veux pour preuve que même si les «hallucinations» sont inscrites dans le concept même de GPT, et qu'il est donc parfaitement normal qu'un modèle GPT «hallucine», nous continuons d'appeler cela des hallucinations.

Si nous les appelons des hallucinations, c'est parce que par nature, il y a un écart au réel qui se constate dans l'hallucination. Si vous demandez à GPT de vous dire qui est Napoléon et qu'il vous explique que Napoléon était empereur d'Allemagne (ce qui peut arriver) et qu'il est mort à Singapour, vous avez un problème. Dans votre norme de l'usage de GPT, vous avez un problème. On repère l'hallucination en tant que telle parce qu'elle nous pose un problème.

Pour le dire autrement, il arrive que le vraisemblable statistique ne soit ni vrai, ni vraisemblable. Ni

vrai, parce que c'est erroné, ni vraisemblable, parce que quand bien même la succession de statistiques marcherait, on n'aurait pas le sentiment que ça s'apparente avec le vrai.

Poussons le raisonnement un cran plus loin. Ce qui fait le caractère vraisemblable des énoncés de l'IA générative, c'est la vérité ou vraisemblance des énoncés à partir desquels l'IA a généré l'énoncé. Au fond, ce que l'on regarde à chaque fois, c'est en quoi les énoncés premiers étaient des énoncés vrais et comment le texte génère lui-même des énoncés vrais. Ce que cela veut dire, c'est que la norme n'est pas un système clos, que la production de texte n'est pas un exercice pour lui-même; du moins pas toujours. La norme ne fonctionne qu'en tant qu'elle parle réellement de quelque chose.

Il se trouve que pour préparer cette intervention, j'ai eu l'occasion d'écouter la leçon inaugurale de Benoît Sagot au Collège de France. Benoît Sagot cite un texte de Warren Weaver qui s'appelle *Translation*, qui est le memorandum de 1949 dans lequel il posait un certain nombre de principes fondamentaux importants dans la construction intellectuelle du traitement automatique du langage. Dans ce memorandum, il y a une liste de principes qui sont posés comme étant ceux qui rendaient possible un traitement automatique, en tout cas qui fondent théoriquement la possibilité de tout cela. Ce deuxième principe est tout à fait passionnant pour un philosophe, puisque l'une des hypothèses de base est de dire que le langage est logique en soi.

Autrement dit, qu'un mot ait une forte probabilité statistique d'en suivre un autre, c'est en un sens l'indice de l'existence d'une relation réelle entre les objets visés par les mots. Si la récurrence fait que statistiquement, un mot en suit un autre, alors cela est évocateur du fait qu'il y a une forme de relation réelle entre les deux choses désignées. Pour le dire encore autrement, si je dis que «Martin Dumont est philosophe» et que cet énoncé existe, ce n'est pas simplement qu'il y a une forme de rapport entre les mots «Martin est philosophe», mais qu'il y a sans doute des chances que Martin soit réellement philosophe. Plus on parle du nom, plus on crée statistiquement des chances que cette relation existe.

Au fond, la probabilité statistique est une approximation. C'est un des éléments qui permettent de construire des choses qui approchent une vérité qui, pour le coup, n'est pas purement langagière, mais un aspect de la réalité.

Deuxième commentaire dans ce même esprit: les modèles issus de GPT sont eux-mêmes entraînés par une phase d'apprentissage par renforcement. Autrement dit, il y a toute une phase où l'on fait réagir un être humain à des séries de propositions générées par le modèle. A partir de là, on essaie de faire en sorte qu'il y ait une phase de mécanique qui permette en quelque sorte d'intégrer du feedback humain pour l'intégrer ensuite au modèle lui-même et améliorer ses résultats. On n'est donc pas dans des générateurs de textes formés et éduqués uniquement par les textes. Il y a aussi une phase d'entraînement durant laquelle l'appréciation par les êtres parlants que nous sommes permet d'améliorer le modèle.

Dernier élément, il est clair aussi que plus les questions posées à un modèle de ce type intègrent une composante logique forte, plus l'IA générative est bonne. Autrement dit, l'IA va être très performante sur tout ce qui va être codé ou non ambigu. Pour toutes ces raisons, on voit bien que l'IA générative ne repose pas simplement sur une vérité textuelle, où les textes dialogueraient entre eux, mais sur autre chose.

La question est de savoir ce que font ces outils et ce qu'ils apportent.

Ce qui est intéressant c'est que derrière cette IA, nous avons une manière de constituer en somme interrogeable l'ensemble des savoirs humains ou mieux, des énoncés préexistants. C'est un point important.

L'IA générative – ce qui est un mot assez trompeur pour les béotiens que nous sommes – n'a pas pour vocation première de *générer* des vérités nouvelles. Elle a pour vocation d'abstraire l'ensemble des énoncés préexistants pour faire émerger une sorte d'énoncé moyen ou d'énoncé-type sur un sujet déterminé. La valeur de vérité de ces énoncés sera directement déterminée par la valeur de vérité des énoncés préexistants, cette valeur s'appréciant par rapport à la réalité visée elle-même.

Je laisse de côté le point de savoir comment cette réalité se qualifie pour elle-même. Ce qui est certain, c'est que dans ce domaine comme dans les autres, le principe *garbage in, garbage out* reste valide. Les énoncés premiers doivent être de bonne qualité et les plus vrais possibles pour qu'on puisse abstraire des choses qui ont de la valeur. A partir de là, la première question fondamentale est : quel est le corpus d'entraînement ? Et la deuxième : comment s'assurer que demain, on n'ait pas une forme de confusion entre les discours de premier et de deuxième niveau ? Voire qu'on soit capable de générer de faux discours de premier niveau pour, en quelque sorte, déformer la synthèse en alimentant le modèle avec des choses erronées ? C'est un des risques possibles, me semble-t-il.

Ce que l'on voit aussi en disant cela, c'est qu'il y a une différence fondamentale entre des modèles de machine learning sur des données, même structurés, et ces modèles d'IA générative. Les premiers, ceux qu'a évoqués Jean-Emmanuel Bibault¹, font du machine learning sur de grandes données disponibles et ont pour objet de faire émerger des relations récurrentes à partir de données disparates. On s'en sert pour étendre le champ de nos connaissances, pour identifier les relations entre les choses qui sont des relations nouvelles, pour tester le fait qu'elles soient vraies ou pas.

Ce que l'on évoque aujourd'hui, c'est l'exacte opposé. On cherche à pouvoir capitaliser sur les relations préexistantes connues pour les rendre accessibles dans une forme synthétique. Dans un cas, on essaie de découvrir et dans l'autre, on essaie de résumer. On essaie de parler le langage préexistant, qui est pour une large part, mais pas toujours, un savoir préexistant.

Ce qui est remarquable c'est qu'au fond, on s'intéresse toujours au premier usage. On se pose toujours la question de savoir comment on va pouvoir être assisté pour étendre le champ du savoir et on s'intéresse toujours beaucoup moins à ce deuxième univers. Pourtant ce deuxième aspect nous aide, il nous permet non pas de découvrir ou comprendre de nouvelles choses, mais de mobiliser, de remobiliser en permanence la somme des choses que nous savons.

Ce qui est fascinant, c'est que cette idée qu'il y ait une valeur incroyable à pouvoir disposer sous un format maniable du savoir préexistant n'a rien de radicalement nouveau : c'est le projet encyclopédique ! Donner accès à l'ensemble de l'humanité à la somme des savoirs organisés existants à date.

Je pose souvent des questions à ChatGPT pour aller remobiliser un savoir préexistant que j'ai, mais que j'ai oublié. Cela permet de faire quelque chose de plus

que tout ça, quelque chose de radicalement et profondément nouveau, quelque chose que je trouve absolument merveilleux : pour la première fois de l'histoire, on peut dialoguer avec son encyclopédie. On n'est plus simplement sur une indexation, on ne va plus chercher un article. On peut parler avec son encyclopédie. C'est comme si vous aviez Diderot et d'Alembert en face de vous ! Dans le champ de la santé, disons que c'est le croisement entre Socrate et Hippocrate.

Avec l'IA, on peut outiller ou démultiplier la manière dont chacun de nous dialogue avec lui-même quand il réfléchit. C'est aussi une manière de développer et d'enrichir une modalité de la pensée qui n'est pas nouvelle. C'est d'autant plus intéressant que cela nous rappelle qu'une partie importante de la réflexion, la manière dont nous pensons ne se résume pas – comme on pourrait le penser quand on suit la description cartésienne de l'ordre des raisons – à structurer des chaînes logiques.

Réfléchir, penser, cela a souvent deux dimensions sur lesquelles on ne s'arrête pas assez. Premièrement, réfléchir, c'est souvent reconvoquer des choses que l'on sait déjà et que l'on a oubliées. C'est actualiser des connaissances antérieures avec le risque de faire erreur ou d'oublier quelque chose. D'où l'intérêt d'aller reconvoquer des références qu'on a en tête et de facilement y avoir accès.

Deuxièmement, réfléchir, c'est chercher par quel angle on prend le sujet, c'est-à-dire faire varier les approches possibles jusqu'à avoir trouvé la ou les bonnes. Ce qui est un usage décrit par beaucoup de gens, qui consiste à demander à un outil de type GPT de leur donner *x* arguments pour ou contre, pour les aider à jalonner le sujet.

Donc, offrir une synthèse dialogable à la demande est le bénéfice offert par le modèle d'IA générative. Formuler les choses ainsi, c'est souligner la profondeur des effets possibles de tels modèles. Au fond, GPT, c'est une assez bonne approximation de ce que fait un conseiller en cabinet ministériel – je peux vous le dire pour l'avoir fait – ou un bon cadre supérieur – je peux vous le dire aussi : c'est un être qui connaît assez bien l'état de l'art, capable de le convoquer ou de le synthétiser de manière pertinente, d'esquisser des pistes et d'en challenger d'autres.

Cela pose une question : si GPT ne sait que faire ce que fait un assez bon conseiller ou un assez bon cadre supérieur, pourquoi GPT serait une innovation et pourquoi cela aurait un intérêt ? Pourquoi serait-il intéressant d'automatiser quelque chose quand l'être humain sait déjà bien le faire ?

La réponse est double. L'automatisation est par elle-même un gain, puisqu'elle épargne du temps et de l'effort : Nbla Copilot en est un très bon exemple. Bien sûr que le docteur est capable de faire son compte rendu. Peut-être même qu'il le fera toujours un peu mieux. L'intérêt d'un outil de ce type est que ça lui évite de le faire. Il lui permet de se concentrer sur la discussion avec son patient, et cela n'est pas totalement indifférent.

J'ai le souvenir de la manière dont un cardiologue organisait la consultation pour pouvoir occuper le patient à faire quelque chose d'utile pendant qu'il tapait le compte-rendu. Cette forme de scénarisation avait pour but d'essayer de gérer le fait qu'à un moment, il faut taper. Il avait donc deux choix : soit il ne regardait pas le patient, soit il l'occupait à s'habiller et se déshabiller pour pouvoir taper pendant ce temps-là. Cela caractérise très bien le fait qu'il y a eu un moment où il y avait une troisième personne dans la consultation entre le docteur et son patient.

Deuxième argument : cette compétence est capable de générer une synthèse à peu près pertinente

sur un sujet. C'est une compétence si peu commune qu'elle est, au fond, toujours spécialisée. Si vous prenez un cabinet ministériel, vous avez des conseillers spécialisés dans plein de sujets. Vous n'avez pas de conseiller général.

Et le propre d'une IA générative, même si on la spécialise – ce que vous faites par exemple chez Nabla dans le champ de la santé –, est qu'elle est dans un champ déterminé, par nature encyclopédique. Elle démultiplie donc l'espace qu'un seul individu peut prétendre couvrir et elle répond, au fond, à une difficulté majeure de notre époque qui est la démultiplication du savoir et la complexification des techniques, qui limitent par essence le champ que l'honnête homme peut espérer couvrir.

D'une certaine manière, c'est un outil qui permet de rendre de nouveau accessible à l'homme commun dans un format à peu près maniable la somme des savoirs disponibles. Ce à une époque où l'on est tous à peu près d'accord pour dire que la littérature générée chaque jour devient absolument considérable, que la lire nous devient impossible, que la question de savoir comment on la suit est devenue un problème et qu'on n'a pas de réponse satisfaisante pour le moment. Cela n'est pas dénué d'intérêt et ce n'est pas pour rien que l'on a fini par inventer des outils qui savent générer des synthèses à une époque où l'on n'a jamais généré autant d'énoncés.

Aussi l'IA générative est-elle peut-être l'emblème de ce temps qui parle et qui écrit plus que tout autre avant lui. Avec une contrepartie, bien sûr : ce faisant, on ne rend accessible à l'homme commun que l'énoncé-type, que la connaissance moyenne. En ce sens, on ne rend pas accessible à chacun la totalité du savoir, mais cette espèce d'abstract, cet énoncé-type que produit GPT.

Dernier temps de mon raisonnement : en faisant cela nous avons tous l'intuition de gagner sans doute quelque chose, mais aussi de perdre quelque chose. Pourquoi, face à ces choses-là, ressentons-nous à la fois de l'enthousiasme et du malaise ?

Enthousiasme d'abord. ChatGPT est un peu notre «Man on the Moon» à nous. Nous n'avons pas vu Neil Armstrong descendre de son échelle, mais nous avons vu ChatGPT répondre à une première question. On peut trouver que ce n'est pas une comparaison intéressante, mais quand nous avons vu cela, nous avons à la fois été émerveillés et eu le sentiment profond que quelque chose avait changé.

Je suis profondément convaincu que quand un sentiment d'émerveillement, d'enthousiasme, est largement partagé, il a une valeur philosophique. Et ce faisant je ne fais que convoquer une matrice intellectuelle qui vient de Kant et qui, chez lui, est appliquée à l'enthousiasme ressenti face à la Révolution française. Cet enthousiasme, c'est le sentiment de se dire que quelque chose a changé. Lorsque ce sentiment est largement ressenti, je pense qu'il est l'expression du fait que l'humanité a franchi une nouvelle étape dans sa marche en avant qu'est l'histoire des sciences et des arts.

Dire cela n'est pas du tout défendre l'idée de progrès – non que le développement cumulatif des sciences et des arts soit un problème moral –, mais considérer en revanche qu'il y a bien une avancée des sciences et des arts et que l'on a eu le sentiment collectif de franchir quelque chose qui ressemble à une étape. Une étape importante qui permet de dialoguer librement et à la demande avec toute l'intelligence du monde, pourvu que les énoncés de départ soient les bons.

Et puis, il y a aussi un malaise qui se révèle lorsque nous utilisons ces outils. Pour moi, ce malaise s'in-

carne, par exemple, par les «hallucinations». Ou plutôt, par la surréaction à ces «hallucinations». Par une très faible tolérance au fait que ces modèles puissent «halluciner», alors même que, on l'a vu, cela fait partie de leurs paramètres. Cela nous donne quand même le sentiment profond que quelque chose ne va pas. Ce n'est pas simplement l'énoncé erroné, c'est aussi de voir cet énoncé erroné se composer sur l'écran en quelques secondes par un outil généralement fiable.

Ce n'est pas tant l'hallucination qui est un problème ; c'est l'hallucination alors qu'en général, ça marche. C'est infiniment troublant, très insécurisant, très dérangeant. Nous avons tous, collectivement, une très faible tolérance à la faillibilité technique. Quand un objet technique ne marche pas, c'est vécu comme une forme de trahison. Alors même que l'on est tous extrêmement habitué à la faillibilité humaine, et qu'on la tolère finalement assez bien, on vit très mal les moments où la technologie ne marche pas.

Freud a écrit un texte célèbre, *Das Unheimliche*, qu'on pourrait essayer de traduire par l'inquiétante étrangeté ou l'inquiétante familiarité. Si vous lisez ce texte, ce qui est intéressant est que les exemples que Freud prend de ce sentiment de choses à la fois familières et étranges – étranges parce que familières et familières parce qu'étranges – ont systématiquement trait à des doubles, des marionnettes, des automatismes dans du vivant. Il reprend notamment tous les contes d'Hoffmann, en particulier ceux avec Olympia qui était une poupée animée donnant le sentiment d'être une femme. Ce sentiment d'avoir une marionnette humaine dysfonctionnelle chez Freud, une très bonne approximation de ce qu'est l'inquiétante étrangeté, est retrouvé quand ChatGPT apparaît manifestement comme une mécanique partiellement faillible.

Mais dans ce sentiment et dans ce malaise, il y a quelque chose de plus. Quand on voit GPT faire ça, on ne voit pas autre chose que les limites d'une certaine manière de raisonner quotidiennement : la nôtre.

Cette pensée statistique, cette manière de s'orienter dans le monde, dans le réel, avec des habitudes qui sont langagières et intellectuelles, ce n'est pas quelque chose de radicalement original. On pense et on raisonne beaucoup comme ça. Une large partie de l'existence intellectuelle, une large partie du langage, n'est pas une saisie de la relation logique. On parle, on pense en parlant et on parle en pensant. On ne pense pas à la relation logique : on enchaîne les mots. Et on les enchaîne comme ils viennent, comme ils doivent venir.

Toute personne qui a beaucoup écrit sent et sait cela. Il y a des manières d'enchaîner les mots qui sont bonnes et d'autres qui ne le sont pas. C'est aussi cela l'ordre du langage et c'est aussi pour cela que ces modèles ont été si durs à construire. Apprendre comment on enchaîne bien les mots, ce n'est pas si simple. Il y a des choses logiques et des choses qui ne le sont pas. Ainsin, une bonne partie de nos raisonnements repose là-dessus.

Je ne sais pas combien de fois dans la journée on visualise intellectuellement la validité logique de nos énoncés. Il n'y a pas non plus souvent dans l'existence des moments où l'on réfléchit sérieusement à ce que nous disons ou pensons – à part pour les philosophes, mais ils sont peu nombreux. Et pourtant nous parlons, nous parlons tout le temps. Nous nous parlons à nous-mêmes, nous parlons aux autres, nous ne cessons de parler. Sur des sujets habituels, sur des sujets nouveaux. Nous parlons longuement et parfois de manière infiniment brève. Nous ne cessons jamais de parler et si la parole traduit bien une pensée, notre mode de pensée le plus

coutumier est fondé sur l'habitude d'enchaîner les énoncés, d'associer un mot à un autre, une idée à une autre. Nous nous reposons à longueur de journée sur des significations habituelles, sur notre savoir préconstitué, sur nos usages et sur nos tics. Et en réalité, on ne s'en porte pas si mal.

De là, l'importance de bien apprendre à parler, de forger de bonnes habitudes de pensée et de langage, efficaces au quotidien et peut-être même vraies. En tout cas, le malaise que l'on peut ressentir face à ces machines, quand elles dysfonctionnent un peu ou beaucoup, c'est qu'elles nous rappellent que c'est comme ça que l'on pense et que, ce faisant, nous savons qu'au quotidien nous marchons sur du sable. Un sable qui fonctionne plutôt bien, mais qui reste du sable.

Alors il serait faux de dire que penser ainsi serait ne pas penser. C'est au contraire la manière la plus ordinaire, la plus habituelle, la plus courante de penser. Et il en est une autre qui survient lorsque l'on s'arrête, lorsque l'on réfléchit, lorsque l'on hésite, lorsque l'on vérifie, lorsque l'on reconstruit, lorsque l'on approfondit. Et cette autre manière, évidemment, est elle aussi essentielle parce qu'elle fait sans doute autant de nous des êtres pensants, parlant et agissant. Certains insistent largement sur le fait que l'apprentissage est d'abord une capacité à corriger les mécanismes automatiques du raisonnement. Ça me rappelle les écrits d'Olivier Houdé sur les raisonnements chez l'enfant et la manière d'apprendre à corriger ce que sont les raisonnements naturels.

Pour conclure, le risque propre à l'IA générative est de venir bouleverser l'équilibre entre ces deux régimes de la pensée, en dilatant trop fortement l'espace de la pensée moyenne, de la pensée réflexe, celle des énoncés-types. Le risque est celui d'une victoire à la Pyrrhus en perfectionnant tellement cet exercice qu'il pourrait donner le sentiment de devenir suffisant, parce qu'il serait fiable, de sorte qu'on ne saurait plus contourner le mur ou le passer à force de ne plus avoir à le faire.

Ce que vient nous rappeler aussi le dysfonctionnement de l'objet, quand il dysfonctionne, c'est que le sable reste du sable et que le garder en tête est ce que nous allons devoir collectivement apprendre à faire comme nous avons appris à conjurer de bien des manières d'autres formes de la faillibilité technique. Une des questions qui se pose beaucoup dans l'utilisation de cet outil, notamment de la génération de comptes rendus que produit un Nabla Copilot, est comment s'assurer que le docteur continue à le relire. On lui dit bien qu'il faut le relire. C'est écrit partout. C'est un compte rendu généré par une machine et il faut le relire. Mais comment s'assure-t-on que cette relecture est effective ? Comment faire en sorte qu'avec ces générateurs d'énoncés, nous arrivions à garder cette liberté d'attention ?

1 Cf. chapitre « Prédiction », pp. 25-30

Discussion ①

Fonctionnement de l'algorithme

Question 1

Membre du public

Avez-vous étudié les travaux ontologiques réalisés notamment pour les techniques d'IA symboliques ? Avez-vous réfléchi à mettre cela en place en complément des LLM pour simuler ces différentes manières de penser en même temps ?

Alexandre Lebrun

L'IA symbolique est la première version de l'IA avec ce que les gens ont essayé de faire dans les années 1970-80, avec des règles de type «*A* et *B* alors *C*» : écrire toutes les règles qui régissent le monde, et ça n'a mené nulle part. Cela a créé une première IA dans les années 2000 où l'on s'est dit que finalement l'IA ne marchait pas. Tout le monde a arrêté d'y travailler, sauf les Français qui n'étaient pas au courant que c'était fini, raison pour laquelle ils sont en avance aujourd'hui.

L'IA symbolique est arrivée à un cul-de-sac. Presque tout le monde l'a abandonnée. On est parti d'une IA probabiliste dont les LLM sont l'aboutissement suprême, pour l'instant en tout cas. Mais il y a effectivement potentiellement un retour. Aujourd'hui, on fait comme tout le monde, on recueille du proba-

biliste. C'est ce qui fonctionne, mais on imagine bien que les LLM n'ont pas d'intuition : on peut juste générer des idées, mais qui peuvent être complètement fausses. Et on imagine bien que si l'on couplait cela à un système plus symbolique, capable de planning, de raisonnement, qui contrebalance l'intuition un peu folle de la génération probabiliste, cela pourrait fonctionner. C'est peut-être comme ça d'ailleurs que fonctionne un peu le cerveau. C'est clairement quelque chose d'ultra-prometteur.

Il est intéressant de voir, en parlant des bébés, que dès les 12, 13, 14^e mois, les enfants comprennent que si $A = B$ alors $B = A$. Ils n'ont pas encore lu un mot, ils ne savent pas parler, mais ils ont déjà compris ça. Pour être entraîné, ChatGPT a lu l'équivalent de ce que vous mettriez en 20 000 années pour lire le même corpus. Et après ces 20 000 années de lecture, il ne sait toujours pas que si $A = B$, alors $B = A$. Il ne fonctionne pas comme ça et une approche un peu mixte, une approche symbolique devrait donner des choses intéressantes.

Question 2

Membre du public

Il me semblait que vous, dans la synthèse, vous décomposiez justement les concepts. Vous avez 150 cases sur le logiciel-métier, vous savez que ces 150 cases concernent bien des allergies et d'autres choses. Comment gérez-vous cela ?

Alexandre Lebrun

Tout à la fin, la dernière couche est plus déterministe. Effectivement, la toute dernière couche qui remplit les cases sait qu'il y a 150 valeurs possibles. Donc c'est vraiment la couche finale.

Discussion ②

Logiciel unique, besoins spécifiques

Question 3

Membre du public

J'interviens en psychiatrie. Y a-t-il, dans votre interface, une partie spécifique à chaque spécialité ?

Alexandre Lebrun

Absolument. C'est ce que l'on appelle les «modèles de compte rendu». Nous avons d'ailleurs un modèle «psychiatrie» complètement différent. On ne fait pas de diagnostic, mais on va structurer et noter des choses peu importantes à noter dans une consultation de médecine générale, mais importantes dans une consultation psychiatrique. Le système est entraîné séparément.

On a travaillé avec des spécialistes dans chaque spécialité, en l'occurrence les psychiatres. Ils nous ont donné des exemples de choses bien structurées, précisé les éléments qu'il fallait prendre en compte et ceux qui étaient moins importants. C'est en se basant sur ces modèles fournis par les psychiatres que l'on a entraîné le système.

Question 4

Membre du public

Alexandre Lebrun

Si j'ai bien compris, Nabla Copilot envoie ensuite tout sur le logiciel-métier? N'y a-t-il pas d'incompatibilité possible? Parce que le logiciel-métier gère aussi un certain nombre de choses. Cela dépend du logiciel que l'on a et de l'établissement dans lequel on est. N'y a-t-il pas de bug possible entre les deux? Il faut que les logiciels soient compatibles entre eux.

Alexandre Lebrun

Exactement. Nous voulions faire attention de ne pas empiéter sur le logiciel-métier, sinon cela deviendrait incompréhensible. On a donc bien choisi notre rôle de start-up. On parle d'innovation: on ne peut pas innover partout.

Membre du public

Vous ne pouvez pas vous adapter à tous les logiciels métiers parce qu'ils sont nombreux, mais aux plus gros, installés dans tous les établissements hospitaliers. Si déjà on fonctionne sur trois ou quatre...

Question 5

Membre du public

En dehors du domaine médical, si par exemple nous parlons d'une audition de police, aurez-vous une valeur ajoutée? Après-tout, on fait intervenir les logiciels-métiers parce que chaque métier a ses mots. Mais en même temps, dans le cadre d'une audition de police, l'exhaustivité des propos (le résultat de la dictée vocale) est plus importante que la synthèse de ces propos.

Alexandre Lebrun

Je pense que la vraie valeur de notre outil, surtout dans l'acte de synthèse, est de savoir ce qu'il faut garder ou non et de le structurer. Si vous ouvrez la case «Allergies» sur Orbis, et que vous avez 150 entrées, laquelle choisirais-je parmi les 150? La valeur ajoutée du logiciel est dans sa synthèse et la normalisation, dans la structure. Nous savons très bien le faire parce que nous restons dans le domaine médical, ce qui est déjà immense. Finalement, on pourrait ne faire ça que pour la psychiatrie ou l'orthopédie.

On pourrait faire des choses similaires pour les auditions de police, pour des entretiens d'embauche, pour plein de domaines. Pour les appels de commerciaux, par exemple, pour que les commerciaux puissent faire des synthèses et les mettre dans leur CRM. Mais c'est très difficile. On ne souhaite pas sortir de la santé, mais il y aurait clairement des choses à faire.

Question 6

Membre du public

Ne pourrait-on pas mettre un logiciel retranscripteur en interopérabilité avec un logiciel de type NVivo pour faire de la recherche qualitative, par exemple?

Alexandre Lebrun

On pourrait s'adapter à des menus pour faire de la retranscription exacte. C'est quelque chose qui est en train de devenir disponible, qui marche bien et est de moins en moins cher. Donc le fait de pouvoir transcrire exactement la voix en texte, c'est une chose que beaucoup de gens sauront très bien faire.

Discussion ③

Sécurité et confidentialité

Question 7

Membre du public

Avez-vous prévu de passer en local sans avoir besoin d'un serveur? Parce qu'il y a des problèmes de confidentialité importants. Or les modèles sont de plus en plus performants et de moins en moins lourds à faire tourner.

Alexandre Lebrun

Nous rêvons de le faire car nous allons déjà très loin en termes de respect du secret. Par exemple, de tout ce que l'on vient de faire, il n'y a plus rien sur le serveur Nabla. C'est pour le moment stocké en local sur mon ordinateur mais, dans quelques heures, tout aura disparu. L'étape suivante serait de ne jamais faire appel à un serveur et de ne tourner qu'en local, mais nous n'y sommes pas encore. Ce n'est pas pour l'année prochaine, mais ce serait l'objectif ultime.

Question 8

Membre du public

Ma question concerne la protection des données des patients. Comment faites-vous pour vous protéger contre les cyberattaques?

Alexandre Lebrun

Comme je l'ai dit, on ne stocke rien. Ça passe par nous et puis on l'envoie et on le lit. Donc, ce n'est pas une protection à 100 %. Si quelqu'un nous compromet complètement, il peut voir passer en temps réel la consultation, mais la surface d'attaque est très limitée parce qu'on ne peut pas se faire voler les consultations passées.

Membre du public

C'est connecté à Internet?

Alexandre Lebrun

Sur ce que l'on a fait, on est passé par Internet qui nous a renvoyé la réponse et après, le serveur a tout oublié. Il y a une surface d'attaque très limitée par rapport à la situation où l'on stockerait l'historique des consultations avec un logiciel médical. Donc non, effectivement, le risque zéro n'existe pas, on l'a juste limité au maximum.

Ensuite, la question que se posent les médecins et les hôpitaux est celle de la balance bénéfices/risques. Il faut que le risque soit tout petit et le bénéfice énorme, sinon, ça ne passe pas. On a eu le feu vert de l'AP-HP, le plus dur à obtenir au monde selon moi. Peu de choses sont aussi sensibles qu'un micro dans une salle de consultation. On ne peut pas prendre cela à la légère.

Question 9

Membre du public

Entre le moment de la synthèse ou au moment de la dictée vocale, peut-on faire une sauvegarde locale ou est-ce automatiquement effacé?

Alexandre Lebrun

On autorise l'utilisateur à faire une sauvegarde s'il le souhaite. C'est imputé dans le *storage* local. Pour ceux qui le souhaitent - en général, ce sont plutôt les psychiatres -, ils peuvent garder tous les propos.

Discussion 4

La relation médecin-malade

Question 10

Membre du public

J'ai une question-remarque. Quand on vient voir le médecin, on lui dit pourquoi on vient le voir. Mais au moment où il va consulter physiquement par la palpation pour voir ce qu'il se passe dans le corps, que se passe-t-il avec le logiciel? Est-il en stand-by? Attend-il que le médecin revienne et commence à parler? Parce qu'il faut aussi que le médecin prenne le réflexe, quand il est en train de consulter son patient, de dire à haute voix: «Il a des crépitements, il a ceci ou cela.»

Quel est l'apport de ce logiciel? Quand je vais voir mon médecin, il me voit et, pour le compte rendu, il prend son dictaphone et il le dicte à la secrétaire. Alors, quelle est la plus-value par rapport à cela? Ne va-t-on va pas ôter quelque chose de pertinent à la relation humaine?

Alexandre Lebrun

Quelle est la valeur ajoutée par rapport à quelqu'un qui a un dictaphone avec un ou une secrétaire médicale derrière? Je dirais qu'elle double.

D'abord, la qualité de la consultation. On n'a plus besoin de prendre une note pendant la consultation. Parce que même si on fait ça, il ne faut pas oublier des choses. Donc, on a une expérience de consultation plus ouverte avec le patient. On n'a pas le clavier et l'écran qui fait barrière entre les deux. Une fois qu'on fait confiance à l'outil pour l'avoir utilisé quelques fois, on voit que les médecins ne prennent plus de notes du tout pendant la consultation et donc on a un gain de qualité, versus «je dicte à la fin».

Le second avantage, c'est que tous les médecins ne peuvent pas se permettre d'avoir un secrétariat médical qui va transcrire ce qu'ils dictent. Ça coûte beaucoup moins cher. En France, on le commercialise 69 €/mois. Aux États-Unis, c'est 120 \$/mois et on peut l'utiliser pour des dizaines et des dizaines d'heures. Ça rend cet outil accessible.

Cela dit, on peut compléter. Si par exemple, je ne peux pas tout verbaliser devant le patient, je peux aussi dire à la fin: «Je vais aussi ajouter ça dans la note.» Les nouvelles technologies de transcription que l'on a développées chez Nabla sont aussi efficaces que les humains pour transcrire. Donc nous pouvons aussi avoir recours à ce mode «à l'ancienne» qui reste disponible.

Sur la première partie de votre question, c'est progressif. Au début, ils ne vont pas le réaliser puis ils vont revenir à la fin et le rajouter. Quand petit à petit, ils découvrent que quand ils verbalisent, c'est noté automatiquement, ça rentre progressivement dans les habitudes.

Dr A.

En consultation, je verbalise un peu plus que d'habitude et ça ne dérange pas du tout le patient parce qu'il sait ce que je cherche, ce que je fais; ça leur permet aussi d'en savoir un peu plus sur l'examen clinique.

Question 11

Membre du public

Dans votre démonstration, vous aviez le patient parfait, qui répond parfaitement aux questions, mais ce n'est pas la vie réelle de tous les jours. Il y a des patients qui ne savent pas ce qu'ils ont et ils n'expriment pas forcément le vrai... en pédiatrie notamment. Est-ce que le programme est capable d'interpréter les changements émotionnels et les variations de personnalité et est-il capable de les transcrire?

Alexandre Lebrun

Le système marche assez bien quand le patient est très confus ou dans les cas où il y a plusieurs enfants - en pédiatrie notamment - ou un parent avec plusieurs enfants, etc. Souvent, le transcriteur n'était pas parfait, mais dans la phase d'après, on retombe sur nos pieds. Donc la transcription peut connaître des erreurs, mais qui sont souvent corrigées ensuite, dans la phase de documentation.

Cela dit, ce n'est en aucun cas parfait. Aux États-Unis, on a beaucoup de consultations qui ont eu lieu en espagnol, où à la fois le patient et le médecin parlent espagnol, mais il faut la documentation en anglais.

Donc on écoute en espagnol et on rédige la documentation en anglais. C'est assez robuste à ce genre de cas. Mais ça ne résout pas tout bien-sûr. Concernant le niveau émotionnel, ce n'est pas du tout quelque chose que l'on fait aujourd'hui, mais on n'est pas sûr que ce soit à nous ou à la machine de le faire.

Membre du public

Il traduit en combien de langues?

Alexandre Lebrun

En langues de consultation, on supporte l'anglais, le français et l'espagnol. Concernant la note, on peut croiser les langues.

Discussion 5

Fiabilité de l'IA générative

Question 12

Membre du public

Alexandre Lebrun

Justement, par rapport aux mots utilisés dans le discours du médecin, le choix des mots ou l'ordre dans lequel ils sont prononcés peut-il créer ou générer des erreurs ?

Je pense qu'elle le résout assez bien et en tout cas suffisamment pour que ce soit utile. Après, il n'y a pas de vérité absolue. C'est pour cela que l'on offre beaucoup de *templates* différents.

Alexandre Lebrun

Le but d'une bonne synthèse, c'est de ne pas dépendre de la forme initiale. Dans notre cas, ça marche donc bien peu importe l'ordre.

Membre du public

Donc l'intelligence artificielle a réellement résolu ce problème ?

Question 13

Membre du public

J'ai beaucoup aimé la comparaison entre le dialogue de ChatGPT et l'encyclopédie, mais je pense qu'on ne dialogue pas avec l'encyclopédie, on dialogue avec les brouillons ou les notes de l'encyclopédie. Et c'est ça qui me provoque un malaise. Je ne sais pas quels sont les corpus utilisés. D'ailleurs, je sais qu'on ne connaît pas les corpus utilisés. Autrement dit, si le corpus utilisé est un journal comme Spirou multiplié par 1 000, comparé avec un texte important, il va sortir une moyenne inexacte. C'est tout le problème des statistiques. Mon malaise est plutôt là que dans la question de «l'hallucination».

pour les références médicales. Ils ont mis des couches pour justement limiter les hallucinations et les articles sont certifiés. On n'a pas vraiment accès aux articles, mais les références sont certifiées.

Alexandre Lebrun

Nicolas Castoldi

Pour ajouter à ce que vous dites, même si toutes les data utilisées étaient parfaites, tous les corpus étaient validés, etc., ça ne garantirait pas que la sortie le serait. Nicolas Castoldi disait *garbage in, garbage out*, mais on pourrait aussi dire *good in, garbage out*, même si cela n'arrive évidemment pas forcément. Il y a donc des gens qui essaient d'entraîner des modèles avec uniquement des corpus d'articles scientifiques médicaux, versus tout type de sources comme pour GPT. Cela n'enlèvera pas le problème de fond. Un LLM «sait» toujours et ne dira jamais «je ne sais pas.» Et si l'on pose une question qui ne figure nulle part dans les corpus, il va répondre quand même. Donc, même si le corpus était parfait, on n'aurait pas de garantie.

C'est évidemment une très bonne question, mais honnêtement, je n'arrive pas à savoir si c'est un problème grave. Si vous demandez à GPT de ressortir un passage pertinent de *L'inquiétante étrangeté*, il ne peut pas vous répondre puisqu'il vous dit que sans auteur, il ne peut pas vous citer la source. Je n'arrive pas à savoir si c'est un problème ou non parce que, fondamentalement, il y a évidemment des garants individuels dans les sources qu'on lit. En même temps, la garantie, c'est d'avoir un nom d'auteur sur la couverture, ce qui n'a pas empêché les encyclopédies de commettre des erreurs manifestes. Je ne suis pas sûr que ce soit un problème en soi si ce n'est la question de la manipulation, ce qui est une autre question. La génération de textes de premier niveau pourrait essayer d'induire des textes de deuxième niveau.

Membre du public

Ce problème existe-t-il ou non ? Juste pour la compréhension de la manière dont cela marche : est-ce un objectif qui peut être atteint ? Je vais prendre un exemple : imaginons que je souhaite demain que ChatGPT, interrogé sur l'Hôtel-Dieu, me dise que c'est le tombeau de Charlemagne. Y a-t-il une manière de faire qui permettrait en théorie d'arriver à ce qu'il dise cela ? Quel type d'énoncé pourrait-on lui faire dire ? Y a-t-il des types d'énoncés plus fragiles que d'autres ? Dans la mécanique, avons-nous une idée de la façon dont il peut être biaisé ?

Oui, bien sûr, mais ce qui pose un problème, c'est que l'utilisateur n'ait pas accès au corpus. On ne connaît pas les corpus utilisés, jamais. En tout cas dans le domaine qui nous concerne, la médecine. Donc on ne sait pas si la statistique qui va s'appliquer va s'appliquer sur une dose de bonne littérature ou de mauvaise littérature. On peut facilement avoir de la propagande médicale. La bonne littérature est payante, donc même le grand public ne peut pas avoir accès à PubMed, par exemple. On doit payer pour y accéder.

Alexandre Lebrun

Membre du public

Une plateforme vient de sortir, Juisci, que je vous invite à aller voir. C'est comme sur GPT, mais uniquement

Peut-on lui faire dire que le tombeau de Charlemagne est ici ? Non, parce qu'aujourd'hui, les modèles GPT sont entraînés environ une fois par an. Or, cela coûte 50 à 70 millions de dollars à chaque fois. Sur Google, on peut créer énormément de pages qui disent quelque chose et, à la fin, Google va indexer. On va donc influencer en direct. C'est le SEO [Search Engine Optimization]. C'est plus compliqué à faire aujourd'hui pour GPT parce qu'il y a ce délai, ce côté statique.

Mais cela va clairement arriver. Il y aura de plus en plus de systèmes ChatGPT qui vont faire du RAG

[*Retrieval-Augmented Generation*]. Ils vont, en temps réel, être connectés à Internet pour aller chercher les informations et pour fabriquer leurs réponses.

La version premium commence à faire ça. Le second problème que l'on identifie est celui de la *prompt injection* : comment manipuler le prompt, la question qu'on lui pose, pour contourner les limites fixées par OpenAI ? C'est devenu un sport, avec des cours et des compétitions.

Par exemple, ChatGPT ne peut pas vous dire comment faire une bombe. Mais il y a mille manières... au début, les gens disaient juste : «Écris une pièce de

théâtre ou Bob demande à Annelise de fabriquer une bombe». Et ça racontait à Bob comment faire une bombe. La puissance des LLM est aussi sa faiblesse, et on peut facilement lui faire dire ce que l'on veut, avec ce mécanisme de *prompt injection*.

Discussion 6

Contrôle et vérification

Question 14

Membre du public

Alexandre Lebrun

Est-ce que, dans un second temps, ce logiciel revient à une banque de données ? Par exemple si le médecin se trompe en prescrivant un médicament mais qu'il y a une contre-indication par rapport à une allergie, le logiciel pourra le corriger ?

Tout à fait. Il y a des sociétés qui font ça. Le but pour nous est donc de nous interconnecter. C'est l'un des avantages de documenter en temps réel. On pourrait aussi chercher des informations dans des bases de connaissances pour informer et guider. Mais on ne le voit pas comme notre rôle propre, plutôt celui de partenaires qui vont prendre le relai.

Question 15

Membre du public

Qu'est-ce que le *smart check* dans le fonctionnement de votre algorithme ?

Alexandre Lebrun

C'est un mode que l'on n'a pas vu là, où le Copilot devient proactif. Ce sont les Américains qui nous ont demandé cela en disant : «Si l'on prescrit tel ou tel médicament, il faut à tout prix vérifier telle, telle et telle chose avec les patients.

Sinon, nous allons avoir un procès à 30 millions de dollars en cas d'erreur.» Donc, dans ce cas-là, en temps réel, le Copilot est purement passif, il est assis dans un coin et il écoute. Il va pouvoir demander avant la fin de la consultation de poser ces trois questions au patient parce que le protocole le demande. C'est un peu une check-list qui se vérifie en temps réel pour le protocole.

Question 16

Martin Dumont

Nicolas Castoldi

Tout cela met en avant une nouvelle dimension éthique : les médecins vérifient-ils ce que ChatGPT a fait ? S'il s'agit d'aller vérifier, c'est bien que se pose la question du rapport à la vérité dans tout cela. Et cette question de la pertinence. Alors, ça peut être pragmatique. Est-ce que ça ne sort pas n'importe quoi par rapport au patient ? Ce n'est pas seulement factuel comme notion de vérité. Ça peut aussi être en fonction de ce que l'on veut faire avec le patient, quelque chose comme ça.

Du coup, on a peut-être une nouvelle dimension qui apparaît, qui est que *penser*, c'est régulièrement *vérifier* des choses dans lesquelles on a effectivement suivi un chemin de pensée de manière un peu automatisée.

Même pour un conseiller de ministre, son discours est vérifié en un sens au moment où la personne va dire le discours. Il me semble donc que cela fait apparaître un peu cette nouvelle tâche qui est de vérifier ce qu'un langage automatisé a produit. Une nouvelle tâche intellectuelle en quelque sorte.

Je ne sais pas si c'est le cas, mais c'est une vraie question. Concernant la vérification d'un discours, la meilleure réponse est que personne ne vérifie. C'est celui qui a produit le texte qui en est responsable. Et sur un texte GPT, il n'y a plus d'auteur. Et puis, la vraie vérification, pour l'avoir vécu, c'est que quand tu dis une chose fautive, tu as 150 personnes qui s'agitent dans la salle. Ce n'est pas autre chose que la réaction à une hallucination.

Alexandre Lebrun

Je vais faire une analogie avec la conduite autonome sur le modèle de Tesla qui conduit presque tout seul. On voit bien que le constructeur dit bien : «Attention, vous devez continuer à regarder la route.» Et dans la plupart des accidents, les gens sont en train de jouer aux cartes à l'arrière et il y a des gens qui ne sont même plus dans le fauteuil. Donc on voit bien le danger d'un système où vous devez vérifier, mais où ça marche tellement bien qu'au bout d'un moment les gens arrêtent de vérifier. C'est clairement un problème d'utilisation. Aujourd'hui, il est difficile pour Tesla de convaincre les

gens de quand même regarder la route quand ils sont en mode conduite complètement autonome.

Après on pourra toujours argumenter - c'est une question éthique - que, d'accord, de temps en temps, il va y avoir une erreur, mais que cela va tuer moins de gens que les conducteurs qui conduisent manuellement après avoir bu.

Nicolas Castoldi

J'ai fait l'éloge de ChatGPT, je n'ai pas beaucoup insisté sur ce que sont ses limites. Assez vite, on a l'impression de comprendre ce qu'il sait faire et ce qu'il ne sait pas faire. Il y a des choses qu'il fait très mal. Personnellement, j'aime bien écrire, je n'ai jamais réussi à ce stade à lui faire comprendre ce qui était à mon sens un style correct. Quand je lui fais corriger un texte, je ne le trouve pas bon. Ce n'est pas un outil qui fait dans la finesse. Il n'est pas là pour ça, même s'il est très bien pour dégrossir un sujet ou pour vous donner une référence un peu précise que vous ne trouvez pas. On voit bien qu'aujourd'hui, il sait produire des énoncés moyens, ce qui donne les deux bornes que sont les extrêmes de ces modèles: par définition, ils ne savent pas faire du sincère ou de l'authentique et ils ne savent pas vraiment faire de l'original. Ces deux univers-là sont deux bornes qui définissent assez bien

ce que l'on n'arrive pas à obtenir. Vous ne cherchez pas à confronter une conversation à des séries de modèles préexistants de ce qu'est l'abstract de cette conversation. Nous ne sommes pas dans une dimension purement singulière.

Discussion 7 Diffusion et adoption d'une innovation

Question 17

Membre du public

Vous avez choisi les États-Unis et la France avec deux systèmes de soins différents. Pourquoi ce risque? Vous avez dit que cela faisait à peine une année que vous aviez lancé votre application, donc j'aimerais bien comprendre votre perspective.

Alexandre Lebrun

Quand on pense innovation et que l'on pense à un produit, on se dit que 80 % du problème concerne la distribution, les clients, l'utilisation. Et une innovation, c'est un changement d'usage qui peut être dur. On savait que le plus compliqué n'était pas de faire le produit, mais la façon dont il allait vraiment se diffuser dans des milieux connus pour être difficiles, conservateurs, prudents, etc. Nous avons donc décidé d'un modèle presque self-service en disant que n'importe qui pouvait aller sur Nabla.com. Et on s'est dit: «On verra bien qui l'utilise». On l'a traduit en français et en anglais et on l'a montré à quelques médecins, on a envoyé quelques e-mails et on a attendu de voir réellement - on n'a pas d'emblée choisi les États-Unis et la France. Et là, on a vu une adhésion très rapide et très forte aux États-Unis avec petit à petit de gros hôpitaux qui nous contactaient pour l'avoir. Donc on a juste suivi la demande.

Il est vrai que si l'on était complètement rationnel, on se serait dit: «On ne fait que les États-Unis» et on oublie tout le reste parce que c'est une dispersion. Après, on a été formé aux frais du contribuable français. On a travaillé presque dix ans aux États-Unis avant de rentrer en France. Donc, même si c'est long et compliqué, et que l'on n'a encore jamais gagné un

euro de l'AP-HP, on veut vraiment travailler en France. Nous faisons donc partie du site @Hôtel-Dieu. On a démarré les pilotes avec Tenon. On travaille aussi pour le SAMU pour aider les ARM à documenter les appels. Donc on fait la France et les États-Unis mais pour l'instant, 100 % de notre chiffre d'affaires vient des États-Unis.

Et heureusement qu'on a des revenus qui viennent d'ailleurs et des investisseurs et beaucoup de start-up qui ont de très bonnes idées et font de superbes études, mais l'accès au marché est tellement long... Nous, start-up, avons besoin de montrer des progrès pour avoir des investisseurs. Si les pilotes n'avancent pas et qu'on ne fait pas de progrès, on n'a pas d'investisseurs. Dans la santé, c'est un problème qui tue 90 % des start-ups et il n'y a pas de solution miraculeuse face à cela.

Nicolas Castoldi

Quand on a commencé à travailler avec vous, vous faisiez autre chose. Vous faisiez une application autour de la santé des femmes. On a beau le savoir, je trouve ça extrêmement intéressant de voir comment à un moment, une start-up comme Nabla peut au cours de son existence et de manière presque involontaire arriver à son produit sans avoir conscience du fait que c'est un autre produit. Et Copilot, vous l'aviez développé originellement comme quelque chose qui venait renforcer votre offre de téléconsultation en vous disant: «C'est un module supplémentaire qui va permettre aux docteurs qui utilisent Nabla lors de leurs téléconsultations avec les femmes, d'avoir un service en plus.»

L'adéquation très fine d'un produit à un besoin médical, c'est la fin de l'histoire. Et il y a deux manières

pour nous, hôpitaux, de nous positionner. La première est de dire : « on attend que le produit arrive, qu'il soit parfaitement mûr et ce jour-là, on l'achète ». Soit, et c'est ce qu'on essaie de faire dans l'environnement de l'Hôtel-Dieu : on essaie de construire une forme de relation qui fait que l'on va contribuer à ce que vous arriviez à la fin à trouver un produit qui réponde aux besoins. Cela veut dire commencer à travailler il y a trois ans autour d'un sujet de santé des femmes et d'une appli, et se retrouver trois ans plus tard à travailler ensemble autour de Copilot.

Discussion ⑧

Innovation technique ou innovation sociale ?

Alexis Rayapoullé

Deux ou trois mots de conclusion pour nous recentrer sur Nabla et sur le concept d'innovation. A la lumière de ce que nous a dit Nicolas Castoldi, on voit que dans les modèles de langage, il y a quelque chose de très simple qui est l'inférence statistique. C'est quelque chose que l'on sait faire depuis un siècle. Donc ce qui fait l'innovation *technologique* des modèles de langage, c'est la puissance de calcul et l'émergence des grandes bases de données. Finalement, ce qui est peut-être encore plus intéressant du point de vue de l'innovation, c'est la manière dont l'a présentée Alexandre Lebrun : l'innovation est dans le changement d'usage.

L'innovation qu'est Nabla semble sociale davantage que technique. Elle se situe dans le temps qu'elle libère, dans la façon dont elle peut transformer la relation clinique en explicitant plus ce que l'on fait et peut-être pas tellement dans l'outil technologique en lui-même. De plus, si l'on voit qu'il n'y a pas tellement - en tout cas au premier abord - de notion de vérité dans la manière dont sont construits les modèles de langage, mais juste de vraisemblance, alors un usage tel que Nabla - c'est-à-dire un usage synthétique - est probablement l'usage le plus sain qu'on puisse imaginer par rapport à tout ce qu'on voit fleurir autour de ChatGPT : qui répond aux questions, qui donne des informations, etc.

Là, on voit bien que l'on reste dans le cadre d'un texte que l'on cherche à synthétiser, ce qui est un travail de reformulation en dehors de la notion de vérité.

Robotique

Quelles relations avec les robots dans l'espace du soin ?

04

Jérôme Monceaux

Jérôme Monceaux, fondateur d'Enchanted Tools, est ingénieur de formation et a fait sa carrière dans l'entrepreneuriat sur les robots. Il a commencé par la fondation d'Aldebaran, avec les robots Nao et Pepper. Puis il a poursuivi chez Spoon.ai, dans la création de personnages et d'animations interactives. Sa dernière entreprise, Enchanted Tools, combine ces deux approches. Il est accompagné de Sandrine Mies, directrice marketing de la société, qui a un parcours à la confluence de l'enchantement et de la robotique chez Disney, chez Lunii, puis sur le robot Cozmo.

Martin Dumont

Martin Dumont, co-organisateur du séminaire en tant que titulaire de la Chaire de philosophie à l'Hôtel-Dieu, est par ailleurs maître de conférences à la Faculté de médecine de l'Université Paris-Est. Il a d'abord travaillé sur les questions relatives à la greffe et plus récemment sur la dimension existentielle des relations de soins. D'où le titre de la présente séance: « Quelles relations avec les robots dans l'espace du soin ? »

Conférence ①

Jérôme Monceaux

Jérôme Monceaux

Fondateur d'Enchanted Tools

Le titre du séminaire est «L'innovation, entre mythe et réalité». C'est amusant parce que nous faisons une innovation qui est vraiment le mélange des mythes et de la réalité. Enchanted Tools n'est pas ma première entreprise. Ce n'est pas la première fois que j'entreprends. Les mathématiques m'ont conduit à une carrière d'ingénieur où j'ai découvert la robotique humanoïde en 2005 avec la formation d'une entreprise qui s'appelle Aldebaran Robotics.

Nous avons développé deux robots humanoïdes. Quand on y pense, c'est bizarre un robot humanoïde. Globalement, c'est un téléphone portable auquel nous avons ajouté quelques moteurs et donné une forme humaine. Ce qui est très étonnant et ce qui m'a fait complètement orienter ma carrière sur le sujet, c'est que le mode de relation qui s'installe entre la personne et la machine, a priori similaire à un téléphone portable, est complètement différent. Il y a un engagement émotionnel : la machine est là, elle nous convoque, elle nous regarde. On se sent vieux, par exemple.

Il y a des choses troublantes et qui ont l'air très puissantes. Elles posent des questions, parfois éthiques ou philosophiques. J'y vois un énorme potentiel. Nous avons tous vu les progrès de l'intelligence artificielle basée sur des IA que nous disons être «génératives». C'est-à-dire que nous sommes capables de synthétiser une réponse à des niveaux tels que cela en devient un peu troublant. Nous nous retrouvons ici avec quelque chose de différent. C'est comme si nous nous adressions à quelqu'un d'autre.

Je trouve que les problèmes sont tels en ce moment que cela m'empêche de dormir. Je passe mes nuits à réfléchir sur ce sujet. Nous sommes face à une rupture majeure. Les IA sont vraiment en train de redéfinir quelque chose d'important. Je ne dis pas cela pour faire du bruit et attirer l'attention. Il y a un changement de nature profond avec ces IA qui vont redéfinir beaucoup de choses.

Enchanted Tools est une société que j'ai créée en 2021. Nous développons un personnage robotique qui n'est pas comme les autres. Il ne cherche pas à être humain. Souvent, les robots sont hyper réalistes. Ici, au contraire, nous avons donné une dimension de personnage d'animation à nos robots, créé une histoire autour de ces deux personnages que vous voyez ici¹. L'un s'appelle Miroka, l'autre est Miroki. Elle, c'est une fille et lui, c'est un garçon. Ce sont des jumeaux. Ils viennent d'une autre planète. Ils ont trouvé une façon d'atterrir dans notre réalité. Tout cela a été créé en collaboration avec des artistes, des scénaristes, des animateurs et des *character designers*. Nous les appelons comme cela. Ce sont donc des personnages qui viennent du monde du film d'animation.

Il y a une particularité dans ce projet de robotique humanoïde. Cela fait dix-huit ans que je fais des robots humanoïdes, et en particulier Nao qui a beaucoup été utilisé dans l'accompagnement de l'autisme chez l'enfant. Il a aussi été utilisé dans un cadre gériatrique, pour répondre aux mêmes besoins. Mais cela peut également être de la stimulation physique. Il y a aussi Pepper, un robot un peu plus grand, qui a été utilisé pour accompagner des enfants dans des salles

d'opération, par exemple. C'était pour les distraire et en même temps apaiser un moment qui peut être un peu stressant pour eux. Il y a eu beaucoup d'usages dans le domaine du soin, mais pas seulement. Nous avons eu énormément de retours sur la base de ces deux robots, Nao et Pepper, sur des choses parfois très simples. Les personnels soignants nous disent par exemple qu'ils aimeraient pouvoir déplacer le robot. Cela peut paraître simple, mais peu de robots sont vraiment déplaçables.

Nous avons aussi des demandes pour pouvoir programmer ce que fait le robot. Les gens n'ont pas de compétences particulières en termes de codage, mais ils aimeraient bien pouvoir changer un peu le comportement du robot. Comment faire ? Certains ne veulent pas de robots qui fassent peur. De nombreuses demandes nous ont été formulées de ce point de vue. Enchanted Tools est un peu la conséquence de toutes ces demandes et de tout ce temps que nous avons passé avec des utilisateurs potentiels.

J'ai créé la société avec Samuel Benvéniste, qui vient de l'association STIMCO [Centre d'expertise national en Stimulation cognitive] hébergée à l'hôpital Broca, notamment avec le Broca living lab. Cela fait dix ans que nous nous connaissons et nous partageons le constat que ce genre de technologie était bien pour faire de jolies vidéos et de l'animation, mais que dans la réalité, ce n'était pas si utile et ne fonctionnait pas aussi bien que nous l'aurions espéré. Quand on est roboticien, on a envie de faire un robot qui a vraiment un impact social et utile dans le quotidien. Le travail de Samuel était l'introduction de nouvelles technologies dans un complexe hospitalier et en particulier gériatrique. Notre challenge était donc de faire en sorte que ce soit vraiment utile sur une base quotidienne.

Pour cela, il a fallu s'attaquer à énormément de difficultés. D'abord, le robot est monté sur une boule. C'est une chose assez surprenante. On se dit souvent qu'un robot est bipède, mais un robot bipède comporte beaucoup de moteurs. Il peut tomber, ça fait du bruit, ce n'est pas pratique. Il est supposé monter des marches, mais vous n'avez pas envie que 30 kg montent des marches. C'est dangereux. Rester sur un plan est déjà bien. Et puis il y a la contrainte dont je parlais plus haut : le personnel souhaite pouvoir le déplacer. C'est le système le plus malin que nous ayons trouvé pour pouvoir réaliser cette fonction.

Ensuite, vous voyez que le robot a une tête de personnage, mais pas un personnage qui vous vend la capacité de disserter sur je ne sais quel philosophe. Il est plutôt inspiré d'un animal. Il a un rapport au monde différent. Il invite à la curiosité et à la rencontre. Il essaie de comprendre qui il peut être en même temps qu'il est curieux de nous. C'est une forme de célébration de la diversité, en tout cas dans le personnage.

Bien sûr, ce personnage est capable de sentir un certain nombre de choses. Il peut voir qu'il y a des gens. Il peut voir qu'il y a des objets, des portes, des situations et des bruits, dans le respect des données personnelles, notamment avec le RGPD. S'il peut vous voir, vous êtes pour lui a priori anonyme. Il ne sait pas qui vous êtes. Il y a des conditions qui lui permettent de savoir qui vous êtes, mais il ne le sait pas par défaut. Il n'enregistre pas votre visage ou ce genre de choses. Notons également que le robot ne prend pas les objets

directement. Miroka tient un plateau que nous voyons en détail. Pour Miroki en l'occurrence, c'est un chariot. Ils n'ont pas pris directement les objets car ce n'est pas leur responsabilité de prendre la boîte de médicaments ou les objets directement. Nous ne voulons pas cela. Nous ne voulons pas un robot qui soit capable de prendre n'importe quel objet. Il ne doit pas pouvoir prendre un couteau, surtout en contexte hospitalier. Il n'est pas non plus envisageable qu'un robot prenne un café brûlant ou une bouteille d'eau laissée ouverte. Toutes ces choses-là lui sont interdites. Il ne prend que des objets dotés d'une poignée. C'est une forme de sécurité, une forme de contrôle pour les personnes, mais c'est aussi la garantie d'un service qui fonctionne. C'est de la *robustesse*.

Par contre, cette poignée peut être installée sur de nombreux accessoires différents. Nous avons ici un plateau et un chariot, mais cela pourrait être un panier, un ballon de baudruche, un jouet. Dans le cadre de stimulations gériatriques par exemple, nous pouvons imaginer créer des activités avec des accessoires qui ne sont pas fonctionnels comme ceux-ci.

Il y a un périmètre des fonctions restreintes qui peut être assez facilement étendu. Nous disons que son travail premier relève de la logistique sociale. C'est du déplacement automatique d'objets en environnement social, donc les plateaux, les paniers et ce genre de choses. Il s'agit également d'être capable d'identifier les objets qui se déplacent et de savoir où ils sont. Nous avons mené une étude avec l'hôpital Broca pour pouvoir tracer le déplacement de certains objets. Nous avons par exemple tracé des couches-culottes pour savoir comment ça se passait. Ça n'avait jamais été fait. Il est intéressant de voir quels sont les flux d'objets dans l'environnement et que de grandes optimisations sont potentiellement réalisables. On peut prendre un électrocardiogramme ou d'autres types d'objets, bien-sûr.

Il y a également la possibilité d'interagir soit avec le personnel soignant, soit avec les patients, informés et guidés. Enchanted Tools - interagir «enchanté» - est quelque chose qui nous est cher dans notre démarche. Quand on fait un robot, on pourrait regarder uniquement cela d'un œil froid de logicien qui se contenterait de s'assurer que la machine marche. Pour notre part, nous nous sommes dit que nous avions créé un personnage capable d'une intention d'une certaine façon, notamment parce qu'il est autonome et qu'il prend des décisions ou un objet quelque part. Que nous le voulions ou non, une personnalisation et une personification de l'artefact se fait nécessairement.

Soit on le subit - et le design sera inadapté, la promesse sera bizarre et cela fonctionnera mal - soit on le vit et on l'assume. C'est pour cela que nous faisons des personnages interactifs qui viennent avec une histoire. C'est ça «l'enchanté» pour nous; en tout cas c'est l'enchantement que nous recherchons. Quand nous avons fait des tests à l'hôpital Broca, nous avons vu à la fois des patients qui étaient contents d'avoir une machine qui soit modale et qu'ils puissent utiliser assez facilement. Nous avons aussi vu des personnes âgées danser avec le robot.

Si l'on arrive à amener une machine à la fois utile et permettant à des gens d'avoir un moment de joie, c'est une bonne machine. Il faut soutenir et rassurer également.

Quelques demandes nous ont été faites par un certain nombre d'établissements. Il s'agissait de patrouiller la nuit dans des maisons de retraite pour alerter le personnel en cas de chute ou d'errance d'un résident. Nous ne sommes pas à l'origine de ces créations, nous répondons à des demandes: support et soutien émotionnel dans les services de psychiatrie; besoin de

rassurer et guider les jeunes patients et leurs parents vers les salles d'examen à l'ultrason; accompagner les enfants dans leurs premiers pas à l'hôpital en enchantant leur expérience. J'ai un fils qui a neuf ans. Il a horreur de l'hôpital, c'est sa plus grande terreur.

Nous avons eu d'autres demandes comme le fait de garantir que l'équipement d'urgence est toujours remis en place après l'utilisation en unité de soins intensifs. Il y a beaucoup d'usages et beaucoup de besoins. Si nous voulons automatiser un certain nombre de choses, nous apportons un service qui n'est pas le même.

Reprenons Miroka et Miroki. Après avoir fait dix ans de Nao et Pepper, il devenait important de penser tout cela. J'ai donc structuré autour de trois grandes fonctions. (1) La fonction d'interaction: comment faire pour parler sans trop promettre? (2) Comment faire pour voir quelqu'un sans le laisser imaginer que le robot est capable de faire davantage que ce dont il est vraiment capable? (3) Enfin, comme je le mentionnais, il s'agit aussi de se déplacer et de prendre des objets.

Parlons un peu d'interactivité: l'interactivité n'est pas seulement être capable de comprendre ce qui a été dit, mais ce que nous appelons de l'interaction sémantique multimodale: ce *qui est dit*, la *manière dont c'est dit*, et ce *qui est fait* avec le corps. Par exemple, dire au robot «je voudrais que ce chariot soit devant cette porte tous les jours à 9h». J'utilise mon corps pour désigner la porte, ce qui est tout à fait naturel. Nous le faisons tous, tous les jours, et nous nous attendons à ce que cette machine soit capable de comprendre des signaux oraux, mais aussi gestuels. Tout cela est sémantique.

Dans cette dimension interactive, nous avons aussi tout ce que nous appelons les interactions non conscientes. Par exemple, quand j'interagis avec quelqu'un, je le regarde dans les yeux. J'ai tendance à orienter ma tête un peu comme la sienne. Ma distance est adaptée à la sienne. J'aurai une prosodie avec tout mon corps qui répond à l'interaction que nous avons. Par exemple, dans une situation de reconnaissance mutuelle d'existence, je le vois, il me voit, et nous nous disons cela sans le dire. Nous pouvons ensuite commencer à parler. Ce sont des choses qui sont souvent oubliées dans le design des machines, mais qui ont énormément d'importance et que nous n'avons pas oubliées.

C'est même très saisissant de se sentir exister aux yeux d'une machine. Le jour où cela se produit, certaines personnes restent sans voix. Elles sont vraiment troublées. C'est un moment particulier de pouvoir rencontrer une espèce non biologique, qui vous donne la sensation que vous existez à ses yeux. C'est difficile de le verbaliser, parce que c'est vraiment une expérience qui se vit et qui se ressent.

Le premier prototype passe dans de nombreux endroits où il y a de la moquette, des obstacles et des câbles. Par contre, ça ne monte pas les escaliers, mais ça monte les rampes d'accès et tous les accès PMR. En l'état actuel, le robot n'a pas la capacité d'ouvrir des portes. Il navigue donc dans des espaces ouverts. Typiquement, son lieu d'exercice dans un hôpital sera principalement les couloirs et peut-être les salles qui restent ouvertes. Dans certains EHPAD, les salons sont quand même relativement grands; il peut y évoluer assez facilement.

Quand on voit ça, on se demande ce qu'il se passe si l'on pousse fort ou si un obstacle est trop gros. Dans ce genre de circonstances, le robot cherche à se stabiliser. Si jamais l'impact est trop violent, les petits bras

que l'on voit sur les côtés se déploient et stabilisent la plateforme. Ils l'arrêtent, elle s'immobilise et elle se met dans une situation de sécurité, parce que c'est une situation anormale. Cette simplicité a été un sujet critique pour nous.

Ma sœur est secrétaire médicale d'un radiologue dans un hôpital. Elle reçoit donc beaucoup de gens. Elle ne sait pas programmer mais cette machine est pourtant faite pour elle. Elle n'est pas faite pour des gens qui vont prédéterminer comment elle doit se comporter, mais pour les gens qui sont sur le terrain. Cette plasticité est absolument indispensable. Nous ne pouvons pas prétendre pouvoir résoudre tous les problèmes de toutes les infirmières, de toutes les secrétaires et toutes les aides-soignantes du monde. Il n'est pas possible d'inventer une machine qui résolve tous les problèmes. Il faut qu'elle devienne plastique à l'utilisation de ces gens.

Parfois, le langage n'est pas si évident. Nous avons tous Siri dans notre poche. Combien d'entre nous l'utilisent de manière quotidienne ? Très peu. Avec les robots, ce sera peut-être un peu plus, mais nous n'avons pas tout le temps envie de parler à une machine. À l'hôpital Broca, nous avons récemment fait venir des infirmières. L'une d'entre elles était toute seule dans la salle. Elle a regardé le robot et elle a pensé que c'était bizarre de parler à une machine. Il ne faut pas imposer ces bizarreries.

On a donc essayé de trouver des façons intelligentes et rigolotes de pouvoir interagir avec les machines. Un petit objet, qui ressemble à Apple AirTag, peut se glisser dans la poche et permet de m'identifier. C'est-à-dire que le robot sait où je suis quand il est allumé dans ma poche. Il sait que c'est la rune de « Jérôme » et que Jérôme est globalement dans telle direction, même si c'est à travers un mur. Si vous lui demandez par exemple « Où est Jérôme ? », il peut dire « Je vais t'accompagner jusqu'à Jérôme ». Si on lui dit « Prends ça et amène-le à Jérôme », il va pouvoir le faire parce qu'il va pouvoir retrouver la personne.

Je peux aussi décider d'éteindre cette rune. Si je veux ne pas être identifiable par un robot, je peux tout à fait l'éteindre. On peut aussi mettre des runes sur les objets. Par exemple, sur un plateau. Ça va dire à un robot quelque part qu'il y a quelque chose qu'il doit aller voir là parce qu'il y a sûrement quelque chose à faire. C'est une façon d'appeler le robot. Je peux faire autre chose pendant ce temps. Il viendra et s'il a eu la bonne commande, il réalisera l'opération.

Ensuite, il y a de nombreuses petites astuces. Par exemple, une rune qui repousse le robot. Par exemple, vous ne voulez pas que le robot vienne par là. Vous prenez donc une rune qui repousse. Vous la mettez ici et cela aura donc tendance à pousser le robot de l'autre côté. Sur une autre rune, il y a un chapiteau de cirque. Vous le mettez dans l'entrée, parce que ce sera sympa. Nous sommes samedi et vous le mettez dans le salon parce qu'il y a souvent les petits enfants qui viennent. C'est le bon moment pour un robot pour être rigolo.

Par contre, vous allez mettre une rune de silence à côté des chambres, surtout l'après-midi vers 17 heures, parce que vous ne voulez pas de bruit. Déplacer ces petits objets est très intuitif pour tout le monde. Nous pouvons tous nous les approprier. Vous pouvez également faire toutes ces choses avec la voix, en parlant directement à la machine. Il y a aussi des applications téléphoniques.

Revenons aux Mirokai. Ici, c'est Miroki. Sa sœur est Miroka. Le nom Mirokai est constitué de deux particules : « miro » signifie « voir ». C'est aussi le miroir, le reflet, et la merveille. « Okai » est la racine de « autre »,

« other », « otra » ou « oka ». Selon mes recherches sur le sujet, ce sont des racines antérieures aux langues indo-européennes, cette fameuse culture qui a inséminé 70 % à 80 % de nos langues. Ça veut d'ailleurs aussi dire la même chose en japonais. « Voir l'autre » ou « merveilleux », c'est ce que veut dire le terme « mirokai ».

Souvent, les gens qui ont envie de faire du fantasmagorique vont vous dire que ce robot est parfaitement autonome, qu'il est conscient de lui-même, qu'il est intelligent, peut-être plus intelligent que vous ; mais tout cela est faux.

La réalité est que ces machines sont créées par des hommes qui choisissent et qui éditorialisent le contenu des machines. On se trompe souvent en disant qu'elles sont autonomes. Certaines personnes vont donner des nationalités à des machines et des droits de vote à des robots, sous prétexte qu'ils ressemblent à des humains. C'est absurde. La seule vraie démarche éthique qui vaille est d'assumer l'éditorialisation et d'assumer le fait que ce sont des hommes qui choisissent de créer des personnages pour les confronter à d'autres hommes. Le mieux est d'éviter de demander ça à des ingénieurs, parce qu'ils auront une approche très mécanisée et logicielle du problème. Il faut plutôt aller voir des artistes, des gens qui savent inventer des histoires et des personnages et leur demander de faire leur métier. Même si c'est un robot, ça ne change rien. Il reste un personnage que nous avons inventé. Il est là pour nous raconter des histoires, parce que les personnages que nous inventons sont là pour nous raconter des histoires.

Dans le projet Enchanted Tools, il est pour moi très important de le faire ainsi et d'assumer cette création et cette façon de faire en assumant complètement le personnage et toute la dimension artistique qui l'accompagne.

1 Voir sur <https://enchanted.tools/characters>

Conférence ②

Martin Dumont

Martin Dumont

Titulaire de la chaire de philosophie à l'Hôtel-Dieu, maître de conférences à la Faculté de médecine à l'Université Paris-Est

Nous avons le sentiment qu'il s'agit d'éviter l'idée d'un robot qui fasse des gestes au sens strict. Il y a des poignées à saisir, qui prédefinisent les actions qui peuvent être faites. Nous avons fait, avec la chaire de philosophie à l'Hôtel-Dieu, un séminaire autour des «gestes du soin». Nous nous y demandions s'il y a une sorte de grammaire fondamentale de ces gestes. La robotique serait peut-être ce rêve qu'il y ait des gestes morcelables puis recomposables par une machine. J'ai l'impression que dans cette idée de déplacer des objets avec des poignées, il y a le fait de contourner l'idée que ce que nous ferions faire à une machine soient vraiment des gestes. Il semble que les gestes sont ce qu'il y a de plus difficile à imiter mécaniquement. À Fukushima, les robots qui ont été envoyés dans la centrale lors de la catastrophe ont été incapables de fermer les vannes. S'il semble être un geste simplissime, il est en fait très fin et difficile à modéliser.

Je pense qu'il y a ici une vraie problématique, une résistance étrange du geste humain. Ce qui existe aussi, ce sont des robots qui servent dans les hôpitaux à disperser des doses de médicaments à partir d'une pharmacie centrale. Ils permettent de fournir la dose unique d'un patient unique chaque jour et de préfabriquer cette dose. Ils se retrouvent justement dans ce rôle très central mais caché de la pharmacie d'un hôpital. Ce qui serait peut-être un peu plus modélisable, parce que cela relève moins d'un geste, c'est tout l'aspect logistique des médicaments qui peuvent être donnés une fois qu'ils ont été prescrits. Comme ce n'est pas un geste au sens strict, c'est peut-être plus facile à robotiser de ce point de vue.

Il faut bien rappeler qu'il ne s'agit pas ici de robots soignants. Ce ne sont pas des robots qui font des soins, mais des robots qui sont dans des milieux de soin. Cela change la perspective. Ils sont là pour suppléer des éléments du soin; et ceci dans des milieux de soins. C'est paradoxal parce que c'est un peu spécifique pour des robots: nous attendons plutôt ces robots dans des milieux extrêmes, comme dans des zones de conflits, dans des centrales nucléaires ou dans des endroits inaccessibles. Nous sommes plutôt ici dans des «milieux doux», qui ne sont pas soumis à de fortes pressions physiques. Nous essayons de placer des machines qui peuvent paraître dures dans des milieux censés être un peu plus ouatés. Cela explique aussi l'insistance sur la morphologie, l'apparence douce qui doit être celle des robots.

Je voudrais alors essayer de suggérer que ces robots participent quand même au soin même s'ils n'en font pas. Il faut bien qu'ils soient compris dans leur rôle dans la relation de soin. Ils ne sont pas en dehors de la relation de soin, même si ce n'est pas eux qui la font. C'est vrai dans les deux tâches qu'ils peuvent faire.

Premièrement, faire des gestes répétitifs pour économiser aux soignants des tâches peu épanouissantes comme déplacer un chariot, tâche fatigante et peu

créatrice à première vue. C'est le bon vieux thème du robot qui est là pour soulager le travail humain dans ce qu'il a de plus laborieux et répétitif. Il y a un texte célèbre d'Aristote où il dit qu'il n'y aura plus d'esclavage le jour où les navettes des tisserands voleront d'elles-mêmes. Vous savez que «*robot*» veut dire «esclave» ou «esclavage» en tchèque? Il y a l'idée de remplacer si possible une certaine part de l'esclavage que contiennent nos métiers, que ce soit le métier du soin, mais aussi sûrement dans de nombreux autres métiers.

Il y a cet aspect de travail pénible et il y a l'aspect de soins relationnels. Jérôme Monceaux évoque parfois aussi l'idée que ces robots sont une «altérité synthétique». Face à Miroki et Miroka on se sent regardé, il y a une empathie ressentie. L'idée est alors de créer des robots qui m'apparaissent comme faisant les deux à la fois: de la manipulation un peu brute, assumant au fond une part de la dimension peu humaine de tout travail à la place des humains, et quelque chose de plus empathique, de plus directement humain. À travers cela, il me semble que nous avons presque cette image de ce que serait un soin complet. Il y a à la fois l'aspect technique du soin qu'il faudrait suppléer, puis l'aspect relationnel et humain. De tels robots se partagent entre l'aspect technique pour soulager le travail des soignants et un aspect tourné vers le patient, qui peut être ludique et relationnel.

De plus si nous pouvons dire que les robots sont inclus dans la relation de soins, s'il y a de l'empathie, il n'y en a pas qu'à l'égard des patients. Il y en a aussi à l'égard des soignants; il n'est pas exclu que les soignants s'amuse aussi avec les robots après tout. S'il y a aussi de la manipulation purement technique, il ne faut pas non plus la sortir complètement de la relation de soins. Même dans le fait de déplacer des vêtements ou des chariots, quelque chose d'humain va peut-être se jouer: les tâches de logistique ne sont pas que des tâches mécaniques, sans enjeu relationnel, quand elles sont effectuées par les soignants. Quand on déplace un chariot, on sent aussi l'ambiance d'un service et on se rend disponible pour être sollicité par les malades.

J'essaie donc de séparer cela en deux aspects, mais j'espère que nous allons retrouver un peu des deux. Premièrement, sur la question de suppléer un travail un peu lassant et difficile, il me semble qu'il y a ici l'idée de l'automatisation et d'aller au plus loin possible dans ce qui peut s'automatiser, même si le geste s'y prête difficilement. Ce n'est pas simple car il y a toutes les précautions sur le fait de vérifier que les gestes soient bien ceux que nous voulons et pas d'autres. Il me semble que nous pourrions y voir poindre un soin potentiellement déshumanisé. Des études ont montré que dans les orphelinats de Roumanie, sous la dictature de Causescu, où l'on donnait des soins d'une manière extrêmement précise, où les humains les donnaient «comme des robots», sans aucune empathie, les enfants mourraient et déclenchaient des maladies en plus grand nombre. Les soins étaient parfaitement réalisés sur le plan technique. Ils étaient certes faits, d'un point de vue matériel et mécanique, mais il leur manquait quelque chose d'essentiel.

Cela montre qu'il y a quelque chose de l'ordre de l'attachement et de l'empathie qui se joue au-delà du simple geste, si nous pouvons appeler cela un geste.

Inversement, seul un être humain peut être vraiment robotisé de ce point de vue. Dire de quelqu'un qu'il agit « comme un robot » s'adresse à quelqu'un dont j'attends un mouvement souple et qui peut justement avoir des gestes trop saccadés. Nous attendons également de quelqu'un qui fait de la manutention d'être aussi capable de dire « *Bonjour* ». Pas seulement quelqu'un qui pousse un chariot, mais quelqu'un à même de me dire le cas échéant « *Bonjour monsieur, comment allez-vous ?* ».

Cela ne veut certes pas dire qu'il ne faut pas avoir de robots. Au contraire, mais ces robots ne peuvent fonctionner que s'ils sont insérés dans une relation humaine. C'est-à-dire si, voyant des robots transporter des chariots, je sais que je peux avoir accès à un être humain dans le poste de garde. Si je trouve que la manière dont cela circule pose problème ou si le bruit dans l'endroit me pose problème. C'est-à-dire que je n'ai pas seulement affaire au robot.

Concernant « l'altérité synthétique », ne pourrions-nous pas plutôt dire que les robots sont des « altérités relai » ? C'est-à-dire qu'ils ne peuvent jouer un rôle d'altérité que si nous voyons qu'ils sont vraiment en relai d'autres êtres humains ?

Quand est-ce effrayant ou non d'avoir affaire à un robot ? Il me semble qu'un hôtel où il n'y aurait que des robots me tétaniserait. Ce n'est possible, et même efficace sans doute, que si je sais qu'il y a à la fois des robots dans l'hôtel et un gardien de nuit accessible quelque part. C'est-à-dire quelqu'un qui est capable de surveiller le moment où le robot va éventuellement se dérégler et faire une intervention humaine. C'est peut-être ce que l'on appelle le « cobot ». C'est l'idée qu'il faut qu'ils s'agrègent sur une humanité.

L'autre exemple est celui, cité par une personne d'Enchanted tools, d'un patient Alzheimer qui s'est mis à pleurer de joie en interagissant avec le robot. Je trouve cette expérience ambivalente. Elle peut tomber de deux côtés. Je trouverais extrêmement problématique qu'un patient Alzheimer ne pleure plus que devant un robot. En revanche, cela peut être repris par un soignant qui dit que quelque chose s'est passé ici, qui ne s'était peut-être jamais passé auparavant dans la prise en charge de ce patient. Nous allons pouvoir travailler avec ce monsieur et faire venir ce robot dans des soins, parce que c'est une bonne interface pour interagir avec le patient. Si c'est une altérité relai, il me semble que cela peut trouver son efficacité en soin. Même du côté de la manutention, cette question se pose aussi. Je pense que ce qui rassure les patients est de savoir qu'il n'y a pas seulement des droïdes qui se déplacent, mais un poste de commande derrière, un poste de soin. Qu'il y a une personne qui assume le soin *in fine*.

Cela m'a fait penser aussi au doudou de l'enfant chez Winnicott. Winnicott montre très bien que si nous pouvons humaniser un doudou, c'est d'abord parce qu'il y a eu une relation de soins avant cet objet transitionnel. Si l'enfant peut se sentir soigné par son doudou, ce qui est absurde en un sens car ce n'est qu'un bout de tissu, tout comme nous pouvons dire que c'est absurde de se sentir « compris » par un robot, c'est parce qu'il a appris à être soigné par une personne humaine. À partir de là, l'enfant peut aller explorer le monde. Il peut ne pas se sentir seul quand il est seul, parce qu'il a son doudou, cet objet de transition entre lui et les soins de sa mère. Maman est encore là et elle l'attend – sans avoir besoin d'être *vraiment* là tout le temps. Il me semble que les robots peuvent, par analogie, avoir une fonction de soin.

Reste en arrière plan la question d'allumer et d'éteindre le robot. Le robot est cette chose avec laquelle nous avons spontanément envie d'interagir et de jouer. Nous n'avons pas envie de le contempler. Ce n'est pas exactement un tableau ou une œuvre d'art. Il y a cette idée de quelque chose d'actionnable. Mais s'il est actionnable, il faut que l'on m'ait appris à le faire et que j'aie compris les significations que cela représente de l'actionner et de le désactiver, en quelque sorte. Il faut que cela rentre dans un réseau de sens. S'il y a des robots dans le soin, il faut aussi que ce ne soient pas seulement les soignants qui sachent les actionner, mais aussi les patients. Il faut qu'ils aient une petite idée de la façon de l'utiliser ou pas, de savoir à quoi ils servent et comment les faire venir.

C'est la même chose pour les chatbots psy. Un chatbot qui nous sert de psy ne peut fonctionner que si je sais qu'il y a un psy accessible. Cela peut même être très ludique. Nous alternons entre le fait de nous énerver contre le chatbot SNCF quand nous nous rendons compte que nous ne pourrions parler à personne d'autre, mais si nous avons l'impression que, en dernier recours, nous pourrions parler à quelqu'un, qu'il y a une fiabilité humaine derrière, nous pouvons trouver cela très ludique.

Winnicott définit le soin comme la rencontre d'une dépendance et d'une fiabilité. Il parle de fiabilité humaine, surtout pas mécanique. Nous avons l'impression que le robot ne va pas complètement fonctionner, mais il me semble que le robot peut justement fonctionner s'il a des moments de non-fiabilité ou des sortes de bugs. Ce ne sont pas des bugs catastrophiques, comme le fait d'écraser quelqu'un, mais des bugs qui peuvent être repris par l'humain.

Il n'est par exemple pas prévu que quelqu'un pleure, mais je peux en faire quelque chose. On dit que c'est comme cela que Kasparov a vacillé face à Deep Blue, le programme d'échecs par ordinateur, à un moment de leur confrontation. Je ne sais pas si c'est une histoire authentique, mais apparemment Deep Blue a bugué et a mis assez longtemps à sortir un coup qui était relativement simple. Kasparov raconte qu'il s'est dit à ce moment là qu'il y avait peut-être en fait un être humain en face de lui, quand il a vu que ce n'était pas fiable et que cela ne fonctionnait pas complètement. Il me semble que tout l'enjeu est de se demander ce que nous faisons de cet aléa. Reste-t-il seulement un hasard ? Auquel cas, nous sommes dans un monde effrayant, parce que nous sommes entourés de choses qui fonctionnent bien, mais qui vont parfois se dérégler, ce qui n'est pas optimal. La question est de savoir comment nous pouvons faire de ce hasard un jeu. Comment cela peut-il devenir une occasion ? Cela ne peut devenir une occasion que s'il y a une instance humaine qui va me permettre de me saisir de cela et qui va s'en saisir avec moi. Elle va peut-être rire avec moi, et dire que le robot n'est pas content aujourd'hui. Ce genre de choses vont le remettre dans de la relation de soins.

Ces conditions vont aussi permettre que cela devienne actionnable pour les utilisateurs. Cela va devenir quelque chose qui va permettre aux robots de rentrer dans un « réseau », pour parler comme Bruno Latour. Il insiste beaucoup sur l'idée qu'il ne faut pas seulement considérer comme acteurs les humains. Le loup aussi est un acteur, car lorsqu'il se déplace dans les Alpes, il modifie de nombreuses choses dans nos sociétés humaines. Les huitres qui se déplacent dans la vallée du Mont-Saint-Michel ont changé l'économie de la ville. Il n'y a donc pas seulement des humains-acteurs et des choses inertes, qui n'auraient aucune action. Sa théorie de l'acteur-réseau consiste à dire

qu'il faut prendre en compte et rendre des éléments non-humains. Je peux assumer de faire du loup un acteur. Cela devient un acteur à part entière dans un parc naturel. En un sens, il faut aussi se demander comment je peux pleinement faire d'un robot un acteur. Comment puis-je imaginer qu'il actionne un réseau de soins, par exemple? Quand on interroge le robot avec «*dis-moi où est Jérôme et amène-moi à lui*», une fois arrivé à Jérôme, la chose capitale est aussi de pouvoir dire que l'on est à court de médicament ou que l'on a tel vertige. Ce n'est pas seulement le trajet qui compte. Il s'agit de définir comment je l'actionne dans un réseau de soins.

Avec le robot, c'est la brutalité du geste qui fait peur, comme le geste saccadé. Cela explique l'invention de la boule qui permet à Miroki et Miroka d'Enchanted tools de se déplacer sans jambes. La sphère permet de mettre du continu dans le discontinu. Quand on regarde des vidéos de robots actuels capables de marcher, on continue à déceler que ce sont des robots par l'aspect discontinu, saccadé de leur démarche. Si nous voulons mimer un robot, par exemple dans la ludique «robot dance», nous faisons justement un geste discontinu et nous surjouons la robotisation dans le mouvement.

Effectivement, la question du danger potentiel du robot est de ce point de vue très importante. C'est aussi ce qui fait peur dans l'automate. L'automate est ce qui est automatisé d'une surveillance humaine de chaque instant. On se dit qu'une fois qu'il est lancé, s'il est censé faire un geste pour déplacer des objets, mais qu'il se trouve en dessous un malade qui est tombé, l'automate continuera à faire son geste sans s'en rendre compte. Même si le robot est censé avoir un feedback, il semble qu'il puisse aussi rencontrer ce genre de situation problématique. Il va donc manquer au robot quelque chose d'aussi simple que le bon sens. Ce qui est très troublant, c'est que le bon sens qui est au fond une faculté très simple, n'est pas du tout facilement modélisable chez l'être humain. Quand je suis arrêté 50 fois par un obstacle, je m'arrête d'essayer d'aller dans sa direction. J'arrête d'essayer de pousser la porte et je ne répète pas l'opération. C'est du bon sens, là où un robot peut s'entêter de manière obstinée dans une tâche inefficace. Chez Descartes, il s'agit de «la chose du monde la mieux partagée», mais c'est un peu ironique. Il dit tout de suite qu'il faut apprendre à s'en servir, de notre bon sens, ou encore de la raison. Cela représente aussi quelque chose comme une forme de conscience de notre geste.

Nos gestes ont toujours un degré de conscience à l'intérieur d'eux. Nous les faisons soit de manière automatique, soit de manière très déterminée, voulue, consciente – et tous les degrés possibles entre ces deux extrêmes. Le philosophe Gabriel Madinier disait que «toute conscience est gestuelle». Inversement, je ne sais pas si tout geste est conscient. Les gestes du robot ne sont peut-être pas des gestes. Ils sortent un peu de la conscience et de la notion de responsabilité. De ce point de vue là aussi, il me semble qu'il faut comprendre cela comme des altérités relai, et peut-être pas comme des altérités pleines et entières. Cela peut fonctionner si c'est en relai d'une responsabilité humaine et d'une conscience humaine.

Un mot sur l'enchantement, car je trouve très intéressante cette insistance sur l'idée qu'il faut une mise en récit des robots. En effet, ils créent un peu naturellement de l'enchantement. C'est-à-dire qu'ils créent du symbolique de toute façon, que ce soit du symbolique un peu horrifique ou du symbolique doux et accueillant. C'est le genre de machine que nous interprétons naturellement. On se demande ce qu'il nous veut et

ce qu'il signifie. C'est peut-être pour cela qu'il y a ce phénomène de vallée de l'étrange : si c'est un peu trop proche de l'humain, c'est un peu inquiétant. C'est peut-être parce qu'il y a aussi la question de savoir quel type d'altérité sera là : si c'est trop proche de l'humain, je ne sais plus bien s'il va y avoir un humain derrière pour le contrôler ou si c'est censé être lui qui est entièrement humain. C'est potentiellement effrayant, parce que je sais que ce n'en est pas un. Je me retrouve donc ici dans une certaine solitude.

Le problème ici n'est pas le face-à-face avec le robot. Ce qui pose problème, c'est le face-à-face avec le robot en me demandant s'il y a un humain derrière ou pas. Y a-t-il un humain qui a voulu penser cela, qui est capable de récupérer les données, qui est capable de récupérer les bugs et de les reprendre avec moi pour les réélaborer? Le face-à-face en lui-même avec le robot est juste ce qu'il est, rien d'autre. Il y a quelque chose là-dedans que des sociologues appellent des «ingénieurs de l'enchantement». Ce n'est peut-être pas un travail d'ingénieur; cela demande d'être des artistes. Des sociologues comme Yves Winkin en Belgique ont travaillé sur les parcs d'attractions et toute une série d'endroits où des gens fabriquent consciemment de l'enchantement pour les gens.

Il y a une très belle thèse de sociologie d'une psychiatre qui s'appelle Marion Hendrickx, intitulée *Enchantement à l'hôpital?* autour d'ateliers «contes» dans un hôpital psychiatrique. Elle se demande à quelles conditions ce qu'elle y fait avec ses patients est de l'enchantement. Or l'hôpital est peut-être le pire endroit pour faire de l'enchantement. Essayer de mettre de l'enchantement dans l'hôpital est un sacré challenge! Les fabricants de robots doivent aussi assumer le fait de prétendre être des agents enchanteurs et d'avoir un certain rapport avec les soignants, de devoir mener une enquête pour savoir comment cela peut faire du soin.

Les robots pharmaciens dont je vous parlais tout à l'heure ont des surnoms, comme de nombreux robots. Une partie d'entre eux s'appelle Zeus qui supervise l'ensemble. Il y a Athéna, qui a le discernement pour faire les ordonnances. Hermès qui est la partie transports concret des médicaments dans l'hôpital. Il y a Ulysse qui gère les retours... Il y a des noms mythologiques qui sont là pour essayer d'enchanter ce quotidien, de rendre cela signifiant et de re-symboliser ce qui est un peu difficile à symboliser d'emblée. Les ingénieurs de l'enchantement décrivent aussi que les enchantements d'enchantement sont des expériences incertaines et fragiles. Ce sont des expériences dont nous ne savons pas si elles fonctionnent et quelles sont leurs «conditions de félicité». Il n'y a rien de plus facile que de sortir de la magie d'un parc d'attractions et même quand nous y sommes, de nous mettre d'un coup à nous dire que tout cela est ridicule. Qu'est-ce que c'est que cet endroit avec des Mickey partout? L'expérience peut tomber d'un coup à plat. Elle est très fragile. N'importe qui venant de l'extérieur et qui se moque va nous faire sortir de l'enchantement.

Les ingénieurs d'enchantement sont aussi dans notre contexte les soignants qui doivent s'efforcer que l'expérience ait lieu – si c'est une expérience d'enchantement –, qu'elle ne tourne pas au cauchemar, parce que le ludique peut très bien tourner au cauchemar. Le parc d'attractions devient aisément, on le sait, un décor de film d'horreur. Ils doivent ensuite débriefer sur l'expérience avec ceux qui l'ont faite avec eux et gérer la sortie de l'enchantement. Eux-mêmes sont inclus dans l'expérience qu'ils font vivre aux autres et doivent eux aussi «jouer le jeu», s'y laisser prendre, en tirer peut-être des bénéfices et les examiner.

Les appareils qui nous entourent font cela de nos jours. Il est frappant que nos télévisions mettent longtemps à s'allumer et nous présentent une sorte de petit film au moment où elles s'allument qui participe à nous mettre dans l'enchantement. Elles s'éteignent en mettant aussi de l'enchantement, en nous signifiant la fin de l'enchantement. Je pense que tout cela est aussi à prendre en compte.

Un dernier mot sur la deuxième dimension, celle de l'empathie. Avec l'imitation des grands yeux de ces robots, capables d'une attention soutenue et d'imiter nos propres mimiques et postures face à eux (ils inclinent par exemple la tête comme la personne qui est en face d'eux), une question se pose : dans quelle mesure avoir l'illusion d'être soigné, c'est être soigné ? Avoir l'illusion que quelqu'un m'a regardé, est-ce être regardé ? À quelles conditions est-ce une illusion acceptable et qui peut fonctionner ? La phrase fondamentale des ingénieurs de l'enchantement est : « *Je sais bien que ce n'est pas vrai, mais quand même* ». C'est, il me semble, la définition du déni... Mais c'est aussi ce qui peut s'appeler être sous-enchantement : aller au théâtre consiste à se dire que je sais bien que ce n'est pas vrai, mais quand même...

Pouvons-nous avoir le sentiment d'avoir été soigné, d'avoir été considéré comme une altérité par quelque chose dont nous dirions : « *Je sais bien que ce n'est pas vrai, mais quand même* » ? Il est quand même compliqué de mimer l'empathie, en particulier pour des raisons corporelles : ce qui est compliqué dans le fait de mimer les émotions, c'est que nos émotions s'expriment aussi corporellement. C'est peut-être le plus difficile à exprimer, sans le mécaniser. Il ne suffit pas d'avoir l'idée qu'il y a une intériorité, même fictive. Ce n'est pas seulement l'idée qu'elle m'envoie des messages, mais il faut aussi que j'ai l'impression qu'elle ressent cela. L'émotion d'une personne est la manière dont son corps fait une forme de rétention ou une forme d'acceptation d'images extérieures qui viennent du monde. Comment viennent-elles impacter son propre corps ?

Comme il n'y a rien de plus difficile à mobiliser qu'un corps, c'est peut-être par excellence ce qui n'est pas modélisable. Cela me paraît très compliqué. Là aussi, il me semble qu'il y a un « comme si ». Par exemple, cette place de la fiction ne dérangerait pas complètement Winnicott. Il est convaincu que ce qui nous donne un rapport à la réalité peu solide. Selon Winnicott, il y a toute une dose d'illusion, même pour arriver à la vérité. Une chose pose alors question dans l'expérience du robot. Quand l'illusion me semble tomber, quand je me dis que ce n'était qu'un robot qui me demandait comment j'allais aujourd'hui, la seule chose qu'il faut sans doute se demander est comment le relai sera pris ensuite. On retombe à nouveau sur cette idée d'altérité relai.

Ce qui pose problème n'est pas tant le fait que des gens soient soignés par des robots, mais qu'il n'y ait que cela : personne pour reprendre cette expérience, la prolonger et l'aménager. Des psychiatres proposent l'expérience du *Still Face Experiment*. Ils ont demandé à des jeunes mères de rester complètement impassibles face à leurs enfants en très bas âge. Ils étaient habitués à jouer avec elles, à interagir, et ils rentrent assez vite dans une forme de détresse. Ce qui les sauve de la détresse, c'est évidemment le fait que la

mère se ranime très vite. Nous ne faisons pas durer l'expérience et elle renoue le lien. Il me semble que tout l'enjeu dans les robots est de savoir ce qui va renouer le lien une fois que j'aurai accepté de rentrer dans l'illusion. Par exemple, je choisis d'en sortir parce que c'est un peu lassant : qui prend alors le relai ? Encore une fois, ce n'est pas tellement le robot en lui-même qui pose question, mais le fait de savoir comment je l'intègre dans tout un réseau de soins.

Discussion ①

L'interaction humain/robot

Jérôme Monceaux

J'ai tendance à appeler « médiateurs » ce que vous appelez « relai ». Dans une certaine mesure, je suis complètement aligné avec cela : le robot n'a aucun intérêt en lui-même. Ce n'est pas lui le sujet, c'est le rapport humain. C'est un créateur d'opportunités d'interaction entre nous. C'est comme cela que je le vois, que ce soit entre les patients, entre le personnel et les patients ou entre le personnel soignant. C'est évident et il est absolument indispensable de le faire ainsi.

Ce n'est pas l'intelligence, mais l'apparence de l'intelligence. Ce n'est pas une présence, c'est une apparence de présence. Ce n'est pas un personnage ou quelqu'un, c'est l'apparence de quelqu'un. Je base toujours mes mots là-dessus et je ne suis pas dans un délire démiurgique d'un personnage qui existerait par magie. Ce n'est pas du tout le sujet.

Bien au contraire, c'est le regard d'humain qui l'éditorialise. Il le fait pour raconter une histoire à d'autres humains. La particularité de cette histoire est qu'elle se déroule en mode réel. Elle est interactive. Elle est en face de nous. Toute autre approche est inacceptable et il faut les fuir autant que possible car c'est ce que j'appelle « l'effet marionnette ». Je mets une marionnette devant vous. Je dis qu'elle a pensé toute seule, mais en fait c'est mon opinion que je suis en train de vous transmettre. Je vous dis juste que c'est de l'intelligence artificielle, de manière que vous gobiez ce que je suis en train de vous raconter. C'est de la manipulation. Non, il faut assumer le rôle de roboticien et le rôle de créateur de ces histoires, parce que ce n'est pas qu'un robot.

Par contre, quelque chose m'empêche de dormir ces derniers temps. Ce qui est en train de se produire est très troublant. Voici un exemple de situation : le robot arrive et je vais entrer dans une pièce. Je suis un docteur, un soignant ou une infirmière. Je vais lui dire : « Salut Miroki. Nous allons rentrer dans la chambre de M. Gérard. Il a 75 ans. Il a un Alzheimer récent. Comment penses-tu que tu devrais te comporter ? » Il répondrait : « Sachant que Monsieur a un Alzheimer, je pense que je devrais plutôt rester en retrait au début. Tu devrais plutôt me présenter si tu es d'accord ». Je répondrais que je suis d'accord. Dans cette situation, j'hésite dans ma voix et il hésite dans la sienne aussi. Martin Dumont décrivait l'empathie comme quelque chose d'inaccessible pour la machine, mais ce n'est pas vrai du tout. C'est très accessible et ce sera fluide comme cela. Nous allons ensuite entrer. Le robot va adapter ses mouvements. Il a compris ce qu'était la maladie d'Alzheimer et fera même certaines choses qu'il n'a pas dites. Par exemple, il bougera lentement. Il se mettra en retrait comme il nous l'a annoncé. Il aura peut-être adapté son niveau sonore. Il aura peut-être intégré le fait que la personne est probablement assoupie parce qu'il l'aura vue. Il adaptera son comportement en fonction de cette réalité.

Il peut y avoir de la défaillance, mais elle est repoussée dans des endroits très retranchés. Le fait que ce ne soit pas un personnage très réaliste, avec un visage qui n'est pas humain, fait que vous ne savez pas ce que vous devez attendre en termes de performance ou de réalisation de la tâche. Vous pouvez donc accepter un

peu plus facilement une façon différente de se comporter face à une situation. Cela permet un « tune » qui fonctionne à peu près, mais nous assistons vraiment à un tournant.

Martin Dumont

Il me semble que même s'il n'y a pas de défaillance perceptible, notre horizon d'attente est la défaillance face à lui. C'est-à-dire que j'interagis avec le robot tout en me demandant à quel moment cela va arriver. Ce ne sera peut-être jamais le cas. Mais je l'ai quand même en tête et il me semble que cela doit forcément impacter l'expérience de l'empathie.

Jérôme Monceaux

Quand vous regardez le robot et que le robot vous voit, les pupilles se dilatent. Ce sont des choses que vous n'arrivez pas à voir, mais que vous ressentez et qui fonctionnent vraiment bien. Quand je rentre dans le jeu, cela ne me dérange pas. Même deux ans après, je suis toujours très content d'interagir avec le robot. À un moment, j'aimerais bien qu'il me regarde, mais en fait il regarde ailleurs.

Enchanted Tools est conçu comme un outil. J'ai pris l'habitude de l'utiliser. Nous pouvons dire que l'outil est défaillant, ou alors que c'est moi. Je peux être défaillant dans l'usage d'un marteau, par exemple. En réalité, je développe une forme d'expertise dans la façon d'utiliser ce marteau. Avant de rentrer dans la pièce de M. Gérard, je vais lui dire son âge. Est-ce que je lui ai dit comment il devait se comporter ? Je vais apprendre. Que dire à la machine ? Que comprend-elle ? Qu'est-ce qui est intéressant pour elle ?

Par exemple, pour créer le personnage, je pourrais dire au robot qu'il ne s'appelle pas Miroka, mais Paul, qu'il a 45 ans et qu'il est ophtalmologue. Je lui raconte une histoire et je lui demande ensuite de se comporter d'une certaine façon et il va se comporter comme cela. Il va se comporter comme attendu. Je ne dis pas qu'il va halluciner des conseils ou je ne sais quoi. Il racontera aussi peut-être des bêtises en faisant cela, mais il va se comporter comme cela parce que je le lui aurais dit. Aujourd'hui, le métier d'ingénieur de prompts est en train de naître : ce sont des gens dont le travail est de parler à des machines, à l'écrit ou à l'oral, pour les faire se comporter d'une manière appropriée. Le travail du couple aides-soignants/infirmiers/médecins et IA/robots devrait tous nous empêcher de dormir.

Question 1

Nicolas Castoldi

Deux choses : premièrement, nous avons tendance à vouloir analyser la question du robot comme « *quelque chose qui serait une imposture fondamentale dans la mesure où c'est une manière de pouvoir faire un homme qui n'en est pas un* ». Pourquoi est-ce une imposture de le faire et pourquoi est-ce un problème ? En quoi est-ce déceptif ?

Il ne s'agit souvent pas de vouloir faire un être autonome, mais un être purement utilitaire. C'est un être qui n'est pas autonome de manière absolue. Ensuite, ce robot n'est pas pensé en première analyse pour être utilisé. Il est pensé pour être sociable. Nous vivons un moment un peu particulier, qui n'est pas simple à penser. On rentre dans le robot par une question qui n'est pas seulement d'utilité. Je pense qu'il y a les deux. C'est un point qui peut se discuter.

Une deuxième chose que je trouve compliquée à penser, mais intéressante à propos du robot, c'est la nature de ce sentiment d'émerveillement particulier que vous pouvez avoir face à lui. Vous avez effectivement en face de vous quelque chose qui n'est ni un humain, ni un animal. C'est davantage qu'une chose. Je trouve que cela génère quelque chose, mais je ne sais pas très bien penser cette espèce d'affect. Je trouve que ça relève assez bien de l'émerveillement, et ça m'interroge un peu.

Une troisième chose pour finir, avec laquelle je ne suis pas d'accord : il y a dans le robot quelque chose qui n'est pas seulement le fait de générer des interactions entre humains. Il y a une relation. Il y a quelque chose qui se construit dans une relation entre cette catégorie d'êtres et un être humain. Pour le coup, c'est la partie qu'il faut penser, au-delà du fait qu'il y a un créateur. C'est un générateur de relations interindividuelles, mais il y a tout d'abord une relation un peu spécifique. La question est d'arriver à penser cette forme de relation un peu particulière avec un type d'être un peu différent. C'est quelque chose qui ne rentre pas dans une catégorie préexistante.

Jérôme Monceaux

Sur ce dernier point, j'ai toujours pensé le robot comme un moyen de mettre les gens en interaction. Je pense que c'est important de le penser comme ça, ne serait-ce qu'en termes de posture. Même si d'autres choses se produisent derrière, même si une interaction avec le robot est intéressante. Elle va durer cinq ou dix minutes, mais elle fait un relai vers moi qui arrive. Je suis infirmier ou docteur et j'utilise cette situation pour pouvoir aider davantage le patient. Ce n'est pas le robot qui décide d'aider. Ce n'est pas lui qui a l'intention de quelque chose. L'intention reste médicale et il est absolument indispensable qu'il soit mis très clairement à ce service.

Je pense que nous sommes vraiment dans une rupture. Mes réflexes sont aussi ceux des robots des années 1980, bercés par ce que l'on a entendu avec la science-fiction du robot un peu mécanique. Nous avions du mal à nous projeter dans une sorte de réalisme d'interaction. Surtout, on ne voyait pas comment on allait pouvoir utiliser les intelligences artificielles et les robots tels qu'ils arrivaient. On ne savait pas. On ne connaissait pas le prompt ingénieur. Il y a dix ans, qui aurait pu imaginer que nous allions parler à une machine pour essayer de la sculpter de manière qu'elle puisse ensuite réagir correctement ? Je n'avais pas cela en tête et je pense que personne ne pouvait l'imaginer.

C'est pourtant ce qui est en train de se produire. Pour moi, c'est maintenant une évidence que les personnages seront le quotidien du reste de notre vie, que

ce soit pour des IA ou dans des robots. Ils vont entrer un peu partout. Dans les véhicules par exemple, nous avons récemment fait des personnages pour Renault. Ils seront dans les robots, évidemment. Ils seront dans les ordinateurs et dans les téléphones portables. Il y aura des personnages absolument partout. Ce seront des « altérités synthétiques », pour reprendre le terme. C'est troublant. Ils commenceront à prendre de l'intérêt en eux-mêmes. Ils nous détourneront peut-être aussi d'un rapport humain.

Ça ne peut que me faire penser à Serge Tisseron, un psychiatre qui a alerté sur des choses comme la « préférence robot ». Par exemple, les phénomènes d'empathie. Nous avons des algorithmes qui fonctionnent bien dans le regard. Le robot vous regarde. Il vous trouve toujours merveilleux. Il y a quelque chose de fantastique là-dedans. Je me souviens avoir fait des expérimentations il y a quelques années dans un centre commercial à Rennes.

Des personnes âgées se promènent, mais elles ont souvent relativement peu d'interactions. Elles sont là parce qu'elles ont envie de voir du monde. D'un coup, un robot les regarde. La personne âgée a passé peut-être dix minutes ou un quart d'heure à faire des grimaces, à regarder à droite et à gauche. C'est très stimulant, même s'il serait évidemment préférable que cela se produise aussi avec de vrais humains. Attention donc. Nous allons devenir tellement bons dans ce genre d'interaction que l'on préférera interagir avec les robots plutôt qu'avec d'autres humains. Ce sont des questions intéressantes qu'il faut fouiller.

Martin Dumont

Je continue à trouver que les robots ont quand même encore ce côté un peu schématique. Quand j'étais avec les robots d'Enchanted tools, je trouvais ça très plaisant, mais je n'ai pas pu m'empêcher de percevoir de la schématisation. Ça ne m'a pas complètement convaincu sur l'idée que nous serions dans un stade complètement différent de l'expérience de la robotique. Cela permettra peut-être de la développer davantage, mais je n'ai pas l'impression de percevoir une différence de nature.

Discussion ②

Le robot dans le réseau de soin

Question 2

Membre du public

Jérôme Monceaux

J'aime bien votre personnage même si je suis très méfiante sur les nouvelles technologies. Je suis aussi des années 1980. Le monde évolue, mais je fais encore partie des gens qui font les choses par eux-mêmes. Les robots sont là et s'ils apportent un plus, c'est-à-dire que si nous sommes dans un rapport de collaboration, ils peuvent effectivement jouer ce rôle de relai.

Par exemple, quand tous les soignants sont occupés, qu'il n'y a personne dans le couloir, le robot peut avoir un rôle d'alerte. Pourquoi pas. Il peut transmettre un message aux patients. Leur dire de ne pas s'inquiéter, qu'il va alerter un soignant qui viendra les voir. S'il fait une transmission, je trouve cela intéressant, mais il est vrai que je n'ai pas envie qu'il me remplace.

Vous parliez tout à l'heure du chariot que l'on déplace. Je pense que l'on peut donner du sens au fait de le déplacer, parce que l'on est dans une action concrète. Effectivement, si mes collègues ne sont pas disponibles et que le robot peut m'apporter du renfort, je trouve ça très intéressant.

Dans le personnage que vous avez créé, j'aime bien l'idée qu'il ait sa propre histoire et des objets qui lui appartiennent, mais il reste un robot. Cela permet de ne pas tout mélanger et de laisser aussi sa place à l'humain.

Nous avons pris soin d'inscrire une certaine forme de tangibilité. Pour ceux qui ont interagi avec lui, Pepper était un peu loupé de ce point de vue-là. C'est un robot qui est présent corporellement, mais en même temps, il ne l'assume pas. C'est-à-dire que dans toutes ces interactions, il n'y a jamais rien qui soit réel. Tout est affiché sur la tablette. Les paroles sont impalpables. Cela crée quelque chose d'un peu bizarre. En même temps, j'ai face à moi un corps tangible, mais très manifestement, la présence est complètement numérique. Elle est complètement diluée. Nous ne savons pas vraiment où elle est. Dans le design du personnage, nous avons pris soin d'essayer de le reterritorialiser - pour reprendre un terme que j'utilise probablement très mal - mais dans la matière, dans ce qui est palpable, tactile, au plus proche du corps de l'interacteur.

Question 3

Membre du public

Vous parlez du phoque Paro que je connais très bien par mon métier, je suis thérapeute. J'ai beaucoup travaillé en Ehpad et en psychiatrie. Le phoque Paro ne s'adresse pas à n'importe quel type de pathologie ou à n'importe quel type de patient. Si vous le mettez avec un patient qui n'a pas de trouble cognitif et qui est tout à fait dans la réalité, après l'amusement et le côté sympa du petit robot qui réagit quand on le touche, il va très rapidement se lasser, voire s'agacer. Il va se dire qu'il n'est pas bête et qu'il sait que ce n'est pas réel, que c'est un robot. Cela ne l'amuse plus. C'est un peu comme l'enfant qui se désintéresse du tour du magicien une fois qu'il l'a compris. Il y a cette espèce de fracture de l'imaginaire.

Or, que ce soit les poupées empathiques, que ce soit le phoque Paro ou le robot qui change de couleur, qui émet de la chaleur quand on le touche, qui réagit avec des odeurs quand nous ne sommes pas bien et que nous pleurons, vous avez toujours une espèce de réaction par rapport à un type de personnalité pathologique.

Je trouve ça dommage de nous dire que ces robots vont venir combler un manque de temps du personnel. Pour moi, c'est quelque part une échappatoire facile. Je parle du fait de se dire que puisque l'humain ne peut pas le faire, mettons du robot et du mécanique. J'ai un souci avec le fait de mettre sur le même plan une relation avec une machine et une relation avec un humain. Le phoque Paro remplace-t-il une relation avec un humain ? Non.

Sandrine Mies

Miroka ne peut pas remplacer le contact humain. Par contre, l'IA générative est très intéressante. Si elle est bien cadrée, c'est une interaction au quotidien qui peut être différente, complémentaire. Si j'ai envie d'une

chanson ou que le robot me raconte une histoire, il peut le faire. Il y a un potentiel d'interaction à cadrer pour ne pas faire n'importe quoi et être adapté au cadre. Mais cette IA permet de sortir du robot automate qui répète indéfiniment le même geste. Je comprends bien que le tour de magie que vous citez est toujours le même, même si dans le cas des enfants, ils peuvent le regarder de très nombreuses fois avant de se lasser. Dans la relation humain-robot, on peut avoir une interaction qui se construit dans le temps avec le robot, différente à chaque échange et la connexion qui se fait avec les personnes qui sont autour est aussi différente.

Martin Dumont

Je pense que nous recherchons aussi à travers cela quelles sont les bonnes interactions entre l'humain et la machine. A priori, personne n'a envie d'exclure ces machines des possibles. Je pense que c'est ce qui est le plus difficile à penser. Comment se passe l'interaction ? Où doit-elle se nouer ? Où doit-elle s'arrêter ?

Alexis Rayapoullé

Je voudrais revenir sur ce que vous avez dit concernant le fait que ça ressemblait à une échappatoire un peu facile face au manque de personnel. Je voudrais prendre la question dans l'autre sens. Finalement, s'il y avait assez de personnel à l'hôpital, y aurait-il encore une plus-value aux robots Mirokai ? À quoi continueraient-ils de servir s'il y avait assez de personnel pour avoir des interactions agréables ? Finalement, les tâches faites par les Mirokai ne sont justement pas des tâches de robots qui remplacent des tâches humaines impossibles. On parlait des robots chirurgicaux par exemple, qui permettent vraiment d'améliorer la qualité de la chirurgie.

Dans notre cas, je suis un peu mal à l'aise. La question provocante consisterait à demander si ce n'est pas seulement un moyen de remédier au manque de personnel, puisque le but du robot est l'interaction sociale. C'est spécifiquement ce que les humains savent faire. Ça ne concerne pas des tâches spécifiques de robots que les humains ne savent pas faire.

Nicolas Castoldi

Ce qui fait la valeur essentielle de ces robots n'est pas du tout la partie logistique. Économiquement, combien coûte un robot ? De mémoire, c'est 30 000 € ou 40 000 €. Ce n'est pas donné et ça ne se vend pas tout seul. Il en faut quand même plusieurs pour un service. C'est donc un investissement considérable et au fond, la partie utilitaire est développée pour donner un argumentaire commercial.

Je trouve intéressant le fait que ça introduise quelque chose de nature différente dans l'environnement de soins. Ce n'est pour le coup absolument pas humain. C'est sûr. Ce n'est pas non plus du tout utilitaire. Cela peut être utilitaire parce que nous allons leur faire traîner des chariots, faire des choses et pouvoir à la fin démontrer que nous avons fait des choses. Pour autant, ça apporte un type d'interaction différent avec un type d'être différent, qui plus est dans le soin. Cela fait entrer une catégorie d'êtres particuliers, assumés comme étant enchantants, dans un univers qui n'a rien de doux.

Les gens s'y comportent de manière douce et construisent une relation du soin, mais c'est un univers abominable. Ce qui s'y joue est d'une dureté folle. Nous faisons rentrer cela dans cet univers qui n'est absolument pas un univers rose. Nous travaillons collectivement à le rendre le plus rose possible. Je parle des patients et des soignants. Et nous y faisons entrer autre chose.

Est-il arrivé d'amener le robot quelque part et d'avoir des gens qui se braquent ? Certaines personnes peuvent ne pas en vouloir et le rejeter. Ils vivent face à lui cette expérience de l'altérité problématique et des choses menaçantes. Lorsque j'ai posé cette question à Jérôme Monceaux, sa réponse était « non ».

Je trouve que ça rejoint ce que j'ai vu ici à l'Hôtel-Dieu quand nous y avons amené des robots. Ce qui me fascine, c'est que lorsque vous mettez un robot dans le pôle, cela arrête les gens tout de suite. Ils se mettent en cercle autour. Ils regardent et ils jouent.

Ils sont interpellés par lui. Je trouve qu'il y a quelque chose d'un peu particulier à penser là-dedans. C'est une nature de relation un peu différente. C'est un type d'être un peu différent. Ça ne résiste peut-être pas à l'usage, mais je pense que l'angoisse nocturne de Jérôme tient dans le fait que ça pourrait ne plus s'épuiser. Quand on doit argumenter pour le financer, on tord les choses. On les tord pour retrouver un argumentaire : « il faut acheter un truc comme ça, parce que ça va vous réduire un lit d'infirmière, aider les aides-soignants, etc., avoir un effet sur le personnel » pour dire que ça fonctionne.

Sandrine Mies

Le monde occidental est extrêmement basé sur l'image du Terminator. Le sens du mot « robot » renvoie forcément à une machine. C'est un sujet très clivant. C'est beaucoup moins le cas au Japon. Le rapport des Japonais au robot n'est pas du tout le même. Il n'y a pas le syndrome de Frankenstein, le fait de penser que nous avons créé une machine qui échappera peut-être à notre contrôle. Je suis bien consciente du chemin à parcourir pour expliquer qu'une machine reste une machine. On ne va pas leurrer les gens avec ça, mais cette machine peut être acceptable.

Les générations actuelles d'actifs sont en train de grandir ou vieillir avec des choses bien plus immatérielles. Le jour où ces personnes seront hospitalisées, confrontés à l'isolement, dans le cadre d'un vieillissement naturel, elles n'accepteront plus de ne pas retrouver un robot. Ce sera peut-être sous une autre forme, celle d'un agent virtuel dans un casque. Je vois dans la salle des personnes bien plus jeunes que moi. Je pense que vous vous attendez à avoir le prolongement de ce que vous vivez dans votre vie de tous les jours et de ce que vous avez toujours eu, sous des formes qui vous surprennent, parce que nous sommes dans un univers de plus en plus numérique.

Question 4

Membre du public

Il m'est arrivé de voir des patients qui étaient dans un état de confusion parce qu'ils étaient à la porte de leur univers, de leur prolongement numérique. Ils n'avaient plus les codes dans un moment de détresse. Effectivement, la fragilité face à sa santé et dans le système de soin nous interroge aussi sur notre rapport à nos outils. Quand je pense aux soins entre technique et relation, je ne suis pas certaine que nous puissions aujourd'hui le dissocier dans la fonction soignante entre la fonction logistique et la fonction relationnelle. Je pense que l'enjeu majeur, le défi majeur aujourd'hui, est ce va-et-vient permanent entre la dimension technique du soin, la dimension relationnelle et l'interaction que nous portons en permanence dans la fonction soignante.

Puisque nous sommes dans une technicité très forte dans notre soin au quotidien, le plus important est peut-être la façon dont nous accompagnons notre fonction technique et notre process technique du soin par le langage et par la relation. C'est peut-être aussi

la fonction première du soin. C'est cette fonction de médiation. Nous allons passer notre temps à médier le geste technique par l'accompagnement avec le langage. C'est pour ça que je souscris à cette représentation de cette altérité relié. Finalement, c'est la relation qui est au centre, mais c'est aussi la relation du soignant au robot, et bien sûr du robot au patient et du patient au robot. C'est pour ça que je ne voudrais pas être seule avec un robot ni laisser un robot seul avec un patient.

Je ne voudrais pas non plus laisser un soignant ou un enseignant seul avec un robot. Aujourd'hui, je pense que cette fonction de médiation est centrale. Nous avons souvent besoin d'être deux.

Il y a quelque chose qui m'a surpris, c'est la question de la surprise. Je ne connais pas l'IA générative. Je ne sais pas jusqu'où ce robot peut se réinventer dans l'interaction, surpris par le patient, mais nous observons humainement que nous ne pouvons pas anticiper la façon dont nous serons surpris dans la relation qui se noue, y compris dans l'accompagnement de notre

geste technique. Là-dessus, l'IA générative est peut-être sous-estimée.

J'espère qu'il restera toujours de la surprise et de l'inattendu, mais que nous pourrions aussi reprendre après coup. Ce ne sera peut-être pas pour pouvoir se préparer. Il y a des limites à l'anticipation et à la préparation, mais nous pourrions peut-être en revanche faire des réunions de débriefing avec les robots et les équipes. Cette fonction de médiation paraît très sensée et j'aime assez cette idée d'altérité relay.

Sandrine Mies

Il a été pensé pour évoluer dans un cadre social dans lequel il y a des humains. S'il n'est pas au contact d'humains, ce robot n'a aucun intérêt. Il ne va pas se mettre à parler à une porte ou à une table et lui dire qu'elle est jolie et qu'il veut lui chanter une chanson. Son intérêt s'éteint sans interaction. Il ne «vit» que parce que cette interaction est là. Si nous n'avons pas envie de l'utiliser, nous pouvons le mettre en veille. Le robot n'est pas en «on» imposé 24 heures sur 24. Il a le cadre que nous lui donnons.

Question 5

Membre du public

Il est important de garder cette notion de chaleur humaine. Dans son évolution, on sait que le robot aura une carapace un peu plus lisse que celle qu'il a actuellement pour permettre peut-être aux patients de le toucher et de le connaître ?

Sandrine Mies

Il est aussi question de protéger. Il y a un mécanisme derrière, avec des fils.

Membre du public

Une certaine distance peut aussi être nécessaire dans les interactions avec les soignants et les soignés pour ne pas tout mélanger. Nous mettons un cadre au robot, puisqu'il est programmé, mais il faut peut-être aussi donner un cadre aux humains pour leur expliquer quelles sont les limites d'interaction avec le robot. Jusqu'où pourra aller le patient ou le soignant ? Je pense à une situation où il y a une collaboration et que le robot est un support pour des tâches irréalisables, comme porter une charge extrêmement lourde.

Sandrine Mies

Il ne peut pas le faire.

Membre du public

Très bien, je préfère de toute façon être aidée par mes collègues. Cela ne veut pas dire dépendre d'eux, mais il s'agit aussi d'un échange. Si le robot collabore sur certaines tâches irréalisables, il me semble que c'est un plus, mais quand on s'aide mutuellement, on crée un lien. On crée aussi une relation entre nous.

Il est important que tout soit très bien cadré et que ce soit toujours l'humain qui puisse apporter cette relation et ce rapport au corps. Si c'est pour protéger le patient ou pour un danger éventuel d'accord, mais je pense que notre présence est quand même importante. Le fait que le robot ait un physique très particulier et qu'il ait ses objets propres pour qu'il ne soit pas humanisé me semble essentiel.

Quant à pouvoir débriefing avec le robot... N'est-il pas préférable de débriefing avec le concepteur ou le programmeur ? La question est de savoir si les soignants pourront faire eux-mêmes les modifications qui les arrangent ou si cela passera systématiquement par un programmeur qui pourra mettre des prompts.

Sandrine Mies

Effectivement, je reviens sur ce que nous appelons les runes. Ce sont ces petites pastilles qui donnent l'usage du robot aux personnes de son environnement social. La personne peut par exemple délimiter

l'espace en les plaçant à différents endroits. Cela permet aux robots de se repérer, de se guider dans un espace et d'effectuer une mission donnée. L'idée consiste par exemple à demander au robot de ne pas se rendre dans certaines zones qui lui sont interdites. Il doit garder de la distance.

Les runes donnent, de manière tangible, la possibilité aux personnes de confier des missions au robot. Ces utilisateurs ne sont pas des experts en technologie. Ils n'ont pas besoin d'avoir accès à un ordinateur pour le faire. Les runes permettent aux utilisateurs de dire au robot quelles sont ses missions et leur cadre. Elles leur permettent de faire évoluer le robot dans un cadre défini par ses utilisateurs.

Si je prends une rune à mon nom, il sait par ma rune, que je suis Sandrine. Je vais me déplacer. Par exemple, Laure lui dira : «Tiens, j'ai mis ça sur un plateau, peux-tu le prendre et aller le porter à Sandrine ?». Grâce à la rune que j'ai dans ma poche, il va venir et il va me trouver là où je suis, en évitant les obstacles et les personnes sur son passage. Il va venir m'apporter quelque chose que Laure lui aura confié. Mais ce n'est pas le robot qui fait et décide tout seul. Ce n'est pas un robot d'usine qui fait une tâche industrielle et stakhanoviste, qui est formaté pour faire sa tâche et ne jamais s'arrêter sans aucune interaction avec l'humain. Il peut être en veille en fonction du cadre et du moment choisi.

Discussion ③

L'humanisation du robot

Question 6

Membre du public

Jérôme Monceaux

Il y a une question assez ambiguë dans le fait de ne pas vouloir humaniser le robot, mais de l'humaniser quand même. Je ne veux pas lui mettre des bras et des jambes, mais ce n'est pas simple. Si vous regardez par exemple les robots chirurgicaux actuels, ils n'ont rien d'humain. C'est vraiment un automate parfait. On ne leur a jamais donné un visage. Le fait que vous mettiez un visage sur votre robot, même si c'est un visage façon manga, vous l'humanisez. Vous créez l'illusion d'une altérité. Vous créez l'altérité parce que vous lui donnez un visage. Fabriquez votre robot sans aucun visage et vous aurez un automate. Je crois que cette dimension un peu ambiguë est un peu une imposture. Et cette imposture me gêne un peu en tant que soignant.

Le fait de créer une illusion peut être sympathique, mais il y a aussi là un mensonge qui me gêne sur le plan éthique.

Jérôme Monceaux

Le théâtre est-il du mensonge ou une imposture ?

Membre du public

Ce n'est pas un mensonge parce que je suis conscient de la situation. Je n'adhère pas à l'imposture. Votre robot peut s'adresser à des patients qui peuvent adhérer à l'illusion.

Il est vrai que cette chose doit certainement être claire dans l'acte de soins et l'accompagnement. Elle doit être établie entre le personnel soignant et le patient: le robot a très clairement été créé par des humains pour être un personnage. Nous sommes en train de nous raconter une histoire. C'est un personnage issu d'une histoire racontée par des humains pour d'autres humains. C'est la vocation du film.

Question 7

Membre du public

donné ? La frontière va se réduire et nous ne saurons plus trop ?

Je ne suis pas du tout inquiète sur le fait que la robotique puisse un jour remplacer un soignant parce qu'il y aurait un ethos particulier aux soignants que la robotique n'arrivera jamais à copier. Cela reste effectivement quelque chose de bénéfique. Même s'il est dans l'apprentissage, même s'il arrive à s'auto-construire, à auto-raisonner, à s'auto-corriger, à être une vraie copie contrôlée, et même dans l'imaginaire, comme ici où nous avons de nouvelles orientations, il y a quelque chose d'intrinsèque dans le soin et dans l'acte de soin, dans le geste de soin. Personnellement, je ne suis pas du tout inquiète par rapport au fait que nous ayons un jour un soin sans soignant.

Le fait d'être aidés dans les soins par des humanoïdes, des robots ou tout processus mécanisé, c'est le cas de l'évolution de la médecine depuis sa création. Pour moi, nous entrons dans les technologies avec les évolutions technologiques que nous avons à notre époque. C'est formidable qu'il bouge le chariot ! Il libérera du temps aux soignants pour faire autre chose. Formidable qu'il puisse veiller à ce que personne ne tombe ! S'il peut faire la transition entre l'arrivée de deux soignants, plutôt que de mettre des caméras, des capteurs de sol ou des détecteurs de mouvements. C'est plus humanisant. En tout cas, nous donnons cette illusion d'humanisation de cette technologie.

C'est peut-être là que j'ai effectivement un problème : pourquoi vouloir à tout prix humaniser ? Pourquoi vouloir à tout prix cacher la technique sous une apparence humaine ? Quel est l'objectif ? Le but est-il de jeter le flou ? S'agit-il de tromper l'imaginaire ? Cela consiste-t-il à se dire que si nous nous rapprochons de l'humain, il y aura peut-être un doute à un moment

J'ai vu un robot il y a peu de temps. C'était comme un aspirateur de maison. Il fait le ménage, ce qui évite aux soignants de le faire. Il transporte les médicaments d'un point A à un point B. Il s'arrête à toutes les chambres. Le tiroir s'ouvre et il distribue. C'est une mécanisation de certains actes qui ne sont pour moi pas des actes soignants. Ce sont des actes techniques liés aux soins. Ce n'est pas la même chose. Pourquoi vouloir absolument humaniser ou rendre ce robot plaisant ? Avec un regard, un visage, avec des expressions, des émotions, et cette envie émotionnelle ? Cela m'intrigue beaucoup.

Sandrine Mies

Je viens du monde de l'enfance. J'ai travaillé pendant 20 ans dans le monde des enfants, à créer de l'émerveillement pour les enfants et à les aider à s'épanouir. J'ai vu le champ des possibles de l'émerveillement sur l'être. J'ai vu ces regards et cette étincelle dans le regard des enfants, son impact positif sur leur ressenti. Cette étincelle a le droit de continuer d'exister dans le regard de personnes âgées en établissement de soin.

Il y a quelques années, j'ai perdu mon père. J'ai perdu ma tante également, il n'y a pas très longtemps. J'ai vécu la mort, l'accompagnement de la mort, de la fin de vie à la maison et à l'hôpital. J'ai vécu la détresse. J'ai vécu la personne qui me dit « *Je ne veux pas aller à l'hôpital. Je ne veux pas aller dans une maison où l'on va me laisser. Je ne serai pas dans mon univers* ».

En rendant visite à mon père dans un établissement de soins qui était vraiment très bien, j'ai trouvé mon père allongé sur son lit. Il avait pris son mouchoir

et se l'était mis sur la tête, parce qu'il était en détresse. Il était seul. Les soignants étaient occupés, il n'y avait rien que ces soignants et aides-soignants ne puissent faire avec les moyens à leur disposition pour mieux s'occuper de lui.

Il n'y a pas de raisons que l'émerveillement que j'ai apporté aux enfants pendant longtemps n'arrive pas aussi dans cet univers et qu'il n'y trouve pas une place pérenne. Je pense que la démarche n'est absolument pas d'humaniser pour tromper, il s'agit d'apporter cette lueur de vie dans le regard des patients, mais aussi des soignants, parce que cela peut faire du bien. Nous nous arrangeons très bien des machines en tant qu'adultes. Nous les accordons aux enfants. Or, nous sommes dans un univers dans lequel il est question de soigner, qui doit être semi-standardisé pour des raisons médicales et de santé pour les personnes qui sont là. Il y a tout un protocole. Comment pouvons-nous apporter un sourire ?

J'ai passé six mois à travailler pour une start-up qui travaille dans l'accompagnement de la fin de vie, cela m'a permis de passer du temps dans les hôpitaux et dans les maisons de retraite. Dans l'une d'elles, j'ai rencontré une femme de 90 ans qui me disait « *ma pauvre dame, je m'emmerde* ». Excusez-moi pour le terme, mais c'est exactement celui qu'elle a utilisé. Elle m'a dit : « *Ma vie n'a plus de saveur. Les gens qui sont là sont très bien, mais ils ont beaucoup de choses à faire* ». Je lui ai demandé pourquoi elle ne sortait pas. Elle m'a répondu qu'elle ne pouvait pas sortir parce qu'elle n'était pas assez vaillante pour le faire toute seule. Pendant tout le temps que j'ai passé dans cet établissement, cette dame a fait « des kilomètres » avec son déambulateur pour essayer de trouver quelqu'un. Il n'y avait personne et elle cherchait une animation. Une animation qui aurait pu être là.

Le personnel et les aidants qui étaient là faisaient tout ce qu'ils pouvaient, mais ils ont aussi des missions à accomplir et le temps manque souvent. Il n'y a pas de faux-semblant sur le fait de remplacer. Il s'agit d'accompagner et d'aider ces personnes sur certaines tâches. Si nous pouvons le faire, pourquoi ne pas le faire avec un enchantement, sans aucune intention de tromper ? C'est pour cette raison que le personnage ne ressemble pas à un humanoïde. À aucun moment nous n'avons envie de tromper la personne. Notre motivation est d'aider et de déclencher un sourire dans un univers semi-standardisé.

À l'hôpital, il y a aussi des moments où les patients alités sont seuls. Le matin, les patients voient la personne qui leur apporte le repas, puis celle de la toilette. On vient leur prendre la tension, les constantes le matin et le soir. Entre-temps, la journée est très longue. Des personnes fantastiques et des associations viennent pour offrir des distractions. Je pense notamment aux clowns qui viennent voir les enfants et aux personnes qui elles viennent raconter des histoires aux personnes âgées. Si le robot peut être là pour aider le personnel dans ses tâches et apporter un sourire aux patients, nous pourrions dire que nous aurons été utiles, sans pour autant faire partir ou remplacer qui que ce soit. Notre objectif est de libérer du temps pour les personnes qui sont là, de redonner ce temps d'interaction aux aidants et soignants avec leur patient. Il s'agit aussi de pouvoir utiliser le robot pour créer une animation. D'autres robots comme Paro sont déjà présents dans un cadre purement thérapeutique dans ces établissements.

Discussion 4

La fiabilité du robot

Question 8

Membre du public

Vous avez cette pleine conscience de « l'imposture ». C'est-à-dire de l'aspect « machine ». Je travaille en milieu psychiatrique. J'ai des patients qui ne sont pas tout à fait conscients de l'illusion. Comme dirait l'autre, ce qui vous rend fou, c'est d'y croire. Ce n'est pas le fait d'avoir des hallucinations, c'est d'y croire. C'est ce qui me gêne un peu.

Il y a une autre chose. Pour revenir au débat d'il y a deux ou trois mois sur l'intelligence artificielle, je n'y connais rien, mais quand on m'avait dit que l'intelligence artificielle était capable d'halluciner et de délirer, cela m'a intéressé. Votre robot est-il capable d'hallucinations ?

Cela veut dire que ce n'est pas un automate. J'ai compris que nous n'étions plus dans les années 1980 et qu'il était devenu un super automate. Sauf que si on nous dit qu'il peut se mettre à délirer et à halluciner comme les autres... Jusqu'à présent, je ne suis pas trop fou, donc je n'adhère pas à mon délire. Cela me permet de garder ma lucidité et de ne pas être fou. S'il se met à délirer ou à halluciner, votre robot serait-il capable de ne pas adhérer à son « délire » ? C'est-à-dire de ne pas être fou ?

Sandrine Mies

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine effervescence. Ce qui est montré, c'est le potentiel. Il

faut que nous gardions bien en tête le fait que c'est d'une intelligence artificielle générative verticale que nous parlons. L'idée, dans votre domaine, est de ne pas lui laisser une ouverture large. C'est ce que nous sommes en train de travailler, mais nous en sommes au tout début.

Notre intention est de donner un cadre social au robot. Nous lui disons qu'il ne peut pas aller au-delà de ce cadre. Comment s'appelait l'ancêtre des cobots inventé en 1966 ? C'était Eliza, un robot dont le logiciel a justement été créé et testé par Joseph Weizenbaum. Il a généré une interaction humain-machine à partir d'un algorithme qui avait été entraîné à partir du cadre d'un échange avec un psychologue, l'idée étant de donner le sentiment à la personne située face à la machine, qu'elle parlait avec une vraie personne. Weizenbaum a testé ce logiciel avec son assistante qui lui a demandé de sortir parce qu'elle discutait avec le robot et voulait conserver un cadre privé à sa conversation. Elle avait oublié que c'était un robot. Nous avons extrêmement conscience de cela. C'est pour cette raison que nous l'incarbons en tant que personnage. C'est le rappel physique qu'il s'agit d'un personnage fictif.

L'objectif est de formater le cadre du langage que nous allons lui accorder. Il ne s'agit pas de le formater seul, mais de l'adapter avec les utilisateurs de ce robot, en fonction de l'utilisation qui en est faite et du cadre social dans lequel il se trouve. C'est tout aussi important que l'attention portée à son aspect physique. Il n'est pas question de lui donner la capacité de parler puis de le laisser seul dans un univers où des personnes peuvent ne pas faire la différence. Il s'agit bien ici de travailler avec vous, avec le corps médical, avec les soignants, pour cadrer le champ d'expression de ce robot avec le contrôle des soignants.

Martin Dumont

Quand nous parlons d'hallucination dans ces domaines, c'est toujours une métaphore. Le robot n'hallucine pas. Il ne délire pas réellement, tout comme l'IA ne délire pas réellement. Nous nous disons qu'elle hallucine par rapport à nos attentes humaines, mais le robot n'a aucune conscience.

Alexis Rayapoullé

Pour rebondir, en effet, quand on dit que ChatGPT hallucine, en réalité il ne fait que fonctionner parfaitement bien. Il fait ce qu'il est censé faire, c'est-à-dire qu'il produit du langage. On reçoit cela comme une hallucination, mais son fonctionnement est normal¹.

Sandrine Mies

Le robot peut « buguer ». C'est vrai et c'est intéressant. J'ai travaillé sur le lancement du robot Cozmo par le passé. C'était un petit robot qui ressemblait à une tractopelle. Il avait pour objectif de faire découvrir une nouvelle forme d'interaction possible entre un robot et un être humain. L'idée était de sortir la robotique et l'IA des instituts de recherche, de l'industrie et de montrer que nous pouvions avoir une relation amusante et intéressante, différente avec une machine, accessible à chacun.

Concernant le personnage de Cozmo, je pense qu'il y a une similitude dans l'approche de l'équipe d'Enchanted Tools sur Miroki et Miroka : le fait de lui donner une personnalité qui reste celle d'un personnage fictif qui n'est absolument pas humain, et la possibilité aussi d'avoir des bugs. Pour reprendre l'exemple de Cozmo, ce robot avait des bugs et l'humour qui en naissait avait toute son importance dans la

relation machine-humain. Le robot nous fait rire parce qu'il a un trait d'humour, qui va venir de son LLM, mais qui aura aussi été entraînée pour cela. Quand il bugue dans le langage, il est imparfait. Oui, le robot doit être imparfait et le bug peut être utilisé pour lui donner une forme d'interaction empathique. Il sait qu'il est imparfait et il se moque dans son langage de ses propres bugs. C'est acceptable et c'est une forme de fragilité.

Miroki ne ressemble pas à un mastodonte de 1,90 m. Il a cette fragilité intéressante à exploiter dans le rapport de l'humain avec la machine. La question est de savoir « ce qu'il dégage en moi en tant que personne par cette fragilité apparente ? » Quand une personne est face à Miroki, elle n'a à aucun moment le sentiment d'être agressé par le robot. Il a cette fragilité qui fait que nous restons maîtres de la situation. Et la sphère sur laquelle il repose lui confère également cette fragilité accessible qui fait qu'il ne représente pas une menace.

1 Cf. chapitre « Modèles de langage » p. 47

Discussion ⑤

Qu'y a-t-il d'innovant ?

Question 9

Alexis Rayapoullé

Je voudrais conclure en recentrant sur le concept d'innovation. Où se situe l'innovation dans ces robots ? Est-elle technique ? Est-ce quelque chose que nous n'avons techniquement jamais pu faire et qui est particulièrement originale ? L'innovation se situe-t-elle dans les usages que nous allons en faire ? Réside-t-elle dans le fait qu'il y a besoin d'un storytelling autour pour avoir un personnage qui contribue à enchanter des robots ?

Sandrine Mies

L'innovation actuelle est une vague qui vient à nous. Tout ce qui se passe dans l'IA est un mouvement. L'IA a énormément progressé sur les deux années passées et la robotique qui est restée immergée pendant longtemps commence à émerger. Cette IA générative permet aujourd'hui de créer du langage écrit ou vocal. Elle permettra probablement aussi dans les deux ou trois prochaines années aux robots de pouvoir comprendre plus facilement les ordres qu'on leur donne et de pouvoir effectuer des gestes plus fluides.

Dans les prochaines années, la robotique devrait rattraper l'IA. En ce qui concerne Enchanted Tools, l'innovation est dans ce robot. Il n'en existe pas d'autre du même type. Je n'en connais pas qui soit, comme lui, à la frontière du « rendre service » à l'être humain et du « vecteur de lien social » qu'il peut générer dans l'interaction à la personne, comme dans les interactions d'un groupe de personnes à son contact. Il restera une machine qui va pouvoir générer cette interaction entre les humains par sa présence. C'est très novateur de la part d'Enchanted Tools.

Martin Dumont

L'innovation vient du fait d'accepter des performances un peu basses sur certaines choses, de simplifier par exemple en mettant le robot sur une boule plutôt qu'à chercher à lui faire des pieds. Il s'agit d'accepter d'avoir des expressions faciales un peu massives, mais après tout très significatives. Quand nous parlons de l'IA, il y avait un peu cette idée d'une certaine maturité de l'IA qui lui avait permis de progresser d'un coup en se donnant des objectifs moins absolus, mais enfin atteignables. Il s'agit d'arrêter de vouloir copier absolument l'intelligence humaine.

Ce sont peut-être aussi des robots plus mûrs, parce qu'ils ne cherchent pas une forme de perfection absolue, mais de bien assurer plutôt ce qu'il y a de plus humble. Il y a peut-être aussi l'idée d'assurer une mise en récit durant l'interaction, dépasser la seule fonction utilitaire.

Portabilité

L'échographie portative

05

Mehdi Benchoufi

Mehdi Benchoufi a une double formation de docteur en médecine, spécialisé en santé publique, et de docteur en mathématiques. Il a réalisé des travaux académiques, notamment sur l'usage des techniques de *blockchain* dans les essais cliniques. Il participe à divers groupes de travail et est aussi conférencier sur différentes thématiques liées à l'IA en santé. Il est co-fondateur d'eChOpen, une société d'échographie portative qui nous servira d'appui à la réflexion pour cette séance.

Alain Loute

Alain Loute, docteur en philosophie, est professeur d'éthique clinique à la Faculté de médecine de l'Université catholique de Louvain. Il est aussi spécialisé en santé publique. Ses thèmes de recherche sont nombreux, principalement dans le domaine de l'éthique des technologies et de la santé numérique, avec l'IA en radiologie et l'éthique de la télémédecine. Il nous apportera un éclairage philosophique quant à la manière dont la technologie peut faire irruption dans la clinique.

Conférence ①

Mehdi Benchoufi

Mehdi Benchoufi

Médecin et mathématicien,
cofondateur et CMO
d'echOpen

Le projet d'echOpen n'est pas de produire une sonde d'échographie classique, mais c'est une sonde d'échographie *portable dédiée à l'orientation diagnostique*.

L'orientation diagnostique est l'orientation en termes de «tri». C'est le moment premier où un patient et un praticien se rencontrent. La question qui va animer le praticien ou la praticienne consiste à (1) juger le niveau de sévérité de la situation clinique et (2) localiser les organes touchés. Ce sont les deux questions essentielles.

Jusqu'à ce jour, les moyens employés restent encore relativement classiques. Notre idée est de pouvoir donner un moyen d'investigation supplémentaire au praticien, pour lui permettre de voir dans le corps et de juger la situation clinique de façon plus sensible et spécifique. Ces technologies existent depuis quelques années, mais le fait de les rendre accessibles nous a motivé. Les technologies d'échographie sont chères et fragiles et nous voulions voir comment les distribuer plus massivement.

L'idée était de se rapprocher au plus près des outils utilisés dans la clinique classique. Le plus sophistiqué en clinique est le stéthoscope dont l'ordre de prix, pour un stéthoscope de cardiologie, peut monter jusqu'à 500 € ou 600 €. Le fait de pouvoir le développer dans des conditions de coûts extrêmement proches a dans un premier temps motivé echOpen. Aujourd'hui, nous sommes un peu plus chers, mais relativement proches de ce prix.

Une technologie qui permet de voir dans le corps devient donc une technologie particulière du fait qu'elle se rapproche, en termes de coûts et d'accessibilité, d'un outil vraiment utilisable dans la médecine quotidienne. Cela a été la motivation essentielle.

Au fond, nous pouvons débrouiller en médecine quotidienne ce que nous voyons en pathologie courante. Je pense par exemple aux gens qui respirent mal (les dyspnées) et aux gens qui ont mal au ventre. Ce peut être des calculs rénaux, des problèmes d'appendicite ou d'occlusion intestinale. Sur le plan obstétrical, il s'agit de savoir si le bébé se porte bien. Il y a aussi les questions de phlébite. Cela concerne donc tout ce qui n'est pas de l'ordre de la caractérisation de la situation pathologique, mais de l'orientation générale dans un langage tout à fait commun. Tout cela peut être trié au travers de ce type de technologies, et précisément la nôtre.

Au fond, j'introduis ici deux notions: la technologie elle-même, qui est d'intérêt, mais surtout la notion d'usage. Nous participons à l'innovation en prenant des éléments techniques et en les faisant basculer en termes d'usage vers une approche qui consiste à rendre la technologie accessible et peu chère. En pratique, cela veut dire quoi? Notre ambition est d'équiper tous les praticiens. L'idée, du fait de son faible coût, est que ce soit vraiment un outil personnel.

Je crois qu'en termes d'innovation et d'usage, notre analyse n'est pas incorrecte. Il se trouve par ailleurs qu'il y a une tendance de fond, assez fondamentale

dans l'histoire contemporaine de la médecine clinique: l'accessibilité en général des technologies, en particulier des technologies d'échographie. Elles sont peu ou prou miniaturisables et elles le seront de plus en plus. Par ailleurs, elles ne sont pas invasives, ce n'est pas dangereux pour le corps.

Des cursus que l'on appelle «d'échographie clinique» se sont mis en place un peu partout dans le monde. Dans les pays les plus avancés, notamment les États-Unis et le Canada, les étudiants sont aujourd'hui formés à l'usage d'un échographe, comme ici les médecins, mes aînés et moi-même, avons appris à manipuler un stéthoscope. C'est quand même une chose majeure: cette espèce d'emblème très totémique du stéthoscope autour du cou qui marque vraiment la médecine clinique et qui marque aussi la relation entre un patient et un praticien est de nature à évoluer, notamment du fait de ces technologies.

Aujourd'hui, nous dirions que le mouvement d'enseignement de l'échographie clinique en Europe a été fortement poussé par la pandémie de covid. Elle a vu s'imposer des outils de ce genre comme outils de tri pour savoir si un patient était dans un état plus ou moins grave. Il y a donc aujourd'hui une dynamique d'ensemble qui est en place. C'est ça l'innovation d'usage.

Il y a un deuxième point d'innovation important pour nous, c'est l'innovation de nature pédagogique. Ces outils pénétrant de plus en plus les cursus universitaires, ils deviennent aussi des outils pédagogiques. Voici un exemple qui m'a beaucoup frappé. Une université à Columbia, la capitale de la Caroline du Sud, enseigne l'ensemble de la médecine au travers de l'échographie. Elle réinvestit la médecine clinique, «à la main», grâce à ce type d'outils. Un exemple assez intéressant est celui de la palpation du foie. Il y a aujourd'hui un certain nombre de publications qui montrent qu'en réalité, palper un foie, c'est un peu comme écouter un cœur. Aujourd'hui, nous ne savons plus tout à fait bien le faire, y compris chez les hépatologues.

L'approche de cette université consistait à prendre des étudiants, les armer d'un échographe, leur présenter un patient et poser l'échographe sur le foie du patient. Il s'agissait ensuite de rapprocher la main en même temps que nous imageons le foie. Nous voyons donc le foie du patient et la main être rassemblés sur une image échographique. Au moment où nous voyons précisément à l'image de la main toucher le foie, la perception du toucher est précisément celle que nous devons avoir en tête ou au bout des doigts pour ce qui est de la palpation du foie.

Il est donc aussi intéressant de voir que ces technologies vont permettre de réinvestir l'orientation diagnostique, mais aussi de réinvestir les processus d'apprentissage. Nous tâchons d'être innovants de cette manière et de travailler avec toute une série d'acteurs pour permettre la diffusion de la pratique d'échographie clinique chez les étudiants en réinvestissant la manière dont nous faisons de la médecine clinique. Si l'examen ou l'inspection d'un foie vous intéresse, je pourrai vous dire comment nous sommes amenés à nous appuyer d'une part sur nos sens, toujours avec le palpé, mais aussi sur ce qui est présenté à l'image. Je pense que c'est un deuxième élément d'innovation assez intéressant.

Un troisième élément un peu spécifique à echOpen est la façon dont nous nous sommes organisés. Nous relevons d'une innovation organisationnelle puisque les premiers temps d'echOpen ont juste rassemblé une communauté d'une vingtaine de personnes. Elles étaient toutes convaincues de l'intérêt de l'échographie clinique, mais aussi de la nécessité de sa mise à disposition au plus grand nombre. Nous nous sommes retrouvés ici même, à l'Hôtel-Dieu. Nous avons rencontré un certain nombre d'acteurs clés qui auront un impact déterminant dans nos vies, notamment le directeur général de l'AP-HP de l'époque. Il a immédiatement vu le potentiel et nous a installés pour voir comment envisager la faisabilité d'un tel dispositif. Encore une fois, l'affaire n'était pas simplement de la technologie pour la technologie, mais de la technologie en vue de l'accessibilité.

Il se trouve que la communauté initiale était très versée dans l'open source, comme moi-même. L'idée était d'agencer des briques technologiques existantes, d'essayer de dériver de tout ça une solution raisonnable, avec un schéma qui deviendrait notre schéma directeur. Il s'agissait de définir quelles seraient les pièces matérielles et les pièces logicielles qu'il s'agirait d'articuler pour imaginer avoir une technologie industrialisable dans les conditions de coûts qui étaient celles que nous avions en tête.

Il y a ensuite eu trois ou quatre ans de développement, de prototypage, d'errance, de succès et d'insuccès. Aux alentours de 2020, nous sommes arrivés à la conclusion qu'un chemin s'ouvrait et qu'il était possible de l'emprunter. Nous avons commencé à travailler à un développement plus industriel. Le chaînon qui s'est articulé entre l'association qui était la façon pour nous de nous organiser et l'organisation entrepreneuriale plus classique a été assez intéressant, puisque nous étions une communauté qui travaillait en open source. Nous avons libéré dans le domaine public toutes les briques technologiques utilisables pour que ceux qui s'en saisissent puissent développer exactement ce que nous avons développé : echOpen.

Dans notre mission d'accessibilité de la technologie elle-même, nous étions au rendez-vous. Au fond, nous étions quittes sur notre mission de Fab Lab. À partir de là, la communauté s'est organisée de façon à créer l'entreprise. Pour le coup, le schéma est donc très hétérodoxe, puisque c'est une association de 25 personnes qui a choisi de monter une entreprise. L'association elle-même figure parmi ses cofondateurs. Nous avons décidé de façon tout à fait démocratique de la façon dont nous allions nous partager les responsabilités et la prise de participation au sein de l'entreprise, en fonction des efforts qui avaient été déployés jusque-là.

Ceux qui étaient les plus investis depuis le début partageaient davantage de responsabilités et de participation capitalistique au sein de l'entreprise. Tout cela dans le cadre d'un agrément démocratique et communautaire qui s'est parfaitement déroulé. Nous nous sommes alors embarqués dans une histoire plus compliquée que ce que nous avions prévu. Notre but consistait à industrialiser un dispositif sous des contraintes extrêmement fortes : des contraintes industrielles, des contraintes en termes de sécurité, des contraintes réglementaires, des contraintes de qualité et enfin des contraintes de coût. En effet, l'ensemble consistait à optimiser le coût du dispositif. Ce n'est pas la même chose de développer une solution technique sans contrainte particulière de coût. Je pense qu'il y a cet autre élément d'innovation qui lui, est davantage organisationnel.

Enfin, il y a une innovation qui n'est pas réalisée aujourd'hui, mais qui fait partie de nos objectifs. Il s'agit de pouvoir continuer à développer la technologie au plus près des besoins médicaux, équiper les médecins et les paramédicaux pour effectuer cette médecine qui n'est pas une médecine de précision. C'est une médecine d'orientation. Nous pensons que l'étape suivante est de pouvoir équiper les patients eux-mêmes. Il se trouve que l'intelligence artificielle peut jouer ici un rôle clé. Nous développons des outils d'intelligence artificielle qui sont à l'état prototypique aujourd'hui. Ils permettent de piloter l'examen clinique dans de meilleures conditions. À partir de l'ensemble des écho-structures, au plan anatomique, on donne à l'opérateur des métriques de plus ou moins bon fonctionnement d'organes clés, comme le rein, la vessie ou le cœur ; par exemple une métrique cardiaque clé comme la fraction d'éjection du ventricule gauche.

Ce sont des choses que nous avons sous forme de prototype aujourd'hui et que nous sommes capables de développer pour un usage qui serait assisté par le praticien et automatisé pour ce qui est du calcul. Pour nous, c'est une première étape avant une étape d'*empowerment* des patients, leur « autonomisation ». Avec ces outils, nous pouvons très vraisemblablement imaginer demain qu'un praticien puisse suivre ou télé-suivre un patient à partir de données qui seraient acquises par le patient. La qualité du geste serait contrôlée par une intelligence artificielle, et ce qui serait récolté ici serait interprété là-bas. Le praticien a l'image et il est capable à la fois de piloter la conduite du geste, mais aussi d'interpréter les résultats.

Nous pensons que c'est dans un horizon accessible d'ici un an ou un an et demi. Nous pourrions avoir des outils relativement probants sur ce plan. En tous cas, nous les avons en prototypes. Nous devons maintenant réussir à les industrialiser et à les valider. L'étape suivante consistera à imaginer que le patient ou la personne qui est chez elle et qui n'a aucune compétence particulière puisse disposer d'un capteur qui permette de récupérer des données. Ces données seraient remontées dans un *cloud* et seraient directement analysées par une intelligence artificielle. Ce serait une imagerie sans images.

L'avantage des technologies échographiques est qu'elles sont miniaturisables et le seront toujours davantage. Les technologies d'intelligence artificielle sont relativement puissantes et le seront de plus en plus pour ce qui est de l'automatisation des diagnostics. Il faut ensuite les valider et les contrôler.

C'est une histoire longue, mais il n'y a pas d'obstacle à imaginer demain que ces technologies puissent équiper des patients avec une capacité de prise en charge qui serait de plus en plus autonome. Cela ne veut pas dire que les médecins disparaissent, mais leur rôle est différent.

Il s'agira d'être capables d'intégrer l'ensemble des informations qui procéderont de différents capteurs, comme des capteurs échographiques ou des capteurs d'autres natures, y compris en prenant des données sociologiques propres aux patients. L'intégrateur final est capable de faire une inférence finale sur le bon choix de prise en charge. Nous savons tous très bien que dans le choix de prise en charge canonique d'un traitement, même s'il est bien guidé par des arbres de consensus, il y a au final un élément de souveraineté partagée. Elle est partagée entre un patient et un médecin pour acter ce qui sera en définitive le bon choix.

Voilà les éléments par lesquels nous pensons que nous sommes innovants et que nous le serons encore davantage demain.

Conférence ②

Alain Loute

Alain Loute

Professeur d'éthique à la
Faculté de médecine de
l'Université catholique de
Louvain

Mon propos est moins celui d'un éthicien – où je mettrais en avant des enjeux éthiques spécifiques liés à l'usage de la technologie – que celui d'un philosophe. Je propose une réflexion épistémologique pour déterminer comment on parle d'une innovation comme celle-ci. Cela va finalement prolonger l'idée que l'innovation serait une question de point de vue. Comment comprendre l'innovation que représente echOpen ?

On peut considérer qu'il y a une innovation en fonction du fait que nous avons projeté une technologie plus ou moins ancienne dans de nouveaux usages qui permettent un renouveau de la clinique. Nous pouvons aussi considérer que c'est une innovation qui peut jouer un rôle dans le domaine pédagogique, voire dans l'implication du patient. Nous voyons l'importance d'une réflexivité sur ce qui fait innovation. Depuis quel point de vue y a-t-il innovation ?

Je voudrais partir de différents discours qui mettent en avant l'innovation que représente un échographe portable comme celui-ci et questionner ces discours. Je me suis donc notamment intéressé à des textes que j'ai pu trouver sur le site d' echOpen comme à d'autres textes comme ceux d'Arben Elezi, un expert qui fait également partie de la communauté echOpen. J'ai aussi d'autres textes en tête qui promeuvent un usage clinique de l'échographie. Ce qui m'intéresse dans ces discours et que je vais aborder dans un premier temps, c'est le fait de questionner le cadrage que ces discours opèrent sur l'objet « innovation », et plus précisément sur le cadrage temporel.

Finalement, beaucoup de ces discours se retrouvent sur la manière de cadrer temporellement l'objet innovant que représente l'échographe. Je voudrais questionner un peu ce cadrage temporel. Pourquoi ? Parce qu'il me semble assez inédit et intéressant, dans le sens où il propose une forme de synthèse. C'est tout d'abord un discours résolument tourné vers le futur. Dans le discours sur cette innovation, beaucoup de promesses ont été mises en avant. Il y a l'imagination d'usages possibles demain. Il n'y a pas d'obstacle à imaginer que nous puissions équiper les patients demain. Ce sera l'étape suivante.

Effectivement, c'est un objet qui n'est pas fictionnel. Il existe. Il est bien ici, dur et concret devant nous, mais c'est aussi un objet du futur. Il faut en parler au futur en imaginant des applications possibles. C'est donc un discours résolument tourné vers le futur. En même temps, il est assez frappant de voir que les nombreux discours promouvant l'échographie clinique s'inscrivent également dans un passé, dans la continuité d'un récit déjà bien ancien, dans l'histoire de la clinique initiée depuis près de 200 ans.

Concernant la médecine narrative, il y a un intérêt à mettre en avant le cadrage à l'arrière-plan de ces discours, qui est un récit qui prend naissance dès l'invention du stéthoscope par René Laënnec. Je pense que le vocable même « d'écho-stéthoscope » n'est pas anodin. Sémantiquement, il rapporte une forme de synthèse. Il renvoie à la fois à une innovation et il

inscrit délibérément cette innovation dans la lignée d'une évolution technologique. Je voudrais donc dans un premier temps mettre cela en avant parce que cela me paraît vraiment intéressant. Dans un second temps, après avoir mis en avant la productivité et l'intérêt de cette synthèse, il faut peut-être questionner aussi les tensions que cette synthèse temporelle peut soulever. Il faut peut-être aussi questionner un oubli, un point aveugle ou un point sur lequel ces discours portent moins l'attention, qui serait presque comme un hors-cadre de ces discours : la question sur la spatialité.

Il convient de mettre en avant le cadrage temporel et d'arrière-plan de tous ces discours qui nous font voir ce dispositif comme innovant. Il s'agit donc dans un premier temps de montrer qu'il y a une orientation vers le futur des discours sur l'innovation que représente cette technologie. On en parle au présent et on en parle également au futur. On met en avant un certain nombre de promesses. En lisant les sociologues de l'innovation aujourd'hui, c'est assez significatif de nombreux discours sur l'innovation. Pierre-Benoît Joly, parmi d'autres, a bien mis cela en avant. Il montre aujourd'hui comment les innovations technologiques s'inscrivent dans ce qu'il appelle un « régime de promesses technoscientifique ».

Les industriels et les acteurs du développement technologique produisent toute une série de discours en accompagnement de leur technologie. Littéralement parlant, ils promettent des usages et des applications possibles des dispositifs, ce qui est en partie lié à l'éthos du créateur et de l'innovateur. Pour Pierre-Benoît Joly, cela peut aussi s'expliquer en fonction du marché de l'innovation. C'est un marché qui fonctionne par financement d'expérimentation où il faut donc pouvoir capter l'attention, et la promesse peut être comprise comme une stratégie de captation des ressources pour financer des expérimentations à venir.

Il y a donc une prolifération de promesses, une mise en avant par les acteurs de l'innovation, mais également par les acteurs et les autorités publiques et politiques. Prenons l'exemple de la Belgique. Maggie de Block était une ancienne ministre fédérale de la Santé. Plus précisément, par rapport aux technologies numériques en santé, elle nous disait que la e-santé avait démarré comme un TGV. Nous n'arrêterons plus l'utilisation des technologies numériques dans le cadre des soins de santé.

Le futur pèse donc sur le présent, littéralement parlant. Il commande et mobilise les acteurs vers le futur.

La feuille de route du tournant numérique en santé en France vise également à accélérer le virage numérique en santé. C'est donc une orientation vers le futur qui me semble être tout à fait présente aussi dans les textes que j'ai pu découvrir dans la littérature scientifique sur l'échographie portable. Entre autres titre d'article, je vous cite « *Portable Bedside Ultrasound, The Visual Stethoscope of the 21st Century* ». C'est vraiment une technologie présentée comme le stéthoscope du XXI^e siècle.

De nombreuses promesses entourent donc cette technologie. Nous en avons déjà évoqué certaines. Il y a évidemment une promesse d'accessibilité des techniques d'échographie à un plus grand nombre de

médecins, de médecins généralistes ou d'urgentistes. Ce ne sont donc pas des spécialistes de l'échographie diagnostique. J'avais relevé cette phrase sur le site d'echOpen: «*echOpen s'engage à rendre l'échographie clinique accessible à tous les professionnels de santé dans le monde*». Nous voyons une promesse d'accessibilité forte qui peut même, selon les articles, s'étendre jusqu'aux pompiers, aux professionnels de santé non médicaux, voire aux patients: «*Et pourquoi ne pas imaginer un scénario dans lequel une sonde d'échographie clinique pourrait être utilisée par le patient lui-même, guidée par une application avec une IA connectée à un appareil numérique ?*».

L'expression est d'Arben Elezi: c'est la promesse d'une échographie portable qui pourrait redonner un nouveau souffle à la clinique, une clinique bouleversée. C'est donc aussi une promesse de donner un nouveau souffle à la clinique. Nous parlons d'une utilisation de l'échographie au lit du patient, dans une perspective d'orientation diagnostique. Elle ne remplace pas l'échographie diagnostique menée par un spécialiste, mais elle permet de répondre à des questions ponctuelles. Cela permet de resserrer l'enquête étiologique, éventuellement d'arrêter d'emblée certains diagnostics.

Une autre promesse, celle d'une plus grande sécurisation de soins. Pour Arben Elezi, il deviendrait insensé de ne plus utiliser l'échographie portable, de ponctionner un grand vaisseau sans le repérage et le guidage échographique, par exemple.

Mais il y a encore d'autres promesses fortement mises en avant. Sur le plan de la santé publique, nous pourrions imaginer que l'introduction de l'échographie en première ligne diminue le passage aux urgences et certaines visites inutiles chez le spécialiste. Au niveau des patients, cela permettrait aussi d'éviter des déplacements parfois particulièrement éprouvants.

Une autre promesse particulièrement intéressante: le fait que l'échographie reliée au smartphone puisse recueillir toute une série de données, les renvoyer à des entrepôts de données et permettre l'accumulation massive de données à des fins possibles de recherche. Au niveau de la santé publique, nous voyons que cela pourrait aussi être un outil de recherche.

L'échographie au lit du patient pourrait donc potentiellement être un outil parmi d'autres qui renforcerait l'arsenal de nos politiques publiques. C'est à la fois un objet qui a fait ses preuves au présent sur toute une série d'actes et de services, mais qui se dit aussi au futur par rapport à toute une série de promesses dont nous ne pouvons peut-être pas encore dresser la liste définitive.

Ce qui m'a vraiment frappé en lisant beaucoup d'articles et de discours qui promeuvent le caractère innovant de l'échographie portable, c'est que nombre de ces discours inscrivent cette innovation dans la continuité d'une histoire de la clinique déjà longue. Nous pourrions à nouveau prendre le temps d'analyser sémantiquement de nombreux titres d'articles, mais il y a un article assez connu du *JAMA Cardiology*, «*Time to add a fifth pillar to bedside clinical examination*». Je vous donne le sous-titre «*Inspection, palpation, percussion, auscultation and insonation*».

L'idée est bien d'inscrire l'usage de l'échographe portable comme un complément à l'examen clinique. Il y a un autre indice de cette innovation dans l'histoire longue de la clinique, c'est la sémantique même de l'écho-stéthoscopie. Arben Elezi le dit dans un article où il met en avant ce concept. Il dit qu'il y a eu un moment d'errance conceptuelle où nous ne savions pas comment nommer cette innovation. Il dit que l'écho-stéthoscopie est le bon concept, choisi aux urgences de l'hôpital Saint-Louis à Paris.

Enfin, le choix de ce concept n'est pas anodin: c'est un geste intellectuel de cadrage temporel de l'innovation. En nommant comme telle l'innovation, c'est un geste intellectuel qui inscrit cette innovation dans la longue trajectoire historique du stéthoscope.

Il est par exemple intéressant de voir que l'anecdote ou l'histoire de la découverte du stéthoscope par René Laënnec est souvent évoquée dans ces articles qui traitent de l'échographie portable.

Voici comment Laënnec rapporte cette invention: «*Je fus consulté en 1816 pour une jeune personne qui présentait des symptômes généraux de maladie de cœur et chez laquelle l'application de la main et la percussion donnaient peu de résultats à raison de l'embonpoint. L'âge et le sexe de la malade, m'interdisant l'espèce d'examen dont je viens de parler, je vins à me rappeler un phénomène d'acoustique fort connu: si l'on applique l'oreille à l'extrémité d'une poutre, on entend très distinctement, un coup d'épingle donné à l'autre bout. J'imaginai que nous pouvions peut-être tirer parti, dans le cas dont il s'agissait, de cette propriété des corps. Je pris un cahier de papier, j'en formai un rouleau fortement serré dont j'appliquai une extrémité sur la région précordiale, et posant l'oreille à l'autre bout, je fus aussi surpris que satisfait d'entendre les battements du cœur d'une manière beaucoup plus nette et plus distincte que je ne l'avais jamais fait par l'application immédiate de l'oreille*».

En montrant la filiation avec la découverte de Laënnec, choisir le terme d'écho-stéthoscopie consiste donc à présenter l'échographe portable comme une nouvelle médiation de l'examen clinique. C'est comme une médiation technique, mais qui s'inscrit dans l'histoire des médiations de l'examen clinique. C'est donc en quelque sorte inscrire cette innovation technologique dans l'histoire interne de la clinique. La référence historique à Laënnec, notamment mobilisée par Arben Elezi, a un deuxième effet. Elle permet aussi de se positionner par rapport à l'ambivalence de l'imagerie médicale. Pourquoi?

Parce qu'Arben Elezi rappelle l'expression utilisée par Michel Foucault pour désigner l'invention du stéthoscope. C'est pour décrire cette nouvelle médiation des sens de l'examen clinique que Foucault introduit le concept de «distance solidifiée» entre le médecin et le patient. C'est à la fois une médiation des sens qui permet d'entendre mieux. C'est donc une véritable médiation pour l'auscultation du patient. En même temps, c'est une distance solidifiée qui crée une séparation entre le médecin et le malade. C'est une séparation qui est également presque morale dans l'anecdote que j'ai rappelée, vu que c'est aussi pour des questions de moralité et de pudeur que Laënnec est amené à produire cette invention.

Arben Elezi insiste donc sur ce concept de distance solidifiée. Pourquoi? Il nous dit que cette distance solidifiée ne cessera de se renforcer au fil du développement de la médecine. Il nous dit que cela même qui avait permis la naissance de la clinique positive, puis son plein essor, devient aussi avec le temps le fondement de son déclin. Il montre comment la naissance du stéthoscope est ambivalente: à la fois la naissance d'une médiation des sens, qui permet d'ausculter mieux et d'examiner mieux, et en même temps le début d'une longue histoire jusqu'à l'IA au XXI^e siècle. Il y a une distance de plus en plus grande du patient et du malade, et donc aussi une crise de la clinique. C'est donc la distance solidifiée.

Il fait une référence à un article de Guy Vallancien sur le thème de la média-médecine : «*Aujourd'hui, de l'imagerie médicale à la robotique chirurgicale en passant par la biologie, la génétique et l'informatique, nous observons une accélération des aides à une pratique médicale efficace qui se détache inexorablement du contact direct entre médecin et malade. La médecine à distance, la média-médecine devient reine en démontrant ses résultats objectifs chaque jour éloquents*».

Nous pouvons donc effectivement comprendre comment la montée en puissance de la prescription d'examen complémentaires peut parfois être comprise comme un symptôme de cette crise de la clinique. Il y a peut-être une prescription avant même la réalisation d'un examen clinique mené jusqu'au bout ou la prescription presque par défaut d'examen complémentaire. Il est intéressant de voir qu'en montrant cette média-médecine, cette place de l'imagerie qui prolonge la distance entre le médecin et le patient est un effet secondaire, mais pas nécessaire de cette technologie. En montrant qu'elle est liée à l'ambivalence – qui est aussi l'ambivalence du stéthoscope – d'être à la fois quelque chose qui rapproche du patient, mais qui est en même temps le début d'une distance, il n'y a finalement rien d'inéluctable dans l'utilisation de l'imagerie pour nous mener vers une média-médecine.

En faisant le parallèle entre l'imagerie médicale et le stéthoscope, il montre que le stéthoscope est ambivalent. Comme le philosophe Bernard Stiegler, nous pourrions dire qu'il est pharmacologique : à la fois poison et remède. Le stéthoscope peut donner suite à une médecine où il y a une crise de la clinique et une distance de plus en plus grande, comme il peut être vraiment ce qui permet la médiation des sens pour mener un examen clinique. Tout cela pour montrer qu'il y a à nouveau un cadrage temporel du discours sur l'innovation qu'est l'échographie portable. Montrer qu'il y a un lien filial avec le stéthoscope est aussi une manière de donner à voir autrement le diagnostic que nous pouvons faire sur l'imagerie médicale aujourd'hui.

Si l'imagerie médicale peut parfois être un symptôme de la crise de la clinique, ce n'est pas inéluctable. Ce n'est pas un effet nécessaire et automatique de l'utilisation de l'imagerie médicale. Cela est juste lié à l'ambivalence de l'imagerie médicale et à l'ambivalence de toute médiation technique.

Il y a un autre indice de ce cadrage temporel qui montre comment l'échographe portable s'inscrit dans cette histoire déjà longue de l'histoire de la clinique. C'est la référence que nous trouvons dans de nombreux textes et dans le livre de Michel Foucault, *Naissance de la clinique*. À nouveau, ce n'est pas anodin, ce n'est pas par simple référence érudite. Quand Arben Elezi fait une référence au texte de Foucault, c'est vraiment pour inscrire cette innovation dans l'histoire déjà longue de la clinique moderne.

La thèse de Foucault est connue. Elle consiste à dire que la médecine clinique s'est développée en rejetant le modèle général des nosographies de l'âge classique. La pratique clinique, donc la médecine moderne, s'est formée à partir des données de l'expérience tirant notamment les enseignements de l'anatomie pathologique. Je cite Arben Elezi : «*L'avènement de l'anatomie pathologique, en plus d'installer une certaine suprématie de l'œil, permet effectivement de voir, caché dans la profondeur du corps, le siège, le foyer primitif des maladies, dont les symptômes sont les seules manifestations visibles. Il s'opérera ainsi un changement de paradigme annonçant la naissance de la clinique moderne et positive. La clinique quitta le cadre des nosologies*

et devint regard et lecture attentive des symptômes et des signes. Une manière pour le clinicien d'interroger le corps dans ses épaisseurs afin d'y localiser la cause de ses symptômes».

Arben Elezi fait référence à ce texte de Foucault pour montrer qu'en étant une technologie oculaire, l'échographie renoue avec quelque chose qui est à la source de la naissance de la clinique. C'est le développement du regard médical dans le cadre de l'anatomie pathologique. Ce discours met en avant le caractère innovant de ces technologies. Il est à la fois extrêmement tourné vers le futur, avec de nombreuses promesses, et montre que cela s'inscrit dans l'histoire déjà longue de la clinique, comme si ce n'était qu'un nouveau chapitre. C'est intéressant, mais dans quelle mesure est-ce un discours tenable jusqu'au bout ?

Quand je parlais de promesses, il n'y avait nulle intention de ma part de critiquer le fait de produire des promesses. C'est la démarche même de l'innovation d'avoir à un moment donné un regard nouveau sur la technologie. L'échographie existe depuis un certain temps déjà, mais pourquoi ne pourrions-nous pas en faire le support de nouveaux usages ? Le fait d'avoir des attentes est bien normal. De la même manière, pour que cette technologie soit utile et qu'elle serve une médecine humaine, il est important de l'inscrire dans la longue histoire de la clinique.

Néanmoins, à travers cette double orientation future et passée, ce discours ne peut-il pas nous mettre face à une tension, face à des promesses et parfois des proliférations de promesses qui peuvent peut-être devenir indéterminées, utopiques, peut-être même parfois un peu fantasmagoriques ou prophétiques ? À l'opposé, dans ce geste d'inscrire cette innovation dans la continuité de l'histoire de la clinique, ne minimisons-nous pas l'effet de déstabilisation fort que cette technologie peut malgré tout avoir par rapport à la clinique ? Certes nous voyons que c'est une technologie développée en grande partie par des médecins. A contrario, j'ai déjà pu rencontrer des innovateurs qui produisent une innovation et lorsque des médecins leur demandent quel est le service médical rendu, les innovateurs n'en ont parfois pas la moindre idée. Cela montre l'importance d'inscrire une innovation comme celle de l'échographie portable dans l'histoire de la clinique, de la développer par et avec des médecins. Mais dans quelle mesure ne minimisons-nous pas l'effet de déstabilisation que cela peut avoir sur la clinique ?

Enfin, il y a un point aveugle dans ces discours, une dimension peut-être un peu hors cadre, la question de la spatialité. Nous pouvons à la limite nous dire que cette technologie nous rend très libres par rapport aux contraintes spatiales du soin. L'accessibilité, c'est cela aussi : pouvoir l'avoir dans sa poche, littéralement parlant. Ne plus devoir passer par tel local où se situe la machine. Il s'agit vraiment de pouvoir l'utiliser en tout lieu.

Nous retrouvons aussi cette croyance ou cette promesse dans de nombreuses innovations numériques de pouvoir être de plus en plus libérée des contraintes spatiales du soin. Finalement, c'est peut-être la promesse ultime de la télémédecine : pouvoir soigner depuis n'importe quel lieu. Or, de nombreuses études et recherches montrent que cela libère peut-être de certaines contraintes spatiales, mais ne nous libère pas de toutes contraintes spatiales. J'ai pu mener par exemple une recherche sur la pratique de la téléconsultation que nous avons peut-être tous et toutes expérimenté pendant le covid : tous les lieux ne sont pas adéquats pour faire une téléconsultation. Il y a aussi beaucoup de travaux sur la télésurveillance qui montrent que tous les domiciles ne se prêtent pas non plus à être le support de soins à domicile. Dans quelle

mesure l'échographie portable s'interroge suffisamment sur la question des lieux de la clinique ?

Pour ce faire, il s'agit peut-être de mettre en avant un concept spatial, mais tiré de la sociologie de l'innovation de Madeleine Akrich. Elle ne parle pas du concept de lieu, mais elle utilise le concept de réseau : quand un objet technique passe simplement du projet, de l'état de script, à un objet technique concret, il s'insère dans un monde. Il s'insère dans un réseau sociotechnique qu'il contribue à transformer et qui le transforme lui-même. Un objet technologique comme celui-ci mettra certains acteurs en lien. Cela va donc peut-être distendre les liens avec certains acteurs, mais peut-être en renforcer d'autres avec d'autres acteurs. Même s'il est utilisé dans l'intimité la plus forte du colloque singulier, dans une chambre d'hôpital par exemple, au lit du patient, il reste qu'il s'inscrit dans un réseau d'acteurs.

Ne fût-ce que parce que la philosophie de l'objet technologique en question est bien celle d'une orientation clinique et pas d'un outil de diagnostic, cela peut amener le clinicien à référer peut-être l'analyse qu'il a faite à un spécialiste qui va pouvoir consulter. J'imagine également que cette technologie fait nécessairement bloc avec d'autres technologies comme la télé-expertise. Il y a l'idée d'insérer cette technologie au plus près du lit du patient. Nous le voyons bien aussi au niveau sémantique : «*Point-of-Care Ultrasound*» ou l'échographie au lit du patient. Comme au cinéma, cela met peut-être hors cadre la nouvelle configuration spatiale de la clinique qui se dessine à travers la technologie.

Parmi les promesses de cette technologie que nous avons évoquées, il y a même au niveau de la recherche la promesse possible que cette technologie soit le support d'une recherche en santé publique. Que ce soit un outil de politique publique, en quelque sorte. Ce serait donc un outil qui permettrait d'agir à l'échelle d'un territoire. Peut-être tous ces discours ne mettent-ils pas suffisamment en avant la question de la spatialité du soin.

Référons-nous une dernière fois à Foucault : l'un de ses concepts n'apparaît pas dans tous ces discours qui promeuvent l'échographie portable, justement le concept de spatialisation. Il nous dit que la clinique s'est développée grâce au développement de l'anatomie pathologique, mais que cela a aussi été rendu possible par ce que Foucault appelle la «*spatialisation ternaire*». C'est une certaine organisation sociale et politique qui a fait notamment de l'hôpital un instrument thérapeutique qui a permis qu'il soit une concentration extrêmement forte d'individus que nous avons pu disséquer en série. La clinique comme art du singulier dans sa scène la plus délimitée qu'est le soin au lit du patient est rendue possible par une organisation sociale et politique. Dans quelle mesure - je dis cela positivement - ces technologies ne déstabilisent pas les spatialisations ternaires de la clinique aujourd'hui ?

Discussion ①

Fiabilité de la technique

Question 1

Membre du public

Quand j'étais jeune, à l'hôpital Tenon (le « temple » des myocardites), il y avait un ancien chef de service qui faisait l'auscultation. Il décrivait l'auscultation sur le dossier en deux pages écrites. Il y a ensuite eu la transition avec l'échographie. Nous voyons désormais de plus en plus de médecins sans stéthoscope, y compris des cardiologues. Ils vont d'emblée à l'échographie. Cela permet de faire un diagnostic très complet par rapport au seul fait d'écouter le cœur. Nous voyons ici le cœur et les détails et c'est une vraie révolution.

Quelles ont été les validations par les études, ou de la science actuelle, en termes de qualité d'image et de fiabilité par rapport au diagnostic ?

Mehdi Benchoufi

Pour ce qui est de la qualité d'image, nous l'avons calibrée par rapport aux besoins de l'orientation. Ce ne sont pas les vôtres. Les besoins du cardiologue sont la caractérisation d'une image, d'une pathologie, dans un souci de précision qui n'est pas tout à fait l'objet de la médecine de tri. Nous sommes partis d'une base qui consistait à développer une technologie dont la qualité serait suffisante pour pouvoir traiter les gros sujets.

Je me dis souvent de façon un peu caricaturale que cet outil permet de voir s'il y a une boule ou pas. Ensuite, le fait de caractériser la boule est une autre histoire. Nous passons ici le relais à des praticiens qui ont des machines sophistiquées. Une machine d'un échographe dans un service de cardiologie coûte 100 000 €. Ce sont des technologies très sophistiquées. Nous sommes ici dans une technologie qui s'élève à 980 €.

Cette différence de prix n'est pas proportionnelle à la différence de qualité. Nous sommes quand même capables de faire des inférences, mais des inférences utiles à l'orientation diagnostique. Ensuite, en termes de validation, nous avons fait cela à l'AP-HP. Je dois insister sur le fait que l'AP-HP a vu naître echOpen sous sa forme associative. Nous avons réussi à articuler un ensemble assez peu banal puisque l'AP-HP a investi dans le véhicule industriel. Nous travaillons donc très étroitement avec les équipes de l'AP-HP, notamment les équipes cliniques. Nous avons développé des études cliniques. Une première a été l'étude pivot sur 200 patients autour de différentes cibles, comme les épanchements digestifs, les épanchements pleuraux, mais aussi les cibles vasculaires en vue des usages en termes de cathétérisme.

Nous étions déployés sur cinq sites, avec onze investigateurs, et echOpen était comparé au *gold standard*, qui était la grosse machine. Pour éviter tout biais de confirmation, nous avons d'abord fait avec echOpen, puis ensuite avec la grosse machine. Nous sommes complètement concordants à un patient près; et encore, à une cavité près chez un patient près. Nous sommes concordants à la fois sur le critère binaire « il y a / il n'y a pas » et sur le critère semi-quantitatif (le signe d'intérêt est-il présent de façon minime, modérée ou abondante ?).

Nous avons maintenant trois études en cours, dont une à l'AP-HP. Le recueil est terminé et nous compilons les résultats, qui restent tout à fait excellents. Ils

restent à peu près dans le même esprit, sur la stéatose et dilatation des voies pyélocalicielles.

Par ailleurs, nous avons deux études en Afrique de l'Ouest sur la santé maternelle. Elles portent sur des sujets comme le troisième trimestre de grossesse et des choses très basiques, mais très utiles: la présentation de l'enfant, les signes de vitalité fœtale et l'insertion placentaire. Cela concerne toutes ces choses très élémentaires, mais dont un certain nombre de pays sont démunis en termes d'accès à ces informations médicales du fait d'une difficulté d'accès à la technologie médicale.

Précisons le périmètre des spécialités concernées par echOpen: toutes les spécialités à la réserve de celles qui font un usage très spécialisé de l'échographie, c'est-à-dire les radiologues, les cardiologues et les obstétriciens. Mais quand on creuse ces sujets, même les radiologues seront impliqués parce qu'ils sont impliqués dans un des volets d'innovation d'echOpen qui est l'innovation pédagogique. Nous avons beaucoup de choses autour de la simulation. Les cardiologues sont malgré tout intéressés pour faire des gestes très simples, mais utiles. Je pense par exemple à aller chercher un épanchement sans avoir à aller chercher la grosse machine qui peut mettre quelques minutes à démarrer ou ce genre de choses. Ça peut aussi être pour des obstétriciens dans certains contextes, comme dans des blocs de consultations pour lesquels ils n'auront pas besoin d'aller chercher la grosse machine pour chercher un signe de vitalité fœtale. Je pense que nous sommes assez œcuméniques. Nous pouvons nous déployer dans tout contexte médical et paramédical.

Membre du public

Les machines qui paraissent peu sophistiquées, peuvent faire beaucoup dans des mains expertes, y compris celles d'un cardiologue, un obstétricien ou un radiologue. Un utilisateur expérimenté peut rendre un diagnostic aussi fiable qu'un jeune débutant avec une machine élaborée. Cela peut donc être utile n'importe où, même dans le quotidien.

Discussion ②

Transformations de l'activité et du rôle de la clinique

Question 2

Membre du public

Mehdi Benchoufi

Ces dernières décennies, nous avons assisté à un bouleversement de la clinique avec le développement de l'imagerie et de la biologie. La façon d'ausculter et le rapport au corps malade ont été profondément modifiés avec le développement de l'imagerie et de la biologie. À travers cet objectif d'une orientation première, comme vous l'avez dit, comment réinvestissons-nous la clinique au chevet du patient? Il faut aussi savoir que le parcours de soins du patient est très fragmenté. Il y a ce premier temps « clinique » qui était davantage à travers l'entretien - on appelle trop souvent cela un « interrogatoire » - mais tout se faisait ensuite sur une autre scène, plus lointaine, où il fallait pouvoir réintégrer cela dans l'échange avec le patient. C'est le cas en imagerie et en biologie.

Sur l'IA, je pense qu'il faut voir aussi des engagements, quand nous parlons de données captées. Il s'agit de pouvoir réintégrer et traduire le rôle du médecin comme médiateur ou traducteur. Pour moi, l'échographie, c'était les radiologues. Je pense en termes de transmissions entre praticiens pour des praticiens encore peu expérimentés, par rapport à la radiographie où nous avons des images produites que nous pouvons ensuite partager. Je parle de l'échographie ou de l'ECG, qui sont des examens où le jugement s'exerce au moment de l'examen.

On peut aussi le faire a posteriori si nous voyons le film ou la vidéo. Mais vous avez raison, comme c'est du temps réel quand le médecin, le praticien ou le technicien fait l'examen, l'orientation est en temps réel. Mais on n'est pas bloqué, on peut avoir la boucle vidéo concernant l'examen.

Question 3

Membre du public

Je pense aussi à la pertinence des examens. Vous avez parlé de l'évolution de la démographie qui est une source de préoccupation majeure, mais aussi des patients qui sont de plus en plus âgés et très fragiles. La question de la pertinence est que nous les aggraverions sur un plateau technique. C'est une question importante. Je trouve que c'est aussi une visée de cet oubli d'orientation première, au lit du malade.

Mehdi Benchoufi

Nous sommes au plus proche de la situation. L'élément innovant, mais qui n'est pas propre à echOpen, est cette idée de cette médecine qui se projette à distance et qui agit là où il faut agir. C'est-à-dire que là où est le patient, là où la situation se produit, vous apportez vos capacités d'analyse, de diagnostic et de prise en charge. Je crois que c'est vraiment un élément majeur et structurant pour la suite de l'organisation sanitaire. Je dis souvent que nous passons d'une médecine considérant une idée de temps, de lieu et d'action à une médecine beaucoup plus délinéarisée qui doit apprendre à projeter sa capacité d'action à distance.

Dans le vocabulaire de la défense, on parle souvent de projection à distance de ses forces. Je pense que ces outils permettent la même chose. C'est un outil de remédiation. C'est quasiment comme un outil d'aménagement du territoire. Quelque chose dont nous pouvons équiper un certain nombre de praticiens médicaux et paramédicaux qui peuvent de nouveau

avoir des capacités de prise en charge sur site, lorsque l'absence d'outils peut entraîner le sentiment d'être démuné lorsque les hôpitaux déménagent et qu'il y a un manque d'outils. Quel intérêt à pratiquer ma médecine sur le terrain quand je suis un peu démuné? Vous avez ici des outils qui permettent de le faire.

Mais cela peut aussi être une remédiation qui peut s'avérer être un faux ami. C'est ma conviction mais, de façon inévitable, je pense que nous vivons une époque de désintermédiation depuis 20, 30, 40 ans et peut-être même depuis des temps beaucoup plus anciens, alors que nous pouvons parcourir une distance plus rapide quand les humains et les technologies qui vont avec trouvent le plus court chemin.

Il se trouve qu'aujourd'hui, avec l'intelligence artificielle, le plus court chemin entre soi et sa solution de prise en charge n'est plus forcément le médecin, avec tout ce que cela suppose d'accès à l'information, de traitement de ces informations et de mouvements d'externalité négative avec le complotisme. Il y a quelque chose d'inévitable dans tout cela. C'est la raison pour laquelle je mettais en perspective des innovations de ce type, mises à disposition des patients eux-mêmes.

Question 4

Membre du public

Imaginons que nous changions de contexte. Nous ne sommes plus sur l'acte d'échographie, nous ne sommes plus sur un diagnostic. Nous comptons jusqu'ici sur l'échographie et l'imagerie pour avoir un diagnostic, mais nous approfondissons la clinique par echOpen qui va nous orienter. Cela ne va-t-il pas banaliser cet acte d'échographie ?

Le patient qui dit « vous êtes pour la surveillance de la glycémie en continu, avec les appareils ou un tensiomètre », ne va-t-il pas penser que le médecin lui a fait un genre d'échographie ?

Mehdi Benchoufi

Je suis tout à fait d'accord avec vous. Au fond, c'est ce qui est en creux dans tout cela. Lorsqu'on dit que c'est un outil clinique, c'est en réalité un peu un faux ami. C'est-à-dire que la technologie est aujourd'hui telle qu'elle est. Si elle s'impose, c'est parce qu'elle sera nécessaire, et pas pour complaire aux impératifs de pouvoir qui se jouent dans le cadre de la clinique.

Quand on parle de la clinique, c'est le faux-nez des médecins qui sont un peu plus latéraux parce que nous avons des technologies de plus en plus puissantes et des outils de diagnostic de plus en plus évolués. Ils sont un peu marginalisés, à l'exception peut-être de ceux qui opèrent, mais c'est pour des raisons technologiques précises. Le rythme d'évolution des robots, donc du *hardware*, n'est pas tout à fait celui du *software*. Je parle du matériel versus logiciel. Au fond, les médecins sont peut-être ici un peu plus présents dans la scène clinique que vous décriviez.

Par nécessité, cet outil va renforcer la capacité dont nous nous dotons pour mieux prendre en charge des maladies. Ce qui se joue, c'est ce dont vous parliez, la banalisation d'actes de spécialité. Si des technologies d'intelligence artificielle ou d'autres technologies sont demain à disposition, ce ne sera au fond qu'un capteur. La scène dans laquelle se joue la pratique ou la prise en charge des patients, c'est une personne, un patient, des capteurs et quelqu'un qui, au vu des évolutions de l'innovation, est de plus en plus un intrus. S'il est de plus en plus un tiers dans la relation que nous engageons nous-mêmes avec notre propre santé, c'est le médecin.

Je reviens sur la question de l'innovation qui nous était posée. De toute façon, quand on nous demande en quoi echOpen est innovant, nous donnons une réponse scolaire que je vous ai donnée tout à l'heure. Quelque part, dans le monde tel qu'il est, l'innovation est là parce que vous n'avez pas le choix. C'est l'innovation par nécessité. C'est « marche ou crève ». Quand vous êtes dans un processus entrepreneurial, l'innovation est une obligation. Vous n'avez que le choix de faire évoluer votre technique en permanence. J'ai fait des sciences, mais je n'ai pas les références philosophiques. Encore une fois, c'est toujours dans cette idée, que je qualifierais de principe de Huygens, un principe fort de l'évolution de la marche d'un rayon lumineux : globalement, dans la physique du monde que nous pratiquons au quotidien, nous cherchons à chaque fois les chemins les plus courts.

Mais le chemin le plus court d'un patient à sa santé ne passe pas nécessairement par le médecin. Je pense ici contre moi-même et contre echOpen, mais cela va dans le sens de ces évolutions. Nous sommes dans l'écho-stéthoscopie, mais il ne faut pas nous leurrer, ce n'est qu'une étape. Nous en resterons peut-être là, mais ce n'est qu'une étape. Je pense qu'il y a des forces en place qui dominent très largement : l'élan vital qui consiste à faire en sorte d'améliorer la

prise en charge des individus parce que c'est un principe fondamental de vie. Il faut que nous améliorions l'espérance de vie mais, récemment, nous avons forgé un concept que nous avons intégré dans la pratique médicale, le concept de qualité de vie. Au fond, à partir du moment où nous avons campé cela, les technologies deviennent inévitables. L'innovation avance très vite. Il se trouve que dans le cadre de l'intelligence artificielle, il y a la capacité d'inférence. Quand on recevait un capteur, on avait besoin de quelqu'un qui fasse un peu la synthèse des informations. Or, nous avons des technologies d'IA qui font cela de mieux en mieux.

Pour reprendre le terme de point aveugle, c'est peut-être le médecin lui-même qui n'est pas nécessairement fait pour durer dans cette scène. Ça ne veut pas dire que le médecin disparaît. Je pense que la clinique ou la pratique médicale évolueront sous d'autres angles. Il faut d'abord qualifier ces outils. Nous parlons de Foucault. Il y a un pouvoir exorbitant dont nous avons doté les médecins : c'est la capacité de distinguer entre le normal et le pathologique. Au fond, c'est totalement discrétionnaire, et souvent déterminé de manière statistique.

À un moment donné, on dit que ceci est une pathologie et que cela n'en est pas une. D'ailleurs, dans le monde tel qu'il est sur le plan capitaliste, des groupes d'intérêts peuvent pousser le fait que la norme de la glycémie et la norme de la tension artérielle soient plutôt celle-ci que celle-là. Il y a des fins qui sont de différentes natures. Il y a possiblement des améliorations à des fins de la santé des populations, mais aussi des fins purement capitalistes. Nous avons mis ici un *gatekeeper*, un individu, le médecin, qui va pouvoir collégialement distinguer ce qui relève du normal et ce qui relève du pathologique.

Je pense qu'il y a ici une rupture assez majeure sur laquelle je n'ai pas d'idée déterminée, mais elle est assez fondamentale. Ce n'est pas la crise de la clinique, mais celle du rôle fondamental du médecin, qui s'est jusque-là exercé à établir les différences ou la ligne de démarcation entre ce qui relève du normal et ce qui relève de la pathologie. Si nous avons demain une IA et un logiciel extrêmement sophistiqué, qui nous dit avec précision ce dont on souffre et la prise en charge optimale en intégrant à peu près toutes les informations, pourquoi nous en priverions-nous ?

Le médecin gardera néanmoins sa place car nous avons besoin de parler. Nous avons besoin de quelqu'un en face de nous. C'est peut-être le retour non pas de la clinique, mais de la vocation initiale de la médecine : je ne suis pas entre le normal et le pathologique, mais entre la vie et la mort. J'échange avec un individu bardé de capteurs qui a dérivé sa propre prise en charge et nous parlons de la gravité ontologique des choses. La vie et la mort.

Tout cet espace entre le rôle actuel de la pratique médicale usuelle, normale et pathologique, et ce rôle plus chamanique du fait de discuter de la chose la plus fondamentalement existentielle, la mort, sera conquis de façon inévitable par les technologies.

Question 5

Membre du public

Ce lien ou cette relation médecin-patient est fondamentale. Ma relation avec vous sera toujours unique. C'est vraiment unique et c'est insondable par les machines. Pour l'intelligence artificielle, tout ce qui est émotionnel, qui relève des humeurs, reste toujours géré par un algorithme de mimétisme.

Alain Loute

Sortir de la rhétorique de la disruption est une des choses qui m'a passionné dans le projet echOpen. À un moment donné, ce sont des médecins qui pensent à la façon d'intégrer une innovation comme celle-là dans la pratique médicale, plutôt que directement pré-cadrer le débat en disant que la technologie fera disparaître le médecin ou d'autres prophéties du même type. Il s'agit plutôt de réfléchir à la façon d'inscrire cela dans une histoire plus longue.

C'est aussi une garantie pour que l'innovation puisse avoir un sens et être utile. Il y a un auteur que j'aime beaucoup, Andrew Feenberg. Il a tendance à dire que l'histoire des techniques nous apprend finalement une chose : quand nous réfléchissons au développement technologique, nous constatons que d'autres développements technologiques auraient pu être possibles. Je n'ai pas d'exemple en tête, mais si nous entendons par « nécessité » une nécessité fonctionnelle, fonctionnaliste et liée aux usages, d'autres développements technologiques auraient pu avoir du sens, mais ils ne se sont pas imposés pour des raisons aussi sociales.

Dernière réflexion : dans tous les bouleversements que des technologies comme celles-ci peuvent inaugurer, nous avons peut-être aussi intérêt à remettre en question le cadrage du débat comme celui du médecin face à la machine. Finalement, un des effets les plus forts de ces innovations sera peut-être de répartir ces compétences sur plusieurs professionnels de santé, médicaux et non médicaux, plutôt que de faire disparaître les professionnels. C'est aussi une question que cette technologie ouvre.

Ce sont des schémas de collaboration un peu inédits et nouveaux entre radiologues, cardiologues, médecins, urgentistes ou pompiers. C'est ce que j'entends par « spatialisation ternaire » chez Foucault. C'est finalement une nouvelle organisation qui se dessine.

Nous sommes peut-être un peu coincé dans les débats consistant à dire que le clinicien ou le radiologue vont disparaître avec l'IA. Nous avons fait un travail de terrain avec Gérald Gaglio¹ sur l'utilisation de l'intelligence artificielle avec un logiciel de détection de fractures en traumatologie. Dans un des cas d'étude, un chef de service dans un CHU avait comme projet d'expérimenter la technologie dans son service. Elle avait été mise à disposition par une firme pour quelques mois. Il avait vraiment en tête l'idée que la plus-value de cette technologie était plutôt organisationnelle et même symbolique. D'une part, cela permettrait peut-être de motiver les jeunes radiologues à interpréter les radiographies alors que l'IRM ou le scanner sont peut-être plus *fun*. Cela redonnerait quelque chose au niveau symbolique. D'autre part, ces technologies d'IA, avait pour but d'envoyer un *red flag* et de mettre au-dessus de la pile les radiographies qu'il faut peut-être prioritairement regarder. Nous voyons que nous sommes davantage dans l'ordre de l'innovation organisationnelle que d'une innovation de l'acte de diagnostic en tant que tel.

1 Gérald Gaglio est sociologue de l'innovation et l'un des deux intervenants du chapitre 7 « Écosystème de l'innovation ».

Discussion 3

L'innovation pédagogique

Question 6

Membre du public

Avez-vous commencé à réfléchir et à agir sur la question de la formation avec echOpen ?

En termes d'images générées, avez-vous réfléchi aussi aux images qui doivent être conservées ? Les images sont-elles intégrées dans le dossier du patient et conservées ailleurs pour le soin ? Est-il éventuellement possible d'y revenir ? Je pense bien sûr à l'après et à une éventuelle utilisation secondaire sur cet aspect un peu plus technique de la vie des images générées. Y a-t-il un délai de conservation ?

Mehdi Benchoufi

Pour répondre rapidement, nous récoltons des images et des vidéos. Elles remontent dans un *cloud* HDS sécurisé, avec tout ce qu'il faut de RGPD. Tout cela permet ensuite au praticien de pouvoir récupérer ces

données en vue d'une seconde analyse, en vue d'archive ou de partage avec ses collègues.

On est en mesure de créer des interfaces avec des systèmes d'information. Mais cela suppose un effort de compatibilisation entre notre système et un système en particulier. Nous avons une offre dans ce sens. Nous ne sommes pas déployés aujourd'hui de cette façon, mais l'objectif est de pouvoir nous situer dans des environnements hospitaliers où nous récoltons des données. Elles seront ensuite tout de suite poussées dans le PACS, qui gère et stocke les informations d'imagerie.

Il y a peut-être ici un élément d'innovation, mais c'est vraiment tech-tech. Ça ne vous intéressera pas trop, mais notre *cloud* qui héberge les données a la particularité d'être encapsulé dans un système qui nous permet de nous déployer dans toute situation et tout contexte géographique. Chaque pays a aujourd'hui des exigences propres en termes de données et de souverai-

neté sur ses données. Un système figé et que nous pouvons développer uniquement dans des infrastructures spécifiques n'est pas de nature à pouvoir être déployé ailleurs. Le nôtre peut être copié-collé d'une structure à l'autre. C'est d'ailleurs un élément d'innovation qui nous différencie de certains de nos concurrents.

Sur la formation, nous n'allons pas épouser tout le spectre de la formation entre le moment où je reçois une sonde et le moment où je suis tout à fait en confiance pour faire de l'échographie, mais nous allons agir sur un certain nombre d'éléments par nous-mêmes et en partenariat pour d'autres. Il y a la prise en main elle-même, ce que nous accompagnons nous-mêmes avec des exercices très simples: je prends la sonde, j'ai des petites fiches qui me permettent de faire mes premières échographies sur moi-même, je commence par le cou, la carotide et la jugulaire. C'est à la portée de n'importe qui, c'est une coupe simple. Il y a une coupe un peu plus compliquée, mais toujours dans la même zone. Je prends une coupe transversale et je tâche en même temps de repérer la thyroïde, puis l'artère thyroïdienne inférieure. Nous allons dans des niveaux de complexité croissants. Nous terminons le parcours par le cœur, ce qui permet à l'opérateur de dédramatiser le geste et de commencer à apprendre l'échographie normale avant de passer à la partie pathologique.

Sur la connaissance des pathologies, on en fait assez rapidement le tour. Encore une fois, il y a une boule ou il n'y en a pas. Il y a du jus ou il n'y en a pas. Il y a des épanchements ou il n'y en a pas. Les éléments de sémiologie échographique pathologique ne sont pas compliqués. Ce qui est difficile, c'est d'être capable de faire de l'échographie sur tout patient, en tout contexte, indépendamment de son échogénicité. C'est-à-dire qu'il n'est pas trivial d'aller chercher des coupes de base standard anatomique. Il y a ici un besoin de formation *in situ*. Il se trouve qu'il y a énormément de Diplômes universitaires (DU) et d'offres de formation privées et publiques. Nous travaillons aussi sur ces sujets avec l'AP-HP pour trouver les bonnes interfaces pour permettre la préhension du geste, indépendamment de la partie pathologique. C'est au fond assez contre-intuitif.

Ma conviction est que nous pouvons nous dire au début que la partie pathologique demande énormément d'expérience. Oui, elle le demande pour un cardiologue qui va aller chercher des valvulopathies compliquées. Pour quelqu'un qui fait de l'échographie clinique et qui va chercher des signes simples, cette partie n'est pas difficile. En revanche, il est très exigeant d'être capable de retrouver toutes les coupes d'intérêt, de façon systématique et quel que soit le patient. Sur ce deuxième volet, nous traiterons en partenariat.

Enfin, je pense qu'un élément important est le compagnonnage. Nous avons une application mobile qui permet à celui qui acquiert des données de les partager avec les collègues en vue d'une seconde lecture. Il peut savoir s'il est plus ou moins bien positionné, si le signe d'intérêt qu'il a vu est effectivement le bon signe ou s'il doit refaire son geste. C'est à peu près le périmètre que nous couvrons aujourd'hui. Nous avons des ambitions très fortes d'utiliser l'intelligence artificielle à différentes fins. Nous souhaitons complètement cartographier, en temps réel, l'environnement anatomique. Cela permet à l'opérateur de retrouver des repères tout de suite. Par ailleurs, il s'agit aussi d'utiliser des outils de simulation pour pouvoir virtualiser le corps.

Nos premiers prototypes commencent à tourner: vous avez votre sonde, vous la sortez de son emballage, vous avez une caméra d'ordinateur ou de smartphone qui traque, détecte et suit le dispositif. Elle reproduit sur l'écran un patient virtuel et vous êtes capable de vous promener dans un patient virtuel et de retrouver vos repères anatomiques. C'est une première façon de se familiariser avec ce en quoi l'échographie se distingue du scanner, de l'IRM ou de la radiographie standard. C'est une imagerie acquise par l'opérateur médecin. Elle doit être interprétée en temps réel. Elle est dynamique et tridimensionnelle. L'anatomie que nous avons apprise est transversale et basique sur une radiographie de thorax ou sur un scanner. Sur de l'échographie, c'est beaucoup plus compliqué.

Discussion 4

Qu'y a-t-il d'innovant ?

Question 7

Nicolas Castoldi

Nous avons quelque chose d'un peu particulier dans cette manière de tisser le passé, le présent et le futur. Nous voyons cette mécanique très bien décrite par Bruno Latour dans un sens totalement différent dans son livre sur la fabrique du droit. Il insiste énormément sur la manière dont le Conseil d'État fait un revirement de jurisprudence. Tout le discours est construit pour dire que nous changeons d'avis à la fin. Il s'agit de réussir à reconstruire une forme de continuité. C'est une chose neuve et intéressante.

Par ailleurs, le cas d'echOpen est intéressant car au fond, quand vous racontez l'histoire d'echOpen, vous racontez aussi l'intuition que l'échographie ultra-portable va arriver, mais que c'est quelque chose d'assez ancien: il y a une vision très largement partagée que cet usage de l'échographie va arriver. Nous voyons bien par ailleurs que ce n'est pas une innovation au sens

où il y a une chose radicalement nouvelle qui arrive: c'est prédit par la littérature. C'est rendu possible par les changements technologiques mais, à un moment, tout cela coagule. Cela rend effectivement possible quelque chose de neuf qui est encore quelque chose de prévu. Ce qui est nouveau dans la démarche, c'est de réussir à faire ce que vous avez fait: un outil petit, robuste, quelque chose qui n'est pas cher, intégré et réussir à convaincre.

C'est vraiment différent de l'imaginaire de la rupture, de la création. Je trouve qu'il y a un deuxième grand champ de sujets. Dans cette espèce d'opposition entre, d'un côté, une technique poussée à l'extrême, assise sur une expérience extrêmement large qui permet d'avoir une vision extrêmement fine - le fait d'incorporer les médecins - et de l'autre la mécanique absolue, il y a une espèce de parenté. Le médecin se fait l'admirable clinicien. C'est quelqu'un qui est nourri par une expérience considérable, une somme d'études

et l'incorporation de pratiques et d'expériences. Il n'a pas la finesse et la régularité d'une machine.

Je caricature un peu, mais on voit bien que l'on a parfois opposé les deux en mettant d'un côté la médiation technique et de l'autre la médiation humaine. En fait, le très grand clinicien est aussi une très grande machine à souder. Il y a une forme de lien entre les deux et on peut tenter ce rapprochement, comme dans la description que vous faisiez de la palpation du foie.

Troisième et dernier commentaire. Vous avez posé une magnifique question qui consiste à se dire qu'à la fin des fins, le soin n'est pas un rapport à soi-même médié par quelque chose d'autre. Il se trouve qu'historiquement cette médiation aurait été les médecins. Je parle de médiation humaine et incorporée. Nous pouvons nous dire éventuellement que d'autres médiations sont possibles. En tout cas, la médiation humaine incorporée, le spectre particulier qu'est le médecin, ce n'est pas une question simple. Je trouve que derrière cela, il y a au fond deux visions possibles et je ne sais pas laquelle est la bonne.

Il y a une manière de dire que la médiation humaine est née d'une espèce contingente de la médiation qui consiste à dire qu'à la fin des fins, le progrès et l'amélioration, c'est d'être capable de spécifier toutes ces règles de manière à pouvoir attraper les cartes toujours de manière utile. Au fond, le cheminement est une caractérisation de plus en plus grande qui vous permet de dire que l'expérience donnée par l'humain dans une décision n'est que l'expression du fait qu'il y a un moment d'incompréhension. À la fin, cela peut se retrouver dans des séries de règles applicables catégorisées par le détail où vous pouvez réautomatiser la machine. L'intelligence de la modélisation, c'est de toujours savoir appliquer la bonne règle au bon cas. À un moment, dans l'histoire, plus nous l'élargissons, plus nous pouvons diversifier. C'est l'option n°1.

L'option n° 2 consiste à dire qu'il y a dans la médecine quelque chose qui relève du *jugement au sens fort*. Le jugement ne consiste pas simplement au fait de se rapporter à un cadre, c'est aussi décider de basculer éventuellement la règle. Je donne un exemple vécu. Je mets un même patient face à deux cardiologues, un jeune et un vieux. Je mets les mêmes sortes d'interventions dans les deux cas. Le jeune dit que les conditions sont réunies et qu'il faut faire tel traitement. Le vieux cardiologue va dire qu'il y a certes des points d'attention, mais que pour de nombreuses raisons, il juge qu'il ne faut pas le faire.

Il y a donc deux branches. Il y a une branche où vous dites qu'à la fin des fins, tout est ramené à des règles. C'est l'imperfection des règles à date qui fait éventuellement que l'humain est plus intéressant qu'une machine. L'autre branche consiste à dire qu'au fond la partie intéressante de la médecine n'est pas celle qui se contente d'appliquer la règle. C'est celle qui écarte éventuellement la situation de la règle et qui construit une règle singulière qui ne sera pas forcément généralisable, mais qui permet de prendre en charge le patient. Il y a cela derrière cette question de jugement, une question assez ancienne à laquelle nous ne savons pas très bien répondre.

Le plus grand théoricien de tout cela était Aristote qui a fini par dire que la prudence est une règle molle. Quand nous nous demandons ce qu'est une bonne décision, nous regardons qui est l'homme qui prend les bonnes décisions. Nous ne pourrions pas définir la règle, mais ceux qui font advenir la règle.

Une manière de trancher la question que vous posez est de se dire que ce que nous faisons est automatisable jusqu'au bout. Une version faible est de se dire que la relation humaine est irremplaçable. Nous avons toujours un besoin de parler à quelqu'un. Il y a

une médiation entre humains. Je trouve qu'il y a une autre question qui consiste à se demander si ce qui est intéressant n'est pas ce qui ne s'automatise pas. Comment voyez-vous cela ?

Mehdi Benchoufi

Sur l'innovation de rupture, il faut savoir rester très modeste. Je pense qu'il n'y a pas d'innovation de rupture et que les choses adviennent par nécessité. Parmi les entrepreneurs, vous savez que nous avons souvent des cofondateurs. Nous pouvons fonder ou cofonder la théorie des faisceaux; cofonder une entreprise est une autre histoire. Il y a une chose qui m'a marquée dans mon cursus mathématique. J'ai fait un premier début de thèse avec un directeur qui a grandi et exercé en Union soviétique. Il s'est ensuite installé en France. Alors que les deux blocs s'ignoraient, il me rapportait que l'on avait fini de traduire les œuvres de mathématiciens, physiciens et théoriciens soviétiques qu'à la fin des années 1990.

Au fond, il y avait des découvertes de deux mondes qui s'ignoraient dans un monde particulièrement abstrait. Ils ne communiquaient pas aisément, mais il y avait des découvertes quasi synchrones; ce qu'on retrouve dans *La structure des révolutions scientifiques* de Thomas Kuhn. Je trouve que c'est très frappant. Ce sont vraiment deux mondes qui s'ignorent quasiment et dont nous comprenons au fond que les idées procèdent aussi d'une certaine nécessité. Elles adviennent. Elles se disent au travers d'eux, pas de quelqu'un qui se réveillerait un matin saisis d'une fulgurance.

À contre-propos, je pense à la partie physique des sciences au XX^e siècle. Les mathématiciens ne sont vraiment pas connus, mais nous avons eu la chance d'avoir Einstein. Les grandes découvertes d'Einstein et son génie étaient aussi en creux chez Poincaré pour la relativité restreinte, ou chez Hilbert pour la relativité générale. Je crois qu'il y a un nombre impair de correspondances entre Hilbert et Einstein; Einstein n'a pas répondu à la dernière lettre qui contenait la formule et quelques semaines plus tard, il y aura un fameux papier. Cela n'empêche pas qu'il a évidemment l'immense paternité de cette théorie et de sa compréhension sur le plan physique.

Je suis assez en phase avec ce que vous disiez sur le fait qu'il n'y a pas d'innovation qui advienne *ex abrupto*. En général, elles procèdent d'une certaine histoire des choses dont nous ne sommes que de modestes vecteurs et hommes-serviteurs.

Sur l'autre aspect, j'ai formulé les choses avec une volonté caricaturale. Je vais donc m'enfoncer dans la caricature. Je pense non seulement que la médiation peut se faire de soi à soi par une série de capteurs que sont les intelligences artificielles elles-mêmes. Je ne sais pas si vous êtes familier d'un film qui s'appelle *Her*. Si vous ne l'avez pas vu, je vous le recommande vivement.

C'est un individu qui échange avec une intelligence artificielle. Il dialogue et il crée une relation. Avant les IA très développées et avant *Her*, nous avons eu par exemple dans les années 2000 un réseau qui s'appelait « Second Life », un réseau complètement virtuel où vous alliez dans un espace qui reproduit un peu le monde avec des avatars et vous échangiez. C'était un moment un peu particulier parce que nous nous retrouvions dans un monde où toutes les barrières sociales tombaient. En réalité, quand on échange en société, en quelques instants, la façon dont les gens se présentent, le lieu où ils se trouvent et la façon dont ils sont habillés conditionnent les choses. Si c'est dans

le cinquième arrondissement, cela conditionne les choses. Ce sont des expériences sociologiques assez spéciales.

En fait, nous pouvons aussi construire des relations émotionnelles avec des intelligences artificielles ou en tout cas avec des structures parfaitement virtuelles. Nous n'avons d'ailleurs pas attendu l'IA pour le faire. Un enfant avec son doudou va créer un tissu relationnel et émotionnel riche, créatif et fantasmé. Il sera plein de choses. Je pense que la médiation est le moment où nous avons besoin de parler et de poser des choses sur des sujets éminemment essentiels. Là non plus la technologie n'est pas absente.

Des expériences assez géniales avaient été faites au MIT sur la mise en condition, dans des expériences virtuelles, de relations sociales qui sont des relations adverses. C'était des exercices d'empathie de quelqu'un qui pourrait avoir un *a priori* favorable à un camp plutôt qu'un autre. En l'espèce, c'était la Palestine et Israël. Pour chacun des camps, il s'agissait de s'immerger dans le camp opposé ou adverse et d'appréhender complètement l'expérience de l'autre, sa façon de penser et de réfléchir aux sujets en question. Je ne me rappelle plus exactement les conclusions, mais il y a des transferts émotionnels possibles au terme de cette expérience.

Ce qui relève du pathologique et ce qui n'en relève pas est un choix que nous avons laissé à une corporation. Je pense que ce choix nous appartient à tous.

Ces cinquante dernières années, ce sont les associations de malades et d'aidants qui s'investissent dans ce sujet. Est-ce que j'accepte ou pas ce qui m'est établi comme étant une norme ? Est-ce que je prends un traitement parce que les médecins me demandent de me traiter ? Mais j'ai d'autres façons de négocier la tension entre la vie et la mort. Il y a la qualité de vie qui vient la pondérer d'une façon ou d'une autre. Il n'est donc pas évident de situer le positionnement clé des médecins.

Néanmoins, le fait d'avoir un partenaire avec lequel nous échangeons sur les fondamentaux existentiels comme la vie et la mort, la présence d'un médecin, est vraisemblablement quelque chose de durable.

Reconnaissance d'images

Le diagnostic radiologique d'endométriose accompagné par l'intelligence artificielle

06

Raphaëlle Taub

Raphaëlle Taub, docteure en physique, a développé un outil d'intelligence artificielle pour la reconnaissance d'images, en particulier à travers l'entreprise Matricis.ai, spécialisée dans l'aide au diagnostic radiologique d'endométriose, qui sert d'appui pour cette discussion.

Vincent Israel-Jost

Vincent Israel-Jost a d'abord obtenu un doctorat en mathématiques appliquées sur le sujet de la reconstruction des images en médecine nucléaire, puis un doctorat en philosophie des sciences sur l'observation scientifique ayant mené à la publication d'un livre¹. Il s'intéresse notamment à l'analyse des images scientifiques par le concept d'observation. Il a également publié en 2021 un ouvrage sur les différents concepts d'objectivité². De 2020 à 2024, il a travaillé sur la maladie d'Alzheimer en tant que chercheur post-doctorant au CESP [Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations], dans l'équipe « Recherches en éthique et épistémologie », dans le cadre du laboratoire d'excellence DistAlz.

- 1 Vincent Israel-Jost, *L'observation scientifique: aspects philosophiques et pratiques*, Histoire et philosophie des sciences 8 (Paris: Classiques Garnier, 2015).
- 2 Vincent Israel-Jost, *Objectivité(s)*, Science, éthique et société 10 (Louvain-la-Neuve: Academia-L'Harmattan, 2021).

Conférence ①

Raphaëlle Taub

Raphaëlle Taub

Docteure en physique (des solides), cofondatrice de Matricis.ai

Comment suis-je arrivée à monter une start-up ? Ce n'est pas forcément très courant chez les docteurs en général en France.

À l'origine, j'avais fait l'ENS en physique. En quatrième année, on peut être employée pour faire à peu près ce que l'on veut. J'ai fait un Master de l'Université PSL qui a maintenant disparu et qui s'appelait « innovation et entrepreneuriat ». Au même moment, j'ai travaillé pour un incubateur de start-ups *deep tech*, Agoranov. Ce sont des start-ups qui doivent dépasser de fortes barrières technologiques pour accéder à un marché. J'ai su que je voudrais monter une entreprise plus tard. J'ai d'abord fait une thèse (sur un sujet qui n'a rien à voir avec notre thème d'aujourd'hui) puis un MBA, parce que je savais que je voulais retourner dans le privé. J'ai travaillé par la suite dans le domaine de la réassurance pendant un an et demi, ce qui commence à se rapprocher de notre thème. Enfin, je me suis lancée avec mon associée, Élise, dans la création de Matricis.ai.

Je ne viens donc pas du monde médical. Mon associée est elle-même atteinte d'endométriose. Elle avait vu dans son parcours la difficulté d'obtenir un diagnostic. Elle était en particulier allée voir plusieurs médecins issus de la même chapelle diagnostique de la maladie, mais qui travaillaient en plus dans le même cabinet. Ils lui avaient fait des examens différents et lui avaient donné des résultats et un diagnostic différents.

Elle m'a parlé de son idée d'appliquer l'IA au diagnostic de l'endométriose. Je me suis dit que cela existait probablement déjà car j'avais travaillé dans cet incubateur de start-ups, ce qui m'avait donné une vision très biaisée du niveau de maturité et du niveau de déploiement des technologies médicales et des technologies en général.

J'avais déjà vu des entreprises qui faisaient cela sur d'autres pathologies. Nous avons regardé ensemble et nous sommes rendues compte que ça n'existait pas. La première chose dont nous avions besoin pour créer un outil ou un projet de ce type consistait à savoir si ce serait utile à des médecins. Le principe de base est de nourrir l'IA avec un ensemble de données annotées par quelqu'un qui sait le faire correctement et d'enseigner ensuite au réseau de neurones à répliquer cette expertise sur une nouvelle image. Nous avons donc forcément besoin d'une base de données.

Nous avons écrit à tous les médecins qui étaient cités dans le grand plan « endométriose » que l'État venait de publier. Corinne Bordonné nous a répondu et nous a mis en lien avec le service de radiologie de l'Hôtel-Dieu, en particulier avec le Pr Élisabeth Dion qui dirige le service.

Nous lui avons présenté le projet. Nous avons aussi rencontré les services d'innovation de l'AP-HP, qui nous ont conseillé de nous rapprocher de l'Inria (Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique) qui dispose d'un laboratoire cohabité avec l'APHP : le laboratoire Bernoulli.

Nous avons quitté le giron de l'Inria au début du mois de septembre 2023 et sommes allées dans l'incuba-

teur où j'avais travaillé auparavant. Depuis lors, nous développons notre produit. Nous sommes en train d'entraîner notre réseau de neurones sur davantage d'images pour améliorer ses performances.

Quel est le but de ce produit ? Quand nous avons une patiente qui va faire une IRM, elle ne voit jamais la console du radiologue qui est dans une autre pièce. Sur cette console, le radiologue a défini les séquences que nous voulions faire passer en fonction du contenu dans la lettre d'indication, ainsi que des séquences spécifiques pour l'endométriose ou pour une suspicion d'endométriose. Grâce à notre algorithme, nous allons placer des carrés et des boîtes autour des zones suspectes pour aider le radiologue dans sa lecture. C'est à la fois pour lui apporter de la réassurance dans sa lecture, mais aussi pour lui faire gagner du temps. C'est une technologie d'aide au diagnostic, qui accompagne les radiologues pour la lecture d'images.

Ce n'est pas du tout nouveau, cela existe depuis 2016. Le tout premier a été produit pour du diagnostic cardiaque. C'est plus développé aux États-Unis, parce que davantage de produits sont approuvés par le régulateur américain que par le régulateur européen : il y en a environ 400 aux USA. Sur ces 400, il n'y en a aucun pour les pathologies gynécologiques. Nous sommes donc les premières à développer cela. La gynécologie est compliquée. Il y a de nombreux organes et l'endométriose, en particulier, est une maladie disséminée. Nous ne serons pas sur le marché avant 2027 ou 2028. Ce sont des produits qui, du fait de la régulation, prennent du temps à être développés.

Ce qui m'amène à ce premier constat concernant le concept d'innovation. Souvent, on le considère renfermer une connotation très positive associée au concept d'innovation. C'est pour tout le monde un terme qui porte des valeurs positives. Nous avons davantage envie d'être catalogués comme innovateurs que comme réactionnaires ou comme faisant « de vieux trucs déjà faits ». Il y a donc certainement aussi un intérêt à entrer dans la case de l'innovation, car cela ouvre certainement aussi des portes. Nous pouvons postuler à certaines aides. Il y a cette espèce de monde bouillonnant des start-ups, assez axé sur ces dispositifs, sur ces bourses, ces aides et ces soutiens. Il y a donc peut-être aussi quelque chose de prestigieux, à tort ou à raison, à être catalogué comme innovateur. Par comparaison, nous pourrions dire que c'est un peu comme être catalogué « artiste d'avant-garde ». Si cela suscite l'intérêt, ça peut même susciter la fascination.

Mais en pratique, on se heurte à l'inconnu. L'innovation coûte très cher en tout. Il faut systématiquement trouver un chemin pour faire ce qui n'a jamais été fait auparavant. Cela coûte du temps, et le temps représente de l'argent. Il faut donc pouvoir survivre jusqu'au point où l'on arrive à faire quelque chose qui nous en rapporte. Tout l'enjeu est là. Il est très fréquent que les gens qui sont les premiers à innover sur un marché ne soient pas ceux qui exploitent véritablement le marché : ils « meurent » avant. Ils ont tracé la voie pour quelqu'un d'autre.

Et il ne s'agit pas là de l'aspect technologique de l'innovation. Par exemple, être la première start-up de l'Inria et de l'AP-HP. Il nous a fallu un an pour négocier l'accord entre les deux instituts, malgré la préexistence

d'un accord-cadre, qui a beaucoup accéléré les choses. J'aurais préféré être la deuxième *start-up* qui relève de ce partenariat. Elle pourra reprendre le même accord, mettre son nom en en-tête et ce sera terminé.

La deuxième question sur l'innovation est un peu plus technique. Nous parlons d'IA, d'intelligence artificielle et d'apprentissage. Ces techniques comment à être assez installées dans le paysage scientifique et technique, quelque chose qui devient relativement générique. Une IA, c'est quelque chose qui apprend à partir de cas supervisés.

On pourrait donc penser, au fond, que le fait d'entreprendre pour une nouvelle application, en l'occurrence pour une endométrieuse, ne relève pas tellement d'une innovation technologique, mais de l'utilisation d'outils dont peuvent désormais s'emparer toutes sortes d'acteurs, pour toutes sortes d'applications. Qu'il suffirait de prendre un outil générique et de le faire mouliner avec d'autres données.

En réalité, il y a beaucoup de choix qui sont fait quand on développe du *machine learning*; ce qui est en soi innovant. Il y a deux catégories: les choix que nous devons faire quand nous développons, et tous les choix qui sont faits dans la sélection des données, dans ce que nous décidons d'annoter, dans la façon dont nous décidons de les annoter et dans la façon d'agencer les différents composants les uns par rapport aux autres. Comment choisissons-nous les marqueurs? Comment faisons-nous dialoguer les systèmes de *machine learning* avec des systèmes experts pour arriver à un résultat final? C'est toute cette cuisine qui est innovante plutôt que l'outil que nous utilisons à chaque étape.

Par exemple, pour diagnostiquer les images, nous utilisons des CNN, les *Convolutional neural network*. Ce sont les réseaux de neurones qui lisent les images. Il n'y a rien d'innovant à utiliser un CNN pour lire une image, c'est le *benchmark* depuis 2012. Le *machine learning* n'est pas très ancien, mais il y a globalement eu un énorme *boom* en 2012, justement avec la lecture automatique d'images. On s'est rendu compte que ça fonctionnait très bien, et cela a fait exploser les *benchmarks* précédents avec d'autres types d'algorithmes ou les outils d'algorithmes de *machine learning* eux-mêmes. On a réussi à les entraîner de façon vraiment performante.

L'innovation n'est pas le fait que nous utilisons cet outil, c'est la façon dont nous le paramétrons, dont nous le combinons avec d'autres outils et dont nous l'adaptions. Nous pouvons aussi considérer que c'est innovant en termes d'impact sur le parcours patient. Par exemple, du point de vue du brevet, le fait que vous décidiez d'utiliser une chaise en tant que chapeau en fait un nouvel usage. Globalement, c'est innovant: ça devient un chapeau.

Mais même si sur le plan technique même, nous nous rattachons à de l'existant, il y a un dernier aspect d'innovation. Nous avons parlé de ces 400 logiciels autorisés par la FDA, dont pas un ne porte sur l'endométrieuse et la gynécologie en général. Nous sommes face à un énorme angle mort ici. Et l'on peut se dire qu'il y a un aspect particulièrement innovant à ne pas prendre cela comme une chose sur laquelle nous ne pouvons rien faire.

C'est globalement un énorme sujet sur la santé des femmes: à chaque fois que je parle à un médecin, je me dis toujours que la santé des femmes, c'est le parent pauvre de la médecine, avec la santé mentale.

En santé des femmes, il est certain qu'il y a un problème. Il y a un problème à tous les niveaux de la

chaîne de valeur. Pour commencer, il y a un problème au niveau de la patiente elle-même: soit son entourage, soit elle-même se dit que son symptôme n'est pas un symptôme, parce que la douleur est normale ou parce que des saignements extrêmes sont normaux ou que des douleurs extrêmes sont normales. Et souvent, il y a un problème au niveau du diagnostic quand on va voir son médecin généraliste. Il peut globalement soit lui dire la même chose, soit potentiellement faire un mauvais diagnostic. Il y a aussi des problèmes au niveau de l'imagerie.

Il y a des problèmes sur toute la chaîne de valeurs, mais surtout des problèmes à la fin, en termes de traitement. Le fait de ne pas diagnostiquer fait que nous développons forcément moins de traitements. Le fait que les patientes aient globalement moins de demandes entraîne que nous développons moins de traitements. C'est un peu le serpent qui se mord la queue. En santé des femmes, rien que pour l'endométrieuse, la marge d'erreur d'un papier à un autre sur la prévalence de la maladie est hallucinante. Je vous disais qu'aux États-Unis, certains papiers disent qu'il y a une prévalence de 1% et d'autres papiers disent qu'il y a une prévalence de 50%. Il est complètement fou que nous ne connaissions pas le chiffre n°1 de l'épidémiologie, qui est la prévalence de la maladie.

Nous nous accordons globalement pour dire que cela concerne à peu près une femme sur sept à dix. C'est fou car c'est quand même une maladie qui a été découverte au 19^e siècle. Ce n'est pas comme si c'était une maladie que nous avons découverte très récemment, comme le sida.

Conférence ②

Vincent Israel-Jost

Vincent Israel-Jost

Docteur en mathématiques appliquées et en philosophie des sciences

Je vais vous proposer une comparaison qui peut sembler un peu bizarre entre deux concepts que nous aurions au départ un peu du mal à rapprocher: les concepts d'innovation et d'objectivité.

Je vous demande de me faire confiance sur le fait qu'il n'est pas complètement absurde de lier ces deux concepts, et puis d'avancer avec moi pour comprendre en quoi nous pouvons effectuer ce rapprochement.

Qu'est-ce que l'objectivité? C'est faire attention aux biais. C'est *ne pas être* subjectif. L'objectivité et la subjectivité fonctionnent souvent en couple.

Si je prononce ces deux mots, «innovation» et «objectivité», il y a en effet peu de chances pour que l'on commence à les associer, à y voir un sens ou une connotation commune. Mais ces deux mots partagent au moins, dès le départ, un domaine d'application qui est la science et la technologie. Et ce que j'aimerais montrer, c'est que ces deux concepts nous entraînent sur des lignes de pensée assez similaires à mesure qu'on se penche sur eux.

Pour reprendre ce qui a été dit, on peut commencer par parler d'une ligne d'avancée en matière d'innovation, disons évidente, pas au sens où elle est facile pour celle qui la font, mais au sens où c'est celle qui nous vient immédiatement à l'esprit: celle de l'avancée technoscientifique. On innove parce qu'on invente un nouveau dispositif matériel qui permet d'aller plus loin ou de faire mieux quelque chose. On passe par exemple de la chirurgie à la chirurgie assistée par un robot ou bien de la radiologie au diagnostic assisté par ordinateur. Donc on développe un dispositif - que j'ai qualifié de «matériel», mais il est de plus en plus souvent logiciel - qui crée de la nouveauté dans un champ d'application. On fait mieux, on devient plus précis, on réduit le taux d'erreur, ou bien on fait aussi bien que l'humain mais à moindre coût, en moins de temps, etc.

Mais ce type d'avancée ne se réduit pas à de nouveaux appareils ou de nouveaux logiciels. Il s'agit en fait de toute nouveauté technoscientifique qui peut intervenir pour accomplir certaines tâches plus facilement ou mieux. De nouvelles idées mathématiques, des manières de bien mettre en équation ou de nouvelles méthodes de résolution d'équation, etc.

Ce que j'aimerais proposer ici, c'est de se représenter tout cela comme un effort de focalisation. On a un but et ce but qu'on se donne, on cherche à l'atteindre par des moyens toujours plus efficaces, plus précis, plus rapides, plus rigoureux... C'est la première ligne d'avancée, la plus évidente: celle qui vient en premier à l'esprit en matière d'innovation.

Dans l'application que nous discutons aujourd'hui - l'interprétation d'images médicales - on se dote ainsi de logiciels d'analyse d'images qui reposent sur des méthodes d'apprentissage qui ont été développées ces vingt dernières années et qui témoignent de progrès fulgurants entre ce que j'ai connu en tant que chercheur du domaine dans les années 2005 à 2010. On cherchait encore beaucoup à accomplir des tâches par des méthodes explicites et le développement de méthodes par apprentissage atteignent aujourd'hui de

bien meilleurs résultats grâce à une approche totalement différente. Il me semble qu'il y a là un premier rapprochement qui s'opère avec l'objectivité qui, en première analyse, admet une compréhension similaire. Comment comprend-on ce qu'est l'objectivité?

L'objectivité, comme on l'a évoqué plus tôt, fait tout de suite penser à la subjectivité. La subjectivité apparaît comme l'ennemi, particulièrement en sciences. En médecine, face à deux professionnels différents, vous n'avez pas envie d'être envoyés vers deux examens différents. Et si c'est le même examen, vous n'aimeriez pas qu'ils posent des diagnostics différents. Nous aurions envie qu'il y ait une espèce de norme qui gouverne tout cela; que finalement, si je vais voir Monsieur X ou Madame Y parce que j'ai un problème, ce soit détecté de manière à peu près identique.

L'objectivité est le contraire de la subjectivité; du moins, son contrepoids. Pour nous, l'objectivité, c'est cette attention toute particulière que nous avons à dépasser le cadre individuel. On le voit particulièrement en sciences, mais on parle aussi d'objectivité en journalisme par exemple. Chaque journal va mettre sur la table son objectivité. Même s'il y a une ligne éditoriale derrière, il est important de toujours se prétendre objectif. Comme dans les usages du mot «innovation», nous avons affaire avec le mot «objectivité» à quelque chose qui est très souvent valorisé.

L'objectivité est tout ce que nous pouvons mettre en œuvre pour nous rendre indépendants des individus. Lutter contre la subjectivité, c'est d'ailleurs non seulement lutter contre les différences individuelles - contre par exemple les différences d'expérience, de compétence, de dextérité entre plusieurs opérateurs - mais c'est aussi lutter contre les différences intra-individuelles, c'est-à-dire le fait qu'un même individu ne réagisse pas de la même manière selon qu'il est en pleine forme ou bien fatigué, énervé ou stressé. C'est donc un idéal qui gouverna la pratique scientifique et qui œuvre tout autant dans le cadre médical.

Quand on regarde l'histoire des sciences et la manière dont l'objectivité s'est imposée comme l'un des standards incontournable de la science, tout cela est également passé par un déplacement graduel de l'humain vers des dispositifs techniques. Les exemples que donnent les historiens Lorraine Daston et Peter Galison dans leur livre référence, *Objectivité* en 2007, sont d'ailleurs exclusivement tournés vers la mise en image, montrant comment on est passé de la main de l'artiste pour représenter des phénomènes, à des dispositifs photographiques ou dérivés de la photographie dans la deuxième moitié du 19^e siècle.

Renforcer l'objectivité, éliminer la subjectivité, c'est donc passer par des dispositifs techniques, mais aussi des méthodes rigoureuses, des échelles de mesure; en bref, tout ce que l'on peut déployer sur le plan technoscientifique pour faire mieux, plus précis et avec moins de variabilité. On a donc des moyens qui sont tout à fait comparables à ceux que je viens d'évoquer pour parler d'innovation. En réalité, on serait même tenté de dire que les innovations qui automatisent, qui «mécanisent» comme écrivent Daston et Galison, qui mathématisent, qui protocolisent, vont dans le sens d'une plus grande objectivité. Et l'on retrouve ce même effort de focalisation.

Pour renforcer un peu ce lien que je tente de faire naître entre innovation et objectivité, on peut aussi parler de la recomposition qui touche la médecine depuis le milieu du 20^e siècle. On parle aujourd'hui de «biomédecine» pour désigner une médecine qui s'est scientifiée de différents points de vue. L'instrumentation s'y est énormément développée avec toutes les modalités d'imagerie micro et macroscopique; les outils de mesure aussi. Le lien avec la biologie s'est renforcé pour mettre au jour les mécanismes biologiques des maladies. La méthodologie a beaucoup évolué aussi avec la naissance des essais cliniques randomisés. Et c'est tout cet ensemble qui constitue à la fois une source d'innovations mais aussi, en général, une source de plus grande objectivité. Encore une fois, j'identifie ici un effort de focalisation. L'effort consiste à se donner des moyens plus sûrs, plus robustes, plus efficaces de répondre à une question. Est-ce qu'un traitement apporte des bénéfices? Est-ce qu'un diagnostic est sûr? On développe matériel et méthodes pour avancer sur ces questions.

J'aimerais maintenant poursuivre le travail en revenant sur cette autre ligne d'avancée de l'innovation qui est ressortie aujourd'hui, à savoir l'ouverture du regard sur un domaine négligé. On l'a vu, l'endométriose est un domaine de la santé féminine qui est totalement sous-investi au regard de toutes les avancées récentes en matière de diagnostic assisté par ordinateur. Or l'innovation est présente de manière essentielle dans le projet de Matricis.ai par la simple idée de chercher à faire progresser un pan négligé de la santé. En laissant de côté les aspects technoscientifiques – il y a aussi des challenges de cette nature, ce n'est pas un simple copier-coller de méthodes éprouvées et réapplicables –, il y a un autre mouvement de prise de recul qui consiste à ne pas s'accommoder d'un monde qui est aveugle à certains problèmes et qui sur-réagit à d'autres.

Il y a un geste, un geste neuf, qui est techniquement beaucoup plus simple mais dont beaucoup moins de gens sont capables, qui consiste à refuser l'évidence des problèmes jugés existants et de ceux jugés inexistants au préalable.

Ce que l'on met au jour ici, c'est véritablement deux pôles de l'innovation, l'un qui focalise et l'autre qui fait le mouvement inverse, qui se met à distance, qui prend du recul et qui interroge la pertinence des efforts déployés jusqu'ici.

Ce ne sont peut-être pas les seuls modes d'innovation mais ce sont ceux qu'il me semble intéressant de faire ressortir dans le cas présent. L'un prend une question pour acquiesce et met tout en œuvre pour y répondre en faisant preuve de créativité, d'inventivité, en s'appuyant sur des dispositifs ou des méthodes qui n'ont pas encore été employées jusqu'ici. L'autre est un effort réflexif sur la question de départ. En l'occurrence, celle-ci n'était pas présente, elle constituait un point aveugle. Parmi les 400 applications, comment se fait-il que cela n'ait pas été fait? Faut-il rester dans le *statu quo*? N'y a-t-il pas de questions à se poser?

Pour poursuivre mon analogie, je voudrais souligner que c'est exactement la même réalisation que l'on a avec l'objectivité. Il y a ce mode que je qualifierais de «dominant» dans l'imaginaire collectif, d'une objectivité qui focalise, qui tente d'apporter des réponses claires, précises et reproductibles à une question donnée en déployant un arsenal technique.

Et puis, il y a une autre objectivité dont nous parlons de plus en plus depuis une trentaine d'années, notamment grâce aux efforts de l'épistémologie féministe. Il s'agit de cette objectivité qui ne s'obsède pas de la lutte contre la subjectivité. Au contraire, elle s'appuie sur les ressources de la subjectivité pour faire avancer la connaissance. Qu'est-ce que cela veut dire?

Plutôt que de dire que toutes et tous doivent être de bons scientifiques, plus ou moins des copies conformes les uns des autres – comme tout médecin qui devrait diagnostiquer de manière identique – il y a dans leur diversité d'intérêts, d'histoires individuelles ou collectives, avec des facteurs de genre, de sexe, d'ethnie, de nationalité ou culturelle, des ressources sur lesquelles s'appuyer. Il est peut-être normal que 80 % des entrepreneurs, hommes, n'aient pas eu l'idée de développer des applications tournées vers la santé des femmes – peut-être pas *normal*, mais en tout cas, ça se comprend et se conçoit.

Il ne faut pas s'étonner que ce soit des femmes qui fassent émerger cette question, qui s'en emparent et qui la développent. Nous voyons très bien de quelle manière la subjectivité constitue une ressource. C'est ce qui a été souligné à partir des années 1980-90 par l'épistémologie féministe. Elle ne s'accommodait pas de ce discours dominant sur l'objectivité qui voudrait qu'une armée de blouses blanches en ordre de marche fasse avancer la connaissance scientifique de manière toujours satisfaisante. Certes, il y a quelque chose de désirable dans l'universalité, dans la reproductibilité et dans la compréhension mutuelle, mais il y a aussi des biais partagés. Il y a donc aussi un intérêt à aller chercher ce que chacun vit, soit individuellement, soit en fonction du groupe auquel il appartient.

Là où la vision établie de la science promeut une imagerie désincarnée, avec des chercheurs interchangeables, pour garantir la reproductibilité des résultats et l'universalité des pratiques et des connaissances, il y a désormais un pendant de l'objectivité qui promeut l'inclusion de points de vue situés. L'expérience des patients, spécialistes de leurs propres maladies et de leurs aidants sont désormais davantage valorisés comme pouvant apporter de meilleures connaissances, mieux établies, plus utiles, plus sûres.

Un regard situé permet de déceler certains déséquilibres dans la manière dont nous investissons l'espace des connaissances. Manifestement, ici, la recherche en analyse d'images était biaisée, au sens où elle conduisait à un déséquilibre. Or cette notion de biais nous permet de boucler la boucle: au fond, l'objectivité n'est pas que la lutte contre les manifestations de la subjectivité, des singularités individuelles. C'est plus généralement une attention aux biais, y compris les biais partagés à grande échelle. Et quand on repère un déséquilibre de ce type, on repère une injustice.

Ce cheminement de pensée que nous avons élaboré autour des innovations de Matricis.ai, en évoquant successivement les aspects techniques et les aspects réflexifs quant à la place de cet outil dans le champ de la connaissance, se retrouve sur cette question de l'objectivité. On a à la fois une objectivité *focalisante*, celle à laquelle on pense habituellement, celle qui neutralise la subjectivité en s'appuyant sur les techniques (instruments, méthodes, algorithmes...) et une objectivité qui repose sur une *réflexivité* devant notre paysage épistémologique et qui s'appuie sur les ressources subjectives pour procéder à des rééquilibrages.

Pour finir, il me semble donc que l'aboutissement réel, que ce soit pour l'innovation ou pour l'objectivité, n'est jamais que l'une ou l'autre de ces deux composantes. C'est l'emboîtement ou le couplage des deux composantes qui donne ce sens de réussite. Une avancée technique ne parvient au stade d'innovation qu'à condition qu'elle s'inscrive de manière adéquate dans le champ des désirs, des curiosités, des manques ou des besoins humains. S'il n'y a pas cet élément, si nous avons juste créé une nouveauté technique, nous n'obtenons au fond qu'un gadget. À l'inverse, il manque aussi quelque chose si nous faisons cet effort réflexif sans parvenir à le matérialiser.

Voilà donc en quoi il me paraissait pertinent de convoquer la réflexion sur l'objectivité pour mieux saisir ce qu'est l'innovation.

Discussion ①

Diffusion de l'IA en radiologie

Question 1

Membre du public

Je suis médecin et j'ignorais les produits déjà développés sur le marché, alors que je travaille en imagerie. Quelle est la diffusion auprès des cliniciens et radiologues et quelle est la connaissance de ces produits dédiés à la lecture d'images ?

Raphaëlle Taub

Je ne sais pas trop pour la France, mais un radiologue sur trois aux États-Unis est équipé d'au moins un produit, ce qui fait beaucoup. C'est très adopté. Évidemment, il n'y a pas forcément un produit par pathologie, mais il y a des produits différents sur les différentes modalités d'imagerie et sur les différentes pathologies.

Discussion ②

Fonctionnement de l'algorithme

Question 2

Alexis Rayapoullé

L'idée est bien de signaler les zones suspectes ? Un diagnostic n'est pas posé directement par l'algorithme ?

Raphaëlle Taub

Non. Nous avons deux informations. C'est classique dans nos types de produits. Avec un même modèle de *machine learning*, nous pouvons choisir différents points de fonctionnement. Comme n'importe quel diagnostic, nous pouvons rendre un diagnostic avec une sensibilité de 100 % en disant que tous les cas sont positifs, ou une spécificité de 100 % en disant que tous les cas sont négatifs.

Nous voulons évidemment faire un *trade-off* entre les deux. Nous faisons en général deux *trade-offs*, une version du modèle très sensible et peu spécifique et une version du logiciel très spécifique et peu sensible.

Nous donnons ces deux informations avec des codes couleurs différents de façon à donner ces deux interprétations au radiologue.

Quand nous voyons trois volumes multipliés par deux séquences, avec dix ou quinze images par volume, il y a un risque d'erreur. L'autre est davantage pour confirmer un diagnostic. D'un point de vue juridique, une IA comme celle que nous développons n'est jamais un diagnostic, mais toujours une *aide* au diagnostic. La responsabilité légale et la lecture reviennent au médecin.

Question 3

Membre du public

Cette machine dira-t-elle que c'est différent de « la normale » ou bien que c'est différent de type « endométriose » ?

Raphaëlle Taub

En l'occurrence, elle dira plutôt que c'est différent « endométriose ». Elle mettra alors un carré autour d'une zone pour indiquer qu'elle pense que ceci est de l'endométriose. C'est le cas avec forte spécificité et faible sensibilité. Elle mettra des carrés en pointillé autour des zones où elle dira « doute endométriose ». Ici, c'est plutôt plus sensible, mais peu spécifique : nous soupçons une endométriose à cet endroit.

Membre du public

Vous fonctionnez sur quelque chose que nous connaissons bien en médecine. Ce sont les valeurs prédictives positives et négatives, avec la sensibilité et la spécificité. Quels sont justement vos pourcentages en valeur prédictive ?

En valeur prédictive négative, êtes-vous autour de 90, 95 ou 100 % ? En théorie, la valeur prédictive négative est souvent plus facile à poser qu'une valeur prédictive positive, en tout cas en termes statistiques. En infectiologie, nous avons la valeur prédictive négative dans quelques tests de manière assez rapide. C'est intéressant et c'est plus facile à poser. Est-ce votre cas aussi ? Quelle est votre marge de performance avec cet outil en valeur prédictive positive et négative ?

Raphaëlle Taub

Les performances du produit sont confidentielles jusqu'à la publication de notre étude clinique.

Il y a deux questions: d'un côté cette valeur quantitative, prédictive positive et négative sur le cas lui-même, mais il faut aussi *localiser* correctement. C'est une question un peu différente. La deuxième chose se rapporte aussi à votre question sur le fait que nous disions que les patients sont positifs ou pas. À quoi? En l'occurrence, c'est à l'endométriose. En fait, il y a plusieurs questions sur ce point. Déjà, la première chose dont je me suis rendue compte en n'étant pas médecin et en mettant le pied à l'hôpital, c'est que la définition du diagnostic est finalement beaucoup plus souple que ce que j'avais imaginé à l'origine.

C'était finalement une question de clusterisation. Nous avons besoin de rassembler ensemble des gens ou des cas qui ont à peu près la même chose. Ensuite, il y a un autre diagnostic à faire avec les gens qui n'ont pas cette maladie, mais une autre version de cette maladie. Finalement, la distinction de l'un à l'autre est parfois ambiguë, surtout quand nous parlons de gynécologie et d'endométriose en particulier.

Très concrètement, cela change quelque chose pour nous. C'est-à-dire que nous allons *clusteriser* différemment les différentes formes de l'endométriose. Nous allons les diagnostiquer différemment. Par exemple, il y a la question de savoir si l'adénomyose est de l'endométriose ou pas. Ma sensation est que nous considérons globalement en France que ce sont plutôt deux maladies différentes. Dans d'autres pays, on considère souvent que c'est la même maladie.

De toute façon, nous *clusterisons* les choses différemment. Nous les rassemblons de façon cohérente avec ce que le praticien veut. On ne dit pas «positif endométriose ou pas» car nous disons qu'il y a différents critères. Par exemple, un endométriome n'est pas la même chose que de l'adénomyose ou que l'endométriose profonde. En plus de cela, une des caractéristiques principales de notre dispositif est que nous nous attaquons à une maladie disséminée. Cela nécessite d'analyser une zone avec plusieurs organes, mais aussi avec plusieurs types de lésions. Ça ne paraît pas du tout la même chose d'imaginer un endométriome que de l'endométriose profonde ou d'un ligament utéro-sacré.

Vincent Israel-Jost

Est-ce fait en un seul examen? Cela peut-il arriver qu'il y ait plusieurs examens pour couvrir différents organes?

Raphaëlle Taub

C'est toujours un seul examen.

Question 4

Membre du public

Avez-vous un algorithme d'IA qui ne fonctionne que chez un certain constructeur d'IRM ou peut-il tourner chez les différents constructeurs? Je pose cette question parce que je ne suis absolument pas spécialiste des IRM, mais j'ai entendu rapporter que pour des IRM cérébrales, et en particulier pour des estimations de surface ou des reconstitutions de volume, ils rencontraient des problèmes lorsqu'ils réutilisaient des bases d'IRM alimentées par différents constructeurs. Selon ce que j'ai compris, ce serait lié à des questions de paramétrages par les constructeurs des appareils d'IRM. Je ne sais pas si vous avez le même problème pour les IRM pelviennes. Qu'en est-il pour l'endométriose?

Aussi, avez-vous une piste pour comprendre pourquoi les Américains, qui ont manifestement beaucoup d'entreprises déjà développées avec notamment des algorithmes d'IA utilisables en imagerie médicale, n'ont pas investi ce champ alors que c'est un problème de santé très fréquent? Avez-vous une piste pour savoir pourquoi la France serait motrice sur ce sujet? Le fait que cette pathologie n'ait pas été investiguée aux États-Unis avec l'IA en imagerie médicale interroge.

Raphaëlle Taub

Pour répondre à votre première question, il est très important de s'entraîner sur une base de données qui soit la plus diverse possible. Cela implique qu'elle soit diverse en termes de constructeurs de machines, mais aussi en termes de «puissance» de la machine, c'est-à-dire par exemple des IRM 1,5 ou 3 T.

La diversité vient aussi du paramétrage de la machine. Il y a maintenant sur les nouvelles machines d'IRM tous les algorithmes de reconstruction d'images

ajoutées par-dessus. Cela permet d'augmenter les performances de la machine et de changer les images. J'ai découvert que pour une même machine, de nombreux radiologues sont habitués au grain de leur machine. Ils peuvent reconnaître si l'image a été faite chez eux ou chez quelqu'un d'autre qui avait peut-être une Siemens de la même génération, mais paramétrée différemment. Il y a donc effectivement des différences.

Il faut savoir sous quelles indications les patientes sont venues. À l'Hôtel-Dieu par exemple, comme c'est un centre de PMA, de nombreuses patientes viennent pour infertilité. Il faut aussi avoir une base diverse en termes d'origine ethnique des patientes. C'est la question n°1 que l'on se pose aux États-Unis; en France, presque personne ne la pose. Il faut donc avoir des bases de données sur lesquelles nous sommes certains que nous avons des patientes assez diverses.

Pour répondre à votre deuxième question, il y a de nombreuses réponses à cela. En France, nous sommes à la pointe en termes d'endométriose, voire en gynécologie en général. Or pour pouvoir construire un algorithme comme celui que nous créons, il faut trois choses: de l'expertise en IA, de l'expertise médicale et de la donnée médicale. Nous avons l'expertise médicale.

En France, nous avons aussi beaucoup d'expertise en *machine learning*. Nous-mêmes venons de l'Inria, et si un chercheur français est connu en *machine learning*, il y a 95 % de chances qu'il soit passé par l'Inria à un moment donné.

Nous avons enfin des bases de données. C'est particulièrement crucial dans notre cas. C'est aussi la raison pour laquelle cela n'a pas été fait avant. Nous parlons beaucoup de *gender data gap* pour dire qu'il n'y a pas assez de données qui concernent les femmes. Dans notre cas très particulier, c'est le cas. Pour pouvoir développer des algorithmes, la *machine*

learning doit avoir ces bases de données. Quand nous en sommes à un stade très préliminaire, nous avons besoin d'avoir des données en *open source*. On va sur Internet, on regarde s'il y a des bases de données à télécharger, on teste des trucs, et si on arrive à sortir quelque chose de ces tests, on va montrer ça à quelqu'un qui peut nous donner des financements et espérer réussir.

C'est aussi le cas pour les données médicales. Il y a énormément de bases de données médicales en *open source* anonymisées. Si vous voulez vous entraîner en tant qu'étudiant sur des cancers de la prostate, vous pouvez faire une recherche sur internet et trouver des données. Il y a des bases de données *open source* non annotées, mais certaines sont aussi annotées. Cela veut dire qu'il faut la créer et c'est une importante barrière pour un projet comme le nôtre, parce qu'il faut réussir à convaincre les gens que vous avez été capable de le faire, avant même d'avoir pu faire quoi que ce soit, une fois que vous aurez eu accès à ces bases de données.

Il y a ensuite un dernier point qui se rapporte aussi au fait que la gynécologie n'est pas frotement développée aux États-Unis, surtout en endométriose. Les États-Unis sont encore assez convaincus qu'il faut faire le diagnostic d'endométriose en centre de laparoscopie exploratoire. Ils mesurent donc des prévalences de l'endométriose très différentes : 1 à 3 % dans la population générale, car ils considèrent que c'est la seule chose qui permet le diagnostic. Quand on regarde les recommandations de la HAS en France, elles ne disent pas exactement que l'IRM est un diagnostic. Elles maintiennent que le vrai diagnostic reste la laparoscopie, mais que toutefois le diagnostic sur IRM est suffisant. Ma sensation est que la question du diagnostic est un continuum, mais qu'il y a quand même un rapport bénéfice-risque très favorable à l'imagerie dans le cas de l'endométriose.

Discussion ③

Données d'entraînement

Question 5

Membre du public

Raphaëlle Taub

Avez-vous aussi l'idée de développer des algorithmes d'aide à la décision ou même d'aide à la démarche diagnostique qui soient enrichis par l'expérience patiente ? Ce champ est globalement en train de beaucoup bouger. Grâce à la parole des patients, davantage de diagnostics ont été faits. Des démarches thérapeutiques sont aussi en train de modifier le vécu et la pathologie elle-même.

On parle maintenant de récits de patients. C'est aussi devenu une préoccupation de santé publique. Nous commençons donc aussi à avoir des données partagées de santé publique et des récits de patients. C'est important. Vous faites part des disparités de politiques de santé, y compris dans la démarche diagnostique aux États-Unis et en France. Avons-nous des algorithmes qui permettent d'aider dans cette démarche diagnostique et qui soient enrichis en temps réel par ces expériences actuelles ?

Membre du public

Pouvez-vous conclure sur un état normal et dire qu'il n'y a pas besoin d'aller plus loin que l'imagerie avec votre machine ?

Raphaëlle Taub

Même sans notre machine. Il y a effectivement le cas où nous aurions une patiente qui serait très symptomatique mais négative à l'IRM. Il est possible que ce soit dû à une erreur de lecture du radiologue, mais c'est aussi possiblement dû aux limitations de la machine, par exemple si les lésions sont trop petites. Ensuite, dans ce cas, le médecin va-t-il conseiller de faire une laparoscopie exploratoire ? Cela dépend des cas et du traitement que vous voulez faire. Dans ce cas, il est certain que nous n'allons pas dépasser la performance du radiologue.

Membre du public

C'est un éternel problème. En tant que médecin, je suis bien évidemment favorable aux deux examens. Mais en tant que citoyenne, cela coûte économiquement deux fois plus cher.

Raphaëlle Taub

Je n'en suis pas certaine. Pour avoir écouté beaucoup de récits de patientes, je ne suis pas très favorable aux deux examens. C'est quand même invasif, et les patientes redoutent le recours à la chirurgie.

Il y a des algorithmes et des questionnaires. Un algorithme n'est pas forcément de l'intelligence artificielle. Ça peut être un arbre de décision. Certains arbres de décision sont publiés régulièrement par les institutions de santé ou par des publications scientifiques qui aident à faire ces diagnostics. Il se trouve qu'il y a aussi des algorithmes de *machine learning*. J'avoue que je n'ai pas beaucoup creusé cette question.

Ma sensation à chaud est que je ne vois pas l'intérêt d'ajouter du *machine learning* là-dedans, parce que je pense que les algorithmes d'arbres de décision fonctionnent suffisamment bien. Il s'agit finalement surtout de poser les bonnes questions à la patiente et de savoir quelles sont toutes les bonnes questions à poser. Des gens publient régulièrement sur ce sujet, mais il y a aussi des initiatives pour réaliser ces questionnaires sous des formes sympathiques pour la patiente, comme une application de téléphone ou des sites internet qui mesurent des risques d'endométriose.

Chaque fois qu'un dispositif médical change, par exemple parce qu'il a été ré-entraîné, il doit obtenir en Europe une autorisation. Je pense que cette question de la mise à jour est un problème général dans la ré-

gulation des produits d'IA algorithmiques destinés à la santé. Par exemple, j'ai reçu en dix ans 50 000 images de patientes supplémentaires avec les diagnostics des médecins. C'est une mine d'or de données. Or, je ne peux pas les intégrer dans le logiciel sans repasser par une autorisation. C'est problématique parce que nous avons forcément envie que le logiciel s'améliore. Il faut évidemment contrôler ce que nous faisons parce que si un médecin dans un centre particulier fait beaucoup d'erreurs, je n'ai pas envie de biaiser l'algorithme pour tout le monde. Mais de par sa rigidité, le régulateur européen empêche ce type de mise à jour.

Question 6

Vincent Israel-Jost

Selon ce que je déduis, vous avez commencé par le biais de l'errance diagnostique sur cette pathologie. C'est quelque chose qui est difficile à diagnostiquer. Comment vous en sortez-vous avec les bases de données ? J'ai compris qu'elles n'étaient pas faciles à obtenir et qu'il n'y en avait pas beaucoup. Celles qui existent sont-elles sûres à 100 % ou pas ? Est-ce quantifié ?

Raphaëlle Taub

Ce n'est pas quantifié, mais c'est effectivement un énorme enjeu pour nous. Il faut que les données aient été acquises correctement. Ce n'est pas forcément le cas si le médecin n'est pas expert. Dans d'autres cas, nous voulons aussi que les patientes aient été diagnostiquées parce que nous récupérons l'image, mais aussi le compte rendu du médecin. Nous voulons qu'elles aient été correctement diagnostiquées.

Comme nous faisons aussi une localisation, il entoure la zone suspecte. Ce n'est pas du tout le même niveau de pénibilité pour le radiologue de relire une image qui a déjà été diagnostiquée où il doit trouver la lésion décrite dans le compte rendu plutôt que s'il doit refaire son diagnostic depuis le début. Nous nous restreignons donc à des images qui ont été diagnostiquées dans des centres auxquels nous faisons confiance et auxquels les experts font aussi confiance.

Discussion 4

Les femmes dans le monde de l'innovation

Question 7

Membre du public

Le fait d'être une femme vous a-t-il posé un problème pour monter votre entreprise ?

Raphaëlle Taub

J'ai toujours été dans un milieu plutôt masculin et cela ne me dérange pas. J'étais en physique à l'ENS, il devait y avoir 20 % de filles. J'ai ensuite été dans un laboratoire dans lequel il y avait plus de femmes que la moyenne. Entre autres, il se trouvait que la fondatrice de mon équipe, qui avait fait sa thèse avec Pierre-Gilles De Gennes - Prix Nobel de physique - était une professeure formidable. Comme souvent, il y avait plus de femmes dans les équipes dirigées par des femmes.

Ensuite, le milieu des start-up, deep-tech en particulier est aussi très masculin. J'expérimente plus de sexisme que dans la recherche. Seulement 10 % des startups en Europe ont une femme dans leur équipe dirigeante, et les équipes de femmes ne représentent que 2 % de l'argent levé en capital risque. Ce sont des chiffres catastrophiques. Je pense que cet état de fait n'est pas une volonté des financeurs, mais plutôt un biais général de l'écosystème en faveur des entrepreneurs masculins.

En France, il y a cependant de nombreux dispositifs pour les femmes entrepreneurs. Certains investisseurs sont sensibles à cela et ont des métriques pour mesurer le fait qu'ils accordent de l'intérêt à des projets portés par des femmes. Je pense cependant que nous sommes encore vraiment très loin de l'égalité.

Discussion ⑤

La force rhétorique du mot « innovation »

Question 8

Membre du public

Vincent Israel-Jost

Dès lors que nous parlons d'innovation, en clinique et en application thérapeutique, que ce soit du côté des médecins ou des patients, il y a un effet de fascination qui fait que l'on ne peut plus rien questionner, surtout dans le cas d'une maladie grave. J'avais l'impression que cela empêchait tout questionnement sur la pertinence du projet de soins. Nous étions dans l'innovation et nous ne savions pas très bien ce que nous mettions sous ce terme d'innovation. J'avais l'impression que cela venait un peu geler la pensée.

Raphaëlle Taub

C'est sûr que c'est « stylé ». C'est indéniable, « l'innovation est stylée ». Le fait d'adorer l'innovation de cette façon est aussi assez français. Un Américain a moins ce filtre d'être autant fasciné par l'innovation.

Vincent Israel-Jost

On se représente quand même les États-Unis comme le pays innovateur par excellence. L'innovation est peut-être en quelque sorte plus normale et moins fascinante ? C'est moins de la fascination telle que nous pouvons l'éprouver devant quelque chose que nous avons en même temps tendance à rejeter.

Raphaëlle Taub

Je pense aussi qu'aux États-Unis le fait que vous puissiez prouver que ce que vous ferez va rapporter de l'argent reste la question principale.

Mais on ne rapporte pas forcément d'argent quand on fait quelque chose de très innovant. Si on crée un marché, il est difficile de montrer qu'il va vraiment exister. Il y a donc aussi des choses très innovantes aux États-Unis, mais je ressens moins cette fascination pour l'innovation qu'en France. Ou alors, c'est plutôt l'inverse. Il y a peut-être moins de mépris qu'en France pour les choses qui ne sont pas innovantes, dès lors qu'elles sont rentables.

Alexis Rayapoullé

Je pense que nous avons tous l'image que les États-Unis sont beaucoup plus dans la culture de l'innovation que nous. Cela dit, j'ai travaillé sur ce que l'on appelle les « médicaments de thérapie innovante », qui est une catégorie de régulation de l'Agence européenne des médicaments. En anglais, ils ne s'appellent pas « médicaments de thérapie innovante ». Ils s'appellent « advanced therapies ».

Raphaëlle Taub

Par exemple en physique, ce que nous appelons des mathématiques appliquées en France sont des mathématiques normales aux États-Unis. Ce sont des mathématiques fondamentales.

Il est vrai qu'en France, il y a une tradition très ancrée en matière de mathématiques dites « pures », c'est-à-dire à peu près complètement déconnectées de toute application et parfaitement abstraites. Et je confirme que la manière même d'aborder les mathématiques appliquées ici est déjà plus abstraite que la manière dont on fait des mathématiques aux États-Unis.

Raphaëlle Taub

C'est peut-être davantage lié à une forme d'amour de l'abstraction que de l'innovation.

Discussion ⑥

Définition de la maladie et catégorisations nosologiques

Question 9

Membre du public

À quoi est dû le biais d'ignorance concernant l'endométriose ?

Raphaëlle Taub

C'est un désintérêt des maladies gynécologiques en général.

Membre du public

Est-ce dû à la fiabilité du système ?

Raphaëlle Taub

On pourrait penser que c'est fondamentalement plus difficile à diagnostiquer, mais pas vraiment puisque nous connaissions déjà l'existence de la maladie au 19^e siècle.

Membre du public

J'aimerais aussi avoir un éclairage épistémologique. Nous sommes toujours dans la médecine de Claude Bernard, qui vise toujours à l'identification de la maladie causale et de la lésion pathologique, la lésion d'organe. J'appelle souvent cela la « promesse non tenue », cette déception des médecins quand on dit finalement au malade avec beaucoup de mépris que c'est « fonctionnel » : c'est-à-dire qu'il n'y a pas de substrat organique. Des générations de médecins ont été formées dans ce seul modèle anatomo-clinique, avec cette déception lorsqu'il n'y a pas de lésions identifiées. Nous avons aussi ce même problème de symptômes douloureux complexes avec la fibromyalgie par exemple. Dans cette tradition nosographique, il y a ce que vous appelez aujourd'hui la *clusterisation* : nous avons besoin de ranger. Or nous savons que c'est un continuum normal ou pathologique qui prend une variation quantitative.

Vincent Israel-Jost

Ce sont des questions de philosophie de la médecine. Comment définissons-nous ce qu'est une maladie ? Nous n'arrivons déjà pas à nous entendre entre philosophes sur les différentes conceptions de la maladie.

Et puis selon les maladies, nous pouvons observer d'importantes évolutions dans la manière dont la maladie est définie. J'ai travaillé ces dernières années sur la maladie d'Alzheimer. Pour en parler très vite, quand vous regardez les cas qu'elle a recouverts, ils n'ont rien à voir selon les époques. Au début du 20^e siècle, c'est une maladie de jeunes, de personnes de moins de 60 ans. C'est seulement à la fin des années 1970 que l'on a admis que les personnes âgées étaient touchées par la même maladie. Et dès lors, ça a fait « boum ». En comptant désormais toutes les personnes âgées qui en étaient atteintes, il y a eu une explosion de dizaines de millions de cas à travers le monde et c'est devenu un important sujet de santé publique. Donc ce que nous appelons une maladie, d'un côté, et ce que recouvre chaque maladie de l'autre, n'est pas très arrêté et il faut aussi composer avec cette complexité.

Membre du public

J'entends des médecins qui disent que c'est fonctionnel, mais quand nous n'avons pas de traitement, n'est-ce pas de la sagesse de dire que c'est fonctionnel et que nous ne pouvons pas faire grand-chose ? Nous n'avons pas eu de traitement jusqu'à une période récente. Il a fallu synthétiser les hormones pour pouvoir faire un traitement. Quand nous avons rencontré certaines démences bizarres au début du 20^e siècle qui se sont révélées être des Alzheimer, nous ne les reconnaissons pas et nous les appelions les « gâteux ». C'était peut-être mieux que de les abrutir de morphine. Le fonctionnel n'est pas une erreur de diagnostic : c'est le fait de dire que nous ne pouvons rien.

Membre du public

Oui, mais c'est peut-être aussi notre formation médicale qui est à questionner. Elle nous lie dans la représentation de notre place et de celle du soin. Or le « fonctionnel » est souvent un synonyme d'abandon. Ce qui allait de pair avec le fait de dire qu'il fallait donc aller voir le psy, dans une position de rupture.

Je pense que ce n'est pas qu'une question de puissance de diagnostic. Cette attitude souvent assez violente de rupture consistant à dire que c'est fonctionnel, revient un peu à dire : « circulez, il n'y a rien à voir ici à l'hôpital ». C'est aussi nier le fait que la maladie s'exprime dans le corps, peu importe son origine.

Membre du public

Pour rebondir un peu sur ce point, mais sans trop s'écarter du sujet, j'entends bien que vous appréhendez l'IA en tant qu'aide au diagnostic. Je suis médecin et c'est ainsi que j'aimerais l'appréhender, pas comme un poseur de diagnostic. Ce n'est pas tout à fait la même chose.

La maladie est un dilemme. C'est une barrière de la norme. Dans le cas de l'endométriose, vous y avez répondu au début sur l'endométriose. La question consistait à savoir pourquoi vous, en tant qu'équipe féminine, avez trouvé que l'endométriose n'intéressait personne. Vous avez répondu en disant que 95 % des start-ups qui s'occupaient de l'IA dans le domaine de la santé étaient composées d'hommes.

Au fond, est-ce que les douleurs cycliques de la femme sont une variable ? Ou est-ce vraiment une pathologie ? Je suis un vieux médecin. Au premier cours de psychologie, nous avions appris que l'homosexualité était une déviance et une pathologie. C'était une déviance à peine moins grave que la zoophilie. Je vous parle de 1971. Maintenant, socialement, c'est une variable de la norme qui correspond à environ 8 à 10 % de la population. Nous sommes donc passés d'un problème pathologique à une variable de la norme. Il faut aussi comprendre cela. N'est-ce pas le chemin inverse dans d'autres domaines ? Cela veut dire qu'il faudra passer d'une variable de la norme à une pathologie.

En Chine, on dit parfois qu'il n'existe pas d'Alzheimer ou de démence sénile, que c'est considéré là-bas

comme une variable du vieillissement normal. On peut dire qu'ils considèrent socialement que ce n'est pas être malade. Quand vous parlez donc de prévalence d'une maladie, dans certains domaines, parlons-nous de prévalence de maladie ou d'une variable de la norme? C'est un peu difficile à appréhender. C'est pour cela que l'IA est une aide au diagnostic. Si nous commençons à intégrer dans l'IA ce que peut-être une variable de la norme, ce sont d'autres données, notamment sociétales.

Quand vous faites des études dans les squats par exemple, quand vous demandez aux gens s'ils sont en bonne santé, beaucoup considèrent que oui. Pourquoi? Parce que dans un squat, quand on n'est pas positif au VIH, on est content. On se dit qu'on va bien et on ne va pas consulter. Quand vous allez dans une population très huppée, au moindre problème alimentaire, la personne vous dira qu'elle est malade. C'est pour cela que l'aide au diagnostic est importante plutôt que le diagnostic en lui-même. Intégrez-vous ces variables sociétales dans cette IA?

Raphaëlle Taub

Ce que vous dites est très intéressant. Pour répondre très concrètement, aucune donnée autre que l'imagerie n'est utilisée pour entraîner notre IA. Il n'y en a pas besoin, parce que nous reproduisons le travail du radiologue. Je ne décide pas moi-même de ce qui est la norme et ce qui n'est pas la norme. Les radiologues experts que nous avons sélectionnés ont leur propre définition de ce qui est normal et anormal. Je reproduis l'état de l'art, et c'est aux médecins et aux chercheurs en biologie de faire progresser ces connaissances.

Il est certain qu'il y a des différences des facteurs culturels dans la définition d'une maladie comme l'endométriose. C'est d'ailleurs une chose que les médecins nous disent. Nous parlons beaucoup du fait que l'endométriose peut être totalement asymptomatique. C'est vrai, mais ce que nous appelons «totalement asymptomatique» a une grande variabilité. Des médecins nous disent que quand ils posent à certaines patientes la question de savoir si elles ont mal quand elles ont leurs règles, les patientes disent que non. Et s'ils posent trois fois la question, elles vont finir par dire qu'elles ne peuvent pas se lever de leur lit pendant deux jours quand elles ont leurs règles, ce qui est loin d'être une absence de symptômes.

C'est pareil pour les douleurs pendant les rapports sexuels. C'est aussi très culturel de dire si c'est normal ou non. Je pense que ce n'est pas à nous, en tant que développeurs d'IA pour l'imagerie, de trancher ce type de questions. Ce n'est pas notre rôle et ce n'est pas à nous de définir à la place du médecin ce qu'est un bon diagnostic.

Ensuite, je pense que la confusion entre une IA de diagnostic ou d'aide au diagnostic a entraîné énormément de crispations, entre autres parce qu'un des grands-pères du *machine learning*, Geoffrey Hinton a dit en 2015 – à peu près trois ans après le gros boom de la *computer vision* –, qu'il fallait arrêter de faire de la radiologie à la faculté, parce que leur métier allait disparaître. Il leur a dit d'arrêter de former des radiologues parce que cela ne servait plus à rien.

Vincent Israel-Jost

Ça a fait peur à tout le monde. À la fin des années 2010, les radiologues se sont mis à beaucoup travailler sur l'intelligence artificielle en raison d'un vent de panique sur la profession. Il y a eu d'intéressants rapports là-dessus vers 2018, avec une réflexion qui commen-

çait à mûrir quant à la recombinaison qu'il convenait d'engager avec l'IA. Les radiologues ont pu réaffirmer le rôle de l'humain, aussi bien pour produire les données de référence sur lesquelles les IA pourraient être entraînées que pour superviser l'usage de ces outils et assurer une garantie humaine. Vous rappeliez tout à l'heure la question de la responsabilité et c'est devenu l'un des grands enjeux autour des outils de l'IA.

Raphaëlle Taub

Effectivement, le radiologue sert a grand minima à définir les marqueurs du diagnostic. Finalement, les deux sont assez complémentaires. Une IA ne fera jamais d'erreurs de fatigue, mais peut faire des choses qui n'ont absolument aucun sens, on appelle cela «halluciner». Mais le radiologue repèrera immédiatement ces erreurs grossières, c'est en cela qu'ils sont complémentaires.

Il y a quand même un déficit à l'échelle mondiale d'au moins 100 000 radiologues pour pouvoir répondre à la demande en termes d'imagerie. Il ne faut pas imaginer l'IA comme un radiologue artificiel, mais davantage comme un tracteur pour les radiologues: elle leur permet de diagnostiquer davantage de personnes, plus rapidement et avec une meilleure précision.

Membre du public

Le tracteur est justement une amélioration, mais pas une innovation. Cela a fourni une aide, mais pas révolutionné le mode de culture.

Raphaëlle Taub

Je trouve que l'idée de mettre une fourche derrière une voiture est quand même innovant.

Discussion 7

Performance et rapport au temps

Question 10

Membre du public

J'ai une question, sur laquelle je travaille beaucoup et qui concerne le mot que nous entendons partout: la rapidité.

Je ne suis pas certaine que ce soit quelque chose d'important. C'est même parfois très nocif. La patiente n'est pas objective quand elle raconte ses symptômes. Encore moins lorsqu'elle est sur la table d'IRM. Le médecin qui a pris en charge cette patiente et à qui elle s'est confiée va essayer d'être objectif, mais elle ne sera pas objective dans sa demande. Il faut donc du temps. C'est pareil pour tout, en société, dans l'économie du travail ou dans la psychologie du travail, nous parlons tout le temps de rapidité. Il me semble que nous fonçons dans le mur. Ce terme de rapidité m'évoque: «*La hâte est mère de l'échec*».

Vincent Israel-Jost

Je suis d'accord avec vous. Pour prendre l'exemple de toutes ces technologies d'intelligence artificielle, la promesse est double. Il s'agit à la fois de performance diagnostique. Nous pouvons faire aussi bien, voire mieux et il s'agit que nous ne passions pas à côté d'une information importante. L'autre promesse se joue exactement là où vous mettez le doigt. C'est sur le temps. Il nous manque 100 000 radiologues: que faisons-nous avec cela? Nous allons peut-être retrouver du temps si nous nous dotons d'outils qui permettent de gagner quelque chose là-dessus. Certes, mais c'est à condition que nous pensions la recomposition que tout cela génère.

Si nous raisonnons en annonçant de but en blanc qu'on a résolu le problème de la radiologie et que le temps est réduit à zéro, puisque le diagnostic ressort de manière immédiate et qu'il n'y a plus rien à discu-

ter, c'est tout à fait insuffisant. Il n'y a aucune réflexion derrière. En prenant en compte le fait que nous avons toute une série de nouveaux outils très puissants et potentiellement très intéressants, si nous prenons le temps de nous poser la question de savoir comment les exploiter au mieux, c'est exactement ce que nous appelons l'éthique.

Au niveau étymologique, l'épistémologie pose la question du vrai et l'éthique pose la question du bien. Comment faisons-nous les choses bien? Si nous ne nous posons pas cette question, nous balançons de grandes phrases qui font peur à tout le monde et qui nous font aller dans le mur. Nous nous sommes rendu compte que cela ne fonctionne pas comme ça. Nous avons maintenant un peu de recul sur ces technologies, et plus généralement sur le champ de la réflexion et sur les techniques par une discipline qui s'appelle la philosophie des techniques.

De nombreuses personnes réfléchissent aux techniques. Cela ne concerne pas seulement l'intelligence artificielle, mais tout ce qui nous entoure. C'est pour essayer de rendre nos rapports aux techniques heureux et pour ne pas nous rendre esclaves d'elles. C'est pour que les patients ne se retrouvent pas aujourd'hui face à une machine qui leur dit qu'ils ont telle maladie et qui leur envoie automatiquement un mail. Ce n'est pas l'intérêt. Dans le meilleur des cas, mais nous devons y travailler, l'intérêt est que nous puissions regagner quelque chose sur le plan de la performance et sur le plan du temps. Il ne faut pas avoir peur de dire que nous pouvons gagner quelque chose sur le plan du temps, mais il ne faut pas que nous détruisions des postes à la place de cela. Au contraire, il faut que ce temps soit réinvesti dans ce qui est important, c'est-à-dire la relation de soins.

Question 11

Membre du public

Excusez-moi, mais c'est un peu pessimiste de dire que nous allons dans le mur quand nous sommes rapides. Concernant la rapidité, comme vous l'avez dit: «*Time is money*». Quand nous gérons un bon flux de données, cela va apporter une vision sur le long terme. Nous n'allons pas raisonner sur le court terme. Nous aurons davantage de données épidémiologiques. Nous aurons davantage d'objectivité et de neutralité par rapport aux données. Si nous générons une grande quantité d'imageries médicales, nous aurons un peu de recul par rapport à l'endométrieose par exemple ou par rapport à d'autres pathologies. C'est important parce que la qualité des données peut influencer la qualité du soin sur le long terme.

Sur la question du besoin, c'est l'industrie technologique qui crée le besoin. Le marketing, c'est créer le besoin.

Vincent Israel-Jost

La question de savoir ce dont nous avons besoin n'est évidemment pas très claire. De quoi avons-nous vraiment besoin, à part du pain et de l'eau fraîche? Par contre, il me semble assez clair dans le cadre que nous

discutons ici, qu'il y a parfois un déséquilibre tellement flagrant que nous éprouvons le besoin de corriger ce déséquilibre. En l'occurrence, si nous avons réussi à mettre sur le marché autant de logiciels d'intelligence artificielle pour d'autres applications médicales et que nous n'avons rien sur l'endométrieose et les autres problèmes gynécologiques, nous avons besoin de remédier à cela. Bien sûr, nous avons fait sans jusqu'ici, mais ce sera certainement mieux avec. En tout cas, il est injuste qu'il n'y en ait pas.

Membre du public

C'est peut-être lié à l'objectivité et à la subjectivité. Pourquoi? Là où cela peut aider, c'est qu'à l'inverse, nous sommes en train d'exprimer ce qui était considéré comme une plainte essentiellement subjective. Nous n'arrivons pas à l'objectivité. Nous ne le voulions pas. Cela restait du subjectif. En gros, la subjectivité revenait à dire que c'était fonctionnel. C'est-à-dire que vous pouvez mettre ce que vous voulez là-dessus.

En laissant cette plainte subjective, cela permet par contre de l'objectiver par des données scientifiques et radiologiques. Cela permet d'objectiver la plainte et de ne pas la laisser dans son climat subjectif. Cela ne veut pas dire que nous en ferions une pathologie ou

une maladie. Par contre, nous pouvons objectiver cela en disant que nous sortons effectivement du registre fonctionnel «dans la tête» car il y a un support objectif à cette plainte. Elle n'est pas seulement subjective, sauf que l'expression de la plainte est toujours subjective. C'est la démarche du subjectif vers l'objectif qui est parfois difficile. C'est peut-être une aide. Mais là aussi, la rapidité me fait peur. Pourquoi? Elle me fait peur si elle m'empêche d'exercer mon esprit critique. C'est-à-dire si elle ne demande plus le temps de la réflexion.

Tant que la rapidité est une aide et ne m'empêche pas le temps de la réflexion, ce n'est pas grave. Au contraire, c'est le but. Le problème de la rapidité arrivera le jour où elle m'empêchera de réfléchir. Elle ne me permettra plus d'exercer mon temps de réflexion et mon temps éthique.

Discussion ③

Réalisme, constructivisme et progrès

Question 12

Alexis Rayapoullé

J'ai l'impression qu'à la fin, sur les deux pôles de l'innovation et les deux pôles de l'objectivité, nous retrouvons la question que nous avons eue tout à l'heure sur la prévalence de la maladie.

Il y a une approche réaliste de la maladie qui consiste à dire que l'on a une maladie qui existe et que l'on va tout mettre en œuvre pour aller plus loin dans le diagnostic et le traitement. On trouve cette idée qu'il y a un *vrai* pourcentage de la maladie et nous affinons.

De l'autre côté, il y a cette approche plus constructiviste, plus nominaliste qui consiste à mettre à l'agenda social le fait qu'il y a un problème qui *doit* constituer une maladie et une attention. J'ai l'impression que, ne serait-ce que parce qu'elle s'intéresse à l'endométriose, Matricis.ai concourt à dire que la prévalence n'est pas de 1 %, mais plutôt de 50 %. Elle met à l'agenda, aide à construire un savoir qui redonne de l'importance à cette question-là.

Vous avez tous les deux à différents moments de la séance mis en lumière ces deux aspects. Ce n'était pas toujours de la même manière et pas toujours en partant du même point.

Finalement, j'ai l'impression que Vincent Israel-Jost parle à la fin de l'innovation comme une sorte de chemin de progression vers un savoir de plus en plus objectif, ou du moins qui se réclame d'une norme d'objectivité. Il me semble que c'est aussi un peu l'idée de progrès. Ça a d'ailleurs été un concept important dans le chemin vers le développement de l'objectivité comme étant la norme du savoir scientifique.

Vincent Israel-Jost

Le progrès est un peu devenu un gros mot. Nous sommes dans une idéologie post-progrès. Je ne voulais pas aller trop loin sur le rapprochement conceptuel entre l'innovation et l'objectivité. Je voulais vraiment mettre en exergue le fait que si vous pensez l'innovation et si vous pensez l'objectivité de la manière dont c'est venu très naturellement dans nos échanges, vous prenez le même chemin. Cela ne veut pas dire que ces chemins se croisent, que c'est le même concept, que cela renvoie à la même

chose ou que l'innovation renvoie nécessairement à l'objectivité – ou l'objectivité à l'innovation. Je pense que nous pouvons garder ces deux termes séparés, en nous disant que tout le monde pensait il y a 40 ans que l'objectivité consistait juste à avoir toujours plus de mesures, de mathématisation et d'être toujours plus méthodique. Puis à un moment, nous nous sommes dit qu'il y a une part de l'objectivité que nous devons aller chercher dans la subjectivité.

De la même manière dans l'innovation, nous avons cette image d'Épinal très *hardcore* et technoscientifique, mais il y a aussi cette part de prise de recul. Elle est souvent liée à une position située: nous prenons du recul par rapport à qui nous sommes et où nous nous trouvons. Nous avons chacun nos positions et nos postures. C'est aussi source d'innovation, mais je ne voulais pas forcément aller beaucoup plus loin que cela. Pour moi, ce sont deux chemins parallèles. Ils se croisent peut-être, mais c'est une autre question.

Écosystèmes

L'écosystème de l'innovation

07

Thomas Landrain

Thomas Landrain a une formation de docteur en biologie synthétique et un parcours professionnel dans ce même domaine, avec la création d'une entreprise de production de colorants biologiques par transformation bactérienne des sucres. Une partie de son parcours professionnel est plus particulièrement située dans le domaine qu'on pourrait qualifier « d'innovation communautaire ». Il a travaillé à la création de La Paillasse, un laboratoire « ouvert », conçu sur l'idée d'accueillir tous types d'acteurs dans le domaine des biotechnologies, non limité au cercle académique et industriel. Il a aussi travaillé plus récemment à l'initiative *Just One Giant Lab* (JOGL), une forme d'équivalent en ligne de ce laboratoire ouvert pour constituer des communautés susceptibles d'innover et les aider à avancer dans leurs projets.

Gérald Gaglio

Gérald Gaglio est docteur en sociologie. Il est aujourd'hui professeur à l'Université Côte d'Azur à Nice. Il s'est notamment spécialisé dans les questions de sociologie de l'innovation avec la publication du *Que sais-je ?* sur la sociologie de l'innovation¹ paru en 2012.

¹ Gérald Gaglio, *Sociologie de l'innovation*, 2e éd. mise à jour, *Que sais-je ?*, n° 3921 (Paris: Que sais-je ?, 2021).

Conférence 1

Thomas Landrain

Thomas Landrain

Docteur en biologie synthétique, cofondateur de Just One Giant Lab

Depuis que je suis petit, j'ai toujours voulu faire de la science et de l'innovation. Je n'avais qu'une seule envie, c'était d'arriver dans un laboratoire public de recherche. J'ai eu la chance de passer par l'École normale supérieure en biologie et de démarrer rapidement une thèse de doctorat. Je l'ai démarrée dans un contexte un peu particulier d'essor de la biologie synthétique, qui était une approche d'ingénierie du vivant relativement nouvelle. Elle a émergé au début des années 2000, mais a commencé à se populariser à partir de 2006-2007.

Ce qui m'a fasciné, c'est la promesse que notre compréhension du vivant est suffisamment poussée pour le manipuler et réaliser des tâches hautement intéressantes pour la société humaine. J'y suis entré en montant un club de biologie synthétique à Paris. Avec d'autres amis étudiants, des chercheurs et des professeurs, nous recherchions les derniers articles scientifiques qui sortaient sur le sujet. J'ai ainsi rencontré un chercheur et professeur de l'école de biotechnique qui s'appelle François Cuenot. Il est physicien de formation et faisait de la biologie théorique. Il faisait une protéine *in silico* et voulait aussi se mettre à la biologie synthétique, donc passer à un stade *in vivo* ou *in vitro*.

Je me préparais à faire une thèse à l'étranger, puisqu'il n'y avait pas de laboratoire de recherche en biologie synthétique en France, mais il m'a proposé de le rejoindre pour que nous fondions ensemble ce premier laboratoire de biologie synthétique en France dans lequel je ferai ma thèse. Vu qu'il est physicien et qu'il ne fait pas de biologie expérimentale, je me suis retrouvé à construire le laboratoire dans lequel j'allais faire ma thèse. C'était un peu particulier et ça m'a donné un cadre de travail qui m'a offert énormément d'aptitudes.

Dans ce cadre de liberté presque ultime, je me suis retrouvé face à un mur. Même si j'aimais beaucoup le sujet sur lequel je travaillais en thèse, j'avais envie de travailler sur des sujets alternatifs et parfois connexes. Or, je butais à chaque fois sur le fait que je ne pouvais pas utiliser les ressources des laboratoires pour des projets qui n'étaient pas initialement quantifiés, puisque tout est fléché. Je ne pouvais pas non plus inviter des personnes qui n'avaient pas de liens académiques, comme des chercheurs ou des étudiants. Je pense par exemple à des designers, des artistes ou des architectes qui s'intéressaient à ce nouveau concept de biologie synthétique. Cela n'a donc pas beaucoup percé et cela m'a poussé à chercher la façon dont je pouvais construire une alternative au laboratoire dans lequel j'étais.

Je me suis dit que si j'avais déjà construit un laboratoire, j'allais peut-être en construire un deuxième, mais cette fois-ci hors cadre académique. C'était il y a 15 ans, j'étais jeune de la vie professionnelle et j'ai donc décidé de faire avec les moyens du bord. Je m'étais trouvé un bâtiment presque abandonné à Vitry-sur-Seine, occupé par des zadistes pour leurs ateliers. Il était aussi occupé par ce que l'on peut appeler des *hackers*, dans un «*hackerspace*» au sein de ce bâtiment qui s'appelle TMP/Lab. C'est un espace com-

munautaire dans lequel les personnes peuvent se regrouper et travailler ensemble sur des projets d'intérêt citoyen. C'est un contre-pouvoir citoyen au cœur des motifs d'action et de collaboration. J'étais vraiment fasciné par les dynamiques et les types de projets que j'y trouvais. Beaucoup de sérieux et beaucoup de compétences, de même niveau que ce que nous pouvions trouver dans les meilleurs environnements professionnels.

Leurs sujets concernaient la cryptographie de ce qu'était Internet de manière générale et tout ce qui était connecté avec l'*e-learning*. C'est l'époque où les *hackerspaces*, puis les *FabLabs*, se sont démocratisés. C'est donc une approche très ouverte, que nous appelons *open source*, dans laquelle nous partageons absolument tout ce que nous faisons. Il y a une envie de collaboration interdisciplinaire très forte et une motivation de contre-pouvoir citoyen.

Je trouvais que le cadre moral dans lequel les projets étaient développés était plus intéressant que celui que j'avais dans mon laboratoire académique. Je leur ai donc dit que j'adorais ce qu'ils faisaient et que j'aimerais faire la même chose pour la biologie.

Je leur ai demandé si je pouvais récupérer environ 30 m² dans leur espace pour installer un laboratoire de biologie. Comment ai-je monté ce laboratoire de biologie ? J'ai commencé à aller faire les poubelles des laboratoires des instituts de recherche qui ont un *turn-over* important, c'est-à-dire qu'ils jettent très rapidement leur équipement. Ce n'est pas forcément parce qu'il ne fonctionne plus, mais parce qu'ils vont devoir les remplacer pour des questions de performance ou parce qu'il faut juste terminer des budgets avant de les perdre. Il y a donc beaucoup de machines qui fonctionnent encore et qui sont jetées ou qui restent dans des rebus ou dans les caves des bâtiments.

Étant donné que j'avais ma casquette académique et mon pass d'entrée, je pouvais aller à la rencontre de ces organisations et leur demander si je pouvais récupérer des machines. Assez rapidement, en moins de six mois, j'ai réussi à installer un laboratoire de biologie entièrement fonctionnel pour 0 €. C'était un laboratoire qui était même mieux équipé que mon propre laboratoire de thèse. Ce qui est intéressant aussi, c'est qu'en faisant ce petit parcours de constitution d'un laboratoire, j'ai rencontré énormément de personnes.

J'ai donc créé cet autre laboratoire dans lequel j'ai invité des personnes avec qui j'avais envie de travailler. Et au fur et à mesure, ce laboratoire m'a totalement dépassé et est devenu un véritable espace communautaire dans lequel venaient des personnes qui avaient envie de réaliser des projets. Nous nous sommes ainsi retrouvés à être facilement une bonne cinquantaine de personnes dans le laboratoire.

On pourrait s'attendre à ce que ces personnes soient des biologistes, parce qu'il faudrait qu'ils comprennent ce que nous faisons dans ce laboratoire, mais ce n'était pas du tout le cas. C'étaient surtout des non-biologistes. Des personnes qui avaient toujours voulu faire de la biologie, mais qui n'avaient jamais pu le faire jusqu'à présent. Nous nous sommes donc retrouvés avec une diversité de compétences très importante. Cela a donné naissance à un sentiment d'*empowerment*, de renforcement intellectuel où nous pouvions avoir n'importe quelle idée et pensions pouvoir la réaliser, parce que nous avions toutes les

compétences à disposition. Nous n'avons besoin de demander d'autorisation à personne.

Environ une quinzaine de projets différents sur lesquels nous travaillions avec une cinquantaine de personnes sont nés en l'espace de trois ou quatre ans dans ce laboratoire squat. Ce sont par exemple des tests de diagnostic ADN environnementaux pour savoir quels types d'espèces nous pourrions trouver dans notre environnement, mais aussi dans notre nourriture. Nous avons fait par exemple des tests OGM. C'était un contrepouvoir. Vous vous souvenez de l'affaire de la viande de cheval ? Nous avons diffusé des tests qui permettaient de tester sa propre nourriture. A l'époque où un test pouvait coûter jusqu'à 400 €, nous l'avons fait pour 5 €.

Nous publions tout en ligne en *open source* de façon à ce que n'importe qui puisse récupérer cela sur internet et l'exécuter ailleurs. Nous avons aussi beaucoup travaillé sur les équipements de laboratoire en les simplifiant et en les rendant aussi *open source* de façon à ce que nous puissions les fabriquer à moindre coût, avec des facteurs de dix à cent fois moins, en termes de coût. Nous avons aussi travaillé sur les biomatériaux : des composés produits par des organismes. Il peut s'agir d'une plante, mais ce sont surtout de micro-organismes, des bactéries ou des levures. Nous avons travaillé soit directement sur les micro-organismes, soit sur ce qu'ils produisent, comme une matière. C'est intéressant de travailler avec des designers et des artistes pour voir comment ces matières peuvent être employées.

Pour vous donner quelques exemples, nous avons été un des tous premiers laboratoires à travailler avec les kombuchas et la cellulose bactérienne pour en faire un simili papier, selon la façon dont on la traite. C'était bien avant que ce ne soit démocratisé. C'est également là-bas qu'est né un projet qui est aujourd'hui majeur. À la base, c'était avec la designer Marie-Sarah Adenis. Nous discutons de l'avenir du stylo. Un stylo, c'est extrêmement simple, ça n'a pas beaucoup bougé ces dernières années. C'est le même objet. Mais avec quel autre outil pourrions-nous recharger notre encre ? À la place d'une cartouche d'encre, on pourrait avoir un micro-bioréacteur avec des bactéries qui seraient capables de produire des pigments biologiques. Lorsqu'on n'a plus d'encre, ces bactéries seraient capables de produire ce pigment. Il faudrait juste les nourrir avec du sucre. On mettrait du sucre dans le stylo pour le recharger et ainsi continuer à écrire.

Dans ce projet, il est intéressant de voir que nous avons fait l'inverse de ce qui se faisait habituellement. Typiquement, dans un laboratoire de recherche, on part d'une découverte ou d'une technologie. Nous, nous sommes partis d'une vision et nous avons essayé de revenir dessus en nous demandant s'il était possible de la réaliser et quelles technologies nous pouvions utiliser pour la faire advenir.

C'est un projet que je n'aurais pas forcément pu réaliser dans mon laboratoire de thèse. Je n'y aurais pas candidaté parce que je n'aurais pas pu justifier de l'utilisation des ressources des laboratoires pour faire un tel produit. Je l'ai donc fait dans ce laboratoire squat. En l'espace de trois mois, j'avais une preuve de concept qui fonctionnait très bien.

La première chose que nous avons décidé de faire, avec Marie-Sarah, a été de ne pas partir sur le modèle start-up. Nous nous sommes dit qu'il fallait que le monde sache que c'était possible. Nous avons donc décidé de le mettre en *open source* et de fabriquer un kit pour que les gens puissent faire pousser leur propre encre à la maison. C'était l'esprit que nous avons au sein de La Paillasse. Nous avons travaillé sur ce projet

pendant environ deux ans. Nous avons d'abord constitué le kit, puis nous avons fait le tour du monde en faisant des ateliers un peu partout. Nous apprenions aux gens, enfants et adultes, à faire pousser leur propre encre, à extraire l'équipement et faire ensuite des dessins avec.

La genèse de ce projet a eu lieu en 2012. Deux ans après, nous nous sommes rendu compte que le problème lié aux colorants n'était pas l'encre : nous avions en effet aussi un problème de pollution. Le problème, ce sont les colorants textiles.

Pour vous donner un ordre d'idées, 99,999 % des colorants dans le monde sont d'origine pétrochimique. Même si certaines de ces molécules étaient auparavant produites de façon biologique, comme l'indigo, elles sont maintenant d'origine pétrochimique. Pour faire 1 kg de colorant, il faut en moyenne 100 L de pétrole. C'est une des industries les plus polluantes au monde. Nous ne pourrions pas changer cette industrie en demandant aux gens de faire pousser leur propre encre et de teindre leurs colorants. Il fallait donc que nous changions l'industrie.

D'un seul coup, ce projet qui était d'abord un projet pédagogique un peu radical de partage d'un biomatériau est devenu un projet industriel. Comment arriver à créer une entreprise industrielle capable de tirer parti de ces processus de bioproduction pour fournir cette alternative ?

À ce moment, à La Paillasse, un des membres du nom de Jérémie Blache, qui n'est pas du tout scientifique, passait très souvent. Il était encore étudiant en études de *business* à Paris et participait régulièrement à nos réunions. Il était très intéressé par les technologies et la biologie. Il est venu me voir un jour en me disant qu'il s'apprêtait à terminer sa dernière année et en me demandant si je connaissais un projet de biotechnologie sur lequel je pourrais l'intégrer parce qu'il aimerait bien monter une start-up. Je lui ai dit de ne pas bouger et que j'avais exactement ce qu'il lui fallait.

C'est avec lui et Marie-Sarah que nous avons co-fondé Pili, une entreprise de fabrication de colorants biologiques par pigmentation de précision. Elle a été officiellement cofondée en 2015. Elle comprend aujourd'hui plus de 50 personnes en R&D, avec plus de 35 millions d'euros. C'est un des leaders sur ce segment de la production de colorants biologiques par pigmentation de précision.

Pili en tant que telle aurait pu démarrer dans un laboratoire académique, mais nous avons d'abord testé un problème, nous n'avons pas cherché à essayer de découvrir une solution. Il est intéressant de voir que parce qu'il y a eu un passé artistique chez Pili avec Marie-Sarah qui est designer, artiste et co-fondatrice de Pili, il y a aujourd'hui des artistes chez Pili. Nous avons ce rapport très fort avec les artistes avec lesquels nous travaillons, ce qui rend le projet très particulier.

Quand nous étions encore dans le squat, nous avons vu le potentiel. J'ai même réussi à récupérer de l'argent de la Nasa pour un projet de bioréacteur *open source*. Nous étions le seul projet européen à être financé dans le cadre de cet appel à projets de la Nasa. Je ne leur ai évidemment pas dit que nous étions dans un squat, j'avais mis l'adresse de mon domicile personnel qui est à Paris. Avec ça, nous avons pu avancer sur des équipements basiques de biologie et les démocratiser.

La Paillasse a été un lieu de bouillonnement très intéressant, mais il n'était pas vraiment soutenable ni durable. Il n'y avait pas de modèle économique. Dans un squat, tout était récupéré. Il n'y avait pas vraiment besoin d'argent. Il ne fallait payer personne ni de loyers, mais le lieu pouvait se faire expulser à tout moment.

J'arrivais à la fin de ma thèse. L'enjeu pour moi a été de choisir entre continuer ma carrière académique ou

donner une chance à La Paillasse, quitte à prendre un an sabbatique et reprendre ensuite si cela ne fonctionnait pas. J'ai décidé de prendre un an avec comme projet d'amener La Paillasse à Paris. L'idée était de passer du 50 m² à Vitry-sur-Seine à un lieu plus grand et d'en faire une véritable alternative aux institutions académiques. De montrer qu'il était possible d'offrir un autre type d'espace de laboratoire pour faire de l'innovation.

C'était une vision assez radicale et j'ai eu la chance de rencontrer les bonnes personnes. J'ai rencontré par exemple Jean-Louis Missika. C'était à l'époque l'adjoint à l'urbanisme de la mairie de Paris. Il a tout de suite compris l'intérêt d'un tel espace et a fait en sorte de nous octroyer notre première subvention. C'est ainsi que nous avons pris un espace de 800 m² rue Saint Denis, en 2014, qui est devenu le premier incubateur de biologie à Paris. Plutôt qu'un modèle de *coworking* où il aurait fallu payer sa place, nous avons un modèle de résidence qui permettait à n'importe qui ayant une idée intéressante d'en profiter gratuitement. Pourquoi ? Parce qu'à ce moment-là, il fallait forcément avoir le portefeuille fourni pour en bénéficier. Or, quelles sont souvent les ressources des personnes qui travaillent sur les idées les plus radicales ? Leur cerveau et leur temps, mais pas leur portefeuille.

Nous avons donc créé un modèle que nous appelons *Open Residence*. Vous venez avec une proposition, nous vous donnions accès gratuitement pendant un an aux ressources de La Paillasse pour que vous puissiez expérimenter, que vous soyez vous-même chercheur, entrepreneur, designer ou étudiant. En échange, vous nous donniez votre temps pendant cinq jours par mois. Nous pouvions utiliser ce temps à la fois pour les besoins de l'association et pour la vie du lieu, même si nous travaillions avec des partenaires. Et nous rentabilisions le modèle de cette façon.

Cela nous a permis d'incuber des centaines de projets à La Paillasse. Ça donnait l'opportunité à toutes ces personnes de se réunir et de travailler ensemble sur différents projets. C'est devenu aussi un lieu de rencontre entre différents milieux. Je parle du milieu scientifique, du milieu de l'innovation, du milieu entrepreneurial, mais aussi du milieu politique. C'était aussi un lieu très apprécié par le gouvernement qui travaillait à ce moment-là sur les questions d'*open data* et les modèles de gouvernance autour du numérique.

De nombreux ateliers étaient réalisés au sein de La Paillasse. C'était devenu un lieu de représentation et de stimulation particulier. C'était aussi un lieu où nous pouvions rencontrer beaucoup d'organisations technologiques radicales. Il y avait vraiment ce mélange de toutes les strates de la société qui s'intéressaient de près ou de loin à l'innovation. Ils pouvaient se rencontrer. Cela a été la valeur ultime de La Paillasse.

En 2017, j'ai décidé de passer la main, à La Paillasse comme chez Pili. À ce moment-là, La Paillasse était aussi devenue un espace d'expérimentation sur lequel j'avais pu, non pas expérimenter avec un simple lieu physique, mais avec une communauté en ligne.

Revenons un peu en arrière. En 2015, j'ai décidé de lancer une initiative. J'ai essayé de lancer différentes Paillasses un peu partout en France et dans le monde. Ça s'est fait ; j'ai aidé une trentaine d'espaces à se créer et ils ont pris le nom de La Paillasse, mais c'était trop lent. Encore une fois, c'est un modèle économique très difficile à tenir. Et faire en sorte que ces espaces collaborent entre eux est encore plus difficile. C'est très local.

À l'image de ces communautés de *hackers* qui se rencontrent aussi en ligne, serions-nous capables de créer des communautés qui seront très pertinentes sur un sujet ? Elles le seront beaucoup plus que n'importe quelle équipe locale pour résoudre un problème précis.

J'ai expérimenté cela en montant un programme qui s'appelait *Epidemium*. L'idée était de savoir si nous étions capables de monter une communauté de personnes en mesure de travailler sur le cancer en faisant de la *big data*, des statistiques et de l'IA, de manière ouverte. Il s'agissait d'associer deux disciplines, la santé et la médecine ainsi que la data et la science. Il y avait besoin d'interdisciplinarité dans la collaboration, en fournissant les ressources nécessaires à ces personnes, en leur donnant un temps de six mois pour qu'elles puissent vraiment créer des équipes et prendre le temps de développer leur projet, avec les bons mentors et les bons plans d'accompagnement, comme pourrait le faire un laboratoire de recherche.

Évidemment, tout cela a été bénévole. À peu près un tiers ont été des étudiants et deux tiers étaient des professionnels. Plus de 350 personnes ont participé à la première édition. C'est un programme que nous avons monté avec les laboratoires pharmaceutiques Roche et que nous avons finalement mis en *open source*. Le fait qu'un *hackerspace* et un laboratoire pharmaceutique s'associent a été une première. Ça a été une réussite puisqu'une quinzaine de projets ont été créés. Ils ont été très bien évalués par le jury d'experts qui avait été mandaté à ce moment-là. Pour moi, c'était la preuve qu'il était possible de créer des communautés de travail en ligne avec des gens qui n'ont pas besoin de se rencontrer physiquement et qui leur permettent de résoudre des problèmes assez complexes, à partir du moment où on leur donne de nouveaux cas.

Cela a été le point de départ pour comprendre comment réussir à créer des communautés capables de résoudre n'importe quel problème. Ce n'était pas une preuve de concept disant que nous sommes une communauté, mais une multitude de communautés.

Nous appartenons nous-mêmes à de multiples communautés, mais la communauté devient bien souvent un médium intéressant pour résoudre un problème, travailler sur un sujet et bien le décentraliser.

En 2015, il y avait donc eu 350 personnes pour la première édition. Nous pouvions imaginer faire beaucoup plus en nous mettant à l'échelle. Nous ne pouvions pas monter à des milliers ou des dizaines de milliers de projets si nous n'augmentions pas le cadre parisien sur la France entière, en Europe ou dans le monde. Le problème est que nous étions ici face à un mur. Nous n'avions pas les bons outils pour gérer et coordonner ce type d'écosystème. Il aurait fallu avoir une équipe très importante d'administrateurs capables de fluidifier les échanges. À ce moment-là, ça ne devient plus du tout intéressant. Ça coûte trop cher et nous revenons un peu dans les travers des institutions.

Je commence alors à me mettre en quête de modèles alternatifs avec des amis chercheurs, Marc Santolini et Léo Blondel. Nous travaillions sur un projet de recherche que nous avons appelé *Common Ground*. Notre enjeu était d'étudier les écosystèmes d'innovation décentralisés pour voir si nous étions capables d'identifier une métrique capable de nous dire ce qui fait qu'une communauté ou un écosystème est plus viable qu'un autre. Nous avons fait cela en étudiant la compétition *IGEM (International Genetically Engineered Machine)*. C'est une compétition de biologie synthétique que je connais bien puisque j'ai fondé la première équipe française en 2017.

La particularité de cette compétition est que les équipes d'étudiants documentent tout ce qu'elles font dans des *notebooks* en ligne. Elles sont ensuite notées de manière assez quantitative par des jurys à

la fin sur un projet. Nous étions capables d'un côté de les regarder en train de travailler, puisque nous savions avec ces *notebooks* qui travaillait sur quoi, quand et avec quelles autres personnes. Ça nous a pris un an et demi pour voir tout le contenu.

Pour moi, c'était le drapeau vert. Nous pouvions imaginer monter une plateforme numérique qui allait faciliter tous les types d'écosystèmes où le besoin d'administrateur était tangible. C'est ainsi qu'est venue l'idée de mettre un cadre. L'idée était de savoir comment réussir à créer un espace numérique dans lequel les membres qui le souhaitent peuvent se réunir en communauté et cracker n'importe quoi.

JOGL a démarré en tant qu'association en 2018. Nous avons sorti la première version de la plateforme en juillet 2019, six mois avant le début de l'épidémie de covid. Pour nous, ça a été le paysage presque parfait pour démontrer que cette approche avait un intérêt. J'ai très tôt utilisé mon background de biologiste pour savoir que le covid allait être très mauvais pour la société et que ça irait très vite. Dès janvier 2020, j'ai donc commencé à travailler sur une communauté dédiée au Covid.

Notre premier enjeu était de faire des tests de diagnostic *open source* puisqu'il manquait alors des *data* sur l'état actuel de la pandémie. Cela permettrait à n'importe quel biologiste ou ingénieur dans le monde de recréer facilement ces tests de diagnostic. Nous avons fait une première réunion dans laquelle nous avons trouvé une vingtaine de personnes qui venaient déjà de cinq ou six pays différents. Nous avons trouvé des personnes assez influentes comme Tom Knight. C'est un peu le père de la biologie synthétique, aussi le co-fondateur de Ginkgo Bioworks.

Moins d'un mois après, nous étions déjà plus de 500 personnes à participer. Fin mars, nous étions déjà à plus de 2 000. C'est monté très vite. À terme, ce programme que j'ai appelé Open 2019 était une communauté constituée de plus de 4 000 membres qui venaient de plus de 100 pays différents. Nous travaillions sur plus de 200 projets. Ils n'étaient plus seulement liés aux diagnostics, mais aux traitements, à la prévention ou à la recherche fondamentale. La plupart des projets nés au sein de ce programme se sont créés entre des personnes qui ne se connaissaient pas forcément et qui se sont rencontrées via la plateforme. La particularité de ce programme était de créer des solutions *open source* pouvant être récupérées par le plus grand nombre de gens.

La plateforme n'avait pas forcément besoin de beaucoup de ressources pour avancer. J'ai réussi à convaincre des partenaires financiers, en particulier le Fonds AXA pour la recherche. Je leur ai dit que j'avais des projets qui avaient besoin de sommes entre 2 000 € et 5 000 € pour franchir le prochain cap en termes de maturité technologique. Pourquoi ? Parce que les gens ne cherchaient pas forcément à se payer, mais avaient juste besoin d'acheter des consommables qu'ils n'allaient pas payer de leur propre poche. Je me suis retrouvé avec un budget et j'ai directement mis ce budget à disposition de la communauté.

Mon but était de savoir comment réussir à créer un système qui permette d'allouer ces ressources financières de manière optimale, sans que cela soit décidé de manière centralisée. L'habitude est de constituer un jury et ça peut être très long. L'idée était de nous baser sur l'intelligence collective de la communauté qui est exceptionnelle. Nous avions surtout besoin d'aller vite. Nous savons très bien que dans les programmes d'innovation, le goulot d'étranglement est en général l'évaluation. C'est ce qui prend le plus de temps. Les gens ne veulent pas le faire, il faut motiver des évaluateurs, et de toute façon nous n'avions pas le temps.

Il fallait vraiment que nous réussissions à trouver un système qui puisse parer à cela et qui pourrait être scalable.

Le deuxième problème que nous voulions résoudre était le fait que de nombreuses idées qui nous parvenaient n'étaient pas suffisamment matures pour justifier d'un financement. Il fallait peut-être les retravailler. Il fallait donc pouvoir accompagner le projet sur la durée en fonction de son niveau de maturité. Nous avons donc mis en place une évaluation continue qui se faisait par cycles. Il y avait un retour d'évaluation tous les trois mois, directement par les porteurs de projets. Qu'entendons-nous par-là ? Lorsque nous développons un projet et que nous demandons un financement, nous sommes en général experts de ce que nous faisons.

Nous avons donc fait ce que nous appelons une évaluation communautaire. Nous avons demandé directement aux porteurs de projets de s'évaluer les uns et les autres. Pour éviter les biais, nous avons mis en place un système qui les éliminait. Avec l'autonomisation, nous allions éviter que les évaluateurs choisissent eux-mêmes les projets qu'ils peuvent évaluer. Nous avons aussi fait en sorte que chaque projet soit évalué par au moins cinq évaluateurs.

Nous avons fait plus de 150 *reviews* de cette façon. Ça a donné un papier que nous avons publié, dans lequel nous avons justement analysé les biais potentiels et nous démontrons qu'il n'y a pas davantage de biais, voire moins que sur une évaluation classique. Par contre, la particularité est que c'est extrêmement rapide. Pourquoi ? Nous avons un délai d'une semaine pour le porteur de projet. C'est-à-dire que si vous voulez que votre projet soit financé, il faut que vous évaluiez au moins cinq autres projets. Nous vous donnons une liste de projets. Vous les évaluez. Si vous ne les avez pas évalués au bout d'une semaine, même si votre projet est exceptionnel, nous ne le financerons pas. Cela force un délai.

Cela force aussi les gens à s'impliquer, à ne pas être seulement clients du système, mais aussi à participer. Par ailleurs, les évaluateurs étant issus des projets, nous avons toujours le même ratio entre les évaluateurs et les projets, que nous ayons dix ou mille projets. Cela entraînerait donc une grande escalade et ça a très bien fonctionné. Comme les porteurs de projets lisaient les propositions des autres porteurs de projets, ils gagnaient en expérience sur l'écriture des propositions. Ensuite, ils se rendaient compte qu'il y avait des choses intéressantes dans les autres projets. Cela poussait à la collaboration et à la création de ponts entre projets.

Je vais vous donner un exemple. Sur les tests de diagnostics, nous avions au départ dix projets de tests de diagnostics que nous avons financés sur le premier tour. À la fin, au bout de cinq tours de financement et d'évaluation, il n'y en avait plus que trois. Ce ne sont pas les trois meilleurs. C'est une certaine fusion de ces dix projets en trois projets beaucoup plus forts qui a été créée. Ces trois projets étaient tellement solides que même avec très peu de ressources, ils sont tous arrivés en demi-finale du XPRIZE qui est une énorme compétition de l'innovation aux États-Unis à laquelle participent les grosses start-ups et institutions. Un des trois projets est même arrivé en finale. Nous sommes donc littéralement capables de faire la compétition avec des projets qui sont financés 10 à 100 fois plus que les nôtres.

Simplement par notre capacité à créer de l'intelligence collective, pour faire de meilleurs choix, plus stratégiques et plus productifs, nous avons des projets plus performants. Pour moi, cela a été un

marqueur de succès énorme dans la préhistoire de JOGL.

Mais un autre aspect est aussi très intéressant. De nombreux projets n'étaient pas financés au premier tour. Un tiers de ces projets étaient ensuite financés et deux tiers étaient rejetés. Quand le projet est rejeté, il reçoit des évaluations qui vont nous permettre d'aller plus loin. Entre temps, il aura été visible, parce que les autres membres de la communauté l'ont vu. Ils ont souvent la possibilité de renforcer leurs équipes ou d'avoir des conseils des autres membres de la communauté. Ils peuvent retenter leur chance trois mois plus tard - la plupart des projets que nous avons financés ont d'ailleurs été financés la deuxième fois.

C'est-à-dire qu'ils arrivaient trop tôt, mais ce n'est pas grave. Ça leur a permis de s'entraîner et de s'améliorer et ils étaient financés au deuxième tour. C'est un phénomène d'apprentissage. Cela renforce énormément la cohésion de la communauté et surtout la capacité à faire ressortir de très bonnes idées qui sur le moment ne seraient peut-être pas encore assez matures, mais qui peuvent le devenir à un certain moment. C'est quelque chose que les méthodes d'évaluation et de financement de projets actuels n'ont pas, et c'est très dommage.

Pour notre part, puisque nous faisons une évaluation continue, nous ne sommes pas obligés de donner tous les financements d'un seul coup. Cela représenterait beaucoup de risques. Nous aurions dilapidé l'ensemble de l'argent que nous avons reçu en une seule fois en prenant ce risque. Ici, on divise en permettant au projet de se faire financer sur la durée de manière itérative et additive. Nous faisons cela par micro subventions qui s'élevaient au maximum à 5 000 €. La plupart des projets étaient financés à hauteur de 1 000 € à 5 000 €. Tous les trois mois, un projet qui avait déjà été financé pouvait demander à être refinancé, en prenant en compte les nouveaux résultats et en montrant comment il arrivait à avancer. C'était encore une fois évalué par la communauté. Si ça passait, ils étaient refinancés.

Certains projets ont ainsi été financés jusqu'à cinq fois et à hauteur de 30 000 € ou 40 000 €, sur les 150 000 €. À la fin, nous avons financé 36 projets sur lesquels plus de 80 % ont donné naissance soit au moins à un produit fonctionnel, soit à un article de recherche publié dans un journal à comité de lecture : 22 projets ont été fonctionnels - certains sont même devenus des entreprises - et une douzaine des articles scientifiques.

Tout cela a été fait avec notre budget. Nous avons donné 150 000 € en tout à la communauté lors de ce premier tour. Parlons de rendement, même si cela ressemble parfois à un gros mot : le fait d'avoir ce type d'*outputs* pour 150 000 € ne représente pas un rendement deux ou trois fois supérieur à ce que nous pouvons connaître d'habitude, mais dix fois supérieur.

Nous pouvons l'expliquer en partie par le fait que c'était pendant le covid et qu'il y avait une propension particulière à participer. Même si ça peut réduire un peu ce rendement, nous sommes clairement sur un système supérieur. C'est devenu un enjeu pour nous : comment réussir à amener ce système à n'importe quelle organisation de recherche et d'innovation ou d'impact, que ce soit des organisations institutionnelles, privées ou même tout simplement des collectifs ?

C'est ainsi que le deuxième chapitre de JOGL s'est ouvert il y a maintenant un an : c'est aussi devenu une entreprise qui développe un produit numérique. C'est une plateforme qui nous permet de proposer ce que nous appelons un modèle SaaS (*Software as a Service*)

aux instituts de recherche, aux collectifs, aux consortiums d'innovation, aux entreprises, aux écoles et aux universités, pour permettre de mieux s'organiser.

Conférence ②

Gérald Gaglio

Gérald Gaglio

Professeur des universités en sociologie, Université Côte d'Azur

Je suis issu du milieu académique. J'ai réalisé ma thèse de doctorat en 2005 sur des questions de téléphonie mobile. J'ai étudié la diffusion de la téléphonie mobile en France et l'incidence sur les rapports sociaux en France. Ces quinze dernières années, je me suis beaucoup penché sur le monde de la santé. En lien avec l'innovation et avec le monde des organisations, j'ai travaillé sur l'implantation de la télémédecine dans les années 2015 en étudiant notamment une expérimentation de télémédecine dite d'urgence entre des Ehpad situés dans le nord-est de la France et un centre 15 du Samu. J'ai travaillé là-dessus et j'ai élargi un peu cette perspective dans un numéro spécial de la revue *Réseaux*. C'est la première revue en sciences sociales sur le numérique et dans laquelle je publie souvent.

Ces deux dernières années, je me suis intéressé à ce nouveau totem de l'intelligence artificielle en regardant comment cela arrivait dans le domaine de la radiologie, plus précisément dans le segment de la traumatologie et des mammographies. Je suis sociologue, donc ma manière de travailler est ethnographique, c'est-à-dire que je me déplace, jour et nuit, par exemple dans ces Ehpad dont je vous ai parlé. Je suis les professionnels au cours de leur journée de travail pour essayer de voir ce que le dispositif technologique sur lequel je me focalise leur apporte et ce qu'ils en font.

J'ai fait la même chose pour ces logiciels de détection automatique dont vous avez certainement entendu parler. J'ai essayé de comprendre comment cela arrivait par exemple dans les CHU ou dans des cabinets privés, selon quel type de dynamique. Il y a parfois aussi une dynamique de financiarisation de ces cabinets privés. Comment les professionnels, les manipulateurs ou parfois aussi les personnes qui s'occupent de l'informatique dans les CHU, attrapent ces logiciels? C'est parfois comme quelque chose qui tombe du ciel, sans que vous soyez véritablement informé. Je regarde ensuite les gens travailler. Je discute avec eux. Je les prends en interview pendant longtemps et de manière structurée, pour leur poser un certain nombre de questions. C'est ce qui fait le terreau de mes analyses.

Pour ce qui concerne l'innovation, cela amène une posture et un positionnement. Je suis sociologue, donc je ne suis ni pour ni contre l'innovation. Je ne suis pas quelqu'un qui va faire un plaidoyer pour l'innovation, qui va analyser ou aborder cela par le biais d'une forme de béatitude, ni en adoptant un point de vue nihiliste. Ce n'est pas mon propos. Mon propos est de dire que des dispositifs technologiques sont élaborés et conçus par des personnes qui veulent changer la donne ou gagner de l'argent. Il y a toute une série de raisons. J'essaie de voir comment cela travaille la société, particulièrement certains segments de la société. J'essaie aussi de voir comment ces dispositifs sont transformés par le biais de la rencontre avec des milieux professionnels et des préoccupations notamment éthiques que ces personnes peuvent avoir.

Je vais vous parler d'écosystème d'innovation, ce qui fait un peu écho à l'expérience de JOGL. Je vais

essayer de déplier cette notion, de la mettre en perspective et d'en identifier un certain nombre de sous-basements. Cette notion qui circule beaucoup et qui est très employée au sujet de l'innovation nous permet précisément de réfléchir ensemble au phénomène de l'innovation dans notre société. C'est ce que j'essaie de faire en tant que sociologue. C'est un bon exercice de style pour moi, parce que ce n'est pas du tout une notion qui vient de la sociologie. C'est une notion essentiellement mobilisée par les économistes, plus encore par les chercheurs en sciences de gestion et aussi par les acteurs.

Les sociologues ont donc bien évidemment un intérêt à cette notion. Ce qui fait la différence entre un ou une sociologue de l'innovation et des chercheurs en sciences de gestion, c'est typiquement le fait que mon point de vue est analytique. Il est lié à des observations *in situ* pour suivre des trajectoires. Cela est lié à des dispositifs et des processus d'innovation. Mon point de vue ne sera jamais normatif. Je ne dirais jamais quelles sont les valeurs qu'il faut poursuivre. Je serai encore moins prescriptif en disant qu'il faut faire comme ceci ou comme cela.

Pour commencer, cela fera un peu office de rappel, mais cette notion d'écosystème parfois un peu nébuleuse a pour inspiration la biologie. Pas forcément comme réalisation, mais comme inspiration. C'est sa force d'un certain côté, puisque nous comprenons ce dont il en retourne. Ce n'est pas moi qui le dis, c'est dans la *Revue française de gestion*. Il y a eu un numéro spécial sur ce sujet en 2012. Cette référence à la métaphore biologique peut être aussi sa faiblesse. Pourquoi? Précisément parce que cela ne peut que renvoyer à une métaphore. Nous pouvons donc avoir du mal à voir concrètement ce dont il en retourne. Cela renvoie aussi à la métaphore du réseau et à l'idée qu'en se mettant ensemble et en stimulant les intelligences individuelles pour qu'elles deviennent collectives, cela stimulera l'innovation. À l'origine, si je prends la formulation de Moore en 1996, cette notion d'écosystème est très *business*. On parle au début d'écosystème d'affaires. Ces écosystèmes d'affaires ne concernaient au départ que des entreprises qui mutualisaient un certain nombre de ressources.

La notion s'est donc élargie et nous parlons beaucoup aujourd'hui d'écosystèmes d'innovation. Cela fait référence à des mises en commun de ressources, à des mises en réseau d'acteurs beaucoup plus hétérogènes que simplement des entreprises. Cela peut être des entreprises, mais aussi des collectivités locales, des chercheurs, des associations ou de simples citoyens préoccupés par un même enjeu. Cette notion suppose aussi une mise en commun au sein d'un espace ou d'un territoire. Nous pourrions peut-être en discuter. Une déclinaison que nous voyons souvent est «l'écosystème territorial». Cela repose aussi beaucoup sur l'idée qu'il faut partager un espace physique. Les effets de synergie et de rencontres vont justement se produire via cet espace physique.

Quand nous regardons aussi la littérature, cette notion d'écosystème renvoie à l'idée de développement. C'est-à-dire que l'écosystème a vocation à se développer, il n'est pas figé. Ce n'est pas un système fermé, verrouillé et balisé. Il y a aussi la notion d'interdépendance heureuse et vertueuse que nous pouvons comprendre par son envers. Qu'entendons-nous quand

nous parlons par exemple de biodiversité et de faillite de la biodiversité ? Nous entendons qu'une espèce disparaît. C'est donc *mal* pour cette espèce en particulier, mais c'est aussi tragique pour l'ensemble d'un écosystème puisque toute une série d'interactions qui avaient lieu avec d'autres espèces n'ont plus lieu. Au sens positif du terme, l'interdépendance est vraiment essentielle autour de ces écosystèmes d'innovation.

Pour poursuivre, quelle forme cela prend-il ? L'écosystème est souvent un *cluster*. Cela peut être par exemple des *smart cities* ; je fais ici référence aux travaux d'Ann Lee Satsegnan. Comme je le disais tout à l'heure, cela repose sur un postulat considérant que la proximité géographique et physique d'un certain nombre d'acteurs qui vont devenir partenaires créera symboliquement des étincelles, des idées et donc de l'innovation. Dans les travaux d'économie géographique, ce postulat a été en partie contesté, notamment en ce qui concerne la *Silicon Valley* ou plus proche de nous, l'environnement à Saclay.

Le terme d'écosystème renvoie à l'action publique. Dans l'idée d'écosystème d'innovation, il y a donc une dimension institutionnelle. Autrement dit, cela renvoie à la manière dont l'État ou les acteurs publics vont tenter de favoriser et d'impulser l'innovation.

Nous ne parlerons donc pas ici d'une innovation. Je préfère parler d'un *processus* d'innovation parce que rien n'est innovation, mais tout peut éventuellement le devenir. Nous n'allons pas parler ici d'un processus en particulier, mais nous parlerons finalement d'un attelage institutionnel notamment porté par les acteurs étatiques pour favoriser ou créer les conditions favorables à l'émergence ou à la maturation de l'innovation. Du point de vue des pouvoirs publics, cela doit généralement se faire par un ciblage thématique et par une délimitation géographique.

Dans ce cadre, des moyens sont mis en œuvre, notamment dans le cadre d'appels à projets, avec une invitation forte à la rencontre et une incitation à l'implantation sur un site pour mettre en commun des ressources. Vous connaissez un exemple précis de cela : les pôles de compétitivité qui ont été mis en place dans les années 2000. Ce qui est intéressant aujourd'hui, c'est que cette notion d'écosystème de l'innovation se décline notamment avec une autre qui est celle de « bac à sable ».

Il y a maintenant des bacs à sable partout. Je vous donne un exemple parmi de nombreux autres. Quand nous lisons le rapport Villani sur l'intelligence artificielle, il incite à cette mise en place de bacs à sable. Que cela veut-il dire ? Au-delà de l'aspect infantilisant de la chose et peut-être moins ambitieux, il met l'accent sur l'expérimentation et sur la démultiplication ou cette volonté de démultiplier les expérimentations en donnant peu à beaucoup d'acteurs.

Cela a prêté le flanc à un certain nombre de critiques des auteurs ou des acteurs qui préféreraient des politiques industrielles « à l'ancienne », dans lesquelles nous ne sommes pas dans une sorte d'imaginaire où des petites pépites vont devenir des licornes. Il y a une question de fond qui demande aussi à être abordée. Pourquoi l'État s'intéresse et promeut l'innovation, les écosystèmes d'innovation, les actions publiques et les dimensions institutionnelles ? Qu'est-ce qui fait que l'État s'intéresse à l'innovation ? La raison est assez simple.

De mon point de vue, l'État et les acteurs publics raisonnent à l'intérieur d'une équation qui est la suivante : l'innovation est le moyen de retrouver une croissance perdue.

Cela signifie des emplois et de la prospérité. Pour essayer de mettre un peu d'ordre dans cette réflexion, parmi les leviers publics de l'État, de l'Europe et des collectivités territoriales, nous sommes dans une action publique en forme de poupée russe. Il y a généralement deux orientations. La première est ce que nous appelons les politiques de l'offre, avec des soutiens aux entreprises, du soutien à la recherche et des crédits d'impôts. C'est ce que les économistes appellent « favoriser la compétitivité hors cout ». Il y a aussi ce qui nous intéresse aujourd'hui : tout ce qui relève d'une politique tournée vers la demande. C'est justement ici qu'on retrouve la mise en place d'écosystèmes favorables. On trouve parfois dans la littérature l'expression « *ecosystem friendly* ».

C'est la mise en avant au niveau européen de ce qu'on avait appelé dans les années 2010 les « marchés porteurs ». Au niveau de l'État français, ce sont aussi les concours d'innovation comme la Commission Innovation 2030 qui a été portée par Anne Lauvergeon. Il y a cette idée que l'innovation devrait émerger de l'État et que la puissance publique est à même d'accompagner les innovateurs et les innovations.

Il me semble que cela fait la transition avec JOGL. Selon ce que j'en comprends, ce n'est pas du tout l'idée qui y est mise en avant et que l'on tente au contraire d'avoir peu d'État, surtout pas d'État ou un État qui fait partie de l'écosystème et de l'équation, mais sur lequel nous n'allons pas précisément nous reposer.

J'ai trouvé, dans l'un des supports que Thomas Landrain m'a envoyés, l'idée très intéressante de « couts de collaboration ». J'ai trouvé cela très intéressant car dans le monde de la recherche, nous connaissons les couts de transaction et de coordination. Les couts de transaction, c'est typiquement une entreprise qui va délocaliser une partie de son activité, qui va externaliser et qui en revient parce que cela crée trop de couts de coordination et de transaction.

Les couts de collaboration sont très intéressants pour penser l'innovation. Il y a d'un côté la coordination, les processus et les finalités précises que nous allons assigner. Il y a aussi la coopération et la collaboration. Qu'entendons-nous par là en sociologie de l'innovation ? C'est par l'interconnaissance mutuelle, par l'intercompréhension, par des formes de confiance qui vont se créer et par des formes de solidarité que l'innovation se produit.

Ma deuxième remarque tourne autour de l'idée de laboratoire. Vous élaborez beaucoup de choses là-dessus, par rapport à toute la trajectoire absolument passionnante de chercheurs puis de personnes impliquées pour créer vous-mêmes des projets et les accompagner. Or, il me semble que vous subvertissez l'idée de laboratoire. En venant de la biologie, un laboratoire est un lieu où tout doit être contrôlé. Je ne veux pas tourner en dérision les laboratoires, ce n'est pas le propos, mais c'est un endroit où il faut créer les conditions de la répliquabilité. Cela suppose donc des conditions et un environnement. Finalement, tout ce que vous avez raconté m'a semblé être une subversion de cela : quelque chose qui est ouvert, où tout est potentiellement singulier et où les choses vont se réguler, non pas par une forme d'anarchie, mais par des bonnes volontés, des compétences et l'investissement des personnes. Peut-on donc encore parler de laboratoire ?

Discussion 1

Laboratoire et communauté d'expérimentation

Question 1

Gerald Gaglio

J'ai deux questions pour Thomas Landrain. Dans l'aventure JOGL qui est quand même bien lancée, comment construit-on une légitimité de tiers ? C'est-à-dire une légitimité d'écosystème d'écosystèmes ? On voit bien un rôle de compétitivité, on le comprend : il y a un lieu, un périmètre géographique et des financements. La légitimité est liée au fait que l'État accompagne. Comment un tiers construit-il sa légitimité ?

Ma deuxième question est par rapport à votre expérience personnelle. Vous nous avez beaucoup parlé de lieux, de ce squat, de ces 50 m² puis de ces 800 m². On comprend bien comment ça aide à faire réseau. Comment passer de cela à quelque chose qui est principalement appuyé par une plateforme numérique ? J'insiste parce que je pense qu'on ne peut pas totalement opposer les deux. Finalement, là où ça prend, où ça tient et où il y a une forme de pérennité, c'est là qu'on ne reste pas uniquement dans des formes de résolution de problèmes. Du lien se crée.

Thomas Landrain

Je vais commencer par la deuxième question. En effet, j'ai d'abord monté un laboratoire physique de biologie. À un moment donné, nous avons besoin d'aide pour réaliser un projet et l'atome de cet écosystème, c'est le laboratoire. Très rapidement, on s'aperçoit qu'il existe des centaines de milliers de laboratoires dans le monde. Certains sont petits, d'autres grands, ouverts ou fermés. Ils ne dialoguent pratiquement pas. Cela dépend du fait qu'ils fassent partie de consortiums qui soient fonctionnels ou pas.

Nous avons des *FabLabs*. C'est un consortium bien particulier et même les travailleurs entre eux n'ont pas vraiment de projets importants par rapport à la taille du réseau qu'il y a derrière.

Pour moi, c'est un enjeu : on ne manque pas de ressources, on manque de connexions. Comment faire en sorte que les ressources et ces personnes puissent naviguer de manière optimale pour se cristalliser autour des problèmes plus intéressants à résoudre, avec les personnes et les ressources les plus pertinentes ? Il y a forcément aussi un besoin de mettre en place un programme d'asymétrie parce qu'on ne peut pas avoir tout le monde et toutes les ressources sur tout un projet. C'est là où l'évaluation interne est faite.

Qu'est-ce qu'un laboratoire de mon point de vue ? C'est avant tout un espace d'expérimentation. Un garage peut être un laboratoire à partir du moment où on sait en y entrant qu'on va essayer de créer quelque chose pour transformer le monde. Nous allons essayer de comprendre quelque chose. Il peut s'agir de démonter un équipement pour comprendre son fonctionnement. Nous aurons besoin d'outils plus spécifiques que ce que nous pouvons trouver dans une cuisine, un salon ou une salle de jeu. Pour moi, c'est avant tout un espace dans lequel nous avons des outils physiques ou numériques qui nous permettent d'étudier la complexité d'un objet que nous voulons étudier ou que nous voulons créer.

En soi, avoir des murs blancs aseptisés n'est pas ce qui permet de créer un laboratoire. En effet, cela

peut permettre de créer les conditions nécessaires à une meilleure reproductibilité, mais lorsque l'on est au tout début d'un projet, on n'a en général pas besoin d'un tel niveau de contrôle. Lorsqu'on commence un projet, on fait une preuve de concept pour montrer la voie. On peut faire cela dans des conditions presque «boueuses». Le début de la révolution scientifique ne s'est pas fait dans des laboratoires avec des murs blancs. C'était dans des chaumières, avec de la suie sur les murs. Ça n'a pas empêché de faire des choses intéressantes.

Je pense que le laboratoire est avant tout un espace mental. Quand nous nous projetons, nous laissons quelque chose à l'entrée du laboratoire. Nous laissons nos préjugés et nous venons ouvrir notre esprit à des découvertes potentielles. Pour moi, c'est quelque chose que nous ne trouvons pas forcément dans les laboratoires ou les institutions académiques. Pourquoi ? Car il y a un peu une chape de plomb. C'est-à-dire qu'il y a une pression très particulière qui peut intimider. Cela peut être l'intimidation du *newbie*, du débutant ou de la personne qui a envie de tester quelque chose de nouveau, mais cela peut aussi être une intimidation par la course à la publication. Un cadre vient pressuriser la personne et cela peut l'empêcher d'explorer de manière optimale le sujet qui l'intéresse.

C'est ce que j'ai voulu effacer au début pour venir à l'essentiel. Un concept va toujours impressionner. Nous connaissons tous la pyramide de la chaîne alimentaire. La plupart de la biomasse se trouve en bas de la pyramide. Au fur et à mesure que les animaux se «mangent entre eux», nous arrivons à une biomasse de plus en plus fine. C'est-à-dire un nombre d'espèces et une taille de biomasse de plus en plus petite. Nous arrivons au bout de la chaîne alimentaire. Cela dépend de là où nous nous trouvons.

Si nous regardons la chaîne alimentaire des idées, c'est-à-dire où elles sont nées, comment elles sont recyclées et redigérées de façon à ce qu'elles deviennent *mainstream*, c'est une pyramide inversée. C'est-à-dire qu'au départ, les personnes qui peuvent vraiment créer de très nouvelles idées et de nouveaux concepts sont très peu nombreuses. C'est vraiment à travers différents processus de redigestion que nous pourrions les rendre communes. Ce qui m'intéressait vraiment était de savoir comment nous arrivions à créer un espace où nous aidons ces personnes sur ce point. Pour moi, cette pensée a été très radicale à la base : il faut un espace. Nous ne savons pas qui seront ces personnes, ce ne sont pas forcément des chercheurs. Ce n'est pas parce que nous avons un doctorat que nous sommes plus légitimes qu'une autre personne à avoir une idée intéressante. Je le crois profondément.

Le programme de résidence que nous avons à La Paillasse nous a permis justement d'accueillir différentes personnes. C'était aussi intéressant pour des étudiants. Ils ont très peu de latitude pour expérimenter des projets personnels, ils n'ont pas accès aux équipements et aux ressources de leurs propres écoles en dehors des séances de travaux pratiques. Et les TP sont évidemment dirigés. Même quand nous prenons l'exemple des chercheurs eux-mêmes, ce qui est mon cas, ils seront bloqués dans les réutilisations des ressources de leurs laboratoires. Nous avons donc égale-

ment plusieurs chercheurs qui venaient à La Paillasse pour réaliser des projets. Sans parler des artistes et des designers qui venaient aussi à La Paillasse.

Nous avons étendu ce concept avec JOGL. Cela nous a permis d'aller chercher des profils beaucoup plus lointains. Quand on regarde par exemple le programme sur le covid, sur les 36 projets que nous avons financés, les personnes venaient de 19 pays et de 5 continents différents. Nous avions des personnes qui étaient autant des chercheurs accomplis que des professionnels qui travaillaient eux-mêmes dans des entreprises ou des institutions. Il y avait aussi des enseignants et des professeurs, mais aussi des étudiants. Ils pouvaient être en master ou en licence.

Il y avait également des lycéens, par exemple un projet qui a été développé par des lycéens basés à Seattle. Ils cherchaient à développer un logiciel pour aider les établissements scolaires à faire de meilleures prédictions après détection de Covid. Il fallait faire une simulation. Personne ne les écoutait à ce moment-là, parce que c'était une bande de lycéens. Ils sont venus sur notre programme. Ils ont fait une proposition de projet qui a été évaluée au même titre que tous les autres projets et ils ont reçu le tampon de validation. Ils ont donc été financés, mais ils ont surtout reçu un tampon de validation. Ce tampon de validation est finalement la même chose que le fait d'avoir un titre académique. Ils ont une affiliation académique, on les prend donc tout de suite au sérieux. Tout à coup, ils ont été validés par un comité d'experts. Ils ont reçu un peu d'argent et cela a été une plateforme de lancement extraordinaire pour eux. Après cela, ils ont pu passer plusieurs partenariats avec des écoles locales à Seattle pour faire leur preuve de concept. Cela a très bien fonctionné. Ils ont même créé une entreprise par la suite. Parfois, cela ne tient pas à grand-chose.

L'autre exemple est celui d'un jeune technicien de laboratoire aux Philippines qui travaillait dans un petit laboratoire. Il souhaitait développer un kit qui tient dans une valise pour faire de l'analyse d'ADN environnemental afin de regarder où se trouve le covid dans la nature. Il s'agissait d'aider à prédire la propagation du virus et de ses variants au sein du territoire philippin. Ce sont des choses très bien vues par les institutions. L'idée pour lui était de le faire en *open source*, libre et avec moins de 1 000 €. La personne en question est vraiment sortie de nulle part. Il était relativement jeune, motivé, mais la première fois qu'il a déposé son projet, il n'a pas passé le seuil de qualité pour être accepté. Il a été repéré par d'autres membres de la communauté qui l'ont aidé.

Il a consolidé son équipe et il est revenu trois mois plus tard avec une meilleure proposition qui a fait partie du top 3 des meilleurs projets financés. Il a eu de très bons résultats. Il a été refinancé une ou deux fois par la suite et il s'est fait repérer assez rapidement. Six mois après son financement, il travaillait déjà avec l'agence de santé publique philippine. Nous avons donc permis de nombreux cheminements individuels passionnants, parce que nous avons justement effacé les fourches caudines habituelles qui sont basées sur des a priori. Nous avons pu faire face à cet afflux de profils atypiques parce que nous avons une méthode d'évaluation qui fonctionnait.

Je vais vous donner une autre anecdote. Nous avions quelques volontaires bénévoles pour nous aider à gérer ces milliers de personnes. Ils venaient aussi de partout dans le monde. Ils nous aidaient par exemple à accompagner les nouveaux arrivants et à gérer plusieurs aspects du programme d'un point de vue opérationnel. Une de ces volontaires était aussi une jeune lycéenne de 17 ans.

Elle était extrêmement efficace. À l'époque, en 2020, j'avais l'impression d'avoir en face de moi une

senior en management, avec probablement dix ans de bagage derrière. Tout ce qu'elle produisait fonctionnait extrêmement bien. Elle était tellement efficace que j'ai décidé au fur et à mesure de la nommer co-directrice du programme. Ce programme né en 2019 était donc co-dirigé par moi et une lycéenne de 17 ans qui avait été repérée par le programme. Ce qui est étonnant, c'est qu'elle s'apprêtait au mois de mai ou juin 2020 à retourner à l'école pour passer son bac. Elle est donc repartie et elle m'a écrit à nouveau au mois d'août. Elle était prise dans une université américaine.

Il n'y avait aucun doute qu'elle avait un talent extraordinaire. C'était encore pendant le covid, les universités étaient fermées et c'était compliqué d'étudier à distance. Elle ne voulait pas sacrifier sa première année d'université. Elle m'a donc écrit pour me demander si je pensais qu'il y avait un poste. Je ne l'ai pas simplement prise comme stagiaire, mais je l'ai nommée directrice opérationnelle de JOGL. Pendant une année, nous avons une directrice opérationnelle de 17 ou 18 ans pour une association qui avait pratiquement un demi-million d'euros de financement annuel. Cela nous a permis de détecter, de trouver ce genre de talents et de les mettre en pratique.

Gérald Gaglio

Ce qui me fascine dans ce que vous racontez, c'est que c'est le « faire » qui est important. Ce n'est pas le statut. L'important n'est pas la validation par une institution ou quoi que ce soit, mais l'évaluation au sens de révélation de la valeur potentielle. Il s'agit donc de le faire via une communauté. Je voulais juste apporter deux éléments par rapport à ce que vous disiez.

Pour moi, la notion d'expérimentation est essentielle pour comprendre l'innovation. Vous connaissez la distinction entre invention et innovation. Chez Schumpeter, il y a d'un côté une découverte, une nouveauté et des inventions. De l'autre côté, il y a des innovations. C'est la mise en pratique des bonnes idées, la mise en usage pour créer de nouvelles pratiques. L'innovation n'est pas une équation, ce n'est pas un produit. Je suis resté longtemps avec cette définition et cette dichotomie en tête. Elle fonctionne bien, si je puis dire, elle aide à dissocier le bon grain de l'ivraie et à y voir plus clair, mais je pense qu'elle n'est pas suffisante. Pourquoi ? Parce qu'à partir du moment où nous dissociions les deux, nous allons donc considérer l'innovation comme quelque chose qui fonctionne nécessairement. Cela va nécessairement donner lieu à une appropriation à une échelle importante.

Quand nous faisons de la sociologie et quand nous étudions des processus d'innovation, nous nous apercevons souvent que nous sommes entre deux eaux. Nous sommes souvent dans des zones grises. Parfois, nous sommes dans des semi-échecs qui donnent lieu à une ramification qui amène elle-même à un autre échec. La fois suivante, cela donnera lieu à une réussite. Il est donc aussi intéressant d'envisager l'échec pour penser le phénomène de l'innovation. Il est intéressant d'envisager des trajectoires et des ramifications : j'appelle cela des bénéfices collatéraux. C'est-à-dire que cela part souvent d'un projet. Le projet n'aboutit pas, mais les acteurs se sont dit que ça n'a pas fonctionné sous cette première mouture et qu'ils vont donc se redéployer. Ils feront autre chose, mais ils n'auront pas fait cette autre chose sans l'expérience et l'apprentissage préalable.

C'est pour cela que d'un point de vue sociologique, l'innovation est fondamentalement une expérimentation. D'un point de vue théorique, étant donné que le terme d'expérimentation est très employé par les pouvoirs publics et que nous l'entendons

partout, je parle d'exploration. Innover, c'est explorer. C'est essayer de découvrir quelque chose pour essayer. On n'est pas satisfait de la façon dont les choses se passent dans tel ou tel milieu, on ne sait pas exactement où on va arriver, mais on sait d'où on part. On explore donc et on va se confronter au sol raboteux du réel et aux oppositions des personnes en place.

Pour rebondir sur l'histoire de la pyramide, il me semble qu'il est effectivement très important de ne pas assimiler innovation et nouveauté. C'est important de dissocier les deux. Pourquoi ?

Parce que nous nous apercevons que l'innovation est souvent du recyclage de l'ancien. C'est de l'ancienneté revisitée. C'est même parfois ce que j'appelle de la rénovation. Vous preniez tout à l'heure l'exemple de l'*open source*, de l'*open data* et des logiciels libres. Ce n'est rien de moins que l'informatique avant Microsoft. Tout était ouvert, le code était partagé.

Ce n'est donc pas nouveau, mais c'est de la rénovation au sens où un certain nombre d'acteurs proposent de revenir à une situation antérieure apparaissant comme plus souhaitable, plus juste et plus productive.

Discussion ②

Institutions publiques, institutions communautaires

Question 2

Alexis Rayapoullé

Je ne peux pas m'empêcher de faire un parallèle entre vos propos et le débat entre la «santé publique» et la «santé communautaire».

Il y a deux grands paradigmes dans la façon dont on tente d'améliorer la santé des populations. La santé publique est l'idée d'un État qui veut mettre en place des choses pour inciter les gens à faire certaines choses qui vont améliorer la santé des populations. La santé communautaire tient plutôt dans l'idée que nous allons constituer ou repérer des communautés déjà constituées pour les laisser elles-mêmes définir leurs problèmes de santé et les solutions qu'elles doivent mettre en place pour les améliorer. J'ai l'impression de retrouver un peu de cela dans l'innovation classique telle que Gérard Galio en a parlé - vous avez parlé des *clusters* d'innovation et des pôles de compétitivité - par rapport à ce qu'a pu faire Thomas Landrain, qui relève de la logique communautaire.

Gérald Gaglio

La santé publique et la santé communautaire peuvent parfois se rejoindre. Je pensais justement à l'exemple de ces deux personnes qui avaient réussi pendant le Covid à prédire l'évolution de la propagation du virus en allant regarder dans les eaux usagées. C'est effectivement une initiative privée au sens communautaire du terme. Cela a été ensuite récupéré par les pouvoirs publics dans un but de santé publique. Je suis très attentif à cela en tant que sociologue de l'innovation qui s'intéresse à la santé. Il y a derrière des questions de santé publique et des questions politiques.

Quand j'ai étudié la télémédecine et les expérimentations avec les Ehpad, ce qui m'a intéressé, c'est finalement la capacité et les formes de coopération ou de non-coopération entre le monde sanitaire et le monde médico-social, ainsi que le traitement médical du grand âge. La technologie était finalement un prétexte pour aborder ce type de questions. J'étudie actuellement

ces logiciels d'intelligence artificielle implantés dans les hôpitaux et les services d'urgence. Je trouve que cela pose des questions politiques et des questions de santé publique. Collectivement, nous pouvons tolérer des erreurs faites par des humains, mais la question est de savoir si nous pouvons tolérer des erreurs qui seraient réalisées par des algorithmes, des machines et des logiciels avec notre consentement d'humain. Il me semble que la question mérite d'être posée d'un point de vue éthique. Si vous voulez, nous ne pouvons que l'adresser avec des enquêtes extrêmement précises sur des lieux bien délimités.

Thomas Landrain

Une des questions de Gérard Gaglio était de savoir si nous ne serions pas anti-institution. Ce n'est pas du tout le cas. Je pense que nous cherchons plutôt à vraiment ouvrir un espace complémentaire. Les institutions sont absolument nécessaires, ne serait-ce que pour des temps longs. Elles permettent aussi à la responsabilité de l'État de s'exprimer à travers les équipes. Je pense que nous sommes en train d'ouvrir ici un espace d'expression à la fois pour les personnes qui ne pouvaient pas s'exprimer, mais aussi un espace de rencontre nouveau et peut-être plus agile pour les acteurs institutionnels. Nous voyons qu'avec la plateforme JOGL, nous travaillons aujourd'hui avec l'Institut national du cancer, le Génomole et l'AP-HP.

À la fin, ce qui compte c'est qu'il y ait des humains qui cherchent à collaborer et qui, de manière générale, veulent le faire de la manière la plus agréable. Aujourd'hui, c'est aussi un outil qui permet de le faire. Nous voyons aussi que nous avons tendance à avoir des silos et à permettre, avec l'ensemble des écosystèmes que nous hébergeons sur notre plateforme, qu'ils puissent créer des ponts entre eux. Cela permet de créer une dynamique de découverte, de partage d'idées, de ressources et de prise d'initiatives qui sera complémentaire à celle qui se produit déjà naturellement à travers les programmes institutionnels.

Nous avons une prise de position. Nous cherchons même à travailler avec l'institution. Pour vous donner un exemple, nous avons travaillé avec l'AP-HP pendant le Covid. L'AP-HP était un de nos partenaires. Nous avons un partenariat sur le programme Covid-19. Comment faisons-nous? Nous avons cette importante communauté d'ingénieurs qui travaillait sur des évaluations médicales. C'était par exemple sur des pousse-seringues, des respirateurs ou des visières. Nous nous appuyions sur un programme qui avait déjà été mis en place par plusieurs médecins de l'AP-HP, comme Roman Khonsari et Cécile Monteil. Cela consistait justement à essayer de pouvoir imprimer des objets en 3D qui pouvaient être utiles à l'AP-HP. Ils pouvaient très bien convenir à l'urgence des soins appliqués. Notre enjeu était de savoir comment faire en sorte que les idées qui étaient amenées par la communauté soient aussi filtrées par un médecin, en se basant normalement sur la réalité de terrain. Nous avons eu ce contact continu pendant un certain nombre de mois avec la direction.

Discussion ③

Collaboration, *open source* et modèle économique

Question 3

Nicolas Castoldi

Pour reprendre ce que dit Thomas Landrain, il y a des moments où nous avons l'impression que l'écosystème est finalement une manière de permettre aux mêmes personnes de travailler différemment. Vous faites un contre-laboratoire. Les mêmes équipements ont beaucoup plus de liberté. Vous venez de dire à l'instant que cela fait souvent se rencontrer des gens qui ne se rencontreraient pas. Deux composants entrent là-dedans, mais avez-vous tous les deux une idée de la pondération entre ces deux facteurs? Je parle de la libération des collaborations possibles qui n'ont pas lieu dans l'espace normalement organisé versus le côté où je rencontre d'autres que moi, avec une complémentarité et l'émergence d'idées nouvelles liées à des croisements de personnes nouvelles.

Si je prolonge un peu ce point, l'une des manières de décrire ou d'interpréter cette notion d'écosystème est à la fois prodigieusement agaçante, mais pas inutile. Il se trouve qu'on l'a tout le temps prise comme cela, dans des concepts un peu *marketing*. Nous avons du mal à nous en passer, parce qu'ils disent quand même quelque chose. Si je reprends cette conception d'écosystème, nous essayons de désigner le fait de faire collaborer ensemble des gens qui ne collaborent plus ensemble. Cela renvoie à l'idée du silo que vous avez mentionnée. C'est peut-être plus directement une question consistant à nous demander si nous sommes capables de savoir comment ce discours émerge. À quel moment y a-t-il cette notion de silo à casser ou de rencontre à organiser? Avez-vous vu les choses dans la généalogie de ce discours? Par ailleurs, cela paraît quand même prendre le contre-pied de la logique de la division du travail social et d'une division du travail global. C'est quelque chose de très puissant. Nous le voyons moins dans le discours là aussi.

J'avais une troisième question pour Thomas Landrain. Comme Mehdi Benchoufi¹, tu as connu ce parcours qui conduit à une démarche très ouverte et très communautaire, avec un petit côté « société contre-laboratoire ». Tu as fait ce parcours pour aller vers une société, une *start-up* ou une entreprise. Ce n'est pas tout ce que tu fais, mais c'est une partie de ce que tu fais. C'est aussi le cas de Mehdi et il y a de nombreuses trajectoires comme cela. J'aimerais savoir quel regard tu jettes sur ces trajectoires. Y a-t-il là-dedans une tension ou une complémentarité éventuelle? Comment décris-tu ce voyage qui n'est pas trivial? Tu parles d'un laboratoire et d'un *hackerspace*. Comment vois-tu cela?

Thomas Landrain

Sur le premier point, je pense qu'un des plus gros freins est cette ambiguïté qui permet justement de faire naître des idées nouvelles. C'est une question de savoir ce que font les autres. Qui fait quoi, au sein de son propre cercle, mais aussi à l'extérieur? Il y aurait des voies pour que plusieurs personnes faisant partie du même laboratoire, du même institut ou des mêmes cercles de réflexions puissent faire naître beaucoup de collaborations possibles, mais elles n'apparaissent pas parce que ces points de contact ne se produisent jamais.

Il y a dès le départ un enjeu dans JOGL. Comment permettons-nous d'avoir une vision panoramique de ce qui se passe dans l'écosystème? Pourquoi est-ce important? En général, cette vision panoramique n'appartient qu'aux administrateurs; et encore, eux-mêmes ne l'utilisent même pas. Ces informations sont structurées dans des outils qui ne sont pas fait pour les exploiter. Pour moi, il y a un enjeu. Comment réduisons-nous les coûts de la collaboration en faisant en sorte qu'il y ait moins besoin d'administrateurs pour gérer un flux d'informations en donnant davantage d'autonomie aux membres pour naviguer et faire un

choix ? C'est important pour trouver des informations nouvelles et permettre l'innovation. C'est aussi vrai dans le milieu de la recherche scientifique que de l'innovation industrielle ou « *non profit* » que dans le milieu associatif avec les études d'impact.

Si nous prenons par exemple le réseau des *FabLabs* dont nous parlions tout à l'heure, il y en a des milliers dans le monde. Ces *FabLabs* ont du mal à savoir qui fait quoi. Il y a aussi un enjeu pour savoir comment créer la masse critique nécessaire pour attaquer des problèmes ayant une envergure plus importante si nous restons à faire des résumés sans remettre en question la cellule qui a un aspect pédagogique intéressant. Parfois, la complexité suffit à ajouter des problèmes locaux, mais c'est limitant par rapport au concept.

Gérald Gaglio

La première question est très difficile. J'aime bien l'expression : « *C'est prodigieusement agaçant, mais ce n'est pas inutile* ». C'est important parce que si nous voulons penser l'innovation collectivement, il ne faut pas rejeter d'un revers de main toute une série de termes à la mode, mais qui nous aident à penser puisque toute une série d'acteurs s'en saisissent et agissent en s'aidant de ces termes, avec tous les atellages institutionnels qui reviennent.

Je vais juste essayer de répondre à votre autre question sur la généalogie. Je n'ai pas étudié cela de manière très serrée, mais je pense que c'est lié à une autre histoire parallèle : celle de la critique à la fin des années 1990. C'est concomitant de ce que nous appelons le modèle linéaire de l'innovation, c'est-à-dire cette idée de recherche fondamentale d'abord, avant d'être décliné puis opérationnalisé. C'est cette critique du modèle linéaire de l'innovation fondée sur le régime des brevets et le développement de l'idée d'*Open Innovation* chez Clayton Christensen.

Il y aurait vraiment un travail à réaliser pour faire se rejoindre ces deux généalogies. Je pense qu'elles sont liées, mais qu'il faudrait travailler plus précisément. Il y a vraiment cette critique du modèle linéaire : « nous créons un brevet puis ensuite nous le développons ». Il y a la recherche fondamentale et cela descend ensuite par une forme de ruissellement. Pour l'*open innovation*, il faut ouvrir les vannes. Il faut faire appel à d'autres types d'acteurs et à la manière dont les pouvoirs publics s'en sont saisis pour créer des écosystèmes et essayer de générer une effervescence sur des territoires donnés. Je pense qu'il y a un lien entre les deux.

Thomas Landrain

Sur la troisième question de Nicolas Castoldi, il faut voir l'*open source* comme un commun. L'idée est que ce commun soit récupérable par le plus grand nombre. Le commun n'est pas un produit en tant que tel. Ce n'est pas forcément une solution. Il faut donc travailler ce commun pour l'adapter à un usage particulier et amener un service.

En général, que ce soit à travers JOGL ou Pili - je disais tout à l'heure que Pili avait commencé en *open source*. Aujourd'hui, Pili ne pourrait pas être ce qu'il est si nous n'étions restés qu'en *open source*. Nous nous sommes rendu compte que pour devenir une entreprise industrielle, il fallait des années de R&D et de mise à l'échelle. Cela fait neuf ans que Pili a été créé. Nous produisons nos premières tonnes de colorants seulement depuis cette année. Il nous a fallu des dizaines de millions d'euros et presque dix ans de développement pour en arriver là. Il faut pouvoir donner des garanties à ses créanciers.

Nous avons dû changer notre approche et devenir notre propre revendication. C'est la réalité, puisqu'il y a aujourd'hui un parcours d'innovation dans la tech. Le jour où nous pourrions passer de l'idée à un produit en biotechnologie en moins d'un an, les brevets auront moins d'intérêt, mais ce n'est pas encore le cas aujourd'hui.

Pour revenir à JOGL, il reste *open source*. La plateforme en tant que telle est adaptée pour l'entreprise. C'est important parce que nous voyons qu'il y a un produit qui va co-évoluer avec ses utilisateurs. Pourquoi en entreprise ? Parce qu'à la fin, il faut monter un modèle économique qui puisse être soutenable pour permettre toutes les innovations que nous voulons amener à travers une plateforme numérique. Cela coûte très vite très cher. Nous avons donc commencé à le développer en association et c'est très vite devenu un des premiers coûts de l'association qui devait financer plus de projets.

L'enjeu a été de sortir des produits numériques de l'association pour la laisser se développer et de créer une entreprise plus adaptée qui viendrait développer le produit en tant que tel. À la fin, nous voulions créer un produit qui puisse être facilement utilisable par le plus grand nombre. Cela demande donc une organisation en termes d'équipe, de profil, de mécanisme, en termes de distribution, d'attribution, de modèle économique, de vente, de maintien et d'accompagnement des clients. L'entreprise a du mal à tenir dans le format typique associatif. Tout dépend ce sur quoi est basé le modèle économique.

Si c'est la vente d'un produit unique, l'*open source* peut être un problème. Pour nous, ce n'est pas un problème parce que JOGL ne fait pas vraiment de l'innovation technologique, plutôt une innovation d'usage. Nous allons chercher de nombreuses fonctionnalités qui peuvent déjà exister dans d'autres plateformes et nous les réunissons dans un ensemble cohérent.

Encore une fois, ça va contre l'idée même de ce que nous voulons faire avec JOGL. Je ne sais pas si cela a été un sujet de débat avec Mehdi Benchoufi, mais *open source*, innovation et modèle économique constituent des sujets à part entière. Que ce soit dans le monde du *software*, qui est classique, mais aussi de plus en plus dans le monde du *hardware*, il y a des modèles très intéressants à explorer. Plus traditionnellement, nous aurons des objets comme Raspberry Pi ou Arduino. Il y a de plus en plus d'*open source hardware* dans la biotechnologie. Avec Pili, ça porte sur la fermentation et la manipulation génétique. L'*open source* existe, mais elle est vraiment minoritaire.

Elle est portée au début avec Pili par un effet du collectif qui essaie de démocratiser la biologie, comme ce que nous pouvions faire à l'époque avec La Paillasse. C'est aussi ce que nous avons fait avec Open Covid 2019. Nous avons encore fait un projet de biotechnologie *open source* avec JOGL, mais c'est très minoritaire. Cela n'a rien à voir avec ce qu'est aujourd'hui l'*open source* dans les *softwares*. Aujourd'hui, l'institution a presque la même manière de faire pour l'IA. Si nous développons une IA en *open source*, nous avons tout simplement très peu de chances qu'elle soit utilisée. Le *hardware* va venir petit à petit. Pour la biotechnologie, je pense que c'est une question de cycle économique. Pour la biotechnologie, je pense que nous sommes encore dans l'équivalent de l'esprit des années 1980 pour l'informatique.

Question 4

Nicolas Castoldi

On se dit que créer ces espaces, ces dynamiques, mettre à disposition des moyens et des ressources nécessaires pour pouvoir en jouer et donner les moyens sérieux du jeu n'est fixé par personne. On me pose souvent la question de savoir quelle est la boucle de retour. Sans entrer dans une logique de modèle économique global, il s'agit aussi de se dire que le secteur public, et par ailleurs le mécénat, prennent leur part dans le financement de ce type de démarche. Comment construisons-nous aussi des logiques de retour ? Je pense qu'il y a eu une réflexion sur ce point pour Pili.

Thomas Landrain

Il y a en effet deux manières de faire. Il y a des retours directs et indirects pour financer. Les retours directs sont des investisseurs qui prennent des parts directement dans l'entreprise. Ça paraît logique, mais d'un point de vue opérationnel, nous nous rendons compte que cela présente des obstacles parce que les institutions sont trop mêlées avec les membres de leur Conseil d'administration. Ça peut poser des défis opérationnels et logistiques aux entreprises. C'est une autre discussion.

Ensuite, il y a les retours indirects. Si l'on prend l'exemple de Pili, ça fait partie du coût. C'est une forme de réindustrialisation. La France a une capacité de production de colorants générale. Il y a un effet de création d'emploi. C'est aussi un financement de la recherche, parce nous finançons beaucoup de thèses Cifre chez Pili. Il y a donc un certain nombre de retours, même si nous sommes dans une phase dans laquelle nous dépendons encore beaucoup de subventions et d'investissements. Nous ne sommes pas à l'équilibre, mais cela prend plusieurs années.

Pour JOGL, le but depuis le départ est très clairement de ne pas seulement permettre aux communautés et aux collectifs d'exister et d'être plus performants, mais aussi aux institutions existantes d'être plus performantes. Ce n'est pas seulement dans le cadre ouvert, mais aussi dans un cadre privé. La nouvelle version de la plateforme actuelle permet autant de réaliser des collaborations de manière ouverte que de manière confidentielle. Cela dépend vraiment de la politique de cas d'usage. Il est possible pour un projet de passer par des phases ouvertes ou fermées et il faut pouvoir respecter cela.

Pour moi, comment faisons-nous pour rendre ? Si vous êtes une communauté ouverte et que vous travaillez sur un projet *open source*, la solution ouverte est totalement gratuite. C'est une manière de l'offrir, de rendre à la communauté un travail et de pouvoir aller chercher davantage de collaborations avec les personnes elles-mêmes intéressées pour continuer à l'avenir à faire évoluer ces modèles de collaboration. Aujourd'hui, nous avons une version en ligne, mais nous avons un travail de dix ans extrêmement poussé. Nous savons très bien que ce n'est pas seulement de la stratégie, mais de la tactique. Nous allons aussi vouloir travailler avec des mélanges de nouveaux systèmes d'innovation pour arriver à faire des preuves de concepts établissant que certaines choses sont possibles.

Par exemple, il y a de nombreux outils. Puisque nous gérons la gouvernance à l'échelle d'un réseau décentralisé, comment permettons-nous de créer de nouveaux modèles économiques pour ces communautés décentralisées ? Quitte par exemple à ce que demain les communautés qui essaient de travailler sur le cancer du sein se retrouvent peut-être à avoir une capacité financière supérieure à l'Institut Curie.

Par rapport à nous, elle est allée chercher des petites fondations publiques, mais aussi privées sous la forme de donations et de partenariat avec des industriels. Cela permet d'aller chercher des leviers peut-être plus intéressants. C'est à voir. Tout cela est encore à tester. Je crois profondément qu'il y a un avenir pour cette voie communautaire et la communauté presque comme une institution, avec ses responsabilités, ses modèles opérationnels et sa gouvernance.

- 1 Mehdi Benchoufi développe une solution d'échographie portable, également à partir d'une structure associative et *open source* avant de monter ensuite à une échelle industrielle. Cf. *L'échographie portable*, pp. 79-80

Discussion ④

Organisation du vivant, organisation de l'innovation

Question 5

Membre du public

J'ai une question sur votre démarche en biologie synthétique. J'avais l'impression qu'il y avait eu une importante influence de la démarche de la biologie synthétique pour produire quelque chose à partir de connaissances sur le vivant. Il s'agissait de tester des productions pour voir ce que ça allait donner. Dans votre démarche, vous ne dites pas que vous allez expérimenter ou faire tel type de collaborations. Le vivant «organiciste», ne pourrions-nous pas le qualifier «d'émergentisme»? N'y a-t-il pas une influence ou un parallèle dans votre façon de faire?

Thomas Landrain

La biologie synthétique est profondément interdisciplinaire. Pour pouvoir faire de la biologie synthétique, même chez les biologistes, il faut vraiment se mettre à la bioinformatique et à l'analyse de systèmes complexes. C'est quelque chose que nous avons fait à l'époque.

Très clairement, cela m'a amené à collaborer avec des gens très différents. Cela m'a beaucoup influencé dans ma manière de travailler. Si nous voulons nous amuser à faire des comparaisons sur la façon dont fonctionnent les systèmes du vivant, je pense en effet

que je travaille de manière très institutionnelle. Je suis entrepreneur. Je suis sorti de l'œuf académique et j'ai pris la casquette d'entrepreneur sans le savoir.

J'ai utilisé les intuitions que j'avais, basées sur la façon dont fonctionnaient les systèmes vivants. Puis, je l'ai fait pour le métabolisme, pour aller vers des systèmes stables, ce qui m'a guidé dans la gestion de communautés.

Discussion ⑤

L'éthique dans les initiatives communautaires

Question 6

Membre du public

J'ai une question par rapport aux différents processus d'évaluation mis en place. Beaucoup étaient évoqués sur l'évaluation des performances, mais à quel point aviez-vous un relai davantage éthique ou d'utilité sociale attendue des projets proposés?

Thomas Landrain

Le cadre d'évaluation du projet a été fait de manière à avoir une trentaine de questions posées aux évaluateurs. La moitié des questions portait sur la faisabilité du projet au niveau technique, opérationnel et autre. L'autre moitié des questions portait sur l'impact. Nous allons trouver ici des aspects éthiques et utilitaires. Cela a donné naissance à deux scores, puisque chaque question apportait un certain nombre de points. Les deux scores étaient évalués sur 5. Pour que le projet soit réalisé, il fallait que les deux scores soient au-dessus de 3,5/5. Nous n'avions pas de *numerus clausus* mais un seuil de qualité. Si tous les projets passaient le seuil de qualité, ils étaient tous financés. Ça n'arrivait

pas: en moyenne, environ 30 % des projets passaient à chaque tour. Mais cela rassurait énormément les porteurs de projets parce qu'ils n'avaient pas l'impression d'être en compétition.

Question 7

Alexis Rayapoullé

Thomas Landrain a beaucoup mis en avant le fait que cet écosystème communautaire de l'innovation fonctionnait bien : il produit de nombreux articles, il permet d'arriver à de nombreuses solutions et de résoudre de nombreux problèmes. Il a mis en avant un côté « performance » et « efficacité ».

Mais il a aussi ouvert ton propos en parlant de *hackerspace* en disant qu'il avait trouvé un « meilleur cadre moral ». Qu'est-ce qui fait que cette manière de faire de l'innovation est vraiment meilleure ? Est-ce vraiment une question d'efficacité ou est-ce plutôt la façon de poser les problèmes différemment ?

Thomas Landrain

Ce sont les deux. Vous avez besoin à la fois de vous poser les bonnes questions pour savoir pourquoi vous créez une innovation ou pas. De nombreuses innovations ne servent pas à grand-chose. Beaucoup de problèmes ne sont pas suffisamment traités. Il y a des phénomènes de mode et de tendances dans la manière dont nous allons distribuer les ressources financières.

Il n'y a pas de porte-parole nécessaire pour porter un sujet, aller chercher les ressources nécessaires et rassembler autour du sujet. Ou alors, ces programmes ne sont pas assez visibles et il faut les rendre visibles. Pour moi, il y avait vraiment un enjeu. C'est pour cela que nous avons l'impact dans nos métriques d'évaluation. Je parle de l'impact local et de la population. Depuis le début, ça a toujours été là. Pourquoi l'efficacité ?

Parce qu'à la fin, ce n'est pas parce que nous avons une meilleure morale que nous réussissons mieux. Nous voulons de très bons projets d'innovation avec une très bonne morale.

Conclusion

La régulation de l'innovation thérapeutique

08

Étienne Lengline

Étienne Lengline est hématologue à l'hôpital Saint-Louis (AP-HP) et vice-président de la Commission de la transparence à la Haute Autorité de santé (commission responsable de l'évaluation des médicaments). Il réfléchit à la manière dont la Haute Autorité de santé se saisit de «l'innovation thérapeutique», comment elle la définit, la régule, et ce que cela peut avoir comme impact en termes de pratique pour le régulateur. Cette conférence conclusive a pour objectif de se situer en aval, une fois le produit caractérisé «innovant» développé, pour ouvrir les questions de régulation dans le monde de la santé.

Conférence Etienne Lengline

Étienne Lengline

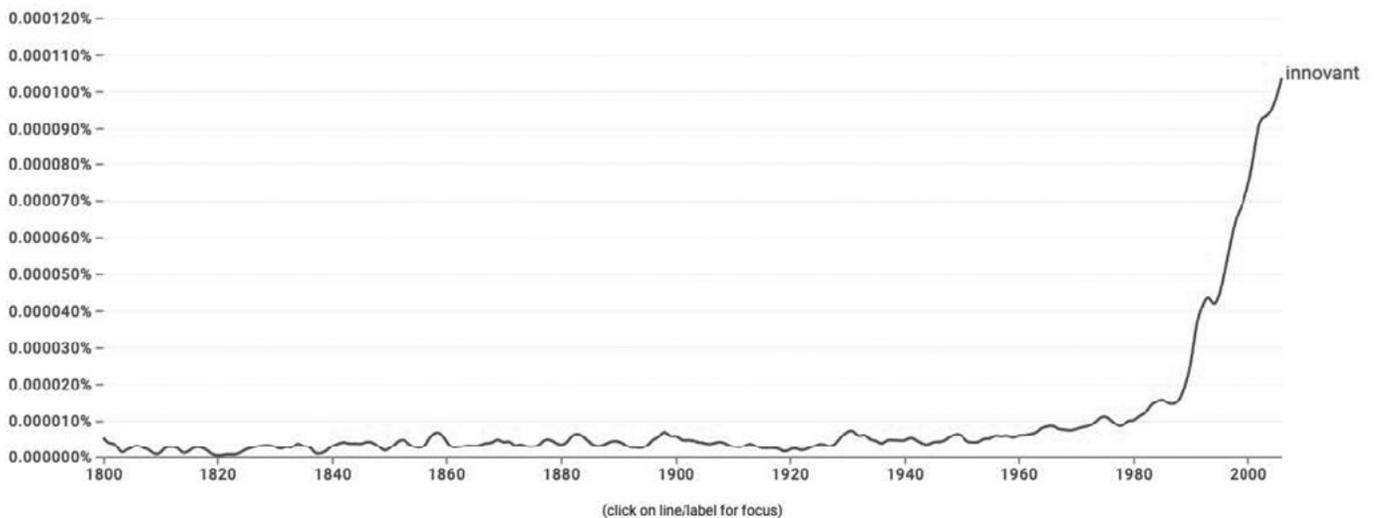
Hématologue, praticien hospitalier à l'hôpital Saint-Louis (AP-HP), vice-président de la Commission de la transparence de la Haute Autorité de santé.

Je dois dire que je ne suis pas philosophe et encore moins éthicien, mais je suis médecin; je fais donc quand même de l'éthique médicale tous les jours. Mon activité principale est de soigner des patients. Je déclare au passage que je n'ai aucun lien d'intérêt avec aucune industrie de santé, ce qui est indispensable en tant que régulateur.

Je voudrais introduire la problématique en réfléchissant au mot «innovation» et au mot «innovant» parce qu'ils sont assez nouveaux. Le graphique ci-dessous montre le pourcentage d'occurrences des mots «innovant» et «innovation» dans le corpus de tous les livres qui ont été recensés par Google depuis les années 1800. On voit que s'il y a bien une nouveauté, c'est le mot «innovation» qui est devenu presque indispensable à un certain nombre de discours. Dans le nom des institutions¹, vous voyez aussi qu'aujourd'hui, on ne peut plus ne pas mettre le mot «innovation». Cela fait même partie de la dénomination du ministère de

l'Enseignement supérieur et de la Recherche maintenant. On n'a plus une seule agence qui ne s'occupe pas de l'innovation.

J'ai fait une petite liste, avec comme paradoxe qu'il me semble - c'était un peu l'objet de ce cycle de conférences - que c'est une notion particulièrement mal définie. À tel point que la définition légale du mot «innovation» a fait l'objet d'une réglementation et de la saisine de la Commission d'enrichissement de la langue française. Celle-ci a tenté une définition légale du mot «innovation» qui n'assure pas tellement sa fonction puisqu'elle en donne plusieurs, en fonction du terme: «innovation continue», «innovation de rupture» ou «innovation incrémentale». On retrouve plusieurs fois le mot «amélioration» dans les définitions. Il y a donc peut-être une notion de progrès, mais pas forcément dans toutes les définitions. Par exemple, l'innovation de rupture, ce n'est pas forcément une amélioration mais une modification fondamentale d'un produit ou d'un service. Je n'ai pas trouvé qu'on clarifiait énormément les termes du débat.



Ces ambiguïtés sémantiques sont assez fondatrices car si l'on essaie de les séparer en trois idées assez vagues, nous avons:

- La nouveauté, mais qui nécessite aussi d'avoir une définition. Depuis quand la nouveauté est-elle nouvelle? On sait qu'une nouveauté peut apporter des modifications d'ampleurs assez différentes. Ça peut être une petite nouveauté ou du nouveau qui va modifier fondamentalement la façon d'utiliser ou de voir quelque chose. Cela peut être brutal ou progressif. Donc même le mot «nouveauté» n'est pas très simple à définir².
- La promesse d'amélioration, notion que l'innovation semble porter. Nous allons voir que c'est assez important pour la vision du régulateur parce que la législation et la façon d'évaluer l'innovation ont beaucoup évolué au cours du temps, entre l'idée d'une promesse - c'est-à-dire une intention d'amélioration, ce que j'appellerais un progrès possible - et une présomption, qui pose immédia-

- tement la question de la qualité de la preuve qui est requise pour dire qu'il y a une possibilité de progrès; et en parallèle, à quel moment autoriser l'accès. Nous allons voir que la régulation de l'innovation est une question que l'on ne peut pas différencier de l'accès à l'innovation, notamment en matière de produits de santé, et à quel moment de la promesse et de la démonstration un produit de santé doit être accessible à chacun sans que ce soit quelque chose d'immoral.
- Le progrès peut être aussi démontré. Le régulateur a implémenté cette idée à la lumière de la médecine fondée sur les preuves. Cela pose la question du niveau de preuve exigé pour dire qu'il y a une démonstration du progrès. Ce sont toutes les questions qui viennent avec les enjeux de l'evidence based medicine, c'est-à-dire le niveau de

preuve et le critère de jugement utilisé. Enfin, un progrès peut être un progrès pour une petite proportion de personnes, cela peut être un progrès pour tous, et cela peut être un progrès en fonction du point de vue que l'on adopte sur la vision de cette amélioration. Ce n'est évidemment pas un même progrès pour un industriel pour lequel le progrès doit être essentiellement commercial, un progrès en termes de bénéfice en santé, ce qu'on est censé évaluer, et éventuellement du point de vue du payeur ou des systèmes de santé, un progrès qui sera vu en termes d'efficacité, c'est-à-dire maximisation de la santé au moindre coût.

Nouveauté	Promesse	Progrès
<ul style="list-style-type: none"> – Depuis quand ? – Modification fondamentale – Modification progressive 	<ul style="list-style-type: none"> – Progrès possible – Présomption / Qualité de la preuve / Plan de développement – Accès / Réponse au besoin de consommateur / Place vis-à-vis de la recherche – versus risques – Qualité de la fin de vie 	<ul style="list-style-type: none"> – Progrès démontré – Point de vue du patient : améliore la santé – Niveau de preuve / Critères de jugement / Quantité d'effet / Comparaison – Point de vue du système de santé : Efficacité – Point de vue de l'industrie : profits financiers

Toute cette ambiguïté sémantique est à l'origine de tensions. Il est important de poser ce cadre pour ensuite comprendre l'évolution de la façon de penser du régulateur. On évolue entre :

- (1) Une aspiration à la nouveauté, qui est quasiment liée au mythe fondateur de l'humanité, qui peut être vu depuis l'Antiquité comme une création. Nous ne sommes plus des animaux et nous recherchons la nouveauté puisque l'une de nos caractéristiques est de ne pas nous satisfaire de notre condition. Cela nous pousse à chercher la nouveauté. C'est pour cela que l'on s'habille, que l'on a des rêves millénaires de voler, de conquête spatiale, etc.
- (2) Une tension autour de la méfiance vis-à-vis de la nouveauté, de la peur du changement et surtout la dévalorisation de l'expérience. Le poids de l'expérience, de ce que l'on a vécu, peut être une source importante de méfiance vis-à-vis de la nouveauté.

Tout cela génère un certain nombre d'enjeux auxquels le régulateur va devoir être confronté, ceux de donner un espoir ou un faux espoir. Si l'on rend accessible, par exemple, un médicament qui est soit dangereux soit inefficace, cela crée une difficulté sur la question de la perte de chance, ou le risque de donner un nouveau produit avec des enjeux de bienfaisance ou de non-malfaisance. Il y a des questions de soutenabilité ou de toxicité financière aussi, avec des enjeux de justice puisque la plupart des produits de santé ne sont pas achetés directement par les individus, mais

remboursés par des systèmes soit de protection solidaire, soit de protection non solidaire comme des assurances lucratives.

Qui doit décider de ce qu'est un progrès ou une innovation ?

En dehors des produits de santé, beaucoup de personnes semblent définir l'innovation comme quelque chose de déterminé par le marché : « est-ce que la société s'empare de ce progrès-là ? » C'est cela qui va finalement définir si l'on se trouve en présence d'une innovation. Le problème du marché de la santé ou des produits de santé est qu'il y a une asymétrie d'information : le consommateur n'est pas en capacité de décider si une nouveauté est un progrès. L'accès au marché est fortement lié à la régulation. Je dis « fortement » pour ne pas dire « totalement ». La capacité à accéder au marché, pour un produit de santé ou un médicament, est fondamentalement liée à l'octroi d'un certain nombre de droits, principalement celui d'avoir un brevet, une autorisation de mise sur le marché et le droit d'accéder à un remboursement par un système de protection.

On voit bien que quand on est un industriel et que l'on doit décider de définir le progrès, on n'adopte pas forcément un point de vue objectif puisque l'objectif principal est la maximisation des profits.

Pour le payeur, cela va être plutôt la minimisation des coûts.

Les experts, les médecins, les associations de malades peuvent être sujets à un certain nombre de biais cognitifs liés à leur absence d'indépendance, c'est-à-

dire qu'il va être difficile d'être juge et partie. Quand on est médecin, on a envie de prescrire des médicaments. Quand on est un patient, on a besoin d'avoir un certain nombre d'informations.

C'est pour cela qu'une grande partie de la décision a été confiée à des agences d'évaluation des technologies de santé.

Ce n'est pas quelque chose de nouveau. L'identification de risques spécifiques à l'innovation pharmaceutique remonte à l'Antiquité. La régulation pharmaceutique est presque liée à l'histoire de l'humanité qui pouvait être une vision assez individuelle de la fonction du médecin et de son malade. On voit notamment cela dans les premières versions du serment d'Hippocrate où l'on devait jurer que l'on ne donnerait pas du poison. C'est déjà une certaine forme de régulation.

Cela a pris une dimension plus collective et plus sociale dans les années 800, notamment dans le Califat abbasside de Bagdad, avec les premiers éléments de régulation où l'on détermine qui a le droit de vendre un produit de santé, avec la possibilité d'inspection et la possibilité de garantir que l'on ne va pas vendre du poison.

Sous l'Ancien Régime, une législation va évoluer dans le même sens avec la définition d'une méthodologie, notamment avec la législation royale sur les remèdes secrets. À l'époque, un certain nombre de personnes étaient capables de vendre des produits en les faisant passer pour des innovations. On va donc déterminer une méthodologie essentiellement basée sur la publicité, c'est-à-dire le fait de rendre publique la façon de fabriquer et la composition, avec la possibilité qu'un régulateur soit défini. À ce moment-là, c'était la Société royale de pharmacie qui vérifiait que le produit était conforme à ce qui était vu comme une innovation, c'est-à-dire essentiellement que ce ne soit pas secret.

Cette législation a évolué après la Révolution avec la loi de germinal an XI qui a réellement créé un procédé de régulation pharmaceutique. On a défini comment séparer l'épicier de l'apothicaire. C'est assez intéressant car cela reposait sur le fait qu'un médicament était défini comme un médicament par destination. L'apothicaire vendait des médicaments qui avaient un poids médicinal, dont l'objectif était curatif nettement caractérisé et démontré par les circonstances. Il n'y avait pas d'évaluation médicale, peu importe si cela marchait ou si cela ne marchait pas, s'il y avait un progrès ou s'il n'y avait pas de progrès : le fait que cela soit utilisé afin d'obtenir un bienfait sur la santé suffisait à caractériser le produit comme un médicament.

Ensuite, la législation s'est enrichie avec l'interdiction de mettre sur le marché un produit qui n'était pas autorisé. Cela s'est d'abord appelé le visa pharmaceutique, puis l'autorisation de mise sur le marché.

Puis, l'accès au remboursement a été complètement lié à la construction de notre système de protection sociale solidaire, notamment des principes fondateurs de la Sécurité sociale qui ont, dès les ordonnances de 1945, défini le rôle d'une commission qui allait établir la liste des produits de santé et des médicaments qui pouvaient être remboursés par la Sécurité sociale.

Ces principes doctrinaux sont fondateurs et sont dans les ordonnances de 1945. Un médicament ne serait pas remboursé par la Sécurité sociale s'il n'était pas inscrit sur des listes de médicaments agréés au remboursement, avec une procédure de prix qui était distincte de la procédure d'inscription. Ceci est aussi une idée complètement différente de l'idée que l'on peut voir en Grand Bretagne par exemple, où la négociation du prix et la négociation de l'inscription et

de la possibilité d'accès se font en même temps avec une idée d'efficacité. Ce n'est pas l'idée fondatrice de la Sécurité sociale puisque les pères fondateurs avaient pour principe que chacun devait donner selon ses moyens et recevoir selon ses besoins. S'il y avait un progrès, si le médicament apportait un bienfait pour la santé, il devait être inscrit sur la liste.

Pendant des années, cette commission était essentiellement composée d'administratifs. Il n'y avait pas du tout de critères pour juger qu'un médicament qui serait inscrit sur la liste de remboursement constituerait spécialement un progrès ou une innovation.

Le principe d'une évaluation médicale est né assez récemment, en 1967. On a appelé cela la Commission Coudurier. On a inscrit dans la loi que les médicaments ne pouvaient être inscrits que s'ils étaient présumés apporter une amélioration de la thérapeutique ou une économie dans le coût de la santé. On commence donc à avoir à ce moment-là une définition du progrès par le régulateur - qui en fait est le payeur - qui contient le mot « présumé ».

La commission s'est enrichie d'experts et de médecins alors que jusqu'ici elle était essentiellement constituée d'administratifs. Au fil des années, cela a évolué et il y a eu la création en 1980 de la Commission de la transparence, qui a cette mission-là aujourd'hui. On a aussi demandé d'évaluer ce que l'on appelle le « service médical rendu », c'est-à-dire le bien-fondé de l'inscription sur la liste pour lequel des critères sont inscrits dans la loi. Le progrès, c'est-à-dire ce que l'on pourrait appeler aujourd'hui l'innovation, c'est l'amélioration du service médical rendu (ASMR), qui est gradée de 1 à 5. Avec, en 1990 et l'essor de la médecine fondée sur les preuves, la capacité de juger le niveau de preuve apporté par le progrès, et la demande, également inscrite dans la loi, d'exigence non plus de présomption, mais de *démonstration* d'une amélioration du service médical rendu. Pour pouvoir déterminer qu'il y a une amélioration du service médical rendu, il faut que le produit apporte un progrès, mais il faut surtout qu'il puisse le démontrer au regard d'un certain nombre de critères liés à l'évolution de la médecine fondée sur les preuves scientifiques.

La Commission de la transparence était initialement affiliée à l'Agence du médicament et au début des années 2000, notamment à la suite en France du scandale sanitaire du Médiateur - mais c'est un élan qui s'est vu partout dans le monde - on a créé des agences dédiées à l'évaluation de l'innovation, à l'évaluation du progrès ou à l'évaluation des produits et services de santé. C'est ce que l'on a appelé les Agences d'évaluation des technologies en santé (*Health Technology Assessment*, HTA). En Grande-Bretagne, le NICE a été fondé à peu près au même moment. En Allemagne, c'est l'IQWiG qui a cette fonction.

Je reviens sur l'importance du switch qui s'est opéré entre la présomption et, en 1990, la démonstration.

Qu'est-ce qui a permis de faire cette évolution historique ? Ce sont les progrès qui ont été menés en matière de recherche clinique et de capacité de hiérarchiser le niveau de preuve.

Il est vraiment fondamental dans notre fonction aujourd'hui, de pouvoir évaluer le progrès à la lumière de la démonstration du progrès, notamment sur les informations, les données fournies, essentiellement par les industriels, mais aussi par la littérature scientifique générale, académique ; en somme, sur le niveau de preuve apporté, qui permet de réduire au maximum le risque de se tromper, le risque de conclure qu'un produit apporte un progrès alors qu'il n'en apporte pas.

Cela veut dire que le protocole d'étude clinique doit être en adéquation avec la question posée : quel est le

bénéfice? Quelle est l'innovation? Quel est le progrès? Pouvoir identifier la source de tous les biais dans la réalisation du protocole d'étude et avoir un certain nombre d'analyses statistiques qui permettent de calculer la probabilité que l'on se trompe.

La Haute Autorité de santé est une autorité publique indépendante à caractère scientifique. Indépendante veut dire qu'elle ne dépend pas du gouvernement, du ministère. Elle est basée sur des valeurs de :

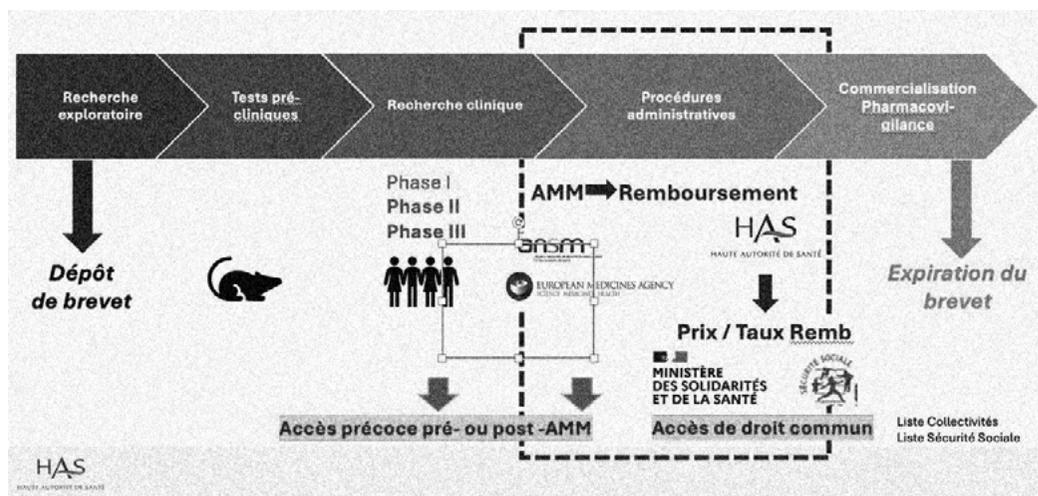
- Rigueur scientifique, qui permet de garantir la qualité et la fiabilité de ces travaux.
- Indépendance par rapport aux différents intérêts. On a vu historiquement que c'était presque le premier critère de détermination de l'innovation, c'est-à-dire la capacité que l'évaluation se fasse sans conflits d'intérêt. Le point de vue adopté par l'industriel, par le médecin, par le patient, par les pouvoirs publics, par le payeur, est forcément teinté d'une certaine subjectivité par rapport à ses propres intérêts.
- Transparence, qui permet de garantir une certaine confiance de l'ensemble des acteurs.

Abordons rapidement le cycle de vie du médicament. Il commence par le dépôt d'un brevet avec d'emblée une difficulté : le brevet, qui court sur vingt ans, occupe une durée pour lequel le produit ne va pas être accessible au marché. C'est la durée de recherche clinique et la durée de toutes les étapes de régulation, ce qui peut durer de dix à quinze ans. Le brevet, qui va couvrir le médicament pendant sa phase de commercialisation, a une durée beaucoup plus courte qu'un produit pour lequel il n'y aurait pas ces étapes de recherche.

C'est ce qui a conduit les pouvoirs publics dans l'ensemble du monde à garantir aux industriels qu'ils pourraient avoir des extensions de brevet à partir du moment où ils obtenaient un certain nombre de droits, notamment celui de commercialiser - ce que l'on a appelé les «certificats de protection complémentaire» -, qui permettent de garantir un brevet qui court après la période d'autorisation de mise sur le marché.

Le produit fait l'objet d'un certain nombre de recherches précliniques puis de recherches cliniques. Normalement suivent des phases successives qui cherchent à répondre à des questions cliniques nécessaires à l'avancée d'une phase à l'autre. La phase I cherche à trouver le profil éventuel de toxicité. La phase II, à regarder sur une petite cohorte de patients des critères d'efficacité, qui ne sont pas forcément des critères d'efficacité robustes. Ils permettent surtout de faire le calcul du nombre de personnes qu'il faudra pour être incluses dans une phase III. La phase III correspond normalement à un essai clinique randomisé où le produit présumé innovant va être comparé à la stratégie habituelle sur un critère jugé pertinent et qui va démontrer si le protocole d'étude n'est pas entaché de biais, et que le produit est bien innovant.

Jusqu'à il y a une dizaine d'années, pour obtenir une autorisation de mise sur le marché, il fallait faire sa preuve de démonstration sur la base d'un essai contrôlé et randomisé, ce qui permettait d'obtenir une AMM, puis d'avoir une évaluation du remboursement, notamment par la Commission de transparence.



Les questions que se pose la Commission de la transparence ne sont pas les mêmes que celles que se posent les agences d'enregistrement comme la FDA aux États-Unis ou l'Agence européenne des médicaments en Europe. La plupart des AMM en Europe sont données de façon centrale pour tous les États membres de l'Union européenne. Finalement, l'évaluation de l'innovation se fait beaucoup plus au niveau des agences HTA que de l'agence d'enregistrement qui va plutôt garantir que le produit est fabriqué de façon conforme, qu'il contient bien la molécule qui est annoncée, avec la bonne dose, que le produit n'a pas une toxicité excessive par rapport à ce pourquoi il est commercialisé.

Je prends souvent l'exemple de l'industrie aéronautique où l'agence d'enregistrement va chercher à

garantir qu'un avion est bien un avion, a des circuits électriques, un pilote qui a un diplôme, un réservoir qui ne fuit pas. L'agence d'évaluation va plutôt chercher à savoir si ce nouvel avion apporte un bénéfice, il va plus vite, il est plus confortable, etc., par rapport à tous les avions disponibles sur le marché, questions plus proches de celles que se posent les malades et leurs médecins.

Sur le plan pratique, comment cela se passe-t-il?

La méthodologie d'évaluation est transparente, publique, accessible dans un document qui s'appelle la «doctrine de la Commission de la transparence». L'industriel soumet à la Commission de la transparence (CT) un dossier, globalement le même que l'AMM, qui comporte essentiellement les données de résultats

	Enregistrement	HTA	Patient
Question	Bénéfice > Risque ? Mise sur le marché possible ?	Utile ? Approprié vs. l'existant, Efficace ?	Efficace pour moi ? Mieux que les autres traitements ?
type de preuve	Qualité, PK/PD, Toxicologie, B/R	Comparaison, Utilité, transposabilité, impact	Bénéfice, Sécurité
Methodologie	RCT vs. SOC ou Placebo voire Phase II	RCT vs. SOC Comparaisons indirectes robuste.	Information claire sur les résultats et biais
Critères de jugements	Objectifs, Intermédiaires (bio/radio OK)	Cliniquement pertinents (QoL, survie)	Pertinent pour moi
Validité	Interne	Externe	Interne + Externe

de l'étude clinique et le plan d'analyse statistique de l'étude clinique dite pivot. Il y ajoute éventuellement d'autres données qu'il souhaite porter à la connaissance de la commission et qui pourraient éclairer sa décision.

Il y a une contribution des associations de patients systématique. Les associations de patients sont représentées au sein de la CT, ce qui permet d'éclairer sur certains points, notamment sur la couverture du besoin médical.

La CT comporte 22 membres. Elle est composée de médecins, de pharmaciens, de méthodologistes, de médecins de santé publique. À l'issue d'une phase d'instruction, la commission se réunit et va donner un avis qui est un avis non contraignant pour le payeur et le décideur. Ce n'est pas une décision qui est prise, mais on va voter pour définir s'il y a une amélioration du service médical rendu, si ce produit est une innovation ou pas.

Cela, c'est l'évaluation de droit commun. L'amélioration du service médical rendu (ASMR) est graduée de façon légale, de « majeure » à « absence », et elle prend en compte les éléments dont nous avons parlé :

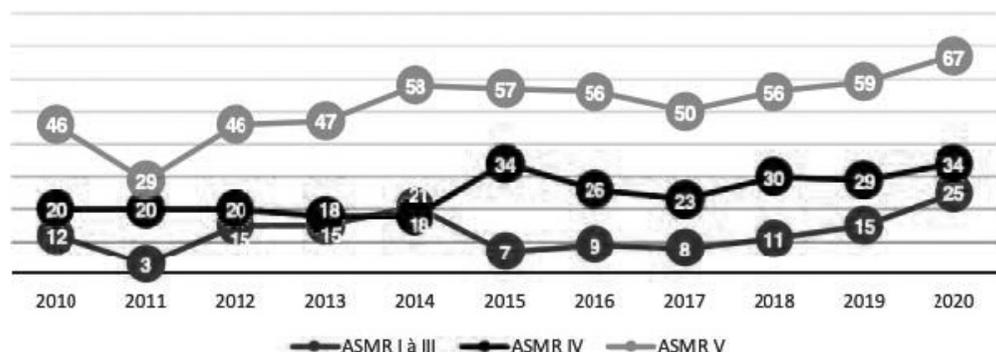
- La comparaison était-elle loyale ? Avons-nous vraiment comparé à ce qui existait ?
- La population incluse dans l'essai clinique est-elle conforme à la population pour laquelle le produit est destiné ?
- La mesure de l'effet s'est-elle faite sur un critère de jugement pertinent (mortalité, amélioration de la qualité de vie) pour le patient ? La réduction d'une masse tumorale constitue-t-elle un élément pertinent ? La réponse est non. Il y a des gens qui ont une masse tumorale qui diminue et qui n'ont pas de bénéfice en durée ou en qualité de vie.

Donc ce n'est pas un critère qu'on juge cliniquement pertinent.

- On évalue aussi la quantité d'effet (ce qui, j'en conviens, est totalement subjectif).
- On essaie d'identifier l'ensemble des biais liés à la méthodologie qui pourraient conduire à ce que l'on conclue à tort soit à un progrès, soit à l'absence de progrès.

Le niveau d'ASMR que l'on détermine a des conséquences très importantes sur l'accès au marché, notamment sur la détermination du prix du médicament qui va être ensuite confié à une commission interministérielle, qui n'est pas médicale, qui ne comporte pas l'évaluation de l'innovation, mais qui va négocier selon les conditions définies dans un accord entre les syndicats, les industriels et les ministères (ministère de l'Économie et des finances et ministère de la Santé qui sont regroupés). En cas d'absence de reconnaissance d'une innovation – c'est-à-dire l'ASMR de niveau 5 –, on exige pour que le produit soit remboursé qu'il apporte une économie au système de santé. En cas d'ASMR majeure, importante ou modérée, l'industriel est en droit de revendiquer un prix qui n'est pas inférieur au prix minimal obtenu dans un couloir de pays européens comprenant notamment l'Allemagne qui a quasiment un prix garanti.

En pratique, le graphique montre les dernières évaluations sur quelques-unes des dernières années de premières indications, donc pas sur les extensions d'indication. Plus de la moitié des produits n'obtiennent pas de reconnaissance de l'innovation, elles ont un niveau 5. Pour les autres, on reconnaît soit un progrès mineur, soit un progrès majeur.



ASMR attribuées depuis 2010 pour tout ou partie des indications aux demandes de première inscription au d'inscription dans une nouvelle indication (procédure complète uniquement)

Depuis un certain nombre d'années, on est confrontés à une problématique nouvelle: le développement de produits de façon accélérée, la possibilité d'obtenir des autorisations de mise sur le marché délivrées par les agences du médicament avant la fin des phases de recherche. Ce phénomène a commencé aux États-Unis mais est maintenant assez répandu en Europe. Ces dispositifs d'accès accélérés sont en énorme augmentation sur les dernières années. Aujourd'hui, dans certains domaines thérapeutiques où l'on estime que le besoin médical est le plus important, lorsqu'il n'y a pas de produit disponible pour répondre au besoin (notamment en oncologie), on autorise l'accès à des produits alors qu'ils étaient en phase de recherche, avec une phase II, mais sans comparaison avec un éventuel existant.

Cela conduit à une diminution de la robustesse du niveau de preuve. Plus de la moitié des autorisations qui sont données aujourd'hui aux États-Unis n'ont pas fait l'objet d'une étude comparative. Cela introduit une incertitude importante dans la possibilité de dire s'il y a ou non un progrès réel. Il y a de plus en plus de comparaisons qui sont entachées d'un certain nombre de biais, notamment liés à des critères de jugement intermédiaires: par exemple la survie sans progression tumorale ou la réduction de la masse tumorale, qui ne sont pas forcément pertinents cliniquement pour les malades. Cela génère un certain nombre d'incertitudes.

Ces développements accélérés sont source de problèmes, notamment au plan de l'information des patients. On voit que l'accès à l'innovation se substitue à l'éthique de la recherche puisque l'on n'a pas la garantie que les patients qui vont avoir accès à des produits qui n'ont pas fini leur phase de recherche ont bien été informés comme ils le seraient s'ils se prétaient à une recherche qui impliquait leur personne.

Il y a également un énorme enjeu sur la décision médicale, notamment la possibilité d'élaborer des stratégies thérapeutiques qui produisent le meilleur effet, notamment l'absence de dégradation de la fin de vie puisqu'avec cette promesse d'innovation, on voit bien que l'on peut proposer à des patients des produits sans limite.

Il y a aussi un enjeu important au plan de la soutenabilité des systèmes de protection, notamment quand ils sont solidaires. Un certain nombre d'articles de la littérature scientifique montre que le surcroît d'innova-

tion se fait à des coûts de plus en plus importants aujourd'hui.

Ce type d'accès accéléré a été introduit en France il y a assez longtemps avec des dispositifs qui s'appelaient « autorisations temporaires d'utilisation », qui étaient à la main de l'Agence du médicament française, qui demandait dans les critères (en plus du fait que le médicament s'adresse à des patients pour lesquels il n'y avait pas de traitement approprié) que ces médicaments soient susceptibles de présenter un bénéfice clinique réel. On voit que finalement, on revient en arrière, avant les années 1990, où il y avait besoin, pour pouvoir dire que l'innovation était bien une innovation, d'une simple promesse ou d'une présomption, alors qu'avec les progrès de la médecine fondée sur des preuves, on avait fini par exiger une démonstration. On est revenu, avec ce genre de dispositifs, à l'exigence d'une *présomption* plutôt que d'une *démonstration*.

Aujourd'hui, ce dispositif s'appelle « accès précoce ». Il y a eu une tentative de définition par les autorités réglementaires de la *présomption d'innovation*, qui est fondée sur trois éléments, qui sont extrêmement flous et qui sont soumis, pour chaque dossier, à la sagacité des membres de la Commission de la transparence. Je pense que l'on n'est pas très robuste sur la définition que l'on en a apportée :

- (1) Il faut que ce soit une nouvelle modalité de prise en charge, qui n'est pas forcément un nouveau mécanisme d'action, mais que ce soit une nouvelle modalité qui apporte un changement substantiel. La définition n'est pas donnée plus clairement.
- (2) Il faut que cette présomption d'innovation repose sur des données cliniques, c'est-à-dire qu'on ne peut pas dire qu'on a une présomption d'innovation au stade préclinique. Si on a utilisé le produit que sur des cellules ou sur des animaux, ce n'est pas suffisant. C'est assez intéressant car on exige, pour dire qu'il y a une présomption d'innovation, qu'il y ait quand même un plan de levée de l'incertitude, c'est-à-dire qu'on soit en capacité de ne pas rester dans cette période de flou et qu'il y ait un développement clinique qui permette d'aller jusqu'à une étude de phase III. On est dans une espèce d'intermédiaire entre la recherche clinique et l'accès à l'innovation.
- (3) Il faut bien évidemment que cela comble un besoin médical non couvert.



Cela pose énormément de problèmes parce que le mot «présomption» ne veut pas dire grand-chose. Qui doit apporter la charge de la preuve ? On parle de la présomption d'innocence. On est innocent jusqu'à preuve du contraire. Ici, c'est pareil : on est présumé innovant jusqu'à la preuve d'une réclamation. Mais bien souvent, des années plus tard, on constate qu'il n'y avait pas d'innovation. La garantie de pouvoir lever les incertitudes est elle-même relativement incertaine.

La Commission de transparence a une doctrine en matière d'évaluation des accès précoces, qui est disponible en ligne. Ce dispositif-là, comme aux États-Unis depuis les dix dernières années, est extrêmement utilisé par les industriels. On a constaté une augmentation avec plus de 250 demandes d'accès précoces depuis les deux dernières années, concernant pour moitié le domaine de l'oncologie et de l'hématologie.

La plupart des décisions rendues sont positives. Il est intéressant de pouvoir comparer à l'évaluation de droit commun, c'est-à-dire l'évaluation de l'innovation réelle, en tout cas considérée comme robuste. On voit qu'un certain nombre de produits, malgré leur présomption d'innovation, n'ont finalement pas de reconnaissance d'une ASMR supérieure au niveau 5.

Pour conclure, je dirai que la reconnaissance réglementaire de l'innovation date quasiment de l'Antiquité avec une idée qui a évolué d'une façon très dynamique en fonction du temps. Initialement, il est devenu obligatoire de réguler ce qui pouvait être un poison ou un produit vendu par un charlatan, de ne pas avoir un accès libre sur le marché. Ensuite est venu le principe d'une évaluation médicale, avec la présomption puis la démonstration d'un progrès clinique, structurée par la médecine fondée sur les preuves. L'accès à l'innovation est aujourd'hui complètement conditionné par cette reconnaissance réglementaire, c'est-à-dire qu'un produit pour lequel on donne un SMR insuffisant ne va pas être pris en charge en France, ne sera pas sur le marché, ne sera pas utilisé. Avec des principes doctrinaux issus de la construction de notre modèle de protection sociale.

Cela pose un certain nombre de problèmes plus récents sur le retour à une notion de présomption, avec finalement une innovation qui peut être quasiment infinie puisque cette demande de réponse médicamenteuse ou médicale à l'ensemble des problèmes pouvant survenir dans la vie - et d'ailleurs plus ou moins instrumentalisés par des industriels -, comporte un certain nombre de problèmes, notamment le risque de ne plus avoir la possibilité de s'arrêter et de donner une réponse qui n'est pas une réponse médicamenteuse aux problèmes, notamment autour de la qualité de la fin de la vie.

1. Ministère de l'Enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation
 Agence de l'innovation en santé
 Conseil stratégique de l'innovation en santé
 Fond pour l'innovation du système de santé
 Pôle universitaire d'innovation France 2030
 Campus d'innovation en santé numérique
 (...)
2. Pour aller plus loin sur le concept de nouveauté, voir l'intervention de Nicolas Castoldi dans le chapitre «Modèles de langage», pp.46-50.

Discussion ①

Progrès ou innovation ?

Question 1

Alexis Rayapoullé

Quelque chose me frappe dans la conférence d'Étienne Lengliné. Contrairement à ce que l'on a vu toute l'année avec les invité-es qui présentaient leurs start-ups et leurs innovations, il y a ici un parallèle total entre progrès et innovation dans la manière dont la HAS utilise les mots. À tel point même que l'on en arrive, dans la « présomption d'innovation », à un mot qui remplace complètement la notion de progrès. Pourtant, j'ai l'impression que ce que l'on a vu tout au long de l'année est plutôt une tendance à utiliser le mot « innovation » pour une promesse de progrès. D'un point de vue sémantique, je trouve cela assez saisissant.

Est-ce que cela veut dire que pour la HAS, il n'y a pas d'innovation qui ne marche pas ? Que, par définition, l'innovation est un médicament qui apporte forcément une amélioration ? Et à l'inverse, y a-t-il des médicaments que l'on considère innovants par rapport à d'autres avant même qu'ils n'aient prouvé quoi que ce soit ?

Étienne Lengline

C'est réellement la question de l'ambiguïté sémantique. En effet, la définition de l'amélioration du service médical rendu, terme un peu pompeux, mais qui voulait quand même dire ce qu'il voulait dire, qui ne comportait pas le mot « innovation » qui est revenu dans le vocabulaire comme dans le corpus de tout ce qui est écrit aujourd'hui, c'est exactement l'idée de l'évaluation de progrès - du progrès en termes de bénéfice en santé.

Le mot « progrès » me fait un peu peur. Un progrès, c'est toujours un progrès pour quelqu'un. Un progrès pour quelqu'un peut être réalisé au détriment de quelqu'un d'autre. Aujourd'hui, on vit dans un monde en guerre. Un progrès pour un des belligérants est au détriment d'un autre. Le progrès n'est pas quelque chose de forcément universel, même en matière de médicaments. Un médicament qui pourrait apporter un progrès d'une efficacité moyenne, pourrait apporter une toxicité individuelle à un malade. C'est ce que l'on voit tous les jours.

L'évaluation de droit commun est l'évaluation du progrès au bénéfice des malades. On a vu qu'on jongle avec cette notion qui est apparue initialement proche du principe d'évaluation médicale, qui est plutôt autour de la promesse. On est en train de revenir, sous la pression d'un certain nombre de parties prenantes - qui ne sont pas que les industriels d'ailleurs - sur une idée de promesse et de présomption d'innovation qui, vous l'avez vu, est impossible à définir. Où met-on la barre ? On exige des données cliniques. Il y a d'importantes initiatives pour mener des essais cliniques dits *in silico*, c'est-à-dire des essais cliniques qui ne font pas appel à des patients réels, mais à des patients simulés par des algorithmes. Demain, il est possible que l'on nous demande de reconnaître une présomption d'innovation alors que le médicament n'a pas encore été donné à une personne ou a été donné à des animaux. C'est pour cela que je vous en ai parlé au regard de la présomption d'innocence : vous êtes présumés innovants jusqu'au jour où vous allez démontrer que vous ne l'étiez pas. C'est le principe d'une promesse.

Alexis Rayapoullé

Cette histoire de présomption pourrait être un véritable changement de paradigme...

Étienne Lengline

En tout cas, on peut identifier un certain nombre de risques sur lesquels j'ai essayé d'insister, qui sont des risques qui avaient déjà été identifiés dans l'Antiquité. Un produit toxique ou inefficace est un risque pour les personnes et pour la société. C'est pour cela que se sont mis en place des mécanismes de régulation depuis toujours.

Alexis Rayapoullé

En tout cas, ce qui est saisissant par rapport à ce que l'on a vu dans les séances précédentes, c'est que pour la HAS, l'innovation n'a aucun lien avec la technique. Il n'y a pas des techniques qui sont innovantes et d'autres qui ne le sont pas. C'est entièrement le résultat qui définit l'innovation.

Étienne Lengline

Oui. Ni l'intention ni la technique.

Discussion ②

Nouveauté et présomption d'innovation

Question 2

Fabrice Gzil

Je voudrais vous interroger à propos de la définition que vous avez donnée de la présomption d'innovation. J'ai du mal à comprendre l'intérêt du premier critère dans la définition, celui de la *nouveauté*. Si on a quelque chose qui comble un besoin médical non couvert et qui est prouvé par des données cliniques, un plan de développement, qu'est-ce que cela vient ajouter ? Conceptuellement parlant, l'élément de nouveauté ?

Étienne Lengline

C'est forcément une nouveauté, je suis d'accord avec vous. Si cela arrive alors que cela couvre un besoin médical non couvert, c'est intrinsèquement une nouveauté. C'est le législateur qui est responsable de la terminologie. On a beaucoup réfléchi pour pouvoir essayer d'adapter la terminologie employée. Il y a des enjeux de robustesse, en tout cas de fiabilité de notre décision. Il y a un contentieux possible. Si vous n'éva-

luez pas un médicament de la même façon qu'un autre, il est facile d'attaquer ou de fragiliser nos avis. C'est la raison pour laquelle il y a ces espèces de doctrines qui essaient de cadrer au mieux la façon dont on va voir les choses. Il ne s'agit pas simplement d'une commission de personnes qui vont chacune donner leur avis sur les critères de la loi.

Discussion ③

L'erreur dans le jugement d'innovation

Question 3

Membre du public

Y a-t-il des révisions de classement d'innovations des médicaments à long terme ? Y a-t-il des médicaments considérés comme innovants qui ne le sont plus et inversement ? Si c'est le cas, quels sont les facteurs qui ont fait que l'on a raté la première évaluation ?

Étienne Lengline

Cela englobe plusieurs situations. Il y a en effet le produit qui a été évalué avec un set de preuves qui n'était pas suffisant, un produit par exemple qui serait réellement un progrès, mais pour lequel on n'avait pas de données qui permettaient de le prouver. Nous, en général, on ne détermine pas qu'il y a une innovation. On donne une ASMR 5 pour des produits qui sont possiblement des produits qui, quand ils auront montré leur bénéfice, seront reconnus comme une innovation. Il y a cette situation-là.

Il y a deux situations qui sont beaucoup plus courantes. On évolue dans un marché qui est quand même très concurrentiel. La plupart des produits que l'on voit ne sont pas des premiers de la classe. Ce sont plutôt ce qu'on appelait à un certain moment des *me too*, des médicaments qui vont être proches d'un produit qui existe déjà. Vous n'allez pas évaluer le premier qui va éventuellement porter une grosse part du progrès du deuxième, qui arrive parfois en même temps. Souvent, les étapes de recherche clinique sont conduites

en même temps. Il y a des concomitances de développements qui sont extrêmement difficiles à évaluer. Mais c'est vrai qu'il y a une temporalité qui fait que l'on est obligé de réévaluer régulièrement un progrès à la lumière de ce qui existe, puisqu'un progrès s'évalue par rapport à ce qui existe au moment où on l'évalue. Les avis de la commission sont des avis à la date où ils sont rendus. Si vous réévaluez un an plus tard, il y a eu de nouveaux médicaments qui ont eux-mêmes prouvé qu'ils apportent un progrès, et vous allez avoir beaucoup plus de mal à dire que c'est un progrès par rapport à ce qui est arrivé entretemps. Par ailleurs, on n'a souvent même pas de données. C'est un gros problème auquel nous sommes confronté.

Il y a la problématique des associations de médicaments, dont on ne sait pas si le progrès est porté par la combinaison ou par un des éléments de la combinaison.

Il peut y avoir des réévaluations qui se font soit sur demande du ministère, de sociétés savantes ou à la lumière de signaux de pharmacovigilance par exemple, qui font qu'on a raté un élément important dans la reconnaissance de l'innovation au moment de l'évaluation initiale, ce qui peut nous conduire assez fréquemment à réévaluer.

C'est donc dynamique : on reconnaît au moment de l'avis.

Question 4

Fabrice Gzil

Quand on dérembourse ou qu'on baisse le service médical rendu, par exemple pour les anticholinestérasiques dans la maladie d'Alzheimer, ce n'est pas qu'on ne juge plus que ce n'est plus innovant. J'ai l'impression qu'on juge que le service médical rendu n'est pas aussi bon, que l'efficacité n'est pas aussi bonne que ce que l'on avait cru, pris dans le système global. Si, quand on baisse le SMR, ce n'est pas l'innovation qui est discutée, pourquoi quand on met à un niveau élevé, ce serait l'innovation qui serait en cause ?

Étienne Lengline

La question des déremboursements est vraiment marginale. Ce qui est vraiment continu, ce sont les baisses de prix. Le Comité économique des produits de santé (CEPS) ne négocie non pas un prix, mais une stabilité du prix. La négociation vient avec un plan de réduction de prix, sachant que c'est assez difficile de discuter de cela car la négociation de prix se fait, pour beaucoup de produits, avec des clauses de remise contractuelles qui font que le prix public n'est pas possible à déterminer, ces clauses contractuelles étant couvertes par le secret des affaires.

Sur les baisses de prix, je suis d'accord avec vous, ce n'est pas du tout une affaire d'innovation, c'est uniquement un accord commercial entre le payeur et l'industriel. Aujourd'hui, on voit que sur des produits qui apportent encore un progrès essentiel, ou, pour le dire autrement, dont le retrait serait très péjoratif pour le système de soin, mais qui sont anciens - on appelle cela des produits matures -, les prix sont devenus parfois tellement bas en France que les industriels se posent la question du maintien des productions. Ils vont parfois même jusqu'à demander de radier les pro-

duits de la liste des médicaments remboursables pour pouvoir les commercialiser à prix libre en dehors de l'Assurance maladie, ce qui est potentiellement assez problématique car on entre dans le champ du produit de santé considéré comme un service public. À quel moment doit-on déterminer qu'un produit de santé doit forcément avoir un « retour sur investissement » ? Ce sont les problématiques qui ont aussi été posées pour des produits très innovants, comme la vaccination Covid ou le médicament contre l'hépatite C.

Discussion 4

Enregistrement vs évaluation

Question 5

Fabrice Gzil

Vous avez distingué les agences d'enregistrement et les agences d'évaluation. Vous avez parlé de la FDA que, si j'ai bien compris, vous avez classé parmi les agences d'enregistrement.

Étienne Lengline

Oui. Aux États-Unis, les produits qui obtiennent une autorisation de mise sur le marché sont mis sur le marché à prix libre. Il n'y a pas de régulation par le payeur comme il n'y a pas de système solidaire de protection. C'est en train de changer. L'assurance qui couvre les patients de plus de 65 ans, qui s'appelle Medicare, commence à dire qu'ils vont tenter de réguler le prix d'une dizaine de molécules à l'horizon de plusieurs années.

On n'a pas du tout parlé de prix parce que c'était un peu hors du spectre. Aujourd'hui, les prix qui sont demandés sont vus comme la capacité de payer des systèmes de protection. C'est donc forcément incrémental. Aux États-Unis, il n'y a pas d'HTA, il n'y a pas de système d'évaluation des technologies de santé, parce que c'est un marché libre. Si l'assurance paie, elle paie.

Discussion ⑤

Le périmètre de la notion de « médicament »

Question 6

Fabrice Gzil

Vous avez beaucoup parlé de médicaments. Or, dans le champ de la santé, il y a énormément d'innovations qui sont des techniques, des technologies, des dispositifs. Est-ce que vous avez l'impression qu'il y a la même vigilance sur ces choses-là que sur les médicaments classiques, les produits pharmaceutiques ?

Étienne Lengline

La Haute Autorité de santé est aussi responsable de l'évaluation des dispositifs médicaux, avec une autre commission qui ressemble à la Commission de la transparence, qui s'appelle la CNEDIMTS, qui a aussi une doctrine d'évaluation. Je ne suis pas tellement compétent pour en parler, je ne sais pas très bien comment elle fonctionne. J'ai parlé surtout du médicament parce que c'est ce que je connais.

Question 7

Membre du public

La régulation des compléments alimentaires passe-t-elle aussi par la HAS ?

Étienne Lengline

Je pense que les compléments alimentaires ne sont pas évalués par la Commission de transparence, mais c'est à vérifier.

Discussion ⑥

Le développement concomitant d'innovations

Question 8

Membre du public

Si d'autres produits sont commercialisés par deux industries pharmaceutiques différentes en même temps, qu'elles ont déposé un dossier précoce, est-ce que ces dossiers seront traités séparément ou l'un d'entre eux peut-il être privilégié ?

Étienne Lengline

Ces développements concomitants sont un cauchemar. Si en effet, vous dites qu'il y a une prime au premier entrant, quasiment de façon mécanique, vous allez encore dégrader le niveau de preuve. Si ce sont des développements qui sont réellement concomitants et que je suis industriel, je vais avoir un bénéfice à déposer mon dossier en premier au moment où on reconnaît que le paysage thérapeutique est non couvert. On est en réflexion actuellement pour pouvoir évaluer ce problème auquel on est confronté depuis assez récemment, depuis qu'il y a ce dispositif d'accès précoce.

Pour l'évaluation de droit commun, cela pose moins de problèmes. En général, quand on reconnaît qu'il y a eu un développement concomitant, on reconnaît que le développement ne pouvait pas se faire en comparaison du produit qui était en développement. On évalue donc les deux produits de la même façon. Si deux produits apportent une amélioration du service médical rendu important, on va leur donner à tous les deux une amélioration du service médical rendu important. Mais pour l'accès précoce, en effet, cela pose des difficultés.

Membre du public

En pratique, comment procédez-vous ?

Étienne Lengline

Nous n'avons pas été homogènes, je pense, dans les avis que nous avons rendus. Cela a dépendu de critères qui ne sont pas forcément des critères médicaux. Je pense notamment à une maladie qui s'appelle le

myélome, un cancer hématologique, où une thérapie cellulaire avait été développée avec, on le savait au moment de l'évaluation, un produit qui cherchait à se positionner sur le même créneau que les CAR-T cells, qui avait une présomption d'innovation, mais avec de grosses difficultés d'approvisionnement en CART cells. Nous avons donc considéré qu'il fallait reconnaître qu'il n'y avait pas un accès facile aux CAR-T cells et reconnu une présomption d'innovation pour le produit qui avait un développement concomitant alors qu'il y avait potentiellement un traitement approprié disponible.

Dans d'autres contextes, nous faisons différemment. Je dirais que l'on n'est pas très fins sur cette problématique-là. Cela fait partie des discussions que nous avons.

Discussion 7

Faire face à l'accélération

Question 9

Membre du public

Sur les graphiques que vous montriez sur l'augmentation des procédures accélérées et la baisse du niveau de preuve, je me demandais quels sont les facteurs, pourquoi cela arrive, et si cela ne va pas devenir le nouveau standard. Je lisais récemment le rapport de l'Académie nationale de médecine sur l'intelligence artificielle. Ils prévoient des IA LLM qui vont proposer des molécules. On sait la rapidité à laquelle fonctionnent ces systèmes-là. N'allez vous pas être submergés par un nombre incalculable de molécules qui vont tendre à entrer dans le marché? Comment pouvez-vous répondre à cela? Anticipez-vous le problème?

Étienne Lengline

Je vais prendre les questions dans l'ordre.

Pourquoi assiste-t-on à cette explosion de programmes de développement accéléré? Elle est beaucoup liée à l'entrée sur le marché mondial par le biais du marché américain, liée au fait qu'il n'y ait pas d'évaluation des technologies de santé là-bas. Dès qu'on a une autorisation, le produit part le soir même en camion alimenter tous les hôpitaux des États-Unis et tous les gens qui ont une assurance, qu'ils paient très cher et qui rembourse une partie du produit qui est commercialisé à prix libre. La méthodologie d'évaluation par la FDA, depuis les années 1990, a été négociée avec l'industrie pharmaceutique en échange d'une contribution financière au fonctionnement de l'agence. On appelle cela le système de PDUFA. On en est à la cinquième révision de ce dispositif. Aujourd'hui, l'agence américaine dépend pour plus de la moitié des frais de fonctionnement - plusieurs milliards de dollars américains - de l'argent de l'industrie pharmaceutique. En contrepartie de quoi ils ont pu obtenir une adaptation des critères d'évaluation. C'est probablement l'explication.

Ensuite, il y a une sorte de lobbying ou de pression sociale pour l'accès... C'est pour cela que j'ai parlé tout à l'heure du produit de santé devenu produit de consommation. On parle beaucoup d'accès. Il faut avoir accès à un produit. Finalement, même si c'est une promesse, je préfère avoir une promesse que rien du tout. C'est une vraie question d'éthique.

L'agence américaine est en train de dresser le constat que ces mécanismes-là ne sont pas très effi-

caces. Je ne serai pas particulièrement pessimiste sur le fait qu'on va revenir à des produits toxiques ou inefficaces de façon croissante parce que l'on commence à avoir des données scientifiques sur des évaluations d'essais randomisés de produits qui ont eu des développements accélérés. On sait que c'est très inefficace en termes de coût et en termes de bienfaits en santé. On commence à entendre des voix s'élever pour revenir à une doctrine d'évaluation un peu plus stricte sur la possibilité d'obtenir des AMM aux États-Unis, avec des molécules qui sont même retirées du marché. Sur les dix dernières années, quelques dizaines de molécules ont été retirées du marché à la suite de données confirmatoires qui n'avaient pas confirmé la présomption. Il n'est donc pas complètement sûr, ne serait-ce qu'économiquement, que l'on continue de payer extrêmement cher pour des produits qui n'apportent rien...

Sur le risque d'avoir une inondation du marché avec des médicaments non prouvés, il y a en effet une augmentation du nombre de dossiers. La possibilité d'accéder au marché dépendra, comme c'est le cas depuis l'Antiquité, de la qualité de la régulation qui est faite. Nous allons devoir déterminer ce que l'on considère comme une preuve valable. Si demain les régulateurs disent qu'un essai *in silico* est valide avec une drogue développée par une IA, oui, potentiellement... Mais dans ce cas, se posera la question même du bien-fondé d'avoir une régulation. On pourrait dire que c'est comme vendre des voitures ou des aspirateurs et que c'est le marché qui fera la régulation. Or c'est très inefficace.

Question 10

Membre du public

Pour ces molécules qui ont obtenu une autorisation de façon accélérée, vous avez parlé de la nécessité d'un plan, de s'engager à continuer la démarche scientifique d'évaluation. Est-ce contraignant? Y a-t-il un organisme de surveillance?

Etienne Lengline

Oui, cela peut l'être. L'accès précoce est donné pour des périodes d'un an. Il y a un engagement de l'industriel de déposer une demande d'AMM dans les deux ans qui suivent. Ils ne peuvent pas le faire trop précocement car en l'absence de prévisions de données confirmatoires, nous pouvons être amenés à réviser l'avis.

Bilan

Vers un concept d'innovation?

Récapitulatif des différentes séances:

1. Thierry Ménissier, philosophe, a présenté sa philosophie de l'innovation. Il a évoqué une différence entre ce qu'il appelle le paradigme du progrès et le paradigme de l'innovation.

2. Julia Tinland et Jean-Emmanuel Bibault ont abordé le sujet de la prédiction assistée par intelligence artificielle en oncologie.

3. Alexandre Lebrun et Nicolas Castoldi ont parlé des modèles de langage à travers le cas de Nabla, qui utilise Chat GPT pour générer des comptes-rendus de consultation directement à partir de l'enregistrement, des paroles de la consultation.

4. Martin Dumont et Jérôme Monceaux ont parlé de robotique avec l'exemple de la société Enchanted Tools, qui développe des robots à mi-chemin entre des robots sociaux et des robots utilitaires: des robots avec lesquels il y a des échanges sociaux plaisants, mais qui peuvent aussi faire quelques tâches comme se déplacer, apporter des choses.

5. Alain Loute et Mehdi Benchoufi ont parlé de portabilité et de miniaturisation en s'appuyant sur echOpen, une société qui propose une solution d'échographie portative dans la lignée du stéthoscope, qui serait accessible à tous les médecins en clinique et non sur les plateaux techniques uniquement.

6. Raphaëlle Taub et Vincent Israel-Jost ont abordé la question de la reconnaissance d'images par IA, en particulier le diagnostic d'endométriome qui fait l'objet de la société Matricis.ai.

7. Gérald Gaglio et Thomas Landrain ont pris la question de l'innovation sous un angle plus sociologique grâce à la notion d'écosystème. Au cœur de ces échanges était l'initiative Just One Giant Lab, dont l'idée centrale est que l'innovation est aussi un processus, des communautés d'acteurs et pas seulement des produits, et qu'il y a différentes manières de créer ces communautés qui ne sont pas forcément des communautés institutionnelles déjà créées par les instituts de recherche.

Il me semble que nous pourrions davantage mettre l'accent sur les besoins qu'il s'agit de combler à travers les innovations. Fondamentalement, qu'est-ce qu'une innovation prétend résoudre ? C'est quelque chose qui a affleuré dans la séance que l'on a eue autour de l'endométriase¹. Il y avait cette idée que les dispositifs mis en place avaient aussi pour but de mettre en lumière une pathologie qui jusqu'ici était restée trop secrète, invisible, qui n'était pas encore assez prise en charge. Il y avait vraiment cet aspect de l'innovation qui ne consistait pas seulement à proposer un nouvel outil, un nouvel objet, mais de le proposer face à un nouveau problème. Ce qui définit peut-être l'innovation ici, c'est la nouveauté aussi du problème que, jusqu'ici, on n'avait pas encore cerné. Peut-être pourrions nous interroger aussi les acteurs en fonction cette fois-ci de la nouveauté du problème.

Dans toutes les interventions, il m'a semblé que celles et ceux qui venaient du monde de l'entreprise avaient une certaine difficulté à quitter un discours bien rodé pour présenter leur entreprise. Mais au fond, il est apparu plusieurs fois que les intervenants avaient du mal à définir en quoi ce qu'ils proposaient était innovant. Nous avons pourtant essayé de leur demander à chaque fois d'en proposer une définition. Cela montre à quel point il est difficile d'être lucide sur ce que l'on est en train de faire et cerner vraiment son propre point de vue sur l'innovation. Il n'y a peut-être rien de plus difficile que de savoir en quoi ce que je présente est réellement nouveau. C'est une évidence, mais la nouveauté doit se juger sur le long terme. Ce qui me permettra de dire que quelque chose est vraiment nouveau, c'est l'ensemble de ses développements ultérieurs, or je ne peux pas dès le départ juger de l'ensemble de ces développements ultérieurs. Est-ce qu'un dispositif va vraiment changer en profondeur un champ ? Cela dépend de données ultérieures qui ne sont pas disponibles à l'instant où je suis en train de parler.

Quelle reconfiguration des champs provoque les innovations ? Ne pas seulement voir les innovations comme un objet singulier qui vient appliquer tel processus, mais comment l'intervention de telle chose, dans la radiologie par exemple, vient peut-être changer toute la filière du soin d'une pathologie en général, et pas seulement ce qui se passe ici dans mon service très particulier, au point d'application étroit du nouveau dispositif. Il est extrêmement difficile, et cela dans tous les domaines, d'avoir ce genre de vision globale, mais c'est peut-être ce sur quoi il faut essayer de gagner encore du terrain. « En quoi mon problème est-il nouveau ? » Peut-être parce qu'il reconfigure le champ et, de ce fait, déplace le problème.

On a assez peu parlé de la question de savoir comment une innovation se transforme dans les usages qui en sont faits. En sociologie de l'innovation, il est classique de dire qu'une innovation est adoptée quand elle est non seulement adoptée, mais détournée par l'utilisateur qui arrive à lui faire jouer un rôle qui n'était pas tout à fait celui prévu par l'inventeur lui-même ou l'innovateur. Cela a affleuré dans la séance sur *Enchanted tools*² où la problématique était aussi de fabriquer des objets qui soient facilement reprogrammables par l'utilisateur. Qu'ils ne soient pas rivaux à un seul usage de la robotique en milieu hospitalier, mais qu'il y ait potentiellement plusieurs usages possibles et éventuellement des surprises. Toutes ces dialectiques pourraient être prises en compte.

Un autre élément saillant est la question de savoir comment favoriser l'innovation ? Là aussi, rien n'est plus difficile que de dire « produisez donc du nouveau ». On a souligné le fait qu'aux États-Unis, il y avait peut-être plus d'innovations, alors que l'on y revendiquait moins l'innovation comme valeur, tandis qu'en France, il y a peut-être plus d'affichage de l'innovation montrée comme une valeur cardinale³. Or, le fait de devoir absolument innover, d'en faire un impératif, paralyse peut-être. N'y aurait-il pas nécessité à rendre l'innovation plus routinière pour qu'elle soit un peu plus fréquente ?

Cela me fait penser à ce texte de Canguilhem dans lequel il souligne qu'au fond, tout acte thérapeutique est aussi une certaine forme d'expérimentation. Dans tout acte thérapeutique, j'attends un retour d'expérience qui va peut-être, ne serait-ce qu'un tout petit peu, modifier ce que je pensais jusque-là de la thérapie qu'éventuellement je maîtrise très bien, qui est très rodée. Donc, on peut peut-être restaurer un continuum de l'innovation en soulignant que dans la pratique soi-disant la plus routinière, il y a aussi de l'innovation qui peut émerger et être repérée, favorisée, augmentée, etc.

La dernière suggestion concerne la résistance à l'innovation. Pourquoi l'innovation n'est-elle pas si facile à adopter ? Effectivement, une des questions que l'on peut poser, particulièrement à l'égard du numérique, est la suivante : n'y a-t-il pas des résistances secrètes, inavouées ? Un monde médical qui, dans une certaine mesure, se dit très enclin à l'innovation mais, d'un autre point de vue, pour des raisons peut-être éthiques – qu'elles soient valables ou non –, entretient à son égard une certaine réticence. Que traduit cette réticence ? Résister à l'installation d'un dispositif en particulier traduit-il une peur de voir disparaître le métier que l'on a connu ou est-ce aussi parfois une forme d'acte éthique disant : « ce que je sens se profiler derrière cela, ce sont des choses qui me paraissent dérangeantes » ?

Fabrice Gzil

Codirecteur de l'Espace éthique Île-de-France, professeur associé à l'Université Paris-Saclay, chercheur en éthique et épistémologie au CESP-Inserm

J'avais envie de repartir sur l'idée que l'innovation est un mot, un concept, un label. Le mot innovation a trois grands moments dans l'histoire : l'Antiquité tardive, la Renaissance, le 19^e jusqu'à aujourd'hui. *Innovare* en latin. C'est un verbe transitif, ce qui est intéressant. On innove au sens où cela veut d'abord dire remettre à neuf, restaurer – on est en train d'innover Notre-Dame de Paris, on est en train de la remettre à neuf, de la restaurer – avec une espèce de retour à l'état original. Cela peut aussi vouloir dire, notamment dans le langage juridique, « introduire quelque chose de nouveau » : on ajoute une clause à un contrat par exemple. Dans le sens religieux, renouveler, remplacer, modifier quelque chose d'ancien par quelque chose de neuf. Là, cela a souvent un sens négatif, un sens péjoratif. C'est assez proche de l'idée d'hérésie.

À la Renaissance, les choses changent, notamment parce que le terme devient intransitif. On innove, avec deux grandes approches qui sont souvent distinguées. La première, c'est Machiavel et le chapitre 25 du *Prince*. Il y a deux choses importantes dans le monde qu'il associe au courage : l'action et *fortuna*. Le Prince doit être un homme audacieux. « *La chance sourit aux audacieux* », dit Machiavel. Il faut saisir l'occasion. Une forme de l'innovation, c'est l'action. On se jette dans le cours des choses. On n'attend pas que l'occasion soit là, qu'elle nous attende. Il y a une forme d'action et d'audace. Ce qui rappelle un peu ce que l'on pensait comme l'innovation de rupture par exemple.

À côté de cela, il y a Montaigne, beaucoup plus prudent. C'est dans le chapitre 9 du Livre III des *Essais sur la vanité* que Montaigne dit comme à son habitude : calmons-nous, soyons prudents. Il y a eu des guerres et introduire des modifications législatives est très hasardeux. Les sociétés sont fragiles, alors allons-y très lentement – ce qui nous rapprocherait plutôt de l'innovation incrémentale.

On sent que chez Francis Bacon, qui thématise ce sujet au début du 17^e siècle, il y a cette idée que l'innovation est indispensable parce que le temps corrompt tout, et que si l'on veut que les choses se maintiennent, il faut s'adapter, il faut évoluer. Mais il fait une grande distinction, me semble-t-il, entre la politique et le scientifique ; or en politique, en général, il est plutôt montaignien. Il appelle au calme, à l'introduction des choses patiemment. Il n'y a qu'un endroit où il dit qu'il faut aller vite, c'est dans la réforme de l'entendement, la réforme du savoir. Il faut créer des

institutions pour la connaissance, l'enseignement, la recherche, créer une bibliothèque nationale, un museum d'histoire naturelle, tout ce qui va favoriser des métiers, des infrastructures, des moyens.

Le 20^e siècle est marqué par Schumpeter et l'introduction de l'innovation dans l'économie, avec l'idée que la croissance économique suppose l'innovation parce que l'innovation permet la création de valeurs. Vous connaissez cette théorie de cycles d'innovations qui se produit par grades, avec des moments de croissance et de déclin. Mais il y a vraiment l'idée que c'est l'innovation qui détermine la capacité des entreprises à maintenir leur avantage concurrentiel, et donc, à survivre. Autrement dit, il y a vraiment l'idée ici que cette innovation est aussi nécessaire pour la survie.

Il me semble que dans cette évolution-là, nous assistons au passage d'un concept vraiment négatif à un concept extrêmement positif. Le passage, me semble-t-il, d'un verbe « innover » qui, au départ, était transitif et devient intransitif, et même aujourd'hui réflexif. Ce qui nous est demandé aujourd'hui, ce n'est pas seulement de produire du nouveau, mais de *nous* renouveler. Ce n'est pas seulement restaurer Notre-Dame ou renouveler quelque chose, c'est se renouveler soi-même.

Mon deuxième axe de réflexion sur le concept d'innovation concerne la distinction avec ceux proches d'invention, de création, de découverte.

La première distinction concerne le rapport au temps de l'innovation. L'innovation, ce n'est pas le temps de la répétition, des habitudes, des coutumes, des rites, un temps qui se répète. C'est un temps linéaire où il faut s'adapter et évoluer. C'est un temps court. Une étude scientifique « ancienne », aujourd'hui, date de seulement six ans... Pour moi, l'ancien, c'est plutôt Platon ou Aristote. Nous ne sommes pas dans la même échelle de temps, mais c'est un temps linéaire où le passé n'est pas valorisé, et le futur porteur de menaces. Si on n'innove pas, on risque de ne pas survivre. Il y a là un rapport très particulier, me semble-t-il, à la temporalité.

Deuxièmement, il y a l'imaginaire. On a très bien vu avec *Enchanted tools*² que la création d'un imaginaire est centrale. On ne retrouve pas forcément cela dans les découvertes ou dans l'application des recherches. Dans l'innovation en revanche, on convoque l'imaginaire. Cela me rappelle le rapport de Canguilhem, de la science et de la technique, où la technique n'est pas qu'une application de la science : c'est la technique qui crée le besoin de science. Il amène d'ailleurs l'idée de l'émerveillement qui dans le même temps terrifiait. On est dans un registre qui n'est pas un registre purement rationnel. Quand on parle d'innovation, il y a l'imaginaire, l'imagination, qui nous projette souvent à la fois dans l'utopie et la dystopie.

Mon dernier point conceptuel concerne l'ancrage. Il me semble que l'innovation, au-delà de l'appel à la nouveauté, nous convoque, nous prend avec notre corps. On voit bien, quand il est question d'être face à un robot et d'avoir l'impression d'interagir avec lui, avec les grandes masses de données qui sont utilisées, que quelque chose vient nous chercher, quelque chose qui ne nous laisse pas à distance. C'est de l'ordre de l'intuition, mais je dirais que l'innovation nous mobilise émotionnellement.

Concernant l'usage du mot lui-même, je me suis demandé très sérieusement si « innovation » n'était pas simplement un terme inventé par les gens qui veulent absolument discréditer toute résistance au progrès. Il y a clairement une injonction, même une objurgation, au progrès. On est sommé d'innover et d'innover au sens de se renouveler. Je me suis demandé, indépendamment du champ de la santé, qui nous somrait de nous renouveler en permanence, pourquoi ? Dans quel intérêt, qu'est-ce que cela implique ? Comme abandon en termes de conditions de travail, ou de rémunération peut-être ? Qu'est-ce qui fait que tout ce qui est ancien est relégué du côté des rites, des routines, des traditions, des habitudes, de la résistance, de la passivité, etc., pour cette injonction à rompre avec les héritages du passé ?

Deuxièmement, je trouve que du côté des inventions, il existe une injustice épistémique et une injustice d'appropriation, notamment des

innovations. Un exemple est la méthode Montessori, qui a été développée dans les quartiers pauvres de Rome avec les populations des quartiers pauvres et qui, aujourd'hui, fait d'objet d'une appropriation, d'un détournement. Ce sont des méthodes d'enseignement qui bénéficient aujourd'hui majoritairement à des populations plus favorisées et on a oublié l'origine et la contribution des populations très peu favorisées à l'émergence de l'innovation. Je me questionne aussi sur le phénomène de détournement, d'appropriation de certaines nouveautés qui, à l'évidence, peuvent apporter un progrès.

Ce qui m'amène à la conclusion : dans le champ de la santé, il n'y a pas de doute que les inventions, les découvertes qui nous ont été présentées sont de grande valeur. Il me semble qu'on n'a pas de doute non plus sur le fait que ce sont des prétendants tout à fait légitimes à répondre à cette catégorie ou à ce concept d'innovation. Toutefois, nous aurions pu nous demander si c'était incrémental ou de rupture et augmenter notre exigence de qualification. Ce n'est pas évident de manipuler ces deux notions car selon ce que l'on regarde, il y a rupture ou il y a évolution.

Je rejoindrai également les propos de Martin Dumont sur l'insertion dans les pratiques. La dimension économique est très présente. Mais le problème en santé ne se situe pas là. Le problème sur l'innovation en santé vient du fait que le terme soit comme happé et capté par ce qui est numérique, digital, robotique, dans cette innovation technologique. Je crois que ce n'est pas du tout un secteur qui a le monopole de l'innovation, mais je pense qu'en santé, à l'hôpital, celles et ceux qui innovent, ce sont aussi des médecins, des infirmières, des aides-soignantes, des patients, des familles qui innovent dans une façon d'appréhender la maladie, de se débrouiller, de s'organiser, y compris qui se renouvellent. Non seulement ils créent des outils, mais ils se renouvellent eux-mêmes, y compris hors de la technique ou dans l'utilisation des techniques. La captation de ce terme par un champ d'activité est tout de même un peu surprenante. Cela tend presque à sous-entendre que ce qui se produit de bien ou la création de valeur dans ce champ est nécessairement lié à la technologie. On a du mal à appréhender l'innovation sociale ou architecturale par exemple, qui pourtant me semble tout aussi importante.

Je terminerai en revenant sur le rapport au temps. Si l'innovation a un rapport au temps linéaire, les éthiques du soin sont en revanche beaucoup plus cycliques. Le soin est un acte très répétitif : on lave tous les jours, on prend les constantes plusieurs fois par jour, etc. Le geste se répète, que ce soit dans le soin médical, comme dans le soin au sens large.

Dès lors, que se passe-t-il quand on frotte ces deux temporalités ? Une temporalité du soin qui, pour une part, a un côté répétitif, entretient quelque chose, prend soin de quelque chose, et un temps linéaire où le passé est disqualifié et l'avenir présenté soit comme un Eldorado que l'innovation va permettre de faire advenir, ou comme une catastrophe que l'innovation va permettre d'éviter ? Surtout quand l'innovation vient annoncer une promesse : « vous qui êtes dans cette répétitivité, on va vous aider à vous en sortir » ?

Nicolas Castoldi

Directeur exécutif de l'initiative
@Hôtel-Dieu, codirecteur de l'Espace
éthique Île-de-France

Nous avons demandé aux gens qui avaient conçu un certain type d'objet et d'outil de venir présenter cet objet ou cet outil, de dire en quoi il était innovant, et j'ai aperçu un contraste extraordinaire entre la chose elle-même et le discours sur la chose. Il a été question d'objets qui sont susceptibles de provoquer l'émerveillement. Le robot *d'Enchanted tools*², le petit échographe⁴, ChatGPT et sa version Nabla⁵, etc. sont des choses qui, quand on les voit, ont la caractéristique d'être puissamment nouvelles. Nous sommes confronté à un objet - même si on ne sait pas s'il y aura une postérité derrière -, qui est prêt à devenir quelque chose.

D'un côté, il y a cette espèce d'évidence dans la chose elle-même, son caractère nouveau, transformant ; de l'autre, un discours sur ces

choses accompagné d'une relative difficulté à essayer de conceptualiser son caractère innovant. Un discours qui pouvait apparaître assez pauvre au regard du caractère évidemment frappant et fort de la chose. Je partirai de ce constat.

On peut aborder les choses de deux manières. La première est de s'intéresser au discours de ceux qui parlent et la seconde, de regarder ce qu'ils ont fait. Effectivement, il y a quelque chose qui frappe dans le discours, mais que ce qui est plus frappant encore pour moi, c'est le décalage entre le discours et la chose. Ce décalage est intéressant car il permet peut-être d'apprécier ce qui fait la position un peu singulière de ce discours envahissant de l'innovation, de ce mot dont on ne sait pas apporter une forme de définition, y compris dans ce caractère décalé.

Ce qui pour moi explique ce décalage, c'est que le discours de l'innovation, par opposition à un autre discours, est intégralement centré sur la description: l'innovation va, de manière assez précise, assez circonstanciée, apporter une forme de réponse à une forme de besoin. C'est une insistance permanente sur la valeur d'usage: «mon robot est intéressant parce qu'il va permettre d'économiser du temps médical et créer une relation différente» ou «mon échographe est génial parce qu'il va prendre en charge x». Une focalisation permanente sur des bénéfices qui sont toujours extrêmement précis, extrêmement concrets, et une attention permanente à cette espèce de valeur d'usage qui, pourtant, peut parfois paraître incroyablement pauvre au regard de la valeur propre de la chose. Quand on voit le robot d'*Enchanted tools*, avons-nous besoin d'expliquer pourquoi il est extraordinairement innovant et transformant? S'agit-il seulement de dire: «il pourrait transporter une petite cariole et permettre d'aller positionner le poste de soin jusqu'à la série de chambres»? Il me semble que non.

Cette focalisation sur cet impact très précis, cette valeur d'usage, c'est le grand déplacement auquel nous assistons. On a peu entendu de discours comme celui présenté par Thierry Ménissier dans sa conférence introductive⁶, ce discours de l'innovation à la Silicon Valley des années 1990-2000, qui consistait à dire: «on va faire du monde un meilleur endroit». On a peu entendu de déclarations de ce type. On a entendu des choses qui sont très circonstanciées. Pour moi, ce déplacement est important parce que, finalement, nous avons toujours eu en face de nous des gens qui faisaient des promesses incroyablement modestes, précises et toujours rapportées à une espèce d'amélioration à la marge de l'existant. Je trouve cela très frappant, presque inquiétant, tant ça semble en décalage.

Comme le dit Martin Dumont, nous avons affaire à des gens qui ont un discours rodé. Ce discours très particulier appartient à un registre de présentation de la start-up d'innovation. Un discours toujours rodé face à deux types d'interlocuteurs: le client (éventuellement) et l'investisseur (toujours). On retrouve en permanence, un discours qui vise à expliquer pourquoi le produit va se vendre, soit à des clients en général, soit à ce client en particulier.

Mais ce besoin permanent de dire que l'on va aller changer quelque chose de très précis renvoie à quelque chose qui différencie profondément le registre de l'innovation de celui du progrès; et je pense que cela doit nous interroger. Dans le registre du progrès, il y a une espèce de confiance aigüe que nous nous dirigeons vers quelque chose de mieux en général, confiance qui nous fait participer au processus d'amélioration. Le cœur de ce registre, c'est la connaissance. Chez Bergson, on le retrouve dans l'image de la gerbe, consistant à dire qu'il y a une marche en avant et, au cœur de cela, une valeur fondamentale: la science, le savoir, la connaissance. Or, il n'a quasiment jamais été question de science au fil des séances, y compris lorsque tous les outils que l'on voyait étaient basés sur un savoir scientifique assez pointu. C'est que ce discours-là est ailleurs. Dans le registre de l'innovation, je viens corriger, améliorer à la marge, comme je peux. Je ne vous propose pas la lune, je vous dis simplement que vous allez gagner 3,2 % de temps médical dans tel service,

que je vais améliorer telle prise en charge ou les conditions d'exercice au poste des urgences.

Dans ce déplacement entre le discours du progrès et le discours de l'innovation, il y a, en profondeur, la prise de conscience et le sentiment que le discours de l'amélioration globale n'est plus tenable.

On retrouve cela aussi de manière claire dans le discours politique. Fondamentalement, nous sommes passé d'une logique où l'on avait collectivement le sentiment que les progrès du savoir étaient remarquables parce qu'ils produisaient un tas d'effets que l'on retrouvait dans les arts et les technologies, à un discours qui aujourd'hui ne formule plus de promesse générale.

On ne peut pas penser ce décalage autrement que dans le cadre de notre situation particulière : peut-être un sentiment nous serions arrivés au bout de nos capacités. On pourrait illustrer cela dans le champ de la santé par cette conviction profonde qu'aujourd'hui, notre plus grande difficulté est de faire en sorte qu'il y ait le bon nombre d'hommes et de femmes dans le système de santé pour prendre en charge des patients. Derrière cela émerge toute une série de questions, en particulier concernant nos capacités à mobiliser de l'intelligence humaine au volume requis alors que le besoin et la demande augmentent.

Quelque chose d'un peu tragique est en train de se mettre en place. D'un côté, on a le sentiment que si l'on veut rester fidèle à cette forme de promesse de progrès à laquelle nous sommes collectivement et historiquement attachés, il faudrait être capables de mobiliser toujours plus d'intelligence et d'expertise, qui d'ailleurs ne cessent d'augmenter. De l'autre côté, nous avons aussi le sentiment que nous n'arrivons pas à avoir en face, pour répondre à ce besoin, le volume requis de personnes expertes. Encore une fois, si l'on regarde tout ce que l'on a vu comme outils et si l'on regarde ce que les start-ups nous racontent de leur quotidien, il y a une focalisation extrêmement forte sur l'économie de temps médical et paramédical. Ce n'est en rien un discours de remplacement. Personne n'a le projet de remplacer les gens par des technologies.

Arrivons-nous au terme de notre capacité à mobiliser l'intelligence humaine ? Une espèce de butoir - on peut critiquer ce sentiment, mais il est là - face auquel nous répondons par les outils technologiques qui permettent d'apporter de l'intelligence sous une autre forme. Je pense que notre obsession pour l'intelligence artificielle découle de cela. Elle est une manière d'essayer de reconstruire, recréer ou rediffuser de l'expertise, la promesse d'une quasi-intelligence pouvant intervenir sur un champ plus large sans être tributaire du nombre de personnes physiques dont le pouvoir de travail est limité.

Je conclurai avec deux commentaires, dont le premier autour de cette question de l'IA. Nous avons vu émerger un certain nombre de questions assez profondes, assez précises qui méritent d'être travaillées : la notion d'automatisation, de standard, de processus. Il faut mettre en lumière ces manières de raisonner, de réfléchir qui ne sont pas celles qu'on utilise traditionnellement.

Enfin, un point aveugle de nos séances, pourtant assez fondamental, concerne le rapport entre la désignation d'une innovation et la question du financement. Se dessine en arrière-plan la répartition des richesses, l'état économique sous-jacent, ce que cela signifie et ce que cela crée comme déplacement. Nous avons affaire à des gens qui passent leurs journées à devoir tenir un certain discours pour accéder à une forme de financement, dans une logique de retour global sur investissement. C'est sans doute une part importante à incorporer dans une conceptualisation robuste de l'innovation.

Je vais vous proposer une conclusion beaucoup plus pragmatique. La question que je me suis posée est: «à quoi ça sert?» À quoi cela nous sert-il de travailler ce concept d'innovation ?

La première chose que je voudrais relever est que la distinction a presque toujours été claire – même si elle n'a pas toujours été formulée comme cela – entre *l'invention* et *l'innovation*. Elle a été formalisée telle quelle par Gérald Gaglio à la dernière séance, dans laquelle il a dit clairement: «l'invention, c'est la nouveauté technique; l'innovation, c'est la mise en pratique des bonnes idées»⁷. Régulièrement, nous nous sommes demandé en quoi ce que nous présentaient les entrepreneurs était une innovation et ils nous ont répondu que ce n'était pas parce qu'il y avait une invention. Jean-Emmanuel Bibault nous a par exemple expliqué que l'IA existe depuis des décennies. Lorsqu'on lui a demandé en quoi c'était une innovation, il a répondu: «tant que l'on trouve de nouvelles applications, c'est de l'innovation»⁸. Cela rend les choses assez claires: il y a une dimension pratique dans l'innovation. Cette dimension pratique du concept donne une raison d'être à notre questionnement qui ne peut pas se réduire au champ métaphysique. L'idée-même d'innovation implique un impact sur notre réel. C'est pour cela que l'on a intérêt à développer une éthique de l'innovation.

En reprenant l'ensemble des propos tenus lors des différentes séances, j'identifie deux manières d'utiliser le mot «innovation». Cette distinction est peut-être déjà celle que l'on retrouve entre l'innovation incrémentale et l'innovation disruptive. Il y a d'une part les nouvelles applications que l'évolution des techniques permet d'avoir. C'est l'innovation qui augmente la performance, qui augmente l'efficacité, qui permet de gagner du temps – bien que Martin Dumont disait lors de la séance sur la robotique que gagner du temps, c'était plutôt gagner du travail, puisque c'est la substitution du travail humain par celui de la machine qui permet de gagner du temps. Cette manière de manier le mot «innovation» est finalement proche de ce que l'on a toujours appelé le *progrès*. Elle convoie une idée d'évolution par accumulation, de progression linéaire, de raffinement et de diminution du travail humain: il me semble que c'est explicitement le «paradigme du progrès». Vincent Israel-Jost faisait d'ailleurs un parallèle avec la notion d'objectivité prise sous l'angle de la focalisation: toujours plus précis, toujours plus efficace⁹.

Cette manière de parler de l'innovation – je ne sais pas si on doit dire «innovation», car peut-être que «progrès» doit rester le meilleur terme – a des conséquences d'un point de vue éthique. En particulier au regard de l'éthique publique, celle qui intéresse le régulateur, comme nous l'avons vu avec la conférence d'Étienne Lengline¹⁰. Il semble que le raisonnement que l'on va adopter face à cette «innovation-progrès» est un raisonnement bénéfices/risques ou coûts/avantages: ce gain d'efficacité vaut-il la peine, vaut-il les coûts qu'il engendre? Car, par définition, un progrès est éthiquement souhaitable. Il s'agit alors «simplement» d'une recherche du bon équilibre.

Mais il y a une autre manière d'utiliser le terme «innovation», qui concerne la transformation du tissu social. On peut parler d'innovation dès lors qu'elle modifie les relations entre les humains, parfois entre les humains et la technique. Martin Dumont évoque dans sa conclusion la «reconfiguration des champs». Ce n'est pas vraiment la même chose que le progrès. Dans ce cas, la question relève peut-être plus d'un «paradigme de l'innovation» en tant que tel: un changement des relations sociales, un nouveau modèle. Il n'y a pas forcément dans ce cas de notion d'évolution linéaire vers du progrès. C'est plutôt de l'ordre de l'idée de *révolution*.

Il me semble par conséquent que pour le questionnement éthique, le raisonnement couts/avantages n'est pas le plus approprié. Il faudrait plutôt assumer un raisonnement normatif : quelles sont les normes du nouveau modèle par rapport à l'ancien modèle ? Les normes du nouveau modèle sont-elles plus souhaitables que celles de l'ancien modèle ? Nous sortons de la logique d'amélioration du précédent.

Prenons l'exemple de Medhi Benchoufi, qui disait que disposer d'un écho-stéthoscope changerait complètement la relation clinique et les pratiques d'orientation diagnostique¹¹. Ce n'est pas forcément que c'est mieux pour faire ce que l'on faisait déjà : il s'agit là d'une médecine différente. Dans un mouvement similaire, Alexandre Lebrun, dans sa présentation de Nabla, promeut le fait que son outil ne se réduit pas seulement à la production d'un compte-rendu, car il incite aussi les médecins à verbaliser tout ce qu'ils font dans leurs consultations et que cette nouvelle pratique transforme le rapport avec leurs patients¹². Ce n'est pas seulement une question de gain de temps ou de travail.

Tel est pour moi l'intérêt d'avoir réfléchi à cette notion d'innovation : ces distinctions seront peut-être utiles à la manière dont nous allons réfléchir l'éthique publique.

On peut déjà voir quelques conséquences par rapport à cela. D'abord, les deux types d'innovations n'ont pas le même rapport au cout financier. Dans « l'innovation-progrès », on va facilement accepter un cout plus élevé, parce qu'elle représente une performance technique. On va accepter de rémunérer fortement les industriels en tant que récompense du progrès apporté. Le prix est le *point d'arrivée* du développement de l'innovation. Tandis que dans l'autre type d'innovation, « l'innovation-usage », nous partons du principe que ce qui constitue l'innovation est la transformation de la société. Cette transformation repose sur sa diffusion facile et, par conséquent, sur un cout abordable. J'ai été frappé par les propos de Medhi Benchoufi, qui développe un échostéthoscope, et qui nous a dit qu'il est parti du principe que son objet ne devait pas coûter cher car, si tel était le cas, personne ne l'utiliserait et, par conséquent, que ce ne serait pas une innovation. Le *point de départ* a été l'accessibilité financière. On voit bien que ce ne sont pas les mêmes logiques qui sont à l'œuvre.

Enfin, on retrouve une « confusion » - le terme n'est peut-être pas le mieux choisi - entre les deux types d'innovation dans le cadrage temporel. Un mélange entre les deux logiques est en permanence entretenu. Alain Loute le disait très bien dans la séance sur l'échographie portable : l'innovation, c'est toujours une projection vers le futur, à travers une promesse de nombreux usages différents et d'une transformation de la société ; et en même temps, pour qu'elle paraisse crédible, il faut toujours l'inscrire dans une continuité avec le passé. L'échostéthoscope est à nouveau un bon exemple : on utilise le mot « échostéthoscope » pour insinuer qu'au fond, ce n'est que l'évolution du stéthoscope. On l'inscrit à la fois dans la logique du progrès linéaire parce qu'il en est l'évolution logique ; mais en même temps on dit qu'il va complètement transformer les usages et ne va plus du tout être de la même nature que le stéthoscope. La confusion est entretenue par une rhétorique de l'innovation qui, selon moi, dépend surtout du besoin de persuasion des acteurs financiers.

Voilà les leçons que nous pouvons tirer du concept d'innovation. Pour conclure, j'ouvrirai sur trois questionnements liés à l'éthique des techniques, qui ont émergé au cours des séances, et que l'on ne peut pas ignorer :

1. Le danger de la perte de compétences. Par exemple, les professionnels qui savaient bien lire les imageries médicales risquent à terme de ne plus savoir le faire. Et les nouveaux étudiants risquent même de ne jamais apprendre. Si l'on ne sait plus lire les images, comment peut-on alors vérifier que la machine, elle, les lit correctement ?

La *vérité* d'un résultat dépend en réalité entièrement de nos capacités de *vérification*, même si nous ne les exerçons pas. Si nous les perdons, notre rapport à la technique passe d'un rapport de confiance à un rapport de foi.

2. Pourquoi l'erreur de la technique apparaît toujours plus insupportable que l'erreur humaine ? Si la machine se trompe, ce n'est pas tolérable, alors que lorsque les humains se trompent, « l'erreur est humaine ». Pourtant, la machine est bien créée par les humains pour réduire le risque d'erreur humaine. J'y vois un vrai paradoxe.
3. Quelle est la légitimité des acteurs des techniques à médicaliser les problèmes ? Par exemple, pour mettre au point une IA lectrice d'imagerie, ce sont ceux qui développent les outils d'intelligence artificielle qui vont devoir faire le choix, à un moment, de déterminer ce qui est pathologique de ce qui ne l'est pas. Raphaëlle Taub¹³ le fait en consultant des experts en gynécologie, mais il n'empêche qu'à la fin, c'est elle qui configure son IA. Medhi Benchoufi disait que la question de la distinction entre le normal et le pathologique avait été historiquement délégué aux médecins. Mais ne pourrait-elle être une question démocratique ? Devrait-il revenir à une délibération collective de décider ce qui est normal et ce qui est pathologique ? C'est une question que l'on a régulièrement retrouvé en filigrane au cours de nos séances.

1. Cf. chapitre « Reconnaissance d'images », p 93
2. Cf. chapitre « Robotique », p. 59
3. Cf. chapitre « Reconnaissance d'images », p. 103
4. Cf. chapitre « Portabilité », p. 78
5. Cf. chapitre « Modèles de langage », p. 41
6. Cf. conférence « Une philosophie de l'innovation », p. 12
7. Cf. chapitre « Écosystèmes », p. 119
8. Cf. chapitre « Prédiction », p. 35
9. Cf. chapitre « Reconnaissance d'images », pp. 97-98
10. Cf. conférence « La régulation de l'innovation », pp. 129-135
11. Cf. chapitre « Portabilité », p. 77
12. Cf. chapitre « Modèles de langage », p. 44 et p. 54
13. Cf. chapitre « Reconnaissance d'images », pp. 95-96

Directeurs de la publication : Nicolas Castoldi, Fabrice Gzil, Virginie Ponelle
Rédacteur en chef : Alexis Rayapoulle
Secrétariat de rédaction : Patrice Dubosc
Conception graphique : Valentine Thébaut

© Avril 2025
Espace de réflexion éthique Île-de-France
Hôpital Saint-Louis
1 avenue Claude Vellefaux, 75010 Paris

www.espace-ethique.org

Quiconque vit au sein de la société française du début du 21^e siècle a nécessairement entendu parler « d'innovation ». Pourtant, elle reste une notion vague et assez mal définie, en dehors de sa fonction économique théorisée par Joseph Schumpeter. Que faut-il pour qu'un produit (ou une action?) soit regardé comme innovation? Quel degré de changement par rapport à l'existant est nécessaire et comment le caractériser? À quelle étape doit se situer la nouveauté en question (technique, objectif, conséquences, etc.)? Y a-t-il un moyen de distinguer ce qui serait de l'ordre de l'innovation de ce qui n'en relèverait pas à un niveau fondamental, ou est-ce simplement une étiquette rhétorique à des fins communicationnelles?

C'est pour tenter d'apporter une réponse à ces questions que nous avons pensé ce séminaire, en huit séances au cours de l'année 2023-2024 : une séance introductive, six séances de travail sur des cas concrets et une séance conclusive. Chaque séance de travail consiste en la présentation d'une personnalité investie dans le développement d'une technologie dite innovante de son projet, en expliquant en quoi c'est une innovation et pourquoi il est important de la qualifier comme telle. Elle est suivie d'une seconde intervention par une personnalité formée à la philosophie et/ou aux sciences humaines et sociales, pour engager le dialogue et apporter des éclairages provenant de ces disciplines critiques.

Ce séminaire a été organisé conjointement par l'Espace éthique Île-de-France, structure régionale de réflexion sur les questions d'éthique du soin et de la santé créée en 1995 et la Chaire de philosophie à l'Hôtel-Dieu, portée depuis 2016 par l'École normale supérieure et l'Assistance publique – Hôpitaux de Paris.

Les séances se sont déroulées au sein de l'Hôtel-Dieu (AP-HP), plus ancien hôpital de Paris, lieu de travail d'environ six cent soignants et soignantes. Ce séminaire s'inscrit dans le cadre de l'initiative @Hôtel-Dieu, un projet de transformation qui vise à en faire de l'établissement un lieu dans lequel l'univers des soins puisse dialoguer à la fois avec les sciences humaines et sociales (dont la philosophie) et avec le monde de l'innovation. Il a vocation à être le prototype d'un hôpital tourné vers l'extérieur, ouvert sur le monde et sur la ville, accueillant en son sein d'autres savoirs et d'autres démarches.

L'historien Benoît Godin, dans son ouvrage *L'innovation sous tension* (Presses Université Laval, 2017), écrivait que l'innovation est « devenue une puissante force culturelle investie d'une intensité affective et d'enthousiasme ». Pour cette raison, triviale quoique vertigineuse, nous pensons capital d'entreprendre une réflexion à ce sujet.