



Les Cahiers de TESaCo N°3

AGENTIVITÉ & DONNÉES PERSONNELLES /
DONNÉES GÉNÉTIQUES /
IA FORTE & IA FAIBLE /
BIOTECHNOLOGIES & GAMÉTOGÉNÈSE IN VITRO

Technologies émergentes et sagesse collective

Comprendre, faire comprendre, maîtriser

Septembre 2022



ACADÉMIE DES SCIENCES
MORALES ET POLITIQUES
INSTITUT DE FRANCE



FONDATION
SIMONE ET CINO
DEL DUCA
INSTITUT DE FRANCE

Les Cahiers de TESaCo N°3

TESACO

En l'espace de deux décennies, les technologies dites émergentes — biotechnologies, technologies de l'information et de la communication, technologies issues des neurosciences cognitives, nanotechnologies... — ont profondément modifié les conditions d'existence à l'échelle planétaire et affecté tous les secteurs d'activité humaine. Porteuses de solutions mais aussi de menaces pour nos équilibres fondamentaux, ces nouvelles technologies sont devenues si puissantes qu'on ne sait comment en reprendre le contrôle, alors même qu'elles continuent de se développer, ouvrant la voie à des conséquences et à des risques imprévisibles.

Cet état de fait appelle un effort pour mieux comprendre les technologies et leurs effets, informer le public et les responsables politiques, et proposer des dispositifs pouvant contribuer à maîtriser l'évolution en cours.

L'Académie des sciences morales et politiques a souhaité participer à cet effort, et avec l'appui de la Fondation Simone et Cino Del Duca, elle a lancé en 2019 le cycle d'études « Technologies émergentes et sagesse collective » - TESaCo.

LES CAHIERS DE TESACO

Les Cahiers de TESaCo est une publication périodique qui présente les travaux de l'équipe du projet, organisée en six groupes de travail thématiques : biotechnologies, intelligence artificielle et robotique, sciences cognitives appliquées, libertés-éthique-droit, numérisphère, anthropologie numérique.

LE COMITÉ ÉDITORIAL

Daniel Andler, responsable du projet TESaCo

Serena Ciranna, assistante de recherche

SOMMAIRE

<i>Introduction</i>	7
Serena Ciranna	
<i>Empowerment et agentivité en matière de données personnelles</i>	9
Célia Zolynski	
<i>Une nouvelle biotechnologie à penser : la gamétogenèse in vitro</i>	17
Anne Le Goff	
<i>Audition de Catherine Bourgain : Expertise sur les données génétiques</i>	31
Par Alex Peluffo	
<i>Audition de Jean-Gabriel Ganascia</i>	45
Par Mehdi Khamassi	



INTRODUCTION

À PROPOS DU CAHIER N°3

SERENA CIRANNA

Serena Ciranna est doctorante en Philosophie et sciences sociales à l'Institut Jean Nicod de Paris, où elle travaille sous la direction de Gloria Origgi. En 2017-2018 elle est chercheuse invitée à EPIDAPO (Institut for Society and Genetics, UCLA) pour étudier le phénomène du partage des résultats des tests génétiques *DTC* (*direct to consumers*) en ligne. Sa recherche analyse les effets des médias numériques sur l'identité personnelle. Elle est assistante de recherche pour TESaCo.

Les textes réunis dans ce deuxième numéro des *Cahiers de TESaCo* sont issus de cinq séances du séminaire interne de TESaCo ayant eu lieu en 2020 et 2021. Il ne s'agit pas à proprement parler d'articles, mais de comptes rendus établis par moi-même, puis revus par les intervenants, dont l'aspect oral a été conservé. Par la diversité de leurs sujets, approches et problématiques, ces contributions reflètent l'extension de notre programme de recherche. Leur but est de fournir des pistes de réflexion sur les opportunités et les risques engendrés par le déploiement des technologies émergentes en question. Cela, soit dans des cas ordinaires – l'organisation du travail, la recherche en IA, la prise de décision, etc., que dans des contextes extraordinaires comme la gestion d'une pandémie.

Dans l'esprit du séminaire interne, dont le but est de développer une réflexion transversale aux divers cas d'étude menés au sein du groupe, la contribution de Daniel Andler, qui ouvre le volume, analyse les notions d'intelligence et de sagesse collectives en revenant sur leurs différentes significations et champs d'application pour ensuite les intégrer à l'enquête sur les technologies émergentes menée par TESaCo.

Lié à l'actualité de la pandémie de Covid-19, le texte de Sonia Desmoulin interroge le concept de droit à la santé dans le cadre de la crise sanitaire, notamment en termes d'accès aux tests et aux vaccins. Son intervention constitue aussi un témoignage des préoccupations et difficultés qui ont caractérisé les premiers mois de diffusion de la Covid-19 en Europe et la fin du premier confinement en France en 2020.

Deux textes dans le numéro s'attachent à des types différents d'IA, à leur impact et aux enjeux éthiques et juridiques soulevés. Dans l'intervention de Florian Forestier, il est question des effets du management algorithmique sur le travail – d'un point de vue pratique et théorique. La nature hybride de la plateforme, entre firme et marché, lance un défi à des concepts juridiques clés qui ont jusqu'ici défini les rapports de travail. Des propositions pour améliorer le pouvoir d'agir des travailleurs dans ce nouveau régime sont discutées. De l'autre côté, le texte de Mehdi Khamassi porte sur l'IA entendue comme moyen de compréhension et de reproduction de certaines facultés humaines. Parmi celles-ci, l'autonomie décisionnelle : quelles nouvelles questions éthiques sont soulevées par le développement de robots autonomes ?

La contribution de Serena Ciranna invite à une réflexion sur la perception des données génétiques produites par l'usage de plus en plus répandu des tests en accès libre. Étant susceptibles de dévoiler des éléments qui remettent en question le sens de l'identité de l'individu, les données génétiques relèvent de la sphère intime, ce qui détermine le type de protection spécifique à laquelle elles devraient être soumises.

Dans le but de restituer le dialogue et la dynamique de réflexion collective du groupe, chaque texte comprend le compte rendu de la discussion qui a suivi l'exposé. C'est à la faveur de ces échanges que les points de convergences entre les différents domaines disciplinaires et cas d'étude au sein du groupe se rendent plus visibles, reflétant ainsi la pluralité de points de vue que TESaCo se propose d'intégrer dans son expérience d'intelligence collective.

Empowerment et agentivité en matière de données personnelles

CÉLIA ZOLYNSKI

Célia Zolynski est Professeur Agrégée de droit privé à l'École de droit de la Sorbonne de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne où elle dirige le Master 2 Droit de la création et numérique et codirige le Département de recherche en droit de l'immatériel de la Sorbonne (IR-JS-DreDis). Membre du Comité national pilote d'éthique et numérique (CNPEN), elle est en outre personnalité qualifiée au sein de la Commission consultative nationale des droits de l'Homme (CNCDH) et du Conseil supérieur de la propriété littéraire et artistique (CSPLA).

Ses activités de recherche et d'enseignement portent sur le droit du numérique, le droit de la propriété intellectuelle, le droit du marché et les libertés fondamentales. Elle est l'auteur de différentes publications dans ces domaines, notamment sur les liens qu'entretiennent le droit interne et le droit de l'Union européenne. Elle anime plusieurs groupes de travail interdisciplinaires et projets de recherches collectives sur la protection et la valorisation des données et la régulation des systèmes algorithmiques.

Célia Zolynski a présenté un article¹ s'inscrivant dans le cadre d'un projet ANR dont le but est d'approfondir certains enjeux des solutions de cloud personnel, notamment ceux relatifs à la responsabilité. Le projet, piloté par Orange en association avec la société Cozy Cloud, implique l'équipe PETRUS INRIA dirigée par Nicolas Anciaux, ainsi que le laboratoire DANTE de l'Université Versailles St Quentin.

I. Empowerment et agentivité en matière de données personnelles

L'autonomie informationnelle, la souveraineté numérique, le contrôle de l'humain sur la technologie, sont des préoccupations de beaucoup d'acteurs aujourd'hui. Différentes réformes relatives au droit des données à caractère personnel ont souhaité promouvoir l'empowerment - ou mise en capacité d'agir des individus - s'agissant de leurs données personnelles. Nous avons pu le constater avec la consécration dans le RGPD d'une nouvelle prérogative au bénéfice de la personne concernée : la portabilité de ses données personnelles (article 20), que l'on trouve désormais également dans l'article 55 de la loi Informatique et Liberté.

¹ Anciaux, N. et Zolynski, C. «Empowerment et Big Data sur données personnelles : de la portabilité à l'agentivité», in Big data et Droit, dir. FL. G'Selle, 2019 <https://hal.inria.fr/hal-02349274> - v. également « Empowerment and 'Big personal data : from portability to personal agency », Anciaux, N., Zolynski, C. Chaudat S. et Ladjel R., Global Privacy Law review 2021 vol.2, issue 1, pp. 16-30

La portabilité est le droit offert à un individu de récupérer gratuitement ses données dans le but de migrer d'un service à l'autre. Ce droit a été présenté par les législateurs français et européens comme un instrument pour renforcer l'autonomie informationnelle de l'individu, ainsi que sa capacité de choix. Il s'agit, d'ailleurs, d'un levier concurrentiel, permettant l'émergence de nouvelles offres de service, dont les solutions de "Personal information management systems" comme le cloud personnel.

La manière d'exercer ce droit se décline sous deux formes d'empowerment possibles :

1) L'empowerment faible permet la récupération des données personnelles pour que l'individu décide de migrer d'un service à l'autre mais de même nature - par exemple la possibilité de migrer d'Apple Music à Spotify, en important ses playlists constituées au fil du temps.

2) L'empowerment fort permet quant à lui à l'individu de récupérer ses données pour migrer vers une nouvelle solution de gestion de ses données, tel le cloud personnel. La portabilité permettrait ainsi à l'individu de bénéficier d'une pleine souveraineté numérique.

L'idée serait alors d'envisager des solutions juridiques et techniques qui permettent à l'individu d'aller vers de nouveaux usages (empowerment fort), conformément à ses valeurs, ce qui constituerait une promesse plus complète d'empowerment de l'individu.

Pour réaliser cet objectif, il est nécessaire d'aller au-delà de la simple récupération des données et d'assurer à l'individu d'exercer également un contrôle d'usage de ses données. Dans cette perspective, nous avons mobilisé la notion d'agentivité, émergée d'un certain nombre de travaux en sciences sociales dont ceux du prix Nobel de l'économie Amartya Sen, dans sa théorie des "capabilités"². Ces travaux définissent la notion de personal agency

par deux composantes principales : la capacité de l'individu à endosser son rôle d'agent - à agir conformément à ses valeurs - et celle de contribuer à rendre ses propres décisions effectives.

Dans le contexte du numérique, nous retrouvons la notion de personal agency dans les récentes déclarations de Tim Berner Lee qui a dénoncé la réalité actuelle du Web comme étant caractérisée par les monopoles informationnels. La personal agency en matière de données personnelles consisterait pour Berner Lee en la centralisation des données personnelles (dont l'individu détient une copie) et en la possibilité de désigner un tiers qui pourrait traiter ces données sous le contrôle de l'individu. Cette idée se traduit dans la solution de cloud personnel (Solid) qu'il met en œuvre actuellement avec le MIT.

Nous retrouvons la notion de personal agency également dans les lignes directrices pour un développement éthique de l'intelligence artificielle par les experts de la Commission européenne, dont le but est de développer une IA centrée sur l'humain, respectueuse des droits fondamentaux, en pensant la répartition des tâches entre l'humain et l'IA.

Dans le projet mené avec Nicolas Ancaux, il est proposé une version plus ambitieuse de l'agentivité : cette dernière doit permettre d'exercer un contrôle sur l'usage, et non plus uniquement sur le stockage de ses données. L'utilisateur donnerait alors son consentement non seulement sur les données utilisées mais aussi sur le calcul fait à partir de ces données. Il deviendrait ainsi un agent du système quasiment au sens informatique du terme. Pour ce faire, l'équipe PETRUS, dirigée par Nicolas Ancaux, réfléchit à des solutions dans le but de donner aux individus le contrôle sur l'ensemble du cycle de vie des données, de leur

² A.Sen, « Well-being, agency and freedom : the Dewey Lectures 1984 », *The Journal of Philosophy* 1985, n° 82, p. 206.

collecte jusqu'à leur destruction. Des solutions juridiques sont, dans le même temps, envisagées par l'équipe de Célia Zolynski pour accompagner la mise en place de ces systèmes, notamment au moyen des conditions générales d'utilisation et du monitoring par une autorité indépendante.

Un objectif ultérieur est de créer des outils qui permettent d'exercer collectivement le droit à la portabilité des données, de manière à donner à des groupes d'individus la possibilité de gérer leurs données mais aussi de les utiliser à leur avantage. Des communautés pourront ainsi se constituer et se mobiliser autour du partage et de la gestion collective et autonome de leurs données. Cette idée avait également été formulée par la CNIL (Cahier n°5 - La plateforme d'une ville) à propos de l'organisation de la cité - au sens urbain et philosophique du terme - grâce au flux des datas.

II. Exemples d'usage des solutions de cloud personnel

Un exemple classique de mise en œuvre d'outils qui permettent d'exercer collectivement l'agentivité en matière de données personnelles est celui du suivi oncologique. L'agentivité permettrait à une population de patients de s'organiser en collectif pour 1) assurer le suivi de certaines pathologies 2) évaluer l'évolution de leur état de santé. Par exemple, lorsqu'un algorithme décide que l'état d'un patient nécessite qu'il recontacte son médecin traitant, la solution que nous proposons permettrait d'évaluer le résultat produit par l'algorithme sans fournir de données à des tiers.

Un autre exemple, un peu plus atypique, se rattache au sujet de l'attention. Le but serait de développer des usages au profit de communautés qui n'existent pas encore et de leur permettre de se constituer. Il s'agirait, dans ce cas spécifique, d'évaluer l'addiction générée par certains jeux vidéo en ligne. L'outil envisa-

gé permettrait aux joueurs - ou à leurs parents pour les plus jeunes d'entre eux - de déterminer les bonnes mesures éducatives pour limiter les risques d'addiction (quel temps de jeu autoriser, à combien limiter le nombre des parties, etc.). On peut faire l'hypothèse que les éditeurs des jeux sauraient répondre à ces questions avec des techniques de big data, dans le but d'étudier les meilleures stratégies pour capter davantage l'attention des joueurs. Les parents, de leur côté, restent pour l'heure démunis et ne font que procéder de façon intuitive. On pourrait alors imaginer que les parents ou les joueurs s'organisent en collectif, récupèrent les données et les utilisent pour évaluer les meilleures mesures à mettre en place pour limiter les risques de dépendance tout en continuant à bénéficier de l'intérêt du jeu.

DISCUSSION

Sonia Desmoulin

Est-il possible d'avoir des clarifications concernant l'exemple du suivi médical ?

Célia Zolynski

Nicolas Anciaux et son équipe travaillent sur un projet auprès de personnes vulnérables pour avoir un suivi du personnel médical et social assurant leur accompagnement. Les données sont récupérées dans une box, restant ainsi sous le contrôle de l'individu tout en pouvant circuler.

Imaginons par exemple le cas d'une personne en situation de fragilité mais qui n'est pas encore placée sous mesure d'accompagnement juridique et qui voudrait être prévenue de la diminution de ses capacités cognitives pour savoir à quel moment elle devrait s'adresser à un tiers-aidant. Nous pourrions supposer également que cette personne ne souhaite pas que son employeur ou ses enfants aient connaissance de cette diminution de ses capacités cognitives. Grâce à cet outil, il y aurait un contrôle direct par la personne de l'échange de ses données et des informations qui en résultent.

Daniel Andler

En ce qui concerne l'empowerment, nous cherchons bien évidemment à éviter les situations dans lesquelles le sujet n'a aucune prise sur la collecte et l'usage de ses données. A l'autre extrême, l'individu serait pleinement "empowered" - il deviendrait un agent dont les décisions se traduisent en actions et où rien ne vient empêcher cette agentivité. Pourtant, la question de la faisabilité de cette agentivité parfaite se pose - car nous ne sommes pas constamment en mesure de l'exercer : pour des questions d'attention, de ressources, de capacités cognitives ou même d'intérêt. Dans ce cas, nous sommes nécessairement amenés à déléguer, tout en restant des agents pleinement conscients et organisés, "maîtres de notre destin" en matière de data. La question est alors de savoir à quel moment et à qui va-t-on déléguer. Une autre question s'ajoute à celle-ci : la possibilité de déléguer de manière différentielle, par exemple d'avoir un contrôle très élevé sur ses données médicales mais pas sur d'autres genres de données personnelles.

Célia Zolynski

La délégation est en effet l'une des questions principales qui émerge de nos propositions. En regardant quelles sont les solutions en place aujourd'hui, nous regrettons que l'empowerment individuel soit généralement réservé à une population "geek" soucieuse de son hygiène informatique.

Nous essayons en revanche de développer des solutions utilisables par le plus grand nombre possible. Une enquête sociologique, menée dans le cadre du même projet ANR, a émis des questions relatives à l'évolution des pratiques non seulement chez les utilisateurs qui ont une appétence particulière pour des technologies innovantes comme le cloud personnel, mais aussi pour d'autres utilisateurs. L'intérêt est de voir quel serait le coût acceptable par un public plus large pour mieux protéger ses données personnelles.

Il s'agit alors de voir comment faire en sorte que cette délégation soit la moins pesante possible

pour ces utilisateurs qui ne sont pas prêts à payer un prix élevé pour avoir le contrôle total sur leurs données. Il faut établir à quel moment cognitivement, techniquement et juridiquement proposer le choix de cette différente forme d'utilisation. Quant à la question de la délégation différentielle - en sortant du cadre juridique qui n'est pas du tout identique selon le type de données -, nous allons tester également cette réalité de la différence d'attention des individus s'agissant de domaines différents.

Par ailleurs, il faudrait éviter que la responsabilisation de l'utilisateur en matière de gestion de ses données personnelles ait l'effet de déresponsabiliser les opérateurs. Cet effet reviendrait à une forme d'instrumentalisation du consentement pour déresponsabiliser les opérateurs techniques en conférant une responsabilité excessive à l'individu au risque de lui dénier toute sorte de protection.

Serena Ciranna

Les algorithmes sont capables de produire une nouvelle forme de connaissance des individus à l'aide de corrélations obtenues à partir de l'analyse d'une importante masse de données, issues du traçage de millions d'utilisateurs sur Internet. Ils peuvent déduire de ces données leur identité (genre, âge, statut social) mais aussi leurs goûts, leurs centres d'intérêt, voire même prédire leurs trajectoires futures. Comment les solutions de cloud personnel peuvent-elles, tout en assurant à l'individu un contrôle centralisé sur ses données personnelles - lui fournir également la possibilité d'exploiter la connaissance qui émerge de l'usage des big data (donc des données d'autres usagers), comme le font les grands opérateurs numériques ? Comment donner à l'individu ce même pouvoir ?

Célia Zolynski

C'est effectivement l'autre grande question qui émerge lorsque l'on conçoit des solutions de cloud personnel : comment déployer des calculs à grande échelle et comment utiliser un partage de données pour réaliser des corrélations. Cela semble possible effectivement au moins à une échelle restreinte, par exemple, dans le cas mentionné plus haut des joueurs en ligne. Pour ce qui concerne le passage à une plus grande échelle : dans un futur proche, nous n'aurons probablement pas accès à un nombre de données suffisamment important pour concurrencer la pertinence des résultats issus des big data. Il faudrait, pour réaliser cela, qu'un certain nombre d'individus acceptent de faire communauté autour de ces nouveaux usages. Aussi, ce serait souhaitable, dans un deuxième temps, d'étendre le droit à la portabilité au-delà de ce que permet aujourd'hui l'art. 20 du RGPD qui prévoit la préservation des droits des tiers. La Commission européenne, dans le cadre de sa stratégie sur les données, a discuté en février dernier l'élargissement possible des droits à la portabilité des données. Il est d'ailleurs probable qu'un certain nombre d'oppositions d'opérateurs émergent. La loi californienne, qui reprend l'esprit de la RGPD européenne en matière de protection des données personnelles, ne prévoit du reste pas de droit à la portabilité.

Serena Ciranna

Concernant l'exercice collectif de l'agentivité évoqué plus haut, un cas d'étude intéressant serait celui des groupes sur les réseaux socionumériques dans lesquels les usagers partagent les résultats des tests génétiques vendus en ligne (DTC genetic tests) - un cas qui se rattache bien évidemment à celui du partage des données médicales au sens plus large. La transférabilité des données est souvent un sujet de discussion au sein de ces groupes en ligne : typiquement, les usagers demandent aux utilisateurs du même service (par exemple 23andme) des conseils concernant les pratiques de migration

de leurs données génétiques d'une plateforme d'analyse à l'autre.

Célia Zolynski

Les données génétiques posent d'autant plus de questions car elles ne sont pas seulement personnelles, mais aussi partagées et intergénérationnelles. Les plateformes de vente en ligne de tests ADN donnent aux individus la possibilité d'acquérir seuls des connaissances dont ils ne sont pourtant pas en mesure de contrôler parfaitement la circulation et l'usage par des tiers. Sur ces plateformes, on assiste à un partage accru des données bien au-delà des petites communautés des discussions sur les réseaux sociaux, et cela au nom d'une autonomie personnelle et informationnelle de l'individu - le droit et son envie de connaissance de son patrimoine génétique. Les données pourraient effectivement être mieux exploitées par des petites communautés pour leur propre profit en acquérant plus de contrôle, mais à condition d'obtenir le consentement de tous les individus concernés.

Alex Peluffo

La protection des données génétiques par le consentement des individus potentiellement concernés (par exemple les parents ou les personnes proches) est difficile à réaliser, si l'on considère qu'il est possible de reconstruire le génome d'une personne à partir de ses cousins de deuxième degré. Le cas des données génétiques met en lumière les difficultés d'appliquer cette notion pourtant très importante et intéressante d'agentivité. On a d'ailleurs tendance à oublier que l'information n'est pas une quantité comme les autres : en donnant ses données à quelqu'un, même en les récupérant par la suite, on s'expose au risque que la personne en question en ait gardé une copie.

Autre exemple : celui de l'apprentissage fédéré, très difficile à réaliser dans le cas des données génétiques. Le modèle de boîte noire du machine learning, dans lequel on "rentre" des données et qui sort un résultat sans que les données ne soient dévoilées ou partagées, n'est pas tout le temps applicable aux données génétiques car elles sont extrêmement hétérogènes. L'usage du machine learning sur ces données n'est pas pour l'instant satisfaisant car nous nous sommes rendus compte, du fait que le génome humain publié est celui d'un homme blanc, que nous ignorions les données génétiques africaines. Un modèle de machine learning pour les données génétiques humaines se basera donc en fait uniquement sur les données d'ancêtres européens blancs. Pour corriger ce biais, l'intervention humaine du généticien est nécessaire. De plus, en ce qui concerne l'analyse du génome, nous ne pouvons pas faire en sorte que les données ne révèlent pas aussi des informations qui dépassent ce que l'on cherchait et éventuellement ce que l'on était autorisé à chercher. Un exemple : l'analyse de certaines parties du génome peuvent faire émerger des informations que le généticien ne peut pas révéler si elles dépassent le domaine et le but de sa recherche initiale. Si, par accident - en cherchant des informations sur l'héritage - le généticien découvre des mutations qui peuvent générer des maladies, il existe en France une interdiction d'informer la personne concernée.

Nous sommes également confrontés à un problème de définition : il est difficile d'expliquer à une personne ce que l'on va faire avec ses données génétiques dans le cadre d'une recherche. Parfois, des pistes sont découvertes en chemin et l'obligation de contacter les patients systématiquement mettrait un frein à la recherche. Dans ce cas, il faudrait donc choisir entre faire avancer la recherche rapidement ou tenir au courant pleinement et tout au long de la recherche les propriétaires de ces données.

Dernier point : l'utilisateur est rarement celui qui a financé l'acquisition de ses données - souvent, il s'agit en fait du système de santé. Il serait alors peut-être préférable que ce soit le même système de santé - d'ailleurs déjà encadré en matière de gestion des données - qui les utilise pour ces recherches.

Aussi, en ce qui concerne la gestion autonome des données par l'utilisateur, il y a dans certains cas des problèmes de sécurité nationale. Il faut donc que les serveurs et leur usage soient sécurisés.

Célia Zolynski

Des pistes de questionnements ont émergé qui pourraient alimenter des travaux à venir. Je pense notamment à la forte tension entre intérêt individuel, collectif et général. Il ne s'agit pas d'opter pour l'un ou pour l'autre de manière schématique, mais de regarder au cas par cas. Pour ce qui concerne les données génétiques - le champ des possibles est très vaste -, je suis loin de vouloir considérer l'individu comme étant en mesure de tout faire. Néanmoins, le droit de l'individu doit être promu et organisé collectivement si nécessaire pour être effectif. Il faut prendre en compte l'intérêt général mais sans annihiler la capacité de l'individu d'exercer un certain contrôle sur ce qui sera réalisé à partir de ses données. La question de la confiance doit être mieux adressée - elle est également au cœur du problème de la sécurité nationale et de la révélation d'un certain nombre de faiblesses des systèmes de cloud personnel. Il faut donc choisir à chaque fois une solution technique qui garantisse la confiance.

L'idée n'est pas de généraliser l'agentivité mais d'augmenter la palette du champ des possibles.

Florian Forestier

Je souhaiterais obtenir un éclaircissement sur les exemples concrets donnés sur la question de l'agentivité collective.

Célia Zolynski

Il serait utile d'approfondir la question en invitant Nicolas Anciaux.

Daniel Andler

Il y a une connexion entre ces questions spécifiques et des questions plus générales dans le cadre de la réflexion sur intelligence augmentée et collective.

L'idée d'intelligence collective est très pertinente pour ce qui concerne la tension entre individuel et collectif. C'est aussi tout le problème de l'intelligence augmentée : si on réalise des systèmes autonomes, on s'expose à des problèmes insolubles. Il faut donc renoncer et garder l'humain dans la boucle.



Une nouvelle biotechnologie à penser : la gamétogenèse in vitro

ANNE LE GOFF

Agrégée et docteure de philosophie, elle est actuellement chercheuse postdoctorale à l'Institute for Society and Genetics à UCLA (États-Unis). Sa recherche porte sur l'épigénétique et la manière dont ce nouveau champ reconfigure les rapports entre biologie et société. Elle est l'auteure de *L'animal humain*, paru chez Vrin.

Développement récent dans le domaine des cellules souches, la biotechnologie de la gamétogenèse in vitro (GIV) fait figure de possible « révolution »¹. Cette biotechnologie émergente, non encore entièrement développée avec des cellules humaines, consiste à produire des gamètes (ovules et spermatozoïdes) en dehors du corps, par dérivation à partir de cellules souches pluripotentes ou de précurseurs des gamètes. Elle suscite de forts espoirs non seulement pour la recherche fondamentale sur la reproduction et le développement humains, mais aussi pour ses potentielles applications cliniques. Cette biotechnologie se trouve à la croisée d'innovations scientifiques et techniques dans le champ des cellules souches et de la reproduction assistée, du phénomène d'augmentation aiguë de l'infertilité, et de plusieurs évolutions sociales profondes quant à la reproduction, la famille et l'affirmation des droits des personnes et des familles homosexuelles et transgenres. Les attentes et réflexions contrastées qu'elle suscite sont à la mesure de son potentiel : permettant à n'importe qui de produire un gamète, elle redéfinirait en profondeur les limites de la reproduction humaine. Comme l'a montré Noémie Merleau-Ponty en comparant la France et la Californie, la perception de la GIV varie fortement selon les contextes nationaux². En effet, bien plus qu'une réponse à des

¹ Philip Ball, « Reproduction revolution: how our skin cells might be turned into sperm and eggs », *The Guardian*, 14/10/2018.

² Noémie Merleau-Ponty, « In-vitro gametogenesis on YouTube – Epistemological performances from Strasbourg and Los Angeles », *Reproductive Biomedicine & Society Online*, 11, 2020, p. 96-103.

besoins prédéfinis, cette technologie remet en question certaines de nos certitudes et implique des choix sociaux. C'est pourquoi il est crucial de se demander, avant que nous ne soyons placés devant le fait accompli de son existence, ce que nous souhaitons en faire. Je conduis actuellement, à l'Université de Californie à Los Angeles, une recherche sur la GIV comme objet scientifique, éthique et social, en partenariat avec le laboratoire de cellules souches du Dr. Amander Clark et avec la sociologue et historienne des sciences, Dr. Hannah Landecker. Je me propose ici de donner un aperçu des questions soulevées par la technologie de la GIV, et tout d'abord de la présenter brièvement.

Qu'est-ce que la gamétogenèse in vitro ?

La gamétogenèse est le processus biologique par lequel sont formés les gamètes femelle et mâle dont la fertilisation produit l'embryon. C'est un processus à la fois long et complexe : les cellules de la lignée germinale dont sont issus les gamètes se multiplient et commencent à se spécifier à partir des cellules souches pluripotentes dès le sixième jour de développement de l'embryon humain. Au cours de leur développement, les cellules germinales passent par une forme de division cellulaire unique, la méiose. À l'issue de cette division sont produits des ovules et spermatozoïdes haploïdes, c'est-à-dire qui ne possèdent qu'un seul exemplaire de chaque chromosome, contrairement à toutes les autres cellules de notre corps, qui sont diploïdes (avec deux exemplaires de chaque chromosome). La gamétogenèse humaine

est un processus discontinu : les ovules sont produits durant la vie fœtale mais la méiose s'interrompt pour ne reprendre qu'à la puberté, avec le début de l'ovulation, et se terminer entièrement avec la fécondation. Les spermatogonies ne commencent la méiose produisant les spermatozoïdes qu'à la puberté. Les différents stades par lesquels passent les cellules germinales, jusqu'à devenir des gamètes fertiles, sont définis par l'environnement constitué par les cellules somatiques qui les entourent.

La technologie de la gamétogenèse in vitro (GIV) s'efforce de reproduire les étapes successives de ce processus dans le milieu artificiel d'une boîte de Petri³. Le point de départ est constitué de cellules souches pluripotentes isolées au préalable et cultivées dans un environnement nutritionnel adapté. Les premières tentatives de GIV chez l'humain et la souris, au début des années 2000, utilisaient des cellules souches pluripotentes embryonnaires, extraites d'embryons⁴. La technologie des cellules souches pluripotentes induites (en anglais, induced pluripotent stem cells, iPS) a, ces dernières années, donné un nouvel essor à ces recherches. Cette technique, qui a valu à Shinya Yamanaka le prix Nobel de médecine en 2012, consiste à ramener une cellule différenciée à l'état de cellule souche pluripotente, grâce à l'introduction de certains facteurs génétiques⁵. Grâce à cette « reprogrammation », les gènes liés à la pluripotence, et qu'on trouve in vivo seulement dans l'embryon, sont réactivés, et ceux liés à la différenciation, réprimés. Ce protocole permet d'obtenir des cellules souches pluripotentes à partir de simples cellules somatiques, par exemple de cellules de la peau.

³ Lucie Tosca, Anne-Marie Courtot, Annelise Bennaceur-Griscelli et Gérard Tachdjian, « Production in vitro de cellules germinales murines et humaines à partir de cellules souches pluripotentes », *médecine/sciences*, 27-10, 2011, p. 866-874.

⁴ Amander T. Clark, Megan S. Bodnar, Mark Fox, Ryan T. Rodriguez, Michael J. Abeyta, Meri T. Firpo et Renee

A. Reijo Pera, « Spontaneous differentiation of germ cells from human embryonic stem cells in vitro », *Human Molecular Genetics*, 13-7, 2004, p. 727-739.

⁵ Kazutoshi Takahashi et Shinya Yamanaka, « Induction of Pluripotent Stem Cells from Mouse Embryonic and Adult Fibroblast Cultures by Defined Factors », *Cell*, 126-4, 2006, p. 663-676.

Il constitue ainsi une source alternative de cellules souches pluripotentes, là où les cellules souches pluripotentes embryonnaires posent en outre des problèmes éthiques puisque leur isolation à des fins de culture *in vitro* requiert la destruction de l'embryon.

Les cellules souches pluripotentes – qu'elles soient embryonnaires ou induites – peuvent ensuite être différenciées en laboratoire, selon des conditions de cultures appropriées qui permettent d'obtenir les cellules différenciées recherchées. La reconstitution de la gamétogénèse humaine n'a pas encore été entièrement réalisée *in vitro*. Dans l'état actuel de la science, la différenciation est effectuée jusqu'au stade des cellules germinales primordiales, précurseurs des gamètes⁶. Toutefois, une preuve de concept de la GIV a déjà été faite chez les souris : toute la gamétogénèse a été reconstituée chez des souris femelles et mâles, jusqu'à la naissance de souris elles-mêmes fertiles, cela démontrant que les gamètes produits *in vitro* étaient compétents⁷. Chez les primates non humains, espèces plus pertinentes pour la biologie humaine, des cellules germinales primordiales produites *in vitro* ont été différenciées avec succès jusqu'au stade d'ovule et de spermatozoïde⁸. Ainsi, les scientifiques impliqués estiment que la GIV sera développée chez l'humain à moyen terme. Or, si seul un petit nombre de laboratoires dans le monde travaille aujourd'hui directement sur la GIV – notamment au Japon, aux États-Unis, en Angleterre et en Israël –, une fois que les protocoles seront établis, cette technologie pourrait être utilisée beaucoup plus largement par les nombreux laboratoires de cellules souches dans le monde, y

compris en France, qui maîtrisent la technologie des cellules iPS.

Des gamètes produits *in vitro* : pour quoi faire ?

Comme pour le champ des cellules souches dans son ensemble, la GIV promet de larges applications en termes tant de recherche fondamentale que, à plus long terme, de médecine régénérative. Pour ce qui est d'abord de la recherche fondamentale, la GIV est propre à fournir un modèle pour étudier la gamétogénèse et, après fécondation *in vitro* des gamètes produits, la reproduction et le développement humains. (Soulignons néanmoins à nouveau que toutes les applications qui mettent en jeu des gamètes fonctionnels impliquent la différenciation au-delà du stade des cellules germinales primordiales qui constitue aujourd'hui l'état de la science et restent donc hypothétiques, tandis que l'étude des premiers stades de la gamétogénèse avec ce modèle *in vitro* constitue déjà une réalité.) Cette fonction de modèle est cruciale car nous ne possédons pas à ce jour de modèle adéquat de la gamétogénèse, de la fécondation et des premières étapes du développement humain. Ces processus restent éthiquement et pratiquement inaccessibles à l'expérimentation avec des organismes humains et sont imparfaitement conservés chez d'autres mammifères. L'étude du modèle *in vitro* permettrait d'étudier la reproduction et le développement, ainsi que leurs pathologies conduisant à l'infertilité et aux troubles du développement.

⁶ Joanna J. Gell et Amander T. Clark, « Restoring Fertility with Human Induced Pluripotent Stem Cells: Are We There Yet? », *Cell Stem Cell*, 23-6, 2018, p. 777-779.

⁷ Orié Hikabe, Nobuhiko Hamazaki, Go Nagamatsu, Yayoi Obata, Yuji Hirao, Norio Hamada, So Shimamoto, Takuya Imamura, Kinichi Nakashima, Mitinori Saitou et Katsuhiko Hayashi, « Reconstitution *in vitro* of the entire cycle of the mouse female germ line », *Nature*, 539-7628, 2016, p. 299-303.

⁸ Enrique Sosa, Di Chen, Ernesto J. Rojas, Jon D. Hennebold, Karen A. Peters, Zhuang Wu, Truong N. Lam, Jennifer M. Mitchell, Meena Sukhwani, Ramesh C. Tailor, Marvin L. Meistrich, Kyle E. Orwig, Gunapala Shetty et Amander T. Clark, « Differentiation of primate primordial germ cell-like cells following transplantation into the adult gonadal niche », *Nature Communications*, 9-1, 2018, p. 5339.

Le système des cellules pluripotentes induites présente en outre l'avantage que la cellule produite conserve le patrimoine génétique de la cellule somatique initiale. Cette conservation permet de faire des cellules produites *in vitro* un modèle génétique de certaines maladies, comme c'est déjà le cas dans certains domaines d'application des cellules iPS. Les cellules iPS produites sont cultivées en laboratoire soit sous forme de culture en deux dimensions, soit sous forme d'organoïdes en trois dimensions qui modélisent en miniature l'anatomie de l'organe⁹. De même, les gamètes produits *in vitro* pourraient servir de modèles génétiques pour étudier des formes génétiques d'infertilité et de maladies héréditaires.

La GIV apparaît également comme une source de gamètes pour la recherche appliquée, là où l'obtention d'ovules est compliquée et éthiquement problématique car elle requiert une procédure d'extraction très lourde pour les donneuses. En toxicologie, par exemple, cela permettrait de tester la toxicité des molécules chimiques sur les cellules germinales, là où, à l'heure actuelle, seuls les effets sur les cellules somatiques sont examinés de manière systématique, alors que les différences biologiques entre les deux types de cellules sont, comme nous l'avons évoqué plus haut, significatives.

Les applications reproductives de la GIV sont, quant à elles, à ce jour entièrement de l'ordre du virtuel. Pourtant, ce sont bien elles qui sont le plus frappantes. En effet, la GIV constituerait une innovation majeure dans le champ de la reproduction assistée. L'absence de gamètes ou de gamètes fertiles est une cause d'infertilité. Elle constitue aussi un obstacle à l'utilisation de la fécondation *in vitro* (FIV) pour des couples infertiles. La seule manière

de contourner cet obstacle est de recourir à une donneuse ou un donneur de gamète. Or, le recours au don de gamète soulève un certain nombre de difficultés matérielles et éthiques. Outre la difficulté concrète de trouver un donneur de sperme, et plus encore une donneuse d'ovule, le passage par le don implique la perte de la filiation génétique, ce qui, sans être un problème en soi, peut être une source de souffrance psychologique pour les personnes infertiles et soulève la question du droit à l'accès aux origines biologiques pour l'enfant procréé. La marchandisation des gamètes, autorisée dans de nombreux pays, pose également de multiples questions éthiques.

Dans le contexte de la FIV, la GIV pourrait également constituer une technique préférable à la stimulation ovarienne par traitement hormonal qui est actuellement la méthode utilisée pour l'extraction d'ovules, que ce soit pour un usage personnel ou pour un don. Ce traitement est, physiologiquement et psychologiquement, extrêmement lourd et ses effets à long terme sur la santé sont à ce jour peu étudiés. La GIV pourrait constituer une voie alternative potentiellement plus sûre et sans doute plus aisée, puisqu'il suffirait de prélever une cellule somatique, par exemple de la peau, par simple biopsie.

La GIV apparaît donc comme un outil majeur dans la médecine de l'infertilité. Cependant, si la GIV se trouve à bien des égards dans la continuité de la FIV, elle s'en distingue en ce qu'elle serait la première technologie à modifier les gamètes – et non seulement à les manipuler en laboratoire. Dès lors, ses implications pour la reproduction humaine sont bien plus larges que celles évoquées par le simple remplacement de gamètes absents ou défectueux dans des cas d'infertilité. La GIV permettrait

⁹ Camilla Calandrini, Frans Schutgens, Rurika Oka, Thanasis Margaritis, Tito Candelli, Luka Mathijssen, Carola Ammerlaan, Ravian L. van Ineveld, Sepide Derakhshan, Sanne de Haan, Emmy Dolman, Philip Lijnzaad, Lars Custers, Harry Begthel, Hindrik H. D. Kerstens, Lindy L. Visser, Maarten Rookmaaker, Marianne Verhaar, Godelieve A. M. Tytgat, Patrick Kemmeren, Ronald R. de

Krijger, Reem Al-Saadi, Kathy Pritchard-Jones, Marcel Kool, Anne C. Rios, Marry M. van den Heuvel-Eibrink, Jan J. Molenaar, Ruben van Bortel, Frank C. P. Holstege, Hans Clevers et Jarmo Drost, « An organoid biobank for childhood kidney cancers that captures disease and tissue heterogeneity », *Nature Communications*, 11-1, 2020, p. 1310.

à n'importe quel individu – quelle que soit sa santé reproductive mais aussi son âge, son sexe ou son orientation sexuelle – de produire un gamète mâle ou femelle¹⁰. Cela pose la question de ce que l'on veut faire avec la GIV.

Au-delà de l'infertilité, la reproduction pour tous ?

Les chercheurs travaillant sur la GIV mettent en avant sa valeur thérapeutique comme réponse à l'infertilité. Cet objectif explicite de la GIV normalise la conception de l'infertilité comme maladie du système reproductif, une conception de l'infertilité défendue par l'Organisation mondiale de la Santé mais non acceptée universellement. La GIV suggère que, même sans étiologie – ce qui est le cas pour de nombreuses formes d'infertilité – l'infertilité peut être comprise comme le dysfonctionnement de certaines cellules, puisqu'elle peut être soignée par la production de nouvelles cellules remplaçant celles-là. Cependant, la GIV va plus loin, puisqu'elle remet indirectement en cause la définition de l'infertilité actuellement en usage en France et internationalement, selon laquelle l'infertilité ou infécondité est « une affection du système reproducteur masculin ou féminin définie par l'impossibilité d'aboutir à une grossesse après 12 mois ou plus de rapports sexuels non protégés réguliers¹¹ ». Cette définition implique que seuls peuvent être infertiles des individus hétérosexuels sexuellement actifs. Des individus homosexuels produisant des gamètes fertiles ne sont pas, selon cette définition, infertiles, quand bien même ils sont dans l'incapacité concrète de concevoir un enfant avec leur partenaire.

Avec la GIV, le seul prérequis biologique pour produire un gamète femelle ou mâle est

de fournir une cellule somatique sans anomalie génétique¹². Cela permettrait donc aux deux parents d'un couple homosexuel d'être géniteurs de leur enfant. Avec la GIV, également, une personne transgenre pourrait produire un gamète correspondant à son genre et non à son sexe de naissance. Une femme pourrait produire un ovule après la ménopause. La GIV, en levant certaines limites factuelles à l'engendrement biologique, amène avec force sur le devant de la scène la question de l'accès à la reproduction. Si la reproduction biologique devient, par l'entremise de technologies médicales, possible pour tout un chacun, quels doivent être les critères sociaux pour en réglementer l'accès ? Doit-il même exister de tels critères ? Les récents débats sur la procréation médicalement assistée pour toutes en France ont mis en lumière les profondes questions fondamentales et pratiques soulevées par l'irruption de ces technologies reproductives. La GIV radicalise ces questions et met en lumière le décalage qui existe entre procréation médicalement assistée et parentalité puisque de nombreuses personnes qui ne peuvent légalement accéder à ces technologies sont parents. Les questions posées par la GIV, en continuité avec les autres technologies de reproduction assistée, tiennent donc, sur le plan éthique, aux intérêts de l'enfant et à la justice reproductive ; sur le plan légal, elles portent sur le cadre juridique nécessaire à l'utilisation de telles technologies afin notamment d'assurer un statut légal aux enfants issus de techniques de procréation médicalement assistée ; enfin des questions pratiques se posent, concernant par exemple la prise en charge de ces procédures par l'assurance santé.

¹⁰ Plus exactement, un individu au génome XY pourrait produire un gamète avec un chromosome X ou Y. Un individu au génome XX pourrait seulement produire un gamète avec un chromosome X, sauf à ajouter des modifications génétiques, ce dont la possibilité a déjà été envisagée par des chercheurs.

¹¹ Organisation mondiale de la Santé, International Classification of Diseases (ICD), 2021, vol. 11th Révision fran.

¹² Dans le cas le plus simple. Mais on peut aussi imaginer une intervention pour corriger d'éventuelles anomalies génétiques. Cf. infra.

Interventions sur la lignée germinale

La GIV ouvre également un second champ de questionnement, celui des effets génomiques héritables. En effet, la particularité des cellules de la lignée germinale est d'être le support de l'hérédité. Elles permettent la reproduction mais transmettent également le patrimoine génétique d'une génération à l'autre. Dès lors, une différence majeure les sépare des cellules somatiques produites par la même technologie de dérivation *in vitro* à partir de cellules souches. Des cellules du cœur ou du cerveau produites *in vitro* et réintroduites dans un corps humain resteront dans ce corps et disparaîtront avec lui. En revanche, toute intervention sur les cellules de la lignée germinale utilisées à des fins reproductives aura un effet sur les générations issues de ces cellules, c'est-à-dire non seulement sur le ou les enfants ainsi conçus mais également sur toutes les générations successives de leurs descendants puisque les cellules germinales sont à l'origine de toutes les cellules du corps du nouvel organisme produit, y compris ses propres cellules germinales. Toute intervention sur les cellules germinales s'inscrit dans le temps long des effets héritables par les générations successives.

Or, les individus ainsi diversement impliqués se trouvent dans des positions profondément asymétriques. Tandis que l'individu qui fournirait l'une de ses cellules pour en faire un gamète pourrait être traité comme patient dans le respect des règles éthiques, notamment par le biais du consentement éclairé, par définition, ses descendants ne seraient pas en situation de donner ou refuser leur consentement à la procédure. Les risques de santé qu'ils pourraient encourir sont difficiles à évaluer parce qu'ils s'étendent dans le temps long de la vie et celui, encore plus long, des générations. Certaines

études ont montré que des risques supérieurs de certaines maladies ou troubles du développement sont associés à la FIV, alors même que la fécondation est réussie et que la grossesse a abouti¹³. Cela suggère que le succès immédiat de la FIV, et a fortiori de la GIV, ne donne pas la mesure de la santé de l'individu ainsi conçu.

Les effets héritables de la GIV prennent encore une autre dimension dans le contexte d'une autre biotechnologie contemporaine, à savoir l'édition du génome. L'édition du génome humain est devenue réalité avec l'arrivée de l'outil CRISPR-Cas9, qui permet d'éditer le génome avec une grande précision et relative facilité. L'enjeu des modifications héritables du génome – c'est-à-dire celles réalisées dans l'embryon ou dans les cellules germinales – a été clairement aperçu par la communauté scientifique et fait depuis plusieurs années l'objet de nombreux débats¹⁴. Dans cette discussion, toutefois, peu d'attention a été accordée aux cellules germinales. Or, la GIV offre un système *in vitro* dans lequel de telles modifications génomiques des cellules germinales pourraient être entreprises. Pour des raisons pratiques et éthiques, on peut même supposer que les chercheurs choisissent de préférence d'effectuer des modifications génomiques héritables – par exemple pour corriger une mutation héritée de l'un des parents – dans un gamète plutôt que dans l'embryon. Notons que tout un dispositif de tests génétiques accompagnera inévitablement la mise en place de la GIV à des fins reproductives, si elle a lieu, de la même manière que de tels tests sont utilisés aujourd'hui dans le cadre de la FIV pour sélectionner avant implantation un embryon sans anomalie génétique identifiable. Dès lors, tracer la frontière entre des procédures de sélection génétique qui seraient moralement acceptables et d'autres qui ne le seraient pas pose un épineux problème de critères.

¹³ Ziru Jiang, Yinyu Wang, Jing Lin, Jingjing Xu, Guolian Ding et Hefeng Huang, « Genetic and epigenetic risks of assisted reproduction », *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*, 44, 2017, p. 90-104.

¹⁴ Et ce d'autant plus depuis la controverse suscitée par

l'expérience non éthique menée sur plusieurs embryons humains par le chercheur He Jiankui et révélée en 2018. Cf. Henry T. Greely, « CRISPR'd babies: human germline genome editing in the 'He Jiankui affair' », *Journal of Law and the Biosciences*, 6-1, 2019, p. 111-183.

Avant même d'appliquer la GIV : éthique de la recherche

Remarquons, cependant, qu'avant même de devenir une technique applicable à la reproduction humaine, la GIV soulève d'importantes questions éthiques pour la recherche. En effet, la validation de la GIV nécessitera la création et la culture d'embryons à des fins de recherche, dans le but de démontrer, premièrement, que ces gamètes sont fertiles et, deuxièmement, que les embryons ainsi produits sont sains. C'est ce processus de validation qui a été établi chez la souris. Selon le consensus en vigueur dans la plupart des pays, la création d'embryons humains à des fins de recherche est interdite et le temps de culture des embryons humains en laboratoire est limité à 14 jours¹⁵. Cependant, ces deux règles qui encadrent depuis une quarantaine d'années la recherche sur les embryons humains se voient aujourd'hui remises en question par les avancées de la science. Les chercheurs sont maintenant parvenus à cultiver des embryons humains jusqu'à cette limite et souhaitent la redéfinir. La GIV s'inscrit dans ces débats.

Enfin, si la technologie de la GIV est validée en laboratoire, se posera la question d'essais cliniques. La FIV, à cet égard, ne peut guère constituer un modèle. En effet, elle a été développée entre la fin des années 1970 et le début des années 1980 sans véritable cadre éthique. Un tel cadre est pourtant nécessaire pour préserver les droits des patients et des futurs individus nés à l'aide de cette technique. Mais, dès lors que les embryons ainsi conçus ne peuvent consentir aux applications expérimentales auxquelles ils prennent part et que les effets à long terme ne peuvent être intégralement prédits, il nous faut d'autres modèles éthiques que ceux dont les piliers sont formés par les concepts d'autonomie du patient et d'évaluation éclairée

des risques et bénéfiques.

Quelle sagesse collective ?

Comment aborder les questions éthiques soulevées par la GIV ? Le champ des cellules souches est marqué par une forte culture éthique¹⁶. Dès ses débuts, la recherche sur les cellules souches a impliqué la manipulation et destruction d'embryons humains et son acceptabilité sociale dépendait de la mise en place d'un cadre éthique – juridique ou non selon les pays – et de l'observance de protocoles stricts par la communauté et les chercheurs individuels. Ainsi, la société internationale pour la recherche sur les cellules souches (International Society for Stem Cell Research) se tient à l'avant-garde de la réflexion éthique. Par ses lignes directrices produites tous les 5 ans, elle offre un cadre éthique à ces recherches, offrant une cohérence internationale qui n'est pas produite par les États eux-mêmes.

Mais si la GIV est, en un sens, une avancée technique et scientifique de la recherche sur les cellules souches, elle est aussi bien plus : elle remodèle en profondeur la reproduction humaine. Elle n'est pas simplement une technologie qui répond à un besoin prédéfini : elle bouleverse entièrement le paysage des questions qui peuvent être posées. Dès lors, définir les conditions de son application n'implique pas seulement une intelligence de la technique et de ses enjeux, mais bien une réflexion sur les fins qu'elle nous amène à réévaluer quant à la reproduction humaine, la justice reproductive et les effets héréditaires des interventions humaines pour les générations futures. Le débat doit être informé par la science, pour que l'on comprenne de quoi on parle, mais ce n'est pas en soi un débat scientifique. En effet, ce qui est en jeu, c'est la conception de ce que signifie

¹⁵ En France, la limite des 14 jours a été inscrite dans la loi pour la première fois par la loi n°2021-1017 du 2 août 2021 relative à la bioéthique.

¹⁶ Charis Thompson, *Good science: the ethical choreography of stem cell research*, Massachusetts, USA, MIT Press, 2014.

se reproduire pour les humains et le lien biologique entre les générations. Cette réflexion sur les fins de la vie humaine et la manière dont cette biotechnologie peut y contribuer est l'objet d'un effort pour développer une sagesse collective.

En ce sens, la discussion sur l'éthique de la GIV ne peut rester seulement une discussion entre experts scientifiques : elle doit impliquer la société civile dans son ensemble, ainsi que des experts issus des sciences humaines et sociales. Un débat sur la GIV doit inclure d'abord la perspective de ses utilisateurs potentiels, si elle venait à être accessible à des fins reproductives. Ces derniers sont notamment les personnes infertiles, selon la définition en usage actuellement, mais aussi les personnes appartenant aux communautés LGBTQ+ pour lesquelles la GIV offrirait des possibilités de procréation nouvelles. Puisque l'impact de la GIV se ferait sentir au-delà de ses utilisateurs, affectant en profondeur ce qu'est la reproduction humaine, cette technologie doit aussi faire l'objet d'un débat plus large permettant d'envisager ses effets directs mais aussi indirects sur la reproduction, tels que le renforcement de l'assimilation entre parentalité et biologie, ou la possible dégradation du statut des personnes en situation de handicap provoqué par un effort collectif pour éradiquer les anomalies génétiques.

Si ce type de débat impliquant des valeurs individuelles et sociales se situe nécessairement à l'échelle d'une société, il serait naïf de croire qu'on peut le contenir à l'intérieur de frontières nationales. La question de la GIV rejoue un paradoxe que l'on peut observer à propos des technologies de procréation médicalement assistée existantes. En effet, le champ scientifique dans lequel ces biotechnologies sont développées obéit à des normes internationales plutôt que nationales. Mais, surtout, le marché qu'elles constituent une fois

développées est aussi un marché mondial. Les utilisateurs contournent les limites imposées par les juridictions auxquels ils sont soumis en pratiquant un tourisme médical qui, dans certains cas, peut poser des problèmes éthiques d'exploitation et qui, dans tous les cas, crée des problèmes juridiques, notamment quant à l'établissement de la filiation des enfants nés de ces procédures. L'élaboration d'une sagesse à l'égard de cette biotechnologie requiert un constant va-et-vient entre perspectives locales et globales.

Glossaire

Cellule germinale : cellule pouvant se différencier en gamète participant à la reproduction.

Cellule somatique : les cellules somatiques sont toutes les cellules du corps qui ne sont pas des cellules germinales, c'est-à-dire la plupart des cellules de notre corps.

Gamète : cellule reproductrice haploïde participant à la fécondation (ovule ou spermatozoïde).

Cellule germinale primordiale : précurseur des gamètes.

Cellule souche pluripotente embryonnaire : cellule pouvant se différencier dans tous les types de tissus à l'exception des annexes embryonnaires ; ces cellules apparaissent dans l'embryon humain in vivo au bout de 5 jours de gestation et peuvent être isolées in vitro.

Cellule souche pluripotente induite (induced pluripotent stem cell) : cellule pluripotente issue de la reprogrammation in vitro d'une cellule somatique.

Organoïde : structure multicellulaire en trois dimensions qui reproduit en miniature l'anatomie d'un organe, à partir de cellules souches.

DISCUSSION

Daniel Andler

Selon moi, la question centrale qui alimente le travail d'Anne - son travail sur l'animalité, l'animal humain - devrait être en théorie un input original dans ces questions bioéthiques. Ces questions bioéthiques sont très connues. Cela fait 20 ans qu'on en parle : que ce soit avec CRISPR, dernièrement les diverses manipulations génétiques, ou la récente convention d'Asilomar qu'Anne a mentionnée. J'ai d'ailleurs eu l'occasion de discuter de la première conférence d'Asilomar de 1975, dans laquelle les experts avaient décidé de suspendre provisoirement les manipulations génétiques en attendant d'être assurés de leur relative innocuité. Il y a donc eu ce fameux moratoire. Ce qui est intéressant, c'est que 45 ans se sont écoulés de 1975 à 2020. Depuis, les choses ont beaucoup évolué avec CRISPR cas9 et les techniques modernes de procréation assistée. Malgré tout, c'est un peu toujours la même problématique.

Je me pose donc deux questions. La première est : comment va-t-on s'en sortir ? On dit qu'on doit faire intervenir les citoyens, car ces questions concernent leurs valeurs les plus intimes (même si, d'une société à l'autre, les valeurs ne sont pas forcément identiques). Néanmoins, bien qu'il y ait beaucoup de discussions et de débats sur ces sujets, nous savons qu'à la fin du processus des manipulations auront lieu. Comment allons-nous acquérir une sagesse collective préventive ? Est-ce possible ou est-ce utopique ?

Quant à ma deuxième question : Quel est l'apport spécifique de la réflexion d'Anne à partir de sa conception de la nature humaine ?

Anne Le Goff

Je vais d'abord répondre à la première question. En effet, il est crucial, en tant que chercheur.e, de savoir quelle contribution nous pouvons apporter sur ces sujets. La question de la sagesse est à l'origine même de TESaCo : il ne s'agit pas juste de savoir comment débattre, l'enjeu est plus profond que cela. Il s'agit plutôt de se demander : Comment guider le développement biotechnologique et technologique dans une certaine direction, plutôt que de suivre et d'être placé devant le fait accompli ? Les discussions sur CRISPR sont à cet égard frappantes - et il en va de même dans le cas d'Asilomar. Dans ces deux cas, ce sont des scientifiques qui se sont isolés pour discuter mais, moratoire ou non, ces recherches vont finir par aboutir ; il faut juste que cela se passe dans des conditions éthiques.

Sur la question de la sagesse, il faudrait envisager le terme d'éthique au sens fort, plutôt qu'au sens faible dans lequel il est souvent utilisé aujourd'hui. Les biologistes du champ des cellules souches font attention à l'éthique mais dans son sens relativement faible : ils suivent des guidelines. C'est davantage de la déontologie que de l'éthique. Ils n'entament pas généralement eux-mêmes de réflexion sur les valeurs qui sont en jeu - ce n'est d'ailleurs pas en soi leur travail. Je n'ai pas de réponse quant au fait de savoir si cette sagesse collective est possible ou utopique. Mais ce qu'il est possible de

³ Les GMP (good manufacturing practices) ou en français BPF (bonne pratique de fabrication) sont définis selon l'OMS (Organisation mondiale de la Santé) comme « des éléments de l'assurance qualité, garantissant que les produits sont fabriqués et contrôlés de façon uniforme et selon des normes de qualité adaptées à leur utilisation et spécifiées dans l'autorisation de mise sur le marché ».

faire, c'est d'essayer de développer des réflexions en ce sens-là. Quels sont les moyens pour le faire ? D'une part, je pense qu'il faut des collaborations directes avec les scientifiques pour ne pas que ces réflexions arrivent après coup. La collaboration en amont permet de faire réfléchir les à certaines choses. La plupart des scientifiques auxquels j'ai parlé sont réceptifs mais manquent d'outils pour le faire. La sagesse ne peut exister que sous cette forme collaborative. Concernant l'inclusion de la société civile, il y a une vraie réflexion à mener. Je ne sais pas si des consultations de l'agence de bioéthique en France ont eu lieu et si elles ont permis des discussions.

Sur l'apport de ma propre perspective, merci d'avoir fait ce commentaire. En effet, il est parfois difficile pour moi de mettre en discussion les différents aspects de ma recherche étant donné qu'ils appartiennent à des contextes disciplinaires très différents. Les personnes qui y appartiennent n'abordent pas les questions de la même manière. Ma contribution consiste à faire un pas en-deçà : à interroger ce que l'on entend véritablement par nature ou par nature biologique. Qu'est-ce que ce gamète produit in vitro ? Je trouve intéressant ce que l'on pourrait décrire comme l'illusion du biologique : le fait qu'on va produire un gamète (un génome) identique à un gamète produit par le corps sans intervention extérieure. D'un bout à l'autre, c'est une merveille de production technologique. Alors, de quoi parle-t-on quand on parle de nature, de reproduction biologique, de parentalité reposant sur la biologie ?

Serena Ciranna

Serait-il intéressant d'étudier d'une part l'impact de ces technologies sur l'identité individuelle des enfants nés de cette technique, d'autre part le rôle que la technologie peut avoir dans le changement de l'idée de parentalité ? C'est-à-dire de comprendre la place symbolique que la technologie (une technologie qui a permis cette naissance) va avoir sur l'identité personnelle de cet individu ?

Je voulais aussi savoir si tu pouvais apporter une précision sur la question du statut juridique des enfants nés de ces techniques.

Anne Le Goff

La question du statut juridique reste ouverte. Je n'ai pas grand chose de plus à dire là-dessus à présent. Pour l'instant, il y a un large vide sur cette question. Les réglementations nationales ont tendance à régler après coup, une fois qu'il y en a besoin. La GIV impliquerait le remaniement d'un certain nombre de dispositions légales. Par exemple, dans le cas de couples qui seraient le miroir du cas « normal », c'est-à-dire une femme et un homme, il n'y aurait pas de problème, il s'agirait d'un dédoublement. En revanche, dans le cas de nouveaux types de familles, la question du statut juridique irait au-delà de l'adoption par un des deux parents. Le législateur devrait faire certains changements en termes de statut. Cela m'intéresserait de discuter de ces points avec les membres de TESaCo qui travaillent sur le droit.

Ce qui est très intéressant avec cette technologie, c'est qu'en termes d'identité des enfants et de rapport à la parentalité, cela pousse encore plus loin d'autres techniques de reproduction assistée au mimétisme avec la nature. La technologie artificielle tend à représenter autant que possible la nature, à en être un dédoublement. C'est pareil pour la fécondation in vitro. Seul le passage in vitro n'est

⁴ Daniel Andler, Anouk Barberousse, Isabelle Drouet, Julie Jebeile, "Expert reports by large multidisciplinary groups: the case of the IPCC".

pas "naturel" mais, pour le reste, c'est comme si c'était naturel. Un autre exemple : avec un gamète produit par GIV apparaîtrait la possibilité du lien génétique. Cette tendance-là va à l'opposé d'autres tendances de parentalité contemporaines où les parents ne sont pas les parents génétiques, dans le cas par exemple des familles recomposées ou d'autres formes de parentalité qui sont déliées de la biologie. Ce serait un champ intéressant à creuser : cela renforce-t-il l'idée que l'identité est génétique ?

Bastien Guerry

J'avais une remarque suite à la réponse précédente de l'intervention de Daniel sur les notions de consultations publiques. En ce moment, nous sortons d'une consultation sur l'ouverture des données publiques. On a de plus en plus le sentiment que l'on achète de l'acceptabilité avec des consultations très superficielles.

J'ai toujours émis une forme de scepticisme envers ce qu'on appelle la civic tech. Même concernant la civic tech en général, nous en sommes à un état très embryonnaire de toutes ces techniques de consultation, de mobilisation du consensus, du débat. Il y a plus de sagesse, « de construction de la rationalité », dans des rituels antiques qu'on trouve chez les mormons, chez les Amish ou chez des personnes qui ont des rituels de discours bien ancrés. Il y a bien plus d'intelligence à ces endroits que dans nos embryons d'outils, notamment numériques.

Ma question : j'ai lu par hasard, dans article de *reporterre.net*, un témoignage d'Alessandro Pignocchi, un élève de Philippe Descola racontant son expérience de la ZAD et prenant ses distances avec l'opposition nature/culture. Je me demande s'il n'y a pas une espèce de méfiance des communautés scientifiques lorsqu'elle préfèrent éviter de recourir à la consultation publique et, ainsi, cautionne le dogmatisme implicite des sachants. Ou bien cela tient-il à la résistance que nous avons à remettre en cause nos concepts, notre vision très intuitive et peut-être ancrée de ce qu'est la parité naturelle, la filiation naturelle ?

Voilà, je me dis que c'est peut-être cela qui serait en jeu dans la résistance à l'acceptabilité. Peut-être que dans l'idée d'avancer sans consultation, il s'agit moins d'un doute sur la valeur d'une forme de discours démocratique que d'un doute sur la capacité à résister aux intuitions fortes que nous avons sur la nature humaine.

Anne Le Goff

Oui, tu as raison, il y a une résistance très forte associée à ces découvertes scientifiques. Il y a aussi cette idée qu'on ne peut pas aller contre le sens du progrès, au risque de sembler obscurantiste. Quelle est la place laissée à ces résistances qui peuvent être légitimes ? Il n'y a pas de terrain commun pré-construit entre ces deux types de pensées, d'un côté des valeurs scientifiques de progrès dans la connaissance et de l'autre des valeurs sur ce que sont la parentalité et la filiation.

Concernant la question de ce que peut être une bonne consultation publique, il s'agit d'un enjeu pour toutes les biotechnologies qui ont un effet important sur ce qu'est vivre en société, ce qu'est être humain. Je ne connais pas le bon modèle mais je pense qu'être capable d'avoir un minimum de réflexion et de connaissances scientifiques est un enjeu au cœur du projet démocratique. Il suffit de donner des explications simples que la plupart des gens sont capables de comprendre et d'apprendre.

⁵ Patricia Rrapi, « Le Préambule de la Constitution de 1946, fondement constitutionnel de l'état d'urgence », *La Revue des droits de l'homme* [En ligne], Actualités Droits-Libertés, mis en ligne le 08 juin 2020, consulté le 15 mars 2021. URL : <http://journals.openedition.org/revdh/9466> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/revdh.9466>

Il faudrait donc une base de fond et pas seulement de quoi acheter l'acceptabilité. Je pense aussi qu'il est important d'avoir ces réflexions à l'école afin que les jeunes devenant citoyens possèdent ces bases de connaissances.

Soraya de Chadarevian

Pour donner suite à la question de Daniel, je pense que nous devrions nous concentrer sur ce qui est spécifique dans cet exemple et reprendre ensuite votre réponse et ce que vous pouvez y apporter avec votre formation et votre approche interdisciplinaire.

Concernant la notion de nature, je pense que les termes de génétique, biologie et nature sont un peu confus. Il sera très utile de les retracer. Ainsi, que signifie avoir un enfant biologique ? Cela signifie-t-il qu'il a un gène de votre partenaire ou qu'il est né de manière traditionnelle, « naturelle » ?

Je pense qu'il y a un risque d'équivoque. Il serait très intéressant de voir comment ces termes sont utilisés, lorsque vous faites vos interviews ou autre. Avoir un enfant biologique peut signifier qu'il est né de manière naturelle mais, dans le même temps, la naissance n'est pas tout à fait naturelle si une technique naturelle est utilisée dans le cadre d'une reproduction non naturelle. Donc, pour moi, il serait assez important de voir comment ces termes sont évoqués. On se pose souvent la question à propos des aliments : qu'est-ce qu'un aliment naturel ou non naturel ? D'ailleurs, à quel point cette distinction a-t-elle des répercussions aussi sur le plan éthique ? Je pense qu'il est possible de faire le lien entre la dimension terminologique et éthique, car il permet de voir comment ces termes sont utilisés dans un contexte éthique.

Anne Le Goff

Oui, je pense que tu as tout à fait raison. La relation à l'éthique est très importante, puisqu'il y a une dimension de valeur qui est utilisée avec un poids rhétorique. Il serait donc très utile de les distinguer. Les quelques recherches qui existent spécifiquement sur la gamétogenèse in vitro sont traitées par le biais de la question génétique. Quelle est la valeur du fait que l'on est le parent génétique de son enfant ? Cette question est déjà problématique en soi car elle assimile biologie, nature et génétique. Estimer que ton identité est celle de ton génome est une vision très déterministe de la génétique. C'est comme penser que transmettre son génome à son enfant le lie à soi. Or, le gamète est produit dans un certain médium de culture par des signaux qui sont formulés à partir de molécules d'origine animale. Penser que c'est seulement un patrimoine génétique qui est transmis ignore toute la partie épigénétique au sein du génome (je reviens sur ce que je disais tout à l'heure, à savoir que c'est une technologie de bout en bout artificielle). Le parallèle avec les OGM est très intéressant, je pense qu'il s'agit du même genre de question.

Daniel Andler

J'ai trois remarques :

Par rapport à ta réponse : en effet, j'ai tout de suite pensé au déterminisme génétique. Cependant, l'essentiel est qu'il va être très difficile de changer cette idée selon laquelle, quand tu conçois un fils naturel qui te ressemble, qui a ton nez, etc, il y a une forme de transmission par ressemblance. Cela me fait aussi penser aux débats sur le dualisme. Les sciences cognitives et les approches naturalistes

contemporaines nous disent qu'il n'y a pas deux substances, le corps et l'âme, plus ou moins indépendante l'une de l'autre. Mais, depuis 20 ans, les psychologues ont beaucoup étudié le dualisme spontané. On est spontanément amené à être dualiste même si la science nous enseigne qu'il ne faut pas l'être.

Ma deuxième remarque porte sur la question de la nature qui a été abordée dans un autre contexte de bioéthique qui est celui de la sanctification de la vie, de l'euthanasie active ou passive. Comment faire pour que la fin de vie soit naturelle, le plus proche possible de la nature ? Cette question nous emmène dans beaucoup de paradoxes et de difficultés éthiques. En ce moment, pour réagir à ce que disait Bastien, une consultation sur la question de l'euthanasie a été menée dans deux situations très différentes : l'une était bonne et l'autre était mauvaise. La comparaison de ces deux modalités d'intelligence collective pourrait être éventuellement intéressante. Il pourrait être intéressant de rapprocher des situations apparemment hétérogènes, par exemple la sanctification de la vie, CRISPR, ou la gamétogenèse pour voir s'il n'y a pas des invariants.

Enfin, j'ai une dernière question : sur CRISPR-cas9, en principe il existe un dogme selon lequel « On ne touche pas aux gamètes ». Comment se fait-il que l'on puisse malgré tout travailler sur la gamétogenèse ? Cela semble contradictoire. Au nom de quoi poursuit-on ces recherches ? Et comment s'abrite-t-on contre des objections de groupes citoyens, religieux, de droit ou autres ?

Anne Le Goff

Sur la dernière question : effectivement, il y a quelque chose qui n'est pas très clair dans l'avis proposé par les National Academies (US). L'usage de CRISPR dans les gamètes est envisagé comme quelque chose qui permettrait d'éviter d'utiliser CRISPR dans les embryons. Mais évidemment, comme tu le notes, c'est la même chose, car cela passe par la lignée germinale. Pour l'instant, c'est encore un point aveugle. La gamétogenèse in vitro n'est pas encore quelque chose d'envisageable à court terme. Là encore, il y a une stratégie anti-sagesse et une stratégie de communication pour éviter que les foudres de certaines personnes n'empêchent de poursuivre la recherche.

En effet, par rapport à tes remarques sur les parallèles et les croisements, les possibilités sont très riches. Toutes les technologies qui ont trait à la vie humaine posent des questions qui se recoupent de manière très intéressante. J'aimerais d'ailleurs beaucoup discuter avec les membres de l'équipe pour envisager les points de rapprochement entre nos sujets.

Sur la question de la transmission et du dualisme spontané : absolument. Il reste une question : qu'est ce qu'on transmet dans la parentalité ? Il y a des situations intéressantes où les gens trouvent des ressemblances entre les enfants adoptés et les parents adoptifs. La transmission et la ressemblance sont aussi des choses malléables.

Bastien Guerry

Ma question est ouverte : je me demande s'il existe des techniques dont on se dit qu'elles sont à portée de main dans cinq ou dix ans mais pour lesquelles un choix sociétal conscient fort a été fait de ne pas aller jusqu'à la preuve de concept. Je ne parle pas des principes forts nous interdisant d'aller dans la direction de nouvelles bombes atomiques ou autres mais plutôt d'autre chose, et je ne trouve pas d'exemple qui irait dans le sens d'une inertie.

Anne Le Goff

Le clonage reproductif peut-être. Il est vraiment situé dans la catégorie des choses à ne pas faire. Cela a été fait chez les animaux et cela pourrait sans doute se poursuivre plus loin chez les humains. C'est le seul exemple qui me vient à l'esprit.

Bastien Guerry

Il me semble que dans cette distribution, la manière dont on se positionne sur du pour et du contre pourrait aider à comprendre comment un autre concept de nature pourrait être reconstruit.

Serena Ciranna

Juste une idée qui me vient à l'esprit en guise de commentaire. En étudiant ces technologies, il serait intéressant d'observer comment une vieille dichotomie va évoluer, entre le concept de spontanéité représenté par la nature et celui de contrôle au contraire représenté par la technologie. La question du naturel et de l'artificiel est très importante lorsque l'on s'attache à l'identité personnelle. C'est aussi le problème de l'identité en ligne, dont je m'occupe. Il y a d'un côté un effet de spontanéité et de transparence lorsqu'il s'agit de se dévoiler sur les réseaux sociaux numériques, mais, de l'autre côté, la représentation de soi-même en ligne est très construite et contrôlée, dans une sorte de "design de soi". Bien que nous discutons de deux dimensions différentes - la dimension «matérielle» de la naissance d'un individu et la dimension symbolique de son identité personnelle -, je crois qu'il y a un point de contact possible entre ces deux thèmes dans la manière dont les technologies informent notre identité en tant qu'êtres humains.

Aussi, juste une question : as-tu prévu de comparer, dans ton étude, la situation aux États-Unis et celle en Europe par rapport à l'adoption éventuelle ou au débat sur ces technologies à venir ?

Anne Le Goff

Idéalement oui mais cela va dépendre du contexte de financement et du temps. Ce serait très intéressant parce que le fonctionnement est très différent dans les deux cas. La France comme l'Angleterre ont une autorité centrale d'autorisation, pas les États-Unis. Il y a aux États-Unis une superposition des niveaux étatique et fédéral et, en termes de recherche, cela est encadré avec plus ou moins de latitude en fonction des États. Pour les cliniques dans le domaine de la fertilité, il y a une très grande latitude.

Daniel Andler

Cela est fait en particulier dans les travaux traditionnels de bioéthique. Comparer la situation américaine avec les situations européennes est un thème assez familier. Je rebondis sur la comparaison de Serena entre ancien et nouveau monde car j'allais justement demander si la question de la spontanéité ne se présentait pas très différemment selon que l'on est aux États-Unis ou en Europe ? En Europe, nous sommes par exemple encore très attachés à la spontanéité alors que les États-Unis sont tout à fait prêts à passer à des choses très artificielles.

Expertise sur les données génétiques

Audition de Catherine Bourgain

- 15 avril 2021 -

Catherine Bourgain

Je suis actuellement directrice de recherche à l'INSERM, où je suis entrée comme chercheuse en 2002. Au moment de mon recrutement, j'étais statisticienne spécialisée en génétique des populations et en génétique épidémiologique. Ces deux domaines relevaient du champ de la statistique appliquée à la mesure du risque en santé, qui s'est développé autour des années 1980. C'était mon domaine pendant plusieurs années, tant dans le cadre de ma thèse que de mon HDR. Je me suis ensuite tournée vers les sciences sociales et la sociologie des sciences et de la santé en particulier. Néanmoins, je me considère toujours généticienne et j'ai, dans mon travail, de nombreuses interactions avec les collègues généticiens.

En 2013, j'ai rejoint le Cermes3 : un laboratoire multidisciplinaire de l'INSERM, du CNRS, de l'EHESS et de l'Université de Paris consacré à l'analyse sociale des transformations des mondes des sciences, de la médecine et de la santé ainsi que leurs rapports à la société. J'ai pris la direction de ce centre de recherche en 2019. Depuis plusieurs années, j'ai également un engagement au sein du comité d'éthique de l'INSERM qui a pour vocation d'accompagner les questionnements éthiques liés à ses activités. Dans ce cadre, je suis amenée à m'intéresser à des questions éthiques et sociétales notamment en lien avec la génétique. De ce fait, je me suis formée aux aspects juridiques et aux impacts sociétaux de la génétique de façon large. Mon engagement au sein de ce comité est en effet important par rapport à la façon dont je problématise plus largement les questions liées à la génétique dans mon travail.

Avant de répondre de manière plus détaillée à vos questions, je vais commencer par faire une introduction. Au même moment où j'ai décidé d'arrêter de faire de la génétique statistique, un événement m'a beaucoup marquée : la mise sur le marché en 2007 des tests génétiques en accès libre sur Internet par des sociétés telles 23andMe, DeCODEgenetics et Navigenics (cette dernière n'existe plus aujourd'hui). En tant que spécialiste du risque génétique, formée à l'école française d'épidémiologie - un petit milieu très internationalisé - il s'agissait d'une incompréhension totale : comment peut-on imaginer avoir une utilité clinique pour toutes ces mesures de risque sur lesquelles on travaille ? A l'époque, si notre équipe travaillait sur des mesures de risque des maladies multifactorielles, ce n'était pas dans le but de faire de la prédiction. Pour nous, l'enjeu de l'identification de facteurs de risque génétique était d'entrer dans l'analyse fonctionnelle du dysfonctionnement physiopathologique de ces maladies. L'idée qu'il y ait une société pouvant vendre - donc monétiser - ces mesures, qui nous paraissaient de plus inconsistantes en termes de capacité de prédiction de la maladie, était extrêmement étonnante. Cela m'a encouragée à développer une forme de réflexivité interne d'abord à la Société française de génétique humaine, ensuite à la Société européenne de génétique humaine en posant des nouvelles questions sur la génétique et en regardant autrement ce domaine en plein essor.

Il est important de rappeler que la fin des années 2000 coïncide avec une transformation massive des pratiques : l'arrivée de tests génétiques et du séquençage à haut débit a transformé le rapport à un métier qui était auparavant plutôt, je dirais, « artisanal » et intensif en déploiement de mathématiques car l'on possédait peu de données. Au fur et à mesure, nous nous sommes retrouvés, au contraire, avec une avalanche de données qui requièrent moins de créativité du point de vue analytique et statistique. Ce moment de transformation des pratiques m'a alors conduit à un repositionnement.

A peu près à la même période, j'ai été sollicitée par des militants en France qui refusaient de donner leur ADN dans le cadre de poursuite judiciaire pour avoir participé à des mouvements divers — anti publicitaires, syndicaux, etc. Dans le cadre de la loi applicable en France, ils devaient donner leur ADN pour intégrer le fichier national automatisé des empreintes génétiques. Ces personnes refusaient de le faire en considérant qu'il s'agissait d'une double peine : ce n'est pas parce qu'ils avaient entrepris une action syndicale qu'ils étaient susceptibles de commettre des crimes sexuels, comme c'était l'image dominante de ce fichier. Je me suis donc intéressée à ces questions. Je considérais à l'époque que cela faisait partie de ma responsabilité de généticienne humaine de me prononcer sur ces problèmes et j'ai, à vrai dire, découvert une pratique de masse de la génétique qui m'a fait beaucoup réfléchir et qui continue de le faire. Je considère que le domaine judiciaire est toujours extrêmement intéressant car il est complémentaire à celui de la santé en ce qui concerne la génétique. Il y a, dans les deux domaines, une diversité d'acteurs qui, pour la plupart, n'ont pas de maîtrise, ne connaissant pas bien le fonctionnement de la génétique, y compris parmi les acteurs les plus concernés comme les juges et les avocats. Dans le même temps, il s'agit d'un domaine avec une forte régulation étatique. Le contexte judiciaire constitue un modèle intéressant pour penser les enjeux autour des tests génétiques vendus par des sociétés sur Internet - un modèle qui existe déjà depuis suffisamment de temps pour être en mesure de donner à nos analyses le recul nécessaire.

Depuis mon entrée au Cermes3 et mon rapprochement des sciences sociales, je m'intéresse spécifiquement au développement de la génétique en contexte de soin et en contexte de recherche. En contexte de soin, je mène, avec d'autres collègues, des enquêtes socio-ethnographiques dans le champ à la fois de l'oncologie et des maladies cardiovasculaires. Mon intérêt, depuis quelques années, est de comprendre comment, en pratique, la génétique se diffuse dans la clinique - je reviens, en fin de compte, à la question que je m'étais posée à la fin des années 2000. De mon point de vue de spécialiste de mesure du risque, il y avait a priori assez peu de bonnes raisons pour qu'elle se diffuse autant - à cause de toute une série d'incertitudes sur lesquelles je vais revenir. Or, de fait, en oncologie et dans le domaine des maladies cardiovasculaires également, il y a une diffusion importante de tests génétiques dans la clinique. Je cherche à comprendre pourquoi cette diffusion est si importante, comment les tests sont prescrits, comment ils sont réalisés et analysés, qui participe à tout ce travail de production d'information autour de la génétique et comment le travail collectif s'organise. Je m'interroge également sur les attentes et les imaginaires des nombreux acteurs autour de la génétique.

Je m'intéresse également aux pratiques concernant la génétique en contexte de recherche, notamment autour du développement de nouvelles banques de données génétiques destinées à la recherche qui se développent en France. Un autre domaine qui me fait réfléchir est celui de la paléogénétique : la façon dont des nouvelles techniques permettent aujourd'hui de faire des analyses d'ADN ancien. Ce nouveau domaine vient compléter dans mes réflexions ceux de la santé et de la justice/police : la génétique rentre ici dans la production de formes d'histoire non plus par la génétique des populations mais par l'analyse d'ADN anciens. Elle se frotte alors à d'autres savoirs comme l'archéologie, la paléanthropologie, etc.

D'abord, dans la plupart des contextes auxquels je m'intéresse, la formation génétique n'est jamais utile toute seule : elle l'est toujours quand elle est outillée, c'est-à-dire articulée avec et nourrie d'autres données. Il s'agit bien sûr des données familiales, des données cliniques dans toute leur diversité, ainsi que d'autres données biologiques complémentaires. Dans le champ de la paléogénétique, il s'agit aussi des données sur le terrain - là où l'on retrouve les squelettes - des données historiques et géographiques - lorsque l'on veut faire des inférences sur les origines géographiques des individus à partir de leur ADN. L'articulation entre données génétiques et d'autres types de données est donc toujours nécessaire. Finalement, le fait que la donnée génétique parle d'elle-même, sans être

complémentée par d'autres formes d'information, est exceptionnel. Si j'insiste sur ce point, c'est parce que ce travail d'intégration de la donnée génétique avec d'autres sources de données est le plus souvent complexe, car il requiert de traiter l'incertitude : il y a toujours un fort élément d'incertitude dans les façons de mettre ensemble des données génétiques avec d'autres formes de données, quelles qu'elles soient. Ce travail de production de sens autour de la donnée génétique en l'articulant avec d'autres données est le plus souvent un travail hautement qualifié. J'insiste sur l'importance des ressources humaines : ce travail est assez souvent réalisé de façon collective, justement parce qu'il faut faire face à l'incertitude et que l'une des façons de le faire est de recourir à une délibération collective entre experts. Plusieurs exemples viennent du domaine de la santé. L'une de mes étudiantes, Adèle Dautresme, travaille sur un programme de recherche en oncologie pédiatrique en cours en région parisienne. Dans le cadre de cancer d'enfants qui font des rechutes, les médecins ont recours à des analyses génétiques encore plus poussées que celles qu'on réalisait jusqu'à présent : ils vont à jusqu'à analyser non seulement l'ADN des tumeurs mais aussi l'ADN constitutionnel des enfants pour essayer de repérer d'éventuels facteurs génétiques constitutionnels. Toute une série de réunions sont organisées de façon très régulière pour interpréter ces données. Ce qui est très frappant est le temps passé sur ce travail d'analyse, la diversité d'expertise requise pour essayer de faire sens de ces informations et le fait que, finalement, à l'ère où la séquence génétique est produite de façon aussi massive, "facile" et peu chère, la ressource humaine, la capacité d'expertise et le temps dépensé à interpréter les données deviennent essentiels. L'enjeu de la capacité humaine pour faire sens de la génétique est en fait de plus en plus important dans n'importe quel domaine concerné - de la justice à la santé, en passant par l'histoire.

Un deuxième élément sur lequel je voudrais insister concerne l'utilité clinique de ces analyses : en quoi vont-elles servir à améliorer le soin ? Cela reste, le plus souvent, de l'ordre de la promesse - au sens où il y a quelques résultats concrets et que, en général, les exceptions sont connues et partagées. Toutefois, dans certains contextes, ces utilités peuvent ne pas exister. Dans le domaine cardiovasculaire par exemple, et plus exactement dans les thromboses veineuses (dont on parle ces derniers temps en termes de facteurs de risques de certains vaccins anti-Covid mis sur le marché), la génétique a été relativement développée. Les tests pour la thrombose veineuse font partie des tests génétiques les plus prescrits en France. Pourtant, un consensus international existe sur le fait que ces tests ne permettent pas d'améliorer la prise en charge des patients. Dans certains domaines, l'utilité clinique des tests génétiques a été, pour le moment, jugée inconsistante. Malgré tout, dans beaucoup d'autres domaines, on continue à essayer de construire la démonstration d'une utilité clinique mais celle-ci reste finalement largement à l'état de potentialité plus que de réalité tangible. Ce fait n'empêche pas le développement de ces tests génétiques. Un exemple nous vient d'un investissement important en France qui a été lancé à partir de 2018 - le Plan France Médecine Génomique. Il s'agit d'un grand plan national destiné à financer le développement du séquençage à très haut débit dans le contexte du soin en France. Je travaille sur une série d'enquêtes et d'entretiens autour de ce plan depuis le départ. Il est frappant de voir à quel point beaucoup des acteurs spécialistes du plan sont d'accord sur le fait que nous sommes loin de pouvoir dire qu'il existe une utilité clinique claire justifiant cette généralisation du séquençage dans le soin courant. Celle-ci est en devenir : on espère pouvoir la construire et identifier les contextes où il pourrait y avoir une utilité clinique de la génétique. En attendant, on les développe - y compris à des échelles très massives. La dimension de promesse est importante dans la mesure où elle conduit aussi à transformer les attentes sur l'intérêt de la génétique. Dans les années 1990, lorsque les tests BRCA ont été mis sur le marché dans le cadre de la prévention du cancer du sein, de grands débats se sont posés sur la question de leur utilité et de la possibilité qu'ils améliorent réellement la prise en charge des femmes. En France, la question de l'utilité clinique était essentielle : il fallait vraiment la démontrer en ce qui concerne l'amélioration de la prise en charge. Un consensus

s'est construit ensuite autour d'une certaine forme d'utilité clinique de ces tests. Pourtant, on voit aujourd'hui poindre d'autres formes d'utilité qui ne sont pas forcément des utilités strictement cliniques. Par exemple, dans le cadre du Plan Médecine Génomique, un élément mis en avant concerne les situations de retard mental chez les enfants - notamment le fait qu'il y a une série d'enfants en errance diagnostique du fait que les médecins identifient cliniquement des formes de retard mental mais n'arrivent pas à les rattacher à des catégories existantes. La génétique doit alors aider à préciser ces catégories et mettre un terme à cette errance diagnostique. Étonnement, dans la pratique, l'identification de tel ou tel variant ou mutation génétique ne change rien à la prise en charge de ces enfants. En revanche, le test peut permettre de donner un nom à leur pathologie. La contribution de la génétique a donc ici d'autres fonctions qui sont par exemple celles de l'identification et de la réponse à la question importante, dans toute maladie, de la cause. Donc, y compris, au cœur de pratiques qui se revendiquent comme médicales, d'autres formes d'utilité émergent. Il est important de tenir compte du poids de l'imaginaire - très fort - autour de la génétique sur toutes les nouvelles formes de valeurs qu'on attribue au diagnostic génétique. Je me demande si cela se produirait si l'étiquette affichée n'était pas celle de la génétique. Cet imaginaire a, en tout cas, des effets très forts, y compris au cœur du système de soins. Par conséquent, lorsque l'on réfléchit à la question de l'encadrement et des normes autour de la génétique, il faut réussir à réinjecter de la complexité autour de ces données. Je reviens sur le fait que ce sont des données qui ne parlent pas toutes seules, qui ont toujours besoin d'être articulées avec d'autres données et que beaucoup de travail est nécessaire pour le faire. Mon inquiétude est que, à force de faire de la génétique de manière irréfléchie, on finisse par se retrouver dans une situation où même les usages qui pourraient être pertinents seraient mis de côté parce qu'on ne sera plus capable de distinguer les conditions de possibilité de ces usages pertinents. Réinjecter de la complexité signifie aussi mettre les promesses en discussion. Dans le domaine de la génétique comme dans celui d'autres technosciences - mais c'est particulièrement vrai dans la génétique - on constate cette capacité des promesses à mettre en mouvement toute une série de financements, d'acteurs, etc. Il faut analyser le décalage entre les promesses vieilles de vingt ans et les résultats obtenus. Bien sûr, lorsque l'on investit des sommes d'argent importantes et que l'on déploie du travail intensif pendant des années, on finit par obtenir quelques résultats. Pourtant, a-t-on produit ce qu'on était censé produire au départ ? C'est une question qui est rarement posée en ces termes. Pourtant, je juge important d'ouvrir cette boîte de discussion sur les promesses - il y a des enjeux de risque qui doivent être interrogés.

Lorsque je disais que les données génétiques ne parlent pas toutes seules : il y a toutefois une exception. Il s'agit de l'usage de la génétique pour le traçage des individus. Finalement, l'ADN constitue des « codes-barres » naturellement existants de chacun de nous et capables de nous identifier en tant qu'individu unique, y compris les jumeaux monozygotes. Cette fonction est bien sûr susceptible d'être utilisée pour des usages politiques, policiers, d'assignation identitaire, etc. C'est l'une des raisons qui contribue à expliquer le statut d'exceptionnalité juridique dont jouit la génétique par rapport à d'autres données de santé : la capacité de tracer. Si l'on fait l'histoire de la génétique humaine et de ses racines dans la science eugéniste, la question du traçage, de la fabrication de catégories et des problèmes de discrimination apparaissent évidents. Aussi, les sommes investies dans des programmes de santé génétique ne sont pas investies ailleurs. D'une certaine façon, ce choix peut donc être associé à une perte de chances pour d'autres manières d'améliorer la santé. La tension très forte dans la génétique entre niveau individuel et niveau collectif impose un travail d'interrogation à la fois des risques et des promesses pour pouvoir construire une réflexion qui tienne compte de la complexité. Dans le débat public, par exemple le débat autour de la loi bioéthique que j'ai pu suivre, la question est rarement posée de cette manière.

Je pense à des travaux menés par mes collègues Maurice Cassier et Jean-Paul Gaudillière pendant les années 2000, sur les fameux tests BRCA : les tests génétiques des facteurs de risque du cancer du sein et de l'ovaire. Leur étude comparait les formes de régulation entre la France, les États-Unis et l'Angleterre mais je vais surtout parler des deux premiers pays.

En effet, il y a un régime de protection sociale en France différent du régime américain. Ce qui émerge et qu'on retrouve encore aujourd'hui dans les travaux que je mène, c'est qu'en France, dans le champ de la génétique - cela revient aussi à ce que vous disiez par rapport à l'Angleterre - les professionnels, à savoir les médecins généticiens ou ceux qui ont des formes de compétence en génétique, ont énormément gardé la main sur la définition de l'utilité clinique (à qui faut-il faire des tests ? Doit-on faire des tests à toutes les femmes ou y a-t-il des conditions spécifiques ?). En France, un dispositif de régulation de l'accès au test existe, mis en place dès la fin des années quatre-vingt-dix, très différent du régime d'accès au test aux États Unis où la régulation marchande domine et où les droits de propriété intellectuelle sont gérés différemment. A l'époque, Myriad Genetics avait mis en place un monopole sur la réalisation de ces tests aux États-Unis. En France, les tests BRCA étaient prescrits de manière très différente : il s'agissait d'un dispositif de régulation professionnelle avec le réseau Génétique et Cancer qui organisait, au niveau national, les modalités de la prescription. Les tests étaient toujours remboursés lorsqu'ils étaient prescrits du fait qu'ils l'étaient dans des conditions établies par ce réseau national avec des règles d'accès assez strictes : le test n'était absolument pas proposé à toutes les femmes - même celles qui pouvaient elles-mêmes en soutenir les frais. L'idée au fondement de ce système est que, si un nombre trop important de tests est réalisé, l'incertitude devient trop grande et l'on se retrouve confronté à des informations dont on ne sait pas quoi faire. Au lieu de cela, l'idée est d'utiliser les informations familiales et cliniques pour proposer le test seulement aux femmes chez lesquelles on considère qu'il y aura une vraie utilité clinique. Néanmoins, il y a toute une série de cas dans lesquels, en France, les professionnels décident de prescrire des tests génétiques : la génétique clinique est une discipline assez développée dans notre pays. Par exemple, dans le domaine des retards mentaux dont je parlais tout à l'heure, elle est même plus développée que dans d'autres pays. Toutefois, elle est encadrée par des professionnels dans cette logique d'utilité clinique et sans que, d'un côté, les logiques de marché n'interviennent aussi fortement que dans d'autres états, ni de l'autre que la logique de régulation par l'État soit prédominante comme c'est le cas en Angleterre. En France, c'est donc la logique de l'utilité clinique qui prime. Cette situation est un peu en train de changer : c'est l'une des tensions actuelles dans la réorganisation et la diffusion des tests. La question se pose de savoir si les professionnels vont garder la main sur les décisions.

Alex Peluffo

Vous avez parlé des professionnels et des tests, je voulais maintenant poser la question des patients : avons-nous une idée de l'évolution de l'état d'esprit de l'ère pré-génétique ou des débuts de la génétique à aujourd'hui ? Au moment actuel, le discours sur l'intelligence artificielle, la biotechnologie et la génétique fait partie du débat public, de sorte qu'on entend beaucoup parler de ces technologies. Est-ce que les patients sont, par conséquent, plus demandeurs de tests génétiques ? Est-ce que les mentalités ont évolué ? On sait que plus de 100 000 français ont fait le test avec des compagnies comme 23andMe¹ en se le procurant aux États Unis, en raison de l'interdiction de l'acheter en France. Cela montre qu'il y a une appétence, qu'elle soit justifiée ou pas, pour ces tests. Est-ce que la demande vis-à-vis de cette technologie a changé tant sur le plan médical (dépistage, etc.) que pour d'autres types d'informations ?

Catherine Bourgain

De manière anecdotique, effectivement des médecins décrivent des situations dans lesquelles leurs patients les ont consultés pour avoir des explications ou des conseils après qu'ils avaient fait analyser leur génome par l'un des tests disponibles sur les plateformes en ligne. Les médecins s'alarment peut-être de cette dérégulation qu'il faut pourtant mettre en perspective avec la régulation qui est encore largement dominante. Je crois qu'en fait nous assistons à une grande banalisation de la génétique et de son « point de vue » par rapport à d'autres formes de soin. Par exemple, dans le cas du cancer : ce que les patients demandent à leur oncologue est de les soigner le mieux possible. Dans le traitement d'un cancer, les analyses génétiques sont réalisées rarement en première intention : le plus souvent, elles sont faites dans le cadre de thérapies de seconde ligne. Il est vrai aussi que cette situation est en train de changer avec les thérapies ciblées qui remontent de plus en plus en première ligne de traitement. Mais, globalement, les analyses génétiques arrivent le plus souvent dans des parcours de soins où les patients sont demandeurs d'amélioration des formes de prise en charge. Ce sont souvent des cas dans lesquels il y a un enjeu vital et donc toute proposition du médecin est acceptée. Dans ce que j'ai entendu et lu, pour l'instant je n'ai pas l'impression qu'il y ait en France une sous mobilisation des tests génétiques par les professionnels de santé en contexte de soins par rapport à ce que les patients pourraient espérer. On constate en France que, finalement, la régulation et l'investissement important des professionnels concernés dans la recherche font que l'on propose beaucoup d'analyses génétiques. La France est donc plutôt en avance dans ce domaine. Par exemple, l'Institut du Cancer a mis en place dès 2008 des plateformes de génétique moléculaire réparties sur tout le territoire, liées au fait que la mise sur le marché de certaines thérapies anticancéreuses a été conditionnée à l'existence de modifications génétiques sur l'ADN de la tumeur. Ainsi, dès 2008, l'Institut du Cancer a financé des plateformes (qui sont en place depuis 2009) dans lesquelles tout patient susceptible de se voir prescrire une molécule anticancéreuse, et dont la prescription est conditionnée à un test génétique, peut avoir accès à ce test sur tout le territoire. Ce type d'accès aux tests génétiques en France est assez unique dans le panorama international. Lorsque j'en avais parlé, il y a deux ans, lors de mon intervention à un colloque à New York, les collègues étaient étonnés que ces tests génétiques soient pris en charge par la solidarité nationale. Il s'agit juste d'un exemple pour montrer qu'il y a une réalité de diffusion importante des tests génétiques dans les pratiques cliniques en France, notamment dans certains domaines.

Serena Ciranna

Vous avez déjà mentionné les tests génétiques réalisés en dehors du contexte médical ou judiciaire, qui sont parfois appelés des « tests récréatifs ». Comment voyez-vous dans les prochaines années en

¹ Il s'agit des tests génétiques qu'il est possible d'acheter directement sur les sites Internet des entreprises privées (p.ex. 23andMe, MyHeritage, LivingDNA, Gene by Gene, AncestryDNA) qui les réalisent. Il s'agit donc de tests que les consommateurs peuvent réaliser sans ordonnance médicale ou injonction judiciaire. Ils sont parfois appelés « tests récréatifs » ou en anglais « DTC - Direct-to-Consumer ». Ces tests fournissent des types d'informations différentes qui vont de la susceptibilité génétique à développer certaines pathologies, au test qui vise à identifier la paternité ou encore l'origine de l'individu issu de certaines populations ou zones géographiques.

France, ou plus généralement en Europe, la diffusion de ces tests et les enjeux auxquels on devra faire face ? Dans le cas de la France, probablement aussi du fait de leur interdiction, un vrai débat n'a pas pu se développer dans l'opinion publique autour de l'interprétation, de la fiabilité, de l'utilité des données que ces tests dévoilent. Comment alors les résultats de ces tests seront perçus par les usagers en Europe et comment une éventuelle diffusion massive des tests dits récréatifs telle qu'elle est déjà présente aux États-Unis pourrait-elle influencer la perception de la génétique aussi dans d'autres domaines ?

Catherine Bourgain

Je n'ai pas de réponse simple à cette question mais je peux donner quelques petits éléments d'abord en revenant sur la distinction que l'on a faite entre les modalités d'accès au test aux États-Unis et en France. Quand les premiers tests génétiques se sont développés en France, c'était dans le contexte du soin et ils étaient gérés par les professionnels. Il y a eu des tentatives par Myriad Genetics de faire valoir son monopole en Europe. En France, il y a eu alors une mobilisation d'une partie des onco-généticiens contre ce monopole. Leur souci était de mettre en évidence que ces tests sont complexes et qu'ils ne peuvent pas être laissés au marché : ils doivent être gérés par des professionnels qui ont la compétence pour juger de leur bien-fondé et qui travaillent dans des institutions publiques, puisque les tests sont financés par la solidarité nationale en France. C'est important d'avoir à l'esprit ce contexte de départ. Dans le droit français, la responsabilité est confiée aux professionnels de décider de l'opportunité de pratiquer ces tests, notamment car il s'agit de la génétique et donc d'une information particulière en matière de biologie. Ces dernières années, il y a eu une évolution avec de nouvelles techniques qui permettent de produire des séquences d'ADN rapidement et à bas coût, mais le cadre juridique n'a pas évolué. La question s'est posée, dans le contexte des dernières lois de bioéthique, de la possibilité d'autoriser les tests d'ascendance biogéographiques. L'amendement avec la proposition d'ouverture n'est pas passé. Personnellement, je suis assez défavorable à l'ouverture à ces tests. Parmi les personnes qui se sont mobilisées pour l'ouverture de ces tests en France, on compte des associations de personnes qui sont nées sous X et qui cherchent à retrouver leurs origines biologiques. Certains ont réussi à le faire en passant par ces tests. Mais la question qui se pose est celle de savoir s'il fait sens d'autoriser aujourd'hui l'accès à des technologies qui permettent de contourner les conditions du droit aux origines applicables en France. Il me semble important de poser cette question avant d'envisager autoriser l'accès à ces tests.

La communauté des généticiens est divisée sur ces questions en raison de la conscience de tous ces niveaux d'imperfection et d'incertitude des tests en accès direct et de la façon dont le niveau marchand est susceptible de détourner, de transformer, de simplifier les choses. Au contraire, l'enjeu important est de ne pas simplifier si l'on veut pouvoir faire des utilisations pertinentes des tests.

Dans un débat sur Médiapart avec Evelyne Heyer, généticienne au Muséum et spécialiste de génétique des populations, nous n'étions pas d'accord sur l'utilité des tests d'origine. Malgré ce désaccord, nous partageons de nombreux constats. La question est celle de la forme de la réglementation à adopter et de son éventuel coût social. Faut-il mettre en place des grandes bases de données, comme le propose Evelyne Heyer, ainsi que des conseillers en génétique spécialistes des usages sur les origines, pour des données qui ne sont, in fine, pas très solides ? Les résultats des tests sur les origines sont limités par le fait d'utiliser les savoirs collectifs de la génétique des populations pour reconstruire des histoires individuelles. Est-il vraiment socialement intéressant de déployer autant d'énergie, de temps et d'expertise pour produire des connaissances aussi pauvres ? De toute façon, aucune décision politique n'a été prise dans ce sens, pour le moment.

Serena Ciranna

Ma deuxième question concerne encore les tests génétiques qui peuvent être achetés directement sur Internet. Le discours qui se diffuse par le biais des entreprises qui fournissent ces tests véhicule l'idée que le test génétique est utile pour retrouver ses racines, se découvrir, définir sa propre identité, etc. Dans un contexte marchand et de marketing, ces discours amènent inévitablement à des visions non seulement simplistes mais aussi déterministes de la manière dont la génétique nous définit en tant qu'individus. Alors, comment rendre plus présent dans le débat public un discours qui assigne à la génétique sa juste place pour préparer le grand public à ce qui pourrait se passer dans les prochaines années avec une éventuelle ouverture et diffusion plus large de ces tests ?

Catherine Bourgain

C'est un programme assez vaste mais, ce que je trouve important, c'est justement de ne pas ouvrir l'accès à ces tests avant ou sans une discussion adéquate sur comment mettre la génétique à sa juste place. Comment organiser les conditions de diffusion de ces notions ? Mon inquiétude profonde est celle du malentendu possible par rapport aux informations dévoilées par les tests génétiques. Lorsque l'on comprend bien leur place, l'on est souvent déçu pour de nombreuses raisons dont le fait que le vivant est beaucoup plus compliqué qu'un simple « programme » génétique. Les travaux scientifiques montrent depuis des années à quel point il est réducteur de tout vouloir expliquer par la génétique. De plus, dans le cas des tests d'origine, il s'agit d'une identité qui est en fait profondément sociale ou bio-sociale et qui ne peut être déterminée uniquement par les gènes. Alors, si ces tests étaient disponibles et diffusés, quelle serait la capacité de discrimination d'assignation des identités ? C'est toujours plus difficile de faire valoir une réalité plus complexe que ce qu'elle paraît, notamment lorsque l'on doit s'opposer à des forces de marché qui ont de leur côté des intérêts économiques. Comment résister à cette simplification extrême qui est en cours et dont tous ceux qui connaissent le sujet sont persuadés ? Faut-il d'abord ouvrir et ensuite essayer d'expliquer la valeur de ces données génétiques ? Ou plutôt, faut-il mieux nourrir le débat public tant qu'on se trouve encore dans un régime d'interdiction hérité d'une histoire nationale d'encadrement ? Cette deuxième option est une forme de protection des simplifications du discours sur la génétique. Il est important, en tout cas, de nourrir le débat pour rendre présentes des notions de complexité qui sont insuffisamment diffusées. L'imaginaire de l'assignation par les gènes est tellement fort qu'il résiste à tout ce que la science a pu démontrer depuis fort longtemps.

Soraya de Chaderevian

Vous avez justement insisté sur la question de la complexité. D'un côté, il est essentiel de complexifier, de l'autre, il y a toujours un mouvement du complexe au simple. Même le médecin, lorsqu'il explique les résultats du test génétique à un patient, est en train de simplifier. Une question que je me pose depuis longtemps d'un point de vue historique est la suivante : comment expliquer que les simples hypothèses initiales sur ce que sont les gènes et sur comment ils fonctionnent aient été aussi fécondes et ont mené à beaucoup de résultats, même si, en réalité, les choses se sont révélées être plus complexes ? Historiquement, la génétique n'a pas commencé avec des situations complexes, mais des descriptions simples : un chromosome de plus ou de moins, etc. Pourtant, même dans le cas des chromosomes, la réalité était en fait beaucoup plus complexe : j'en parle dans ma recherche sur l'histoire des chromosomes².

Prenons l'exemple du test génétique utilisé pendant quelques décennies aux Jeux Olympiques pour vérifier le genre des athlètes : au tout début, l'idée était qu'un simple test des chromosomes permettait d'identifier le genre d'un individu (XX or XY). C'est seulement plus tard que l'on s'est rendu compte que les choses sont plus compliquées au niveau chromosomique et que, dans les questions de genre, d'autres niveaux sont aussi à prendre en compte : les aspects physiologiques et hormonaux mais aussi psychologiques.

De l'autre côté, lorsque les experts disent « c'est compliqué, on s'en occupe », on peut avoir l'impression qu'ils veulent garder leur autorité. Comment peut-on transmettre l'idée que la génétique est un élément dans un contexte plus complexe ? A l'état actuel, cela paraît toujours difficile.

Catherine Bourgain

Je suis complètement d'accord, même si je n'ai pas de réponse définitive. Cette force qui amène à mal interpréter le rôle de la génétique est en effet puissante. Je peux faire référence, par exemple, à l'enquête que nous avons menée sur l'usage des tests génétiques pour les thromboses veineuses³. Ce test repère une anomalie biologique identifiée, en l'occurrence des mutations dans des gènes de la coagulation en lien avec la production d'un caillot qui est à l'origine de la thrombose. Les tests pour les thromboses veineuses se sont développés au début des années quatre-vingt-dix et ont été adoptés très vite dans la pratique clinique, avec beaucoup d'espoir, dans l'idée qu'ils pourraient permettre d'identifier de manière « simple » des sujets à risque de récurrence de thrombose. Le consensus scientifique, en revanche, a mis du temps à se stabiliser. Nous savons maintenant qu'en vérité ces tests génétiques n'améliorent pas la prédiction de récurrences. Malgré cette connaissance établie, ce test continue à être prescrit, y compris par des médecins qui sont conscients qu'il n'est pas plus prédictif que d'autres éléments. C'est la capacité de la génétique à s'inscrire dans la mise en lien de la mécanique biologique et de la statistique qui lui donne cette force d'usage. Pour faire changer le comportement de quelqu'un, le fait de pouvoir mobiliser des registres explicatifs de différente nature est important. C'est peut-être l'une des explications du maintien du recours à la génétique.

Alors, une réponse possible serait peut-être d'expliquer encore mieux et de faire davantage de formation à la complexité. Il est surtout très important de bien former les professionnels. Ce dont je me suis rendue compte en m'intéressant à la génétique en contexte policier est le fait que les gens, s'ils ne sont pas très connaisseurs, sont très enthousiastes, mais que plus ils deviennent spécialistes et connaisseurs, plus ils sont vigilants sur le contexte d'usage et sur les réelles possibilités données par la génétique. Je pense notamment à des avocats avec lesquels j'ai discuté, que j'ai suivis dans le temps et que j'ai aussi vu évoluer dans leur rapport à la preuve génétique. A la lumière de ces expériences, je me dis que la seule façon de remettre la génétique à sa place est de la connaître.

Faut-il généraliser les tests pour que tout le monde se rende compte de leurs limites et que l'on puisse revenir plus sereinement à des usages raisonnés ? Je suis sceptique sur cette solution car, une fois que les tests se seront diffusés, il sera difficile de revenir en arrière. De toute façon, il faut continuer à se poser la question de comment restituer cette complexité, même si nous n'avons pas, pour

² Soraya de Chadarevian, «Heredity Under the Microscope: Chromosomes and the Study of the Human Genome» (U Chicago Press, 2020).

³ Mauro Turrini, Jérôme Connault et Catherine Bourgain. Des tests génétiques pour prédire des maladies communes Med Sci (Paris) 2020 ; 36 : 515–520. <https://www.medecinesciences.org/en/articles/medsci/abs/2020/05/msc190233/msc190233.html>
Turrini Mauro, Bourgain Catherine, « Gérer l'incertitude dans la prévention génétique d'une maladie fréquente : décision médicale et thrombophilie à l'hôpital », Sciences sociales et santé, 2021/3 (Vol. 39), p. 5-32. DOI : 10.1684/sss.2021.0204. URL : <https://www.cairn.info/revue-sciences-sociales-et-sante-2021-3-page-5.htm>

l'instant, de bonne réponse.

Soraya de Chaderevian

Ces derniers temps aux États Unis, en écoutant des conversations et débats sur la pandémie et sur comment celle-ci a affecté différemment les diverses communautés, j'ai eu le sentiment que le discours s'est moins centré sur la génétique qu'auparavant. Un discours sur les aspects sociaux de la médecine, comme la condition des femmes, le racisme et leurs effets physiologiques est en revanche plus présent. Je ne saurais pas dire s'il s'agit d'un changement ponctuel ou sur le long terme. Bien évidemment, il y a d'autres domaines de discussion dans lesquels la génétique est bien présente, par exemple à propos du virus lui-même et de ses développements.

Alex Peluffo

En ce qui concerne le test, ce qui est fascinant avec les tests de dépistage de la COVID, c'est que, comme tout le monde en fait maintenant, les gens réagissent étonnamment à ces tests en les remettant en question. Lorsque je parle à des amis, même s'ils n'ont pas de connaissances en statistiques ou en biologie, ils me disent : «Oh, tu sais, j'ai regardé le taux de faux positifs et je pense que ce test n'est pas digne de confiance». Ce que je veux dire, c'est que - je vais aller légèrement à l'encontre de ce que disait Catherine, je vais me faire l'avocat du diable - peut-être que si nous généralisons ces tests génétiques, les gens pourraient prendre la même distance que lorsqu'ils disent : J'ai fait un test, mais je comprends que ce n'est pas forcément le vrai résultat, c'est plus compliqué que cela.

Catherine Bourgain

C'est vrai que les gens réfléchissent. D'ailleurs, c'est ce qui arrive déjà avec les tests génétiques. J'ai été moi-même contactée par des personnes qui ont fait le test de 23andMe : ils se posent beaucoup de questions et en comprennent bien sûr les limites. Pourtant, je crois que cet espace de réflexivité par rapport à la technologie ne concerne pas tout le monde. De plus, quel que soit le recul que l'on peut développer par rapport au test COVID, s'il est positif, on ne pourra pas entrer à l'école ou au bureau, etc. Il y a donc quand même des formes de catégorisation (en l'occurrence « positif » ou « négatif ») qui se mettent en place.

Donc, si nous faisons l'expérience en diffusant les tests génétiques, encore une fois, nous nous retrouverions avec le problème de l'articulation entre niveau individuel - qui peut être appréhendé de manière différente selon les personnes - et niveau social avec la possibilité de produire des catégories autour des données. Même si l'on est persuadé des limites des tests, de fait ceux-ci produisent des catégories sociales qui peuvent avoir des effets concrets.

Anne Le Goff

Par rapport à la comparaison entre test COVID et test génétique, une énorme différence tient aux différentes raisons pour lesquelles quelqu'un fait un test - un journaliste pour en savoir plus sur son fonctionnement, quelqu'un atteint d'une maladie incurable ou quelqu'un en recherche de ses origines. Cela risque de cristalliser certaines catégories sociales. Je pense donc que l'effet peut être assez différent de l'effet d'un test COVID qui est fait plus ou moins pour des raisons semblables par

Catherine Bourgain

C'est tout à fait vrai. Je vais donner à ce propos l'exemple que je trouve très éloquent du plan France médecine génomique, rendu en 2017. J'avais été sollicitée, par le biais de l'INSERM, pour participer à la rédaction du plan mais j'avais refusé. La commande qui avait été donnée aux généticiens de l'Inserm par le Premier ministre de l'époque Manuel Valls demandait de proposer les modalités de généralisation du recours à la génétique - notamment au séquençage intégral du génome - en contexte de soin. Cette demande était donc centrée sur la question des modalités. Mon argument était au contraire qu'il fallait commencer par évaluer la question de la pertinence. Le rapport en lui-même est donc assez étonnant en ce que la question de la pertinence fait seulement l'objet d'une annexe qui n'évoque que deux articles sur les retards mentaux suggérant que, dans le domaine du retard mental, cette analyse est peut-être intéressante pour la question que j'évoquais tout à l'heure de la limitation de l'errance diagnostique. Des responsables de la plateforme génétique avec lesquels j'ai récemment échangé ne sont toujours pas persuadés de l'utilité. Bien sûr, en disant cela, je ne veux pas faire les procès aux généticiens ayant participé à ce rapport qui était une commande publique et qui s'inscrit dans la suite de travaux qu'ils mènent déjà. Je crois que, à l'intérieur de la communauté des généticiens, qu'ils soient en recherche ou en soin en France, les positions sont assez variées sur ces questions.

Par rapport à la question du coût induit des DTC pris en charge par la puissance publique : le risque d'analyses inutiles est en effet un sujet dont on discute depuis le début, avec la possibilité de demandes de patients qui se rendraient à l'hôpital à la suite de la réception de leurs résultats. Pour l'instant, je ne crois pas qu'il y ait autant de conséquences réelles en France dans les comportements cliniques des individus qui ont effectué ces tests. Il faudrait bien sûr vérifier les données et comment elles évoluent actuellement. Les tests qui sont prescrits aujourd'hui en contexte de santé sont principalement des tests de susceptibilité multifactorielle et qui produisent des risques dont les patients comprennent assez vite, je crois, que la valeur n'est pas si importante. Ainsi, je ne suis pas sûre qu'il y ait autant de patients qui se tournent vers leur médecin après ces tests. C'est aussi, encore une fois, une question d'éducation générale sur la génétique.

Serena Ciranna

Je crois que la question de l'impact des informations issues du test sur la société, en l'occurrence sur le système de santé publique, fait partie d'un problème plus général d'accès à l'information scientifique aujourd'hui. On pourrait presque comparer la situation des personnes qui reçoivent les résultats de leur tests génétiques et qui s'adressent par la suite à leur généraliste pour approfondir les informations qu'ils ont reçus, à ceux qui effectuent une recherche Google lorsqu'ils ont des symptômes ou pour avoir plus d'informations sur le diagnostic reçu par leur médecin. C'est la question plus large du décalage entre les possibilités d'accès à l'information issues des certaines technologies numériques et la capacité d'évaluation et d'interprétation de ces informations par le public.

Daniel Andler

D'un côté, il y a un problème général, celui de ce qu'on appelle public understanding of science : un domaine de la pédagogie ou de sciences sociales appliquées qui est extraordinairement actuel (par exemple par rapport à la question des fake news). De l'autre côté, il y a l'éducation en général, celles

des conducteurs, des enseignants, des soignants[SC1], l'éducation alimentaire ou à la prévention des addictions, etc. Il faut y travailler et, peu à peu, le public understanding of sciences va progresser malgré le pessimisme qu'on pourrait éventuellement tirer de la grande flambée de l'irrationalisme, des conspirations, etc. Un groupe de personnes au Département d'études cognitives travaille sur la cognition pour les politiques publiques. [SC2] Ces travaux semblent indiquer que l'on arrive à améliorer ces aspects et à faire passer un certain nombre de concepts dans la compréhension générale de la science. Dans le cas de la génétique, je vois deux problèmes, celui de la complexité et celui de la compréhension des statistiques et des probabilités. Ce dernier est un problème général : il est très difficile de faire comprendre des fréquences, des faux négatifs, etc. Néanmoins, il faut continuer patiemment et avec un certain espoir dans les potentialités rationnelles du public, en s'appuyant sur la philosophie des sciences, sur les études des sciences et des techniques et sur les sciences cognitives. En revenant à la question de la complexité : la génétique progresse et les problèmes que nous avons actuellement ne se poseront pas dans les mêmes termes dans 25 ou 30 ans. D'ici là nous aurons une image suffisamment claire de ces problèmes pour les communiquer au public.

Catherine Bourgain

Par rapport à la question du public understanding of science : j'y crois aussi. Pourtant, ce n'est pas si facile de faire passer le message de la complexité lorsqu'au sein de la science il existe un certain nombre d'acteurs qui travaillent, pour différentes raisons, à construire un discours de simplicité (je reviens au point soulevé par Anne Le Goff). Par rapport à la deuxième question – à savoir si, dans trente ans, on aura une vision plus claire, je vais répondre en donnant un exemple : en septembre 2019, nous avons organisé avec Marianne Félix un colloque à l'ENS⁴ à l'occasion des cent ans de la publication d'un papier princeps du statisticien Ronald Fisher dans lequel il propose son fameux modèle polygénique d'explication de la composante génétique dans les traits humains. Il s'agit du papier fondateur de toute une série de travaux en statistique et en génétique et la référence des études d'association développées depuis une quinzaine d'années sur tout le génome. Le papier de Fisher constitue ainsi le squelette théorique qui sous-tend toute une série d'enquêtes génétiques qui sont encore aujourd'hui largement menées et qui ont une vision ultra simplifiée des phénomènes – une vision pragmatique qui permet d'avancer mais qui est extrêmement discutable sur le fond de son modèle biologique et analytique. Ce modèle a été largement mis à mal par toute une série de travaux, par les études les plus récentes de biologie qui s'intéressent à la complexité du vivant. Tout modèle est réducteur, bien sûr, mais le modèle en question n'est pas seulement réducteur, il est faux : la réduction qu'il propose est fautive. Elle suppose en effet qu'il est possible de désencastrer, disentangle, l'impact de la génétique et celui de l'environnement sur les maladies (ou le comportement, les caractéristiques physiques...). Car ce modèle suppose que les gènes et l'environnement (entendu comme tout ce qui n'est pas génétique, il s'agit donc d'effets biologiques non génétiques, de l'environnement physique, du social) ont des effets additifs. Or, on sait très bien combien les interactions, entre le social et le biologique par exemple, sont permanentes, et que ne pas en tenir compte est une source d'erreurs importante. Peut-être qu'il faut être optimistes et se dire que, dans 30 ans, on y arrivera mais je ne trouve pas que la biologie appliquée à l'homme telle qu'elle se développe aujourd'hui prenne plus acte que cela de cette complexité.

⁴ Les vidéos du colloque sont consultables en ligne : <https://sfg.igh.cnrs.fr/1-siecle-de-fisher.html>

Je précise que, dans les laboratoires de recherche fondamentaux, des travaux incroyables sont menés pour comprendre le vivant. Toutefois, lorsque l'on passe au cadre de la prise en charge médicale, la situation est très différente. C'est ce que j'ai pu remarquer il y a peu de temps lors d'un colloque auquel j'ai participé sur la biologie du cancer. Des cliniciens et des chercheurs se côtoyaient. Les uns racontaient comment ils utilisent la génétique dans le contexte de la prise en charge du cancer et, de l'autre, des spécialistes de la biologie des tumeurs, travaillant en laboratoire, nous disaient combien le vivant est beaucoup plus compliqué que cela et que, de ce fait, certains types de prises en charge ne pouvaient pas fonctionner. C'était le jour et la nuit. Cette divergence ne se manifeste pas seulement sur le plan scientifique mais aussi par rapport à des questions pratiques et organisationnelles. Il est très difficile de faire s'aligner le niveau des connaissances sur la complexité du vivant et son application dans la pratique médicale. Je ne demande qu'à avoir tort et qu'à espérer qu'on arrivera à mieux faire dialoguer ces domaines dans les années qui viennent mais j'avoue que, de façon très bayésienne, je suis un peu pessimiste sur ce point.

Daniel Andler

Merci, je suis content d'avoir été provoquant et, en fait, je suis assez d'accord avec vous instinctivement sans être un spécialiste dans ce domaine. Je crois aussi beaucoup aux limites de la science. Par exemple, je ne suis pas du tout quelqu'un qui pense qu'un jour, une théorie complète du cerveau sera élaborée. Ce serait intéressant d'essayer de dresser un parallèle entre ce qui se passe en ce moment en neurosciences cognitives, le rôle des neurosciences et ce que vous venez de dire sur la génétique. Il y a un parallèle absolument éclatant.

Alex Peluffo

Je suis un peu plus optimiste. Je pense que des progrès considérables ont été faits ces dernières années dans la génétique. La capacité de prédiction par l'IA est assez étonnante et presque inquiétante si l'on regarde l'exemple de l'UK Biobank et de la récente étude [SC3] sur les polygenic risk score, une technologie capable de prédire assez efficacement, par l'analyse de grandes masses de données génétiques, le risque de développer certaines pathologies dont les maladies cardiovasculaires. [SC4] Bien sûr, on connaît les limites du machine learning qui, parfois, peut valider mal les résultats, mais la prédiction ainsi réalisée est, on peut dire, meilleure que le hasard. Une question importante à analyser dans ce domaine de l'application de l'IA à la génétique est bien sûr celle de l'inégalité et des possibles risques de racisme et de discrimination dus au fait que ces technologies sont souvent entraînées par des données de personnes qui ont des ancêtres européens. La conséquence est que les résultats ne sont pas pertinents pour d'autres populations, par exemple pour des personnes africaines ou asiatiques.

Pourtant, peut-on donc envisager que ces technologies soient perfectionnées dans le futur et que ce dont on devra s'inquiéter plutôt est ce qu'on va réaliser avec ce genre de possibilités de prédiction ?

Serena Ciranna

Je voudrais revenir rapidement sur la question de la spécificité des données génétiques dans le domaine de la santé mais pas seulement : vous l'avez évoqué aussi dans le contexte juridique, en faisant référence à la possibilité d'identifier les individus à travers leur ADN. Je me demandais comment la question de la responsabilité est redéfinie : lorsque je réalise un test, je dévoile mes données génétiques à une entreprise privée ou à une institution publique ; je dévoile donc aussi des informations

sur mes proches. Dans le cas des données génétiques, nous ne sommes pas responsables uniquement de nos données personnelles mais aussi, quelque part, de celles des autres.

Catherine Bourgain

Le paradoxe c'est que, finalement, ce qui nourrit aussi en grande partie la fascination pour la génétique, est le fait qu'elle constitue une façon de nous parler de la famille. Une façon modernisée bien sûr par les technologies. C'est probablement l'une des raisons du succès des tests en accès libre : cette potentialité de nourrir le roman dont on a tous besoin, le récit sur nos ancêtres. Moi-même, je me suis rendue compte, en rédigeant ma thèse sur les grandes populations isolées dans lesquelles il y a des très grandes généalogies, que je venais, de par mon père et ma mère, de deux populations isolées et que la généalogie était quelque chose de fascinant pour moi. Bien sûr, par rapport à d'autres données de santé, on ne peut pas parler, pour les données génétiques, de « mes données à moi ». C'est, je crois, quelque chose d'assez visible : le public de ces tests est déjà capable de réaliser ce lien très fort entre génétique et famille et c'est en grande partie justement ce qui les intéresse.

Par rapport à la question des polygenic risk score posée par Alex, je suis moins optimiste sur la pertinence de ces évaluations. Ces dernières avancées dans la prédiction posent énormément de questions, notamment parce que ces calculs reposent sur le modèle de Fisher dont j'ai parlé, qui suppose que les effets des gènes et de l'environnement peuvent être évalués de façon séparée. En outre, lorsque l'on parle de maladies aussi communes que le cancer du sein ou les maladies cardiovasculaires, on se demande ce qu'il est possible de faire d'une prédiction de risque. Comment un risque collectif se déploie-t-il dans le quotidien de la prise en charge clinique ? Qu'en font les individus et les professionnels ? Toutes ces questions ont, je crois, de quoi mitiger les espoirs. Beaucoup de généticiens épidémiologistes que je côtoie font maintenant partie des personnes qui travaillent sur les polygenic risk score. Des publications récentes se sont focalisées sur comment encadrer l'utilisation de ces tests, sur les bonnes pratiques d'utilisation de ces calculs mais j'ai l'impression qu'ils n'imaginent pas du tout ce que cela représente concrètement dans l'implémentation clinique. Le décalage entre ces deux domaines est énorme et je crois que le niveau d'amélioration de la prédiction n'est pas suffisamment bon.

Alex Peluffo

En ce qui concerne la question des données familiales qui a été évoquée, il s'agit d'un vrai cataclysme, notamment aux États-Unis où ces tests sont très répandus : le fait que, lorsque l'on donne accès à son ADN, on donne aussi accès à celui de son cousin, de ses frères et sœurs, etc. Il se peut que, dans dix ans, les compagnies d'assurance mettent la main sur ces données et qu'elles les utilisent pour calculer leur prime d'assurance. Je ne suis pas sûr qu'actuellement le public et les consommateurs de ces tests se rendent profondément compte de ce genre de risque pour le futur. L'histoire du Golden state killer, un tueur en série qui a pu être identifié grâce à l'ADN d'un proche qui avait effectué le test, est exemplaire et constitue la première fois où ces questions ont eu de la visibilité.

Robot et IA

Audition de Jean-Gabriel Ganascia

Jean-Gabriel Ganascia est professeur d'Informatique à Sorbonne Université, spécialiste d'Intelligence Artificielle et de Sciences Cognitives. Il a créé et dirigé en 1993 le Programme de Recherches Coordonnées « Sciences Cognitives » pour le compte du ministère de la recherche, puis le Groupement d'Intérêt Scientifique « Sciences de la cognition » (Pour le ministère de la recherche, le CNRS, le CEA, l'INRIA, et l'INRETS) (de 1995-2000). Depuis 2016, il est président du Comité d'éthique du CNRS, mais également membre depuis 2012 de la CERNA (Commission de réflexion sur l'Éthique de la Recherche en sciences et technologies du Numérique d'Allistene). Il est aussi membre du tout jeune Comité Pilote de l'Éthique du Numérique, créé fin 2019 par le Comité Consultatif National d'Éthique.

Il a notamment publié les ouvrages suivants :

Ganascia, J. G. (2022). *Servitudes virtuelles*. Éditions du Seuil.

Ganascia, J. G. (2017). *Le Mythe de la Singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?* Le Seuil.

Ganascia, J. G. (2017). *Intelligence artificielle : vers une domination programmée ?* Le Cavalier Bleu Editions.

Nevejans, N., Hauser, J., Ganascia, J. G., & Édition, L. E. H. (2017). *Traité de Droit et d'éthique de la robotique civile*. LEH édition.

Braly, J. P., & Ganascia, J. G. (2017). *Le temps des robots est-il venu ? Découvrez comment ils transforment déjà notre quotidien*. Editions Quae.

Ganascia, J. G. (2006). *Les sciences cognitives*. Le pommier.

Ganascia, J. G. (1993). *L'intelligence artificielle*. Flammarion (Collection Dominos).

L'audition a été menée par Mehdi Khamassi :

Mehdi Khamassi est directeur de recherche en sciences cognitives au CNRS, rattaché à l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique de Sorbonne Université, Paris. Il est également co-directeur des études pour le master de sciences cognitives de l'École Normale Supérieure / EHESS / Université de Paris. Après un diplôme d'ingénieur à l'ENSIIE (anciennement sous la tutelle du CNAM) à Evry, il a effectué un DEA de Sciences Cognitives (Cogmaster) puis une thèse entre l'Université Pierre et Marie Curie et le Collège de France dirigée par Agnès Guillot et Sidney I. Wiener sur l'apprentissage en situation de navigation chez les animaux et les robots.

I. Historique de l'IA

Mehdi Khamassi

Bonjour Jean-Gabriel Ganascia. Tu es professeur d'informatique à Sorbonne Université, spécialiste d'intelligence artificielle et de sciences cognitives. Tu as dirigé différents programmes de sciences cognitives en France. De façon assez importante pour les questions que nous nous posons dans TESaCo, tu es très impliqué sur beaucoup de questions éthiques depuis quelques années. Tu es notamment, depuis 2016, Président du Comité d'éthique du CNRS, et d'autres comités que je ne vais pas tous citer. Mais je suis également très intéressé par le fait que tu es aussi membre du tout jeune Comité pilote du numérique qui a été créé fin 2019 par le Comité consultatif national d'éthique. Ce n'est un secret pour personne, les questions d'éthique et de sciences en société t'importent beaucoup, et c'est à ce titre qu'il est important pour nous d'avoir ton regard et ta vision des choses, et qu'on en discute dans le cadre des technologies émergentes et en particulier de l'intelligence artificielle.

Historique et évolution de l'intelligence artificielle

Mehdi Khamassi

Je voulais te demander d'abord de resituer les choses sur les débuts et l'évolution de l'intelligence artificielle, tels que tu les vois. Je voudrais notamment partir d'un passage d'un de tes ouvrages récents *Le mythe de la singularité* où tu rappelles qu'en 1955 la naissance de l'utilisation du terme "Intelligence artificielle" par John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester et Claude Shannon, vient d'un projet pour un workshop à Dartmouth College qui a lieu l'année suivante, dont l'idée est de décomposer chaque aspect de l'apprentissage ou de tout autre caractéristique de l'intelligence en petits modules qu'on pourrait décrire si précisément qu'une machine pourrait être programmée pour les simuler. Pour moi, ce qui est frappant là-dedans c'est : d'une part le fait que ce n'est pas forcément le but de faire une intelligence artificielle générale, globale, il s'agit plutôt de s'intéresser vraiment à des fonctions cognitives distinctes ; d'autre part, je trouve que l'objectif de décrire et de simuler pour essayer de mieux comprendre des fonctions cognitives est très proche d'objectifs qu'on peut voir en psychologie cognitive ou en neurosciences.

Comment vois-tu cette évolution, c'est-à-dire cette éventuelle séparation qui a eu lieu, avec aujourd'hui l'apprentissage machine qui cherche rarement la bio-inspiration, mais qui est plutôt intéressé par l'efficacité statistique pour extraire de la connaissance de masse de données ? Comment vois-tu éventuellement à nouveau des échanges aujourd'hui ?

Jean-Gabriel Ganascia

D'abord bonjour et merci de m'avoir invité. Effectivement, quand on regarde le début de l'intelligence artificielle et le projet qui a été soumis par John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester et Claude Shannon à la Rockefeller Foundation afin d'obtenir un financement pour une école d'été, l'ambition est très proche de celle des sciences cognitives. Il n'y a pas de différences

fondamentales. Cela puise aussi son inspiration dans les travaux qui avaient été conduits quelques années auparavant dans le cadre de la cybernétique, même si les orientations ne sont pas tout à fait les mêmes. Nous avons dans le projet, c'est dit explicitement, l'objectif de fonder une science nouvelle qui permettrait de mieux comprendre l'intelligence en procédant à des simulations avec ces outils assez étonnants pour l'époque qu'étaient les ordinateurs. Il faut bien comprendre que Marvin Minsky et surtout John McCarthy étaient des mathématiciens. Ils avaient découvert l'informatique au cours de leurs études et ils pensaient qu'elle ouvrait des pistes nouvelles. Il en allait de même pour tous les autres participants de l'école d'été de Dartmouth College, qu'il s'agisse d'Herbert Simon, qui deviendra prix Nobel d'économie, d'Allen Newell, de Ray Solomonoff, de John Holland, d'Oliver Selfridge ou a fortiori de Nathaniel Rochester, directeur scientifique d'IBM et de Claude Shannon l'homme de la théorie de l'information. Ils étaient fascinés par les ordinateurs, qui ouvraient un champ de potentialités extrêmement grand.

En même temps, quand on lit bien les textes, en tout cas ceux qui apparaîtront après, on voit que très tôt les précurseurs de l'intelligence artificielle ont eu le sentiment qu'il y avait deux perspectives qui n'étaient pas nécessairement antagonistes, mais complémentaires. L'une était de mieux comprendre la nature de l'intelligence, en procédant à des simulations de différentes fonctions cognitives, puis à confrontations empiriques avec les facultés cognitives humaines, de façon à valider ces modèles informatiques. Il faut bien comprendre que le concept d'intelligence est un très vieux concept en philosophie, et qu'il a été utilisé il y a longtemps, par exemple, par Giambattista Vico au début du XVIIIe siècle, avant d'être quasiment abandonné par les philosophes, qui ne l'emploient presque plus. Désormais, ils parlent plutôt d'esprit et de théorie de l'esprit que d'intelligence. Ceux qui, parmi eux, mentionnèrent encore le terme « intelligence », comme Hyppolite Taine, auteur d'un traité paru en 1870 et intitulé « De l'intelligence », le firent parce qu'ils étudiaient les problématiques philosophiques, en particulier les théories de la connaissance, de façon empirique, avec des méthodes expérimentales issues des sciences de la nature, en particulier de la physique, et donc de façon très interdisciplinaire. Il s'ensuit qu'à partir du XIXe siècle, le concept d'intelligence s'employa surtout en psychologie, entendu comme la discipline scientifique qui aborde des problématiques philosophiques avec les méthodes des sciences de la nature. C'est là une première perspective sur l'intelligence artificielle. Mais, il en existe une autre qui apparaît très tôt et qui se révèle être pratique. Dès ses premiers articles sur l'intelligence artificielle, Herbert Simon explique qu'outre la perspective scientifique susmentionnée, l'intelligence artificielle contribue à la résolution de problèmes, ce qui serait susceptible d'avoir de nombreuses applications pratiques fort utiles dans bien des secteurs. Avec le temps, les aspects plus fondamentaux, scientifiques, ont été repris entre autres par les sciences cognitives, qui viennent, il est important de le rappeler, de l'intelligence artificielle. Plus exactement, les sciences cognitives trouvent leur origine avec la cybernétique, avec l'idée qu'existe un parallèle entre des systèmes de traitement de l'information et la cognition. Mais le terme « sciences cognitives » a été introduit par l'intelligence artificielle sémantique, au milieu des années 1970, et a ensuite été repris et généralisé dans le milieu des années quatre-vingts pour englober des études sur le cerveau. Au départ, il y avait assez peu de neurosciences dans les tout premiers travaux de sciences cognitives ; celles-ci se concentraient sur la linguistique, la psychologie, l'intelligence artificielle et l'informatique. Les choses sont donc un peu surprenantes parce qu'avec le temps, cette perspective scientifique semble être un peu sortie du champ de l'intelligence artificielle, surtout en France, mais peut-être un peu moins aux États-Unis. Sans doute car aux États-Unis, les liens entre l'intelligence artificielle et les sciences cognitives ont plus subsisté ; pour des raisons pratiques aussi, du fait d'un engouement pour l'intelligence artificielle, et de l'existence de sources de financements considérables en l'intelligence artificielle. Mais ce n'était pas le cas au tout début des sciences cognitives. Il est toujours très

intéressant d'avoir une vue généalogique des disciplines car on comprend mieux leurs racines et, par conséquent, leur assise épistémologique.

Place centrale de l'apprentissage de l'IA

Mehdi Khamassi

Oui, tout à fait. Comme tu l'as mentionné, très vite une des perspectives a été de s'intéresser à la résolution de problèmes – d'ailleurs considérée comme jusqu'alors réservé à l'homme, – et aux questions de raisonnements. Mais dès le départ, on a l'impression qu'il y avait une place centrale pour le rôle de l'apprentissage, au point même qu'aujourd'hui on a l'impression que dans la tête de nombreuses personnes, intelligence artificielle et apprentissage machine se confondent un peu. Qu'en penses-tu ? Au fond, c'est peut-être important et peut-être partages-tu cette idée selon laquelle, de toute façon on ne pourra atteindre d'intelligence artificielle que lorsque des systèmes seront capables d'apprendre par eux-mêmes. Mais est-ce que cela va plus loin ? Ce rôle d'apprentissage est-il à ce point central pour toi ?

Jean-Gabriel Ganascia

Ça a été central depuis le début de l'intelligence artificielle. Même avant. Les travaux de Turing dans son célèbre article *Computing Machinery and Intelligence*, dans la revue *Mind*, évoquent déjà l'apprentissage car il pressent qu'il est essentiel, si on veut fabriquer des machines qui semblent penser, qu'elles se fondent sur une immense quantité de connaissances. Quand il conçoit son fameux "Test de Turing", qui est plus une expérience de pensée qu'un projet de réalisation matérielle, il n'avait pas l'idée qu'on irait, un jour, jusqu'à fabriquer une machine qui le mettrait en œuvre. Plus exactement, ce n'était pas son objectif premier dans l'article. Il dit que pour arriver à conduire un dialogue avec un homme et/ou une femme, et prêter au change, c'est-à-dire faire illusion, il faut qu'une machine dispose d'un nombre considérable de connaissances. À cette fin, on peut soit transférer les données directement dans la machine, ce qui est extrêmement long et fastidieux, soit essayer de faire en sorte que la machine les acquiert d'elle-même ; c'est ce qui fait l'objet de l'apprentissage. Il donne d'ailleurs plusieurs métaphores de ce que pourrait être l'apprentissage machine. Il imagine que ça pourrait ressembler à la façon dont un individu apprend ; on dresse là une analogie entre la machine et de psychisme humain ; il imagine aussi que cela se présente comme avec un cerveau, ou comme des populations dont le patrimoine génétique évolue, ou encore, en usant d'un parallèle avec la culture collective, comme les idées qui naissent dans l'intérieur des sociétés. Tout cela a été pensé avant que le terme « intelligence artificielle » n'ait été inventé. Dans le texte introductif de l'école de Dartmouth College, il est dit, comme tu l'as rappelé tout à l'heure, que l'intelligence artificielle aspire à modéliser toutes les fonctions cognitives, qu'elles relèvent de l'apprentissage, voire même des apprentissages, tant l'apprentissage est multiple, ou de toutes les autres caractéristiques de l'intelligence, raisonnement, mémoire, décision, réflexion, etc. Ici, l'apprentissage est même mis en premier, avant les autres aspects de l'intelligence. Les organisateurs de l'école d'été de Dartmouth College savaient qu'il y avait un soucis. En effet, Marvin Minsky était lui-même cybernéticien. Il avait travaillé, au cours de sa thèse sur des réseaux de neurones formels et avait essayé de faire de l'apprentissage machine, mais en vain. Il s'était heurté à de très grandes difficultés qu'il n'était pas parvenu à surmonter. Il savait donc à quel point c'était problématique. Quand il a écrit avec Seymour

Papert en 1969 l'ouvrage intitulé *Perceptrons*, pour faire une critique de l'algorithme d'apprentissage du perceptron de Rosenblatt, il avait lui-même une très bonne connaissance de l'apprentissage dans les réseaux de neurones formels.

Indépendamment de l'importance des mécanismes d'apprentissage, il y a l'idée assez naturelle que, si on veut être capable de faire des choses qui soient vraiment nouvelles, il ne faut pas simplement déployer un enchaînement mécanique de raisons, mais construire automatiquement de nouvelles connaissances. Les premiers travaux d'Arthur Samuel sur l'apprentissage par renforcement datent d'ailleurs de 1959 : il était arrivé, avec les techniques qu'il avait conçues, à ce que le programme de jeux de dames qu'il avait réalisé s'améliore automatiquement, jusqu'à battre l'un des meilleurs joueurs aux États-Unis. Donc dès le départ l'apprentissage accompagne l'intelligence artificielle. Toutefois, même si l'apprentissage y prend une part importante, ne recouvre pas l'intégralité du champ de l'intelligence artificielle. Ainsi, dès 1956, Herbert Simon simule sur des ordinateurs la résolution de problèmes en transférant, manuellement, des connaissances dans les machines.

Aujourd'hui ce qui est vraiment particulier, c'est qu'on a tendance à réduire l'intégralité de l'intelligence artificielle à l'apprentissage, et surtout à une seule forme d'apprentissage, l'apprentissage supervisé, et parmi les techniques d'apprentissage supervisé, à une seule technique, l'apprentissage profond, alors qu'au début il était question de tous les apprentissages possibles, c'est-à-dire de toutes les capacités qu'aurait une machine de construire des connaissances en s'inspirant de différents modèles. On observe donc une réduction de l'empan de l'intelligence artificielle aujourd'hui et, en quelque sorte, à une régression. D'autant plus, et bizarrement, que les concepts présents aujourd'hui apparaissent relativement anciens, même s'ils ont subi des évolutions, même s'il y a un grand nombre d'astuces et de tours de mains déployés pour mettre en œuvre ces technologies, enfin, même si les progrès des ordinateurs font qu'on est capable de mettre en œuvre des choses qui auraient été impossibles auparavant.

En résumé, on observe toujours une prééminence de l'apprentissage aujourd'hui en intelligence artificielle. Moi-même j'ai commencé à travailler sur des systèmes à base de connaissances. C'était les premiers systèmes experts, et assez vite, dès que j'ai eu ma thèse de Docteur ingénieur, j'ai poursuivi sur l'apprentissage car j'ai eu l'intuition que c'était central. Il s'agissait d'apprentissage symbolique, donc pas tout à fait d'apprentissage avec les réseaux de neurones formels, mais tout de même je m'y intéressais, je regardais ce qui se faisait. À l'époque on m'a appris que les algorithmes employés pour l'apprentissage neuronal étaient instables. Il a fallu attendre 1986, avec les algorithmes de rétro-propagation de gradient qui généralisaient les algorithmes d'apprentissage du perceptron, pour avoir des résultats tangibles. Mais ceux-ci demeuraient encore très ténus.

Jusqu'où va l'opposition entre les approches symboliques et l'apprentissage statistique ?

Mehdi Khamassi

Alors tu as anticipé ma question suivante. Comme tu es spécialiste de l'apprentissage machine, il me semble qu'au début de tes travaux, comme tu l'as dit, tu étais plutôt sur des approches symboliques. Ce qui me frappe c'est qu'il semble y avoir très vite une opposition entre les apprentissages

dans les réseaux de neurones distribués, avec quand même des tentatives de formalisation de choses qui viennent des statistiques, mais comme s'il y avait une opposition avec l'apprentissage symbolique. Aujourd'hui, on a presque l'impression avec le deep learning ou autre qu'on est purement dans l'efficacité de l'apprentissage distribué sans chercher à faire un retour vers la construction de symboles qui vont permettre le raisonnement. Je me demande donc dans quelle mesure une hybridation, où à un moment donné de faire communiquer ces différents niveaux, est nécessaire pour une cognition satisfaisante.

Jean-Gabriel Ganascia

C'est toujours apparu nécessaire. Il y a une expression courante, reprise parfois par des philosophes peu soucieux de philologie et d'histoire des sciences, pour décrire les approches symboliques de l'intelligence artificielle, GOFAI "Good Old Fashioned Artificial Intelligence". Cette expression laisse entendre qu'au départ l'intelligence artificielle était symbolique et puis qu'ensuite elle est devenue numérique. C'est une contre-vérité. Il suffit de lire les papiers des pionniers, par exemple le projet d'école d'été de Dartmouth College tel qu'il a été soumis par John McCarthy et Marvin Minsky à la Rockefeller Foundation : la référence aux réseaux de neurones y est explicite. Il y a donc eu, dès le départ de l'intelligence artificielle, une composante numérique importante. De plus, à l'époque, les chercheurs étaient d'abord des numériciens, avec une formation d'ingénieurs spécialisés dans le traitement du signal, etc. Moi-même, quand j'ai commencé, je connaissais très bien le traitement du signal. J'ai découvert la logique après, en faisant de l'intelligence artificielle. Il y eu, avec le temps, un abandon des approches numériques en l'intelligence artificielle, mais très vite on s'est rendu compte qu'il fallait coupler les deux.

Rappelons d'abord que, dans son livre publié en 1969 et intitulé *Perceptrons*, Marvin Minsky explique que les techniques d'apprentissage sur des perceptrons multicouches se heurtent à des obstacles quasiment insurmontables. Soit on a affaire à un perceptron à deux couches, auquel cas l'apprentissage se limite à des classes de fonctions très pauvres, soit on a affaire un perceptron à trois couches et plus, et la complexité algorithmique des procédures d'apprentissage devient rédhibitoire. On sait depuis le tout premier article princeps de Walter Pitts sur les réseaux de neurones, qu'à partir de trois couches, un réseau de neurones est universel, il implémente n'importe quelle fonction logique. Au départ, cette propriété se limitait à des fonctions booléennes, c'est-à-dire, à des fonctions logiques qui donnent des valeurs 1 pour vrai ou 0 pour faux ; plus tard, on a étendu ce résultat d'universalité aux fonctions continues. Or, l'algorithme d'apprentissage du perceptron de Frank Rosenblatt était limité à des perceptrons à deux couches ; son extension à des perceptrons à plus de deux couches paraissait à Marvin Minsky très difficile, voire impossible. Dans le même temps, Marvin Minsky expliquait que, pour résoudre ce problème, il faudrait ajouter des traits sémantiques dans la représentation. L'idée de couplage était donc déjà présente.

Je me souviens moi-même que, quand j'ai travaillé avec Yves Kodratoff sur l'apprentissage symbolique dès le début des années quatre-vingts, nous avons eu très vite des échanges avec des spécialistes de l'analyse de données en particulier avec des chercheurs qui venaient de l'école du mathématicien Jean-Paul Benzécri, fondateur de méthodes d'analyse de données comme l'analyse factorielle par correspondance. Moi-même, je connaissais bien Edwin Diday qui a été dans mon jury de thèse d'État. Il y avait toute une école qui travaillait sur l'hybridation des méthodes et on avait organisé des journées "symbolique / numérique". Encore une fois, l'idée du couplage des deux est présente très tôt. Dès 1983, nous avons organisé des journées communes avec Françoise Fogelman où l'on

comparait les différentes techniques d'apprentissage, dont les techniques d'apprentissage neuronal. Moi-même, plus tard, j'ai eu un projet dans les années 1990 sur l'extraction de règles à partir de réseaux de neurones formels avec une étudiante, Irina Tchoumatchenko et un collègue, spécialiste des réseaux de neurones, Maurice Milgram. Notre approche consistait à « durcir » progressivement les poids synaptiques des réseaux de neurones artificiels au cours de l'apprentissage pour être en mesure d'interpréter les résultats à l'issue de l'apprentissage. Il existait d'autres travaux semblables aux États-Unis, par exemple ceux de Jude Shavlik. Dès le début, cette jonction du symbolique et du numérique est apparue comme quelque chose d'extrêmement important. Aujourd'hui, c'est encore plus important d'une certaine façon, parce qu'on a beaucoup développé les méthodes d'apprentissage numérique avec les méthodes des réseaux de neurones formels, en oubliant d'ailleurs un peu toutes les autres méthodes qui avaient été développées avec les SVM, les machines à noyau, toute les théories formelles de l'apprentissage etc. Aujourd'hui, on dispose d'algorithmes d'apprentissage supervisé remarquablement efficaces. Mais, les classifieurs résultant de cet apprentissage s'imposent comme des espèces d'oracles aveugles, c'est-à-dire comme des boîtes noires dont on ne sait pas expliquer pourquoi elles produisent telle ou telle sortie. Dans certaines situations, cela ne pose pas trop de problème. S'il s'agit, par exemple, d'examiner des grains de beauté et de faire un diagnostic médical pour savoir s'ils sont potentiellement malins ou bénins, cela ne pose pas trop de problème parce que de toute façon ça va aider le médecin à faire un premier diagnostic qu'il confirmera ensuite avec d'autres moyens. Pour d'autres applications c'est plus problématique parce qu'on a absolument besoin de justifier la réponse. Il ne faut pas se contenter de dire « oui » ou « non ». On doit fournir ce qu'on appelle des explications en indiquant, sur le cas particulier en cours d'études, les éléments d'informations qui ont conduit à telle ou telle conclusion. Si par exemple, on a un système informatique qui aide la banque à décider d'un prêt bancaire et que celui-ci dit à un client « Non, on vous refuse votre prêt. » il faut être capable de lui en indiquer les raisons, par exemple parce qu'il est trop âgé, qu'il ne gagne pas assez, qu'il dépense trop etc. Si le système répond juste « Non, parce que votre score est à 0,75 et qu'il faut 0,80 pour vous donner le prêt. » ce n'est pas du tout acceptable. Bien sûr, ces questions ne sont pas neuves... Mais, cela ne veut pas dire que nous sommes capables de les résoudre.

Symbolisme, explications et argumentation

Mehdi Khamassi

C'est très intéressant que tu parles de la notion d'explication car au fond quand on pense à nous humains, on est, la plupart du temps ou du moins de temps en temps, capable de dire « J'ai abouti à telle solution parce que j'ai raisonné comme ceci, comme cela ». On est capable d'ailleurs d'échanger et de partager pour ensuite corriger le raisonnement de l'autre et d'avancer dans ce sens. Pour l'instant, il me semble que les machines développées et les programmes ne sont pas encore capables de donner ces explications elles-mêmes. Pour pouvoir donner des explications, il faut peut-être quelque part extraire, simplifier des choses sur le processus et le rendre un peu symbolique, il me semble.

Jean-Gabriel Ganascia

C'est exactement ce qu'on essaye de faire aujourd'hui, car on se rend compte qu'autrement on sera conduit à une impasse. Il y a aura peut-être certaines applications en reconnaissance d'image qui

fonctionneront, mais tout un tas d'autres applications qui sont extrêmement bénéfiques en pratique, ne seront pas acceptées socialement. Donc cela est tout à fait essentiel. Concernant le deuxième point important que tu évoques, il y a non seulement les explications mais aussi l'argumentation. Il faut être capable, lorsqu'une machine nous donne un certain nombre de réponses, de mettre en cause certains éléments, de dire "voilà tel argument est compréhensible, mais il semble qu'il y ait un contre-argument à cet argument". Des travaux commencent à se déployer aujourd'hui pour mettre en évidence ces phénomènes d'argumentation collective. Ça peut être une argumentation entre des hommes ou entre des hommes et des machines. Et, bien sûr, lorsque cette argumentation se déploie entre des hommes et des machines, les arguments de la machine peuvent être construits à partir des résultats de l'apprentissage. Cela ouvre bien sûr beaucoup de possibilités. Ce qui est important c'est que l'ordinateur ne deviennent pas un oracle dont on se sente forcé d'accepter les sentences, sans rien dire. C'est la raison pour laquelle il faut instaurer un dialogue entre des hommes et des machines d'un côté, et entre des hommes par l'intermédiaire des machines.

II. La notion d'IA forte a-t-elle un sens ?

Mehdi Khamassi

Alors cela me donne envie qu'on discute un petit peu de la notion d'IA forte. Comme tu l'as souligné plusieurs fois dans tes ouvrages et notamment dans *Le mythe de la singularité*, une partie de ceux qui annoncent l'avènement de l'IA forte, enrobent ça de plein de choses, comme l'idée d'une singularité dans l'évolution des sociétés humaines. Il y a beaucoup d'arguments farfelus, alarmistes mais on va y revenir. Mais au fond, à vouloir dire [comme tu le fais], et c'est important, "Attention il faut décomposer ces raisonnements-là et les ramener à des choses réalistes basées sur un raisonnement scientifique", parfois tu dis à du "catastrophisme éclairé" comme le propose Jean-Pierre Dupuy, il arrive qu'on se demande si tu es sceptique sur l'avènement d'une IA forte qui dépasserait l'homme ou alors si tu considères que c'est éloigné dans le temps.

Jean-Gabriel Ganascia

Moi je trouve que le concept même d'IA forte est très problématique en lui-même parce qu'il repose sur un article de foi, tandis que l'intelligence artificielle depuis qu'elle se développe, est d'abord une discipline empirique, de modélisation et de confrontation [des performances des machines et des hommes, ou des machines entre elles]. On est capable de mieux en mieux comprendre certains aspects de l'intelligence, certaines fonctions cognitives en les simulant et en mesurant l'écart entre la simulation et la réalité. Ça peut être la cognition humaine ou la cognition animale. C'est quelque chose que je trouve extraordinaire. C'est d'ailleurs pour cela que j'ai commencé à faire de l'IA, parce que je me demandais ce qu'était l'intelligence. Quand j'étais enfant, on faisait passer [à tous les écoliers] des tests de QI qui demeuraient très mystérieux pour moi. J'ai essayé de comprendre quelle en était la signification et les limites. C'est quelque chose de passionnant. [...]

L'IA forte c'est autre chose. C'est l'idée qu'à un moment donné, la machine va s'emballer et prendre le pouvoir sur nous. [Cela m'apparaît invraisemblable. C'est un article de foi, pas une hypothèse scientifique.] Paradoxalement, la notion d'IA forte a été introduite par John Searle pour criti-

quer un certain nombre de philosophes, pas du tout pour...

Mehdi Khamassi

.. pour annoncer l'avènement.

Jean-Gabriel Ganascia

Oui c'est ça. En réalité, il a essayé de radicaliser la position de ses collègues [, les philosophes cognitivistes, avec qui il était en désaccord]. Il l'a fait au milieu des années 1980-85, en introduction à son expérience de pensée sur la chambre chinoise. Là, il explique qu'il n'a rien contre l'intelligence artificielle, que ça le fascine, qu'il est certain que cette discipline va faire des progrès considérables et que ce n'est pas la puissance empirique des machines qu'il met en cause. Il va même jusqu'à affirmer qu'on sera peut-être capable, un jour, de fabriquer une machine qui simulera complètement le vivant. Là n'est pas le problème. Ce qui lui paraissait extrêmement douteux, c'est l'idée selon laquelle quelques manipulations de symboles suffisent à reproduire des phénomènes sémantiques. Selon lui, il faudrait, si on voulait simuler le vivant, qu'il y ait un degré de finesse qui soit analogue à celui de la chimie. La grossièreté des moyens mis en œuvre par l'intelligence artificielle permettra, certainement, de rendre des services pratiques, mais on n'arrivera jamais à accéder aux phénomènes producteurs du sens, à la sémantique. Pour caractériser cela, il l'appelle « IA forte » une IA qui accéderait au sens et « IA faible » une IA qui se contente de procéder à des manipulations de symboles et de faire illusion. Curieusement, la notion d'« IA forte » a été reprise quelques années plus tard par des spécialistes d'intelligence artificielle, en particulier par un roboticien qui s'appelle Hans Moravec, et par d'autres qui ont tous affirmé qu'ils étaient en train de réaliser l'IA forte. En fait, ce qu'ils voulaient dire à propos des méthodes symboliques que critiquait John Searle, c'est que l'intelligence artificielle d'aujourd'hui — nous étions au milieu des années quatre-vingts — sera capable d'aller au-delà puisqu'elle ne se limite pas aux méthodes symboliques. C'est pour ça qu'on a inventé l'idée de GOFAI. Le problème c'est que cette critique faite au milieu des années 1980 pour critiquer l'intelligence artificielle du début des années 1980 et de la fin des années 1970 n'a plus de pertinence aujourd'hui, 35 ans plus tard, car cette nouvelle approche de l'intelligence artificielle, qu'on a appelé « la nouvelle intelligence artificielle », est presque aussi vieille que l'autre. En plus de ça, elle passe sous silence le fait qu'il y avait déjà du numérique auparavant, au tout début de l'IA et, surtout avant, avec la cybernétique. Ce qui est très curieux donc, c'est que ce sont des arguments contextuels qui auraient dû disparaître avec le temps. À l'époque, pour donner plus de poids à ses arguments, Hans Moravec prophétise qu'on va arriver à l'IA forte, celle dont John Searle disait qu'elle n'était pas accessible à partir des méthodes symboliques classiques. Et il explique que l'approche sub-symbolique qu'il déploie y arrivera [, puisqu'elle s'affranchira des limitations de l'approche symbolique]. C'était quand même d'une très grande naïveté parce que, bien sûr, ça n'atteignait pas le « niveau de finesse » de la chimie qui seul aurait permis, selon Searle, d'accéder aux phénomènes sémantiques. Et, bien évidemment, ce n'est toujours pas le cas aujourd'hui, et l'on en est toujours extrêmement éloigné. Il ne s'agit pas ici de critiquer des méthodes qui se révèlent très puissantes, mais simplement de dénoncer des prétentions excessives. Dit autrement, il y a une démarche scientifique rationnelle, reposant sur des preuves empiriques et/ou mathématiques — c'est la science telle qu'elle existe — et puis il y a des « croyants » qui affirment avec une forme de dévotion que l'intelligence artificielle adviendra bientôt. Et, ici, on sort du champ de la rationalité ; cela relève de la foi, puisqu'on nous explique que ça va arriver, parce que ça doit arriver. [C'est de cette idée dont il faut se départir.]

Une dernière chose. Que les machines soient plus performantes que les hommes dans l'exécution de certaines tâches, c'est évidemment vrai depuis longtemps, en particulier depuis le début des ordinateurs. Ceux-ci font bien mieux les multiplications que nous ; et, il en allait ainsi avant même les premiers ordinateurs, avec les machines à calculer qu'Alan Turing a fabriqué pendant la seconde guerre mondiale. Donc, que les machines nous dépassent, on le sait depuis très longtemps. La question c'est de savoir si elles vont — et c'est cela qu'on craint avec l'IA forte — prendre le pouvoir pour nous asservir, au sens où on n'aura plus de capacités à nous autodéterminer. Je pense qu'il n'y a aucun argument sérieux derrière cette idée.

Quand les succès de l'IA marquent son éloignement des modèles de la cognition humaine, est-ce un échec ?

Mehdi Khamassi

Justement sur cette construction de symboles et notamment pour raisonner ou pour ensuite faire du langage, même s'il me semble que les méthodes ont beaucoup évolué, avec des méthodes numériques et des réseaux profonds ou autres, ce qui est fascinant c'est qu'encore aujourd'hui il y a toujours une négligence de certains processus comme l'importance du corps dans la construction d'un symbole, qui me semble pourtant quelque chose de central en sciences cognitives. Certes on a des algorithmes de plus en plus efficaces, par exemple, pour faire de la traduction automatique ou pour générer du texte. Ces textes peuvent paraître surprenants car on aurait presque l'impression qu'ils sont générés par un humain étant donné qu'ils respectent des régularités statistiques observées dans des grandes quantités de données. Mais au fond, ça ne veut pas dire qu'il y a compréhension des termes manipulés. On a l'intuition qu'éventuellement des travaux qui pourraient être faits – sur du très long terme – prenant en compte les informations sensori-motrices, le corps, et donc peut-être plus du côté de la programmation de l'intelligence artificielle sur des robots, pourraient être plus prometteurs. Ne serait-ce que, dans mon intérêt, pour comprendre comment chez l'être humain l'émergence de symboles est ancrée dans le sensori-moteur. Peut-être que de ce point de vue là, on pourrait arriver à des choses intéressantes, à une prochaine étape.

Jean-Gabriel Ganascia

Oui tout à fait. Je crois utile de se pencher de nouveau sur les premiers travaux de Turing. Avant d'écrire son article sur l'intelligence computationnelle dans la revue *Mind*, il avait commencé par d'autres articles, qui étaient des essais préliminaires sur cette question. Dès le départ, il était bien conscient de la complexité de la notion d'intelligence ; il ne souhaitait pas la réduire ; mais, dans un premier temps, il essaya d'éliminer un certain nombre de dimensions, en particulier tout ce qui était ancré dans le monde, parce qu'il jugeait que c'était trop difficile à simuler. Ce n'est pas parce qu'il pensait que ça ne relevait pas de l'intelligence. Plus tard, beaucoup de gens ont critiqué son approche en disant "C'est trop abstrait". Pourtant, il n'a jamais restreint l'intelligence à des abstractions. Il a simplement préféré, dans un premier temps, s'occuper de choses simples, pour obtenir des premiers résultats. Cela le conduisit à isoler un certain nombre de tâches intellectuelles qui ne requéraient pas de perception et de présence au monde, et qui peuvent donc se faire de façon totalement abstraite. Il en voit plusieurs : il pense aux jeux, notamment au jeu d'échecs, ensuite à la cryptographie et à la

traduction automatique.

Mehdi Khamassi

Ah. Alors là je serais moins d'accord.

Jean-Gabriel Ganascia

Peu importe ce qu'on en pense aujourd'hui, mais c'est révélateur du point de vue de Turing. Ensuite, après avoir envisagé la traduction automatique, il songe au dialogue. Cela va le conduire à la deuxième version du test dit de Turing, qui passe par une simulation de dialogue alors que la première était un jeu d'échecs. Et, comme il se rend compte que, pour conduire un dialogue, il faut disposer d'une immense quantité de connaissances sur le monde, il réfléchit à leur acquisition, ce qui l'amène à réfléchir aux différentes techniques d'apprentissage automatique que devrait concevoir. Pour la traduction, il la voit comme purement statistique. Rappelons que l'histoire de la traduction automatique commence sur ces bases-là en 1952, avant l'intelligence artificielle. Les premiers projets de machines à traduire datent même de 1949 avec Warren Weaver, juste après les théories de l'information de Claude Shannon. Les premières machines à traduire se basent sur des gros dictionnaires. En 1964, le rapport ALPAC [Automatic Language Processing Advisory Committee ; rédigé par un comité de sept scientifiques menés par John R. Pierce met en cause ces efforts de traduction automatique. Des linguistes affirment que c'est vain ; qu'on ne parviendra jamais à traduire de cette manière, sans compréhension, sans connaissances linguistiques, qu'elles soient syntaxiques, sémantiques ou pragmatiques. Dans les quarante ans qui suivirent, on n'a pas arrêté de dire qu'il fallait se référer à différents niveaux linguistiques (lexical, syntaxique, sémantique, pragmatique, etc.) et introduire des connaissances spécialisées relatives à chacun pour faire de la traduction. Je me souviens des cours de Jacques Pitrat sur le langage naturel où il expliquait qu'il ne fallait surtout pas utiliser les anciennes méthodes des années 1950. Et en 2005, tout change. Apparaît alors une nouvelle hallucinante : Google affirme — même si d'autres personnes avaient commencé à le suggérer — qu'il suffit de faire des statistiques. Que les connaissances linguistiques sont inutiles. Et, les résultats le prouvent ! Les performances des systèmes de traduction statistique sont excellentes, bien meilleures que celles des systèmes fondés sur l'utilisation de connaissances linguistiques. Pour le futur on ne sait pas dire. Il y a certainement des subtilités dont on ne parviendra pas à rendre compte si on n'approche pas les aspects syntaxiques et sémantiques, etc. Pour l'instant, ces outils de traduction automatique marchent bien. Mais on ne sait pas pourquoi ça marche, ça reste mystérieux. Il faudrait vraisemblablement faire appel à d'autres domaines du savoir pour les améliorer. Ce qui est difficile avec l'intelligence artificielle, c'est qu'il y a des choses dont on se dit qu'elles devraient se faire comme ça, car elles sont faites comme ça, et pourtant on obtient de meilleurs résultats avec des méthodes qui sont totalement différentes. D'un côté, on peut dire c'est la puissance de l'intelligence artificielle, et d'un autre côté, c'est son échec.

Je vais essayer de m'expliquer sur cet échec en prenant pour illustration justement, et sans jeu de mots, le jeu d'échecs. On a commencé à vouloir faire des machines qui jouent aux échecs très tôt. Par exemple, Torres y Quevedo [réalisa dans les années 1920 un automate qui jouait face à un adversaire humain des finales Roi et Tour contre Roi seul]. Claude Shannon et Alan Turing ont écrit des programmes informatiques du jeu d'échecs, parce que les échecs paraissaient emblématiques de l'intelligence. Le film de Bergman, *Le 7ème sceau*, met en scène le diable, intelligence abstraite [et désincarnée], qui joue aux échecs. Cela paraissait crucial. On se disputait sur les performances des

machines. Certains prétendaient qu'un jour une machine battrait un homme, un grand maître, tous les hommes... D'autres se refusaient à l'admettre. En 1968, David Levy, grand maître international, paria qu'aucune machine ne le battrait d'ici dix ans. En 1978, il gagna son pari, mais comprit que des machines l'emporteraient bientôt. Ce fût fait en 1989 avec la machine Deep Thought qui le battit. Ensuite, je passe les détails, mais en 1996 une nouvelle machine, Deep Blue, l'emporta sur le meilleur joueur au monde, Garry Kasparov. [Que ce soit Deep Thought ou Deep Blue.] la machine joue avec ce qu'on appelle la « force brute », à savoir à l'exploration d'un grand nombre de possibilités, du moins grosso modo, car il y a tout de même, dans ces programmes des connaissances sur les ouvertures de parties, des catalogues de fins de parties, des stratégies variables selon la phase de jeu, etc. Mais c'est la puissance de calcul qui l'emporte, ce qui veut dire que la machine ne joue pas comme les hommes, même s'il ne faut pas caricaturer, car ces programmes emploient tout de même quelques connaissances humaines, comme nous venons de le voir. Mais, le succès de Deep Blue contre Kasparov a donné un coup d'arrêt aux recherches conduites auparavant par les chercheurs qui essayaient de modéliser la façon dont les joueurs humains jouaient. En particulier, Herbert Simon et Fernand Gobet avaient fait des études formidables où ils avaient utilisé les travaux d'un psychologue, Adriaan de Groot, lui-même joueur d'échec, et qui avait interviewé beaucoup de grands maîtres aux échecs afin de comprendre comment ils se représentaient le jeu, comment ils mémorisaient la partie en cours, comment ils décidaient de jouer, quelles étaient leurs stratégies, etc. Or, tous ces travaux n'intéressaient plus personne, car ce qui les justifiait c'était qu'une machine l'emporte sur le champion du monde au jeu d'échecs. Donc d'un côté, c'est une victoire de l'intelligence artificielle capable de l'emporter sur Kasparov, le meilleur joueur d'échecs au monde, et en même temps c'est un échec, parce que ce n'est pas la modélisation des facultés cognitives humaines qui a permis de l'emporter. On retrouve ça avec le jeu de go et un peu partout. C'est en effet un paradoxe de l'intelligence artificielle. Lorsqu'elle arrive à réaliser des tâches de façon extrêmement efficace avec des méthodes qui ne sont pas les mêmes que celles qu'emploient les hommes, elles ont d'un côté des résultats qui sont pragmatiquement époustouflants, mais d'un autre côté comme ce sont des méthodes différentes des humains, cela joue en sa défaveur. En tout cas pour la traduction automatique c'est ça. Donc, il est vrai que cela permet de faire des progrès si on est capable de poursuivre dans la modélisation. Mais bien sûr, si on ne fait plus de modélisation comme cela se produit aujourd'hui en traduction automatique, d'une certaine façon cela a un côté stérilisant pour les sciences du langage, en tout cas pour l'étude de la traduction, puisqu'on ne va plus s'intéresser à des subtilités liées à la façon dont les hommes traduisent.

Mehdi Khamassi

Et dont la compréhension pourrait peut-être aider à plus long terme l'intelligence artificielle elle-même, qui sera à ce moment-là sur des subtilités.

Jean-Gabriel Ganascia

Tout à fait.

III. Quelle forme d'autonomie peuvent atteindre les systèmes artificiels ?

Mehdi Khamassi

Dans cette veine, on pourrait se poser la question : est-ce qu'une machine, un système artificiel, peut être autonome ? Je trouve que c'est une question importante. Tu le soulignes, notamment dans Le mythe de la singularité, qu'il faut faire une distinction entre d'une part une autonomie technique - par exemple apprendre à une machine de guerre à décider si elle tire ou non - ce qui est juste la base de l'autonomie. D'autre part, l'autonomie philosophique qui est beaucoup plus large et qui consiste à se définir ses propres buts, donc un autre cadre. J'ai l'impression que, même s'il y a peu d'équipes qui sont en train de le faire, qu'il n'y a rien qui me semble empêcher des machines d'être programmées pour avoir un niveau d'autonomie intermédiaire, avoir des fonctions de récompenses, avoir des objectifs de maximiser une quantité d'énergie, d'obtenir de l'information pour construire un modèle ou une représentation de l'espace. En même temps, à partir de ces fonctions de très haut niveau qui pourraient, elles, être fixes, on pourrait leur permettre de définir elles-mêmes des sous-buts et de définir ce qu'elles doivent faire à un moment donné comme mission par rapport à une autre. Cela serait, il me semble, un autre degré d'autonomie. Déjà, es-tu d'accord avec ça ?

Jean-Gabriel Ganascia

Qu'on puisse avoir des machines qui se comportent de façon automatique, ce qu'on appelle "autonome" — par exemple, un véhicule autonome qui soit extrêmement élaboré —, et qui, vues de l'extérieur, nous semble présenter une certaine autonomie ça ne pose pas de problème. Mais que des machines soient autonomes, au sens moral, c'est une autre affaire. Pour bien comprendre, prenons la notion de conscience. Que voudrait dire "être conscient" pour une machine ? Pour qu'on puisse y répondre, il faudrait préciser ce que l'on entend par conscience. Or, il y a plusieurs choses derrière ce terme. Dans les Systèmes Intentionnels (1978), Daniel Dennett, s'intéresse à ce qui se produit de l'extérieur, lorsqu'on attribue des intentions à la machine parce qu'au vu de son comportement elle fait illusion ; tout se passe là comme s'il y avait une entité consciente, un agent rationnel. Ce dernier est un investissement qu'on fait ; on prête à la machine des intentions et des connaissances. Ce prêt est rentable, si l'attribution de buts et de connaissances à cet agent permet d'anticiper le comportement ultérieur de la machine. Cette stratégie est très générale ; elle vaut aussi pour un animal ou n'importe quoi d'autres. Lorsqu'on projette des émotions sur un animal, c'est juste une hypothèse que nous faisons ; nous ne savons rien de ce qu'il éprouve vraiment. Mais ça nous permet d'anticiper assez bien les dispositions dans lesquelles il se trouve et, par-là, son comportement ultérieur. On peut faire la même chose avec les machines. Il n'y a aucun doute sur la capacité qu'on aura, dans le futur, à fabriquer des machines sur lesquelles on pourra faire des projections de ce type-là. Il y a une deuxième acception de la notion de conscience relative à la capacité des machines à s'auto-observer. Quand Stanislas Dehaene nous dit qu'il est capable d'approcher la conscience, c'est de cette dimension dont il parle, à savoir de la faculté de s'observer soi-même. Dans le futur, on sera certainement capable de fabriquer des machines qui le font. D'ailleurs, parmi les techniques d'apprentissage, il y a eu, dans les années quatre-vingts, des chercheurs qui abordaient ces problématiques. C'est ce qu'on appelait l'apprentissage par explication. La machine examinait ses comportements passés et, à partir de ses observations, elle essayait de faire en sorte de ne pas reproduire les mêmes errements, et de

devenir plus efficace. Elle regardait son parcours et se disait “j’ai été dans telle direction mais ça ne m’a pas servi à grand-chose ; la prochaine fois, j’irai plus droit au but avec les questions analogues”. Nous avons là une modélisation de la réflexion. Rien ne s’oppose donc à ce qu’une machine puisse être dotée de cette conscience réflexive. Ça lui donnerait un degré d’autonomie, en tout cas d’automatisme, encore plus fort. Ensuite, bien sûr, demeure la question de l’autonomie : est-ce possible ? C’est une question déjà mystérieuse pour nous. Que veut dire pour nous être autonome ? Sommes-nous vraiment autonomes ? Ça ramène à des questions éthiques anciennes. Dans les comités d’éthique de l’intelligence artificielle, on affirme, en s’inspirant des grands principes de bioéthique, qu’il faut préserver à tout prix l’autonomie de la personne humaine. Or, l’autonomie n’est jamais donnée ; elle se conquiert, par la volonté ; et, il en va de même de la liberté. D’ailleurs, toutes les éthiques ne reposent pas sur l’autonomie de la volonté. Ce sont surtout les éthiques des Lumières, au XVIIIème siècle, et à partir de penseurs comme Rousseau, Kant, etc. qui fondent la loi morale sur l’autonomie de la volonté, c’est-à-dire sur la capacité à se donner, soi-même, ses propres règles, sans se soumettre aux traditions ou aux préceptes de la religion. Un sujet de raison s’impose de lui-même un certain nombre de maximes auxquelles il soumet son comportement. Bien sûr, je crois nécessaire de le répéter, cette autonomie n’est pas donnée. Kant explique très bien que, par exemple si on a trop faim, on ne peut pas obéir à ses propres règles. À un moment, le corps se rappelle à nous et nous empêche d’être des sujets autonomes. L’autonomie relève d’un idéal ; un être de raison devrait se comporter de façon autonome ; mais, nous ne sommes pas que des êtres de raison ; nous sommes aussi des êtres de chair et de sang, nous avons faim, nous éprouvons des désirs, etc. Dire qu’une machine peut être autonome en ce sens-là, cela fait peur, car cela suppose qu’elle a des intentions propres qui nous échappent. Lorsque des gens nous disent que tout d’un coup la machine va prendre le pouvoir, c’est l’idée qu’elle va avoir son propre objectif et qu’elle va nous l’imposer. On n’a aucun élément qui nous permette de suggérer ce genre de choses. En revanche, qu’une machine tout d’un coup prenne des décisions qui vont à l’opposé de ce que l’on souhaite et qu’on ne sache pas l’arrêter, ça c’est pas du tout impossible. Ça se voit tous les jours.

Mehdi Khamassi

C’est déjà arrivé oui.

Jean-Gabriel Ganascia

Même si elles font exactement ce qu’on leur a dit de faire, ça ne correspond pas tout à fait à ce qu’on veut qu’elles fassent au moment où elles le font.

Mehdi Khamassi

Je suis totalement d’accord. Au fond, sans forcément impliquer que des machines atteignent l’autonomie idéale, - vu qu’on n’est pas sûr de cette autonomie idéale chez l’humain, - il n’y a pas de raison, qu’on n’arrive pas à programmer des machines avec des modèles qui soient assez proches de ce qu’on comprend de l’autonomie décisionnelle telle qu’on l’observe chez l’humain.

Jean-Gabriel Ganascia

Tout à fait de ce point de vue-là. C’est juste que la notion d’autonomie morale a quelque chose

de très particulier. Il y a, dans la tradition philosophique contemporaine, des personnalités comme Emmanuel Levinas qui s'opposent à Kant sur ce point, parce que justement ce n'est pas le sujet autonome lui-même qui est moral, c'est au contraire dans le rapport à l'autre, l'ouverture au regard de l'autre, au visage de l'autre, - aujourd'hui avec les masques, cette question est d'une douloureuse actualité... je l'ai relu récemment Levinas pour ça. Il parle de "l'épiphanie de l'autre". Effectivement, c'est dans cette altérité radicale de l'autre que tout d'un coup il y a une naissance de la conscience éthique, qui est très différente de l'idée kantienne. Il ne faut pas mélanger les choses et je crois qu'il faut être assez prudent. L'étymologie d'autonomie, auto-nomos, renvoie à nomos, la loi ; cela signifie ce qui se donne sa propre loi. Or, les machines n'ont pas d'intentions propres, même si elles peuvent se comporter de l'extérieur comme si, en effet, elles avaient des intentions. Ça c'est important parce que du point de vue philosophique, il y a des différences. Il y a toujours eu des incompréhensions. Quand Daniel Dennett a travaillé sur les systèmes intentionnels, il a bien souligné que ce n'était pas une question métaphysique. Pour lui, c'est toujours dans une stratégie de compréhension des machines, qu'on leur attribue des intentions et des connaissances. C'est de ça dont il est question.

Implications sociétales des discours annonçant la singularité

Mehdi Khamassi

J'aimerais qu'on aboutisse maintenant à la question sociétale de l'implication de ces discours qui vont annoncer notamment la singularité. Comme tu le soulignes, certaines personnes qui l'annoncent se basent non pas sur un vrai raisonnement scientifique, éclairé, mais plus sur des choses de l'ordre du mythe, des peurs et des émotions. En même temps, une partie de ces gens, qui peuvent parfois avoir des liens forts avec des géants du web, sont finalement ceux aussi qui peut-être bénéficieraient du fait de l'avènement de ça et de ces technologies. Est-ce que tu penses qu'il s'agit en partie d'une opération marketing, qui a moins comme visée de nous éclairer dans le débat, de nous aider à mieux comprendre, mieux réagir et nous adapter dans le futur à la présence d'intelligences artificielles, que d'en faire un certain beurre ? Peut-être qu'il ne faut pas schématiser comme ça. Qu'est-ce que tu en penses ?

Jean-Gabriel Ganascia

C'est parce que j'ai entendu tout un tas de déclarations de personnalités reconnus, d'anciens ingénieurs comme Ray Kurzweil, de scientifiques éminents comme Stephen Hawking ou Frank Wilczek, prix Nobel de physique, d'homme d'affaires célèbres comme Elon Musk, même de chercheurs très renommés en intelligence artificielle comme Stuart Russell qui tous alertaient le monde entier en expliquant qu'il y avait quelque chose d'inquiétant dans le développement des machines, que j'ai essayé de lire en détail leurs arguments. Au début, je trouvais cela ennuyeux. La lecture de leurs écrits m'a confirmé dans mon intuition première : scientifiquement il n'y a rien là de tangible. L'histoire de la loi de Moore ça n'est quand même pas très sérieux. Ça ne veut pas dire que la loi de Moore ne va pas se poursuivre, mais on n'en sait rien. Et quand bien même elle continuerait, ça ne signifie pas que les machines deviendront conscientes et qu'elles nous deviendront hostiles. De même la "superintelligence" de Nick Bostrom n'est pas définie ; elle est affirmée comme devant advenir, puis

différents scénarios sont dressés. J'ai essayé de lire son bouquin ; c'est d'une très grande opacité. Il faudrait revenir à la question initiale : qu'est-ce que l'intelligence ? C'est ce qui m'a motivé au départ pour faire de l'intelligence artificielle. Ça reste un mystère. On ne se sait pas ce que c'est. On l'approche en la réduisant à un ensemble de fonctions cognitives. Il y a peut-être quelque chose d'autre qui échappe à la modélisation, par exemple la création de concepts, mais peu importe, là n'est pas la question. En tout cas, on ne peut pas réduire l'intelligence à une vitesse de calcul d'un processeur. C'est d'un ordre différent. J'ai regardé en détail les articles, les déclarations et les ouvrages des tenants de la Singularité technologique ou de la super-intelligence et j'ai été très surpris parce qu'il n'y avait rien d'autre que des vues très naïves sur l'intelligence et de la science-fiction assez datée. Ce qui est curieux c'est que les géants du web, qui utilisent beaucoup l'intelligence artificielle, nous expliquent en même temps qu'elle fait peur. On se trouve dans une situation très paradoxale. C'est comme si un marchand de tabac nous expliquait que la cigarette est dangereuse. La cigarette est dangereuse, je n'en doute pas, mais que le marchand de tabac essaie de m'en convaincre, sans que je ne lui aie rien demandé, cela laisse suspecter quelque chose de louche. Les GAFA nous expliquent que l'intelligence artificielle est dangereuse et, pourtant, ils la développent et s'en font les champions. Quel danger annoncent-ils ? Ils nous racontent une fable incroyable qui se retourne toujours : d'un mal, dont ils prétendent nous avertir, ils tirent un bien. Quand, par exemple, Ray Kurzweil nous dit qu'il faut faire attention parce que la singularité est proche, en même temps il nous dit qu'on va être sauvés par la singularité puisqu'on va pouvoir se survivre et devenir immortel en téléchargeant notre conscience sur les machines. Promesse d'apocalypse ! On sort du champ de la rationalité. De même, quand Elon Musk affirme que l'intelligence artificielle est dangereuse, et qu'il prétend nous sauver en nous aidant à rivaliser avec l'intelligence artificielle grâce aux puces qu'il mettra dans nos têtes pour augmenter nos facultés cognitives. Je ne suis pas un spécialiste de neurosciences mais concernant la capacité qu'on aurait à augmenter nos capacités mnésiques en ajoutant des dispositifs électroniques de stockage, c'est outrancièrement réducteur ! On sait tous que la mémoire, ce n'est pas seulement le stockage, c'est quelque chose de beaucoup plus passionnant que ça.

Mehdi Khamassi

Oui, le tri par exemple.

Jean-Gabriel Ganascia

Tout ce qui est de l'ordre du codage, de ce qui se passe pendant le sommeil, le rêve, la consolidation, ce qui est lié à l'accès, à la réminiscence, tout est évacué ! Cette vision est tellement simpliste qu'elle en est risible. Pourquoi ai-je écrit ce livre sur le mythe de la singularité ? Parce que je me suis rendu compte qu'il y avait beaucoup de discours là-dessus et beaucoup d'arguments qui ne tenaient pas vraiment ; qu'on nageait en pleine confusion. J'ai alors réalisé que c'était à moi, en tant que scientifique et spécialiste d'intelligence artificielle, de relire ces choses et d'expliquer, dans les promesses, celles qui sont tenables et celles qui ne le sont pas. Ça conduit alors à expliquer au grand public ce qu'est la loi de Moore, l'exponentiel et pour quelles raisons les arguments qui se fondent uniquement là-dessus n'ont rien de scientifique. On ne peut pas anticiper ce qui va se passer à partir de la loi de Moore, car ce n'est qu'un résumé d'observations de l'évolution technologique à un moment donné de l'état de la technologie, ce qui fait que, lorsque la technologie évolue, on n'a plus de certitude sur sa viabilité. Mais après, une fois qu'on a montré l'inanité de ces affirmations, ce qui est intéressant, c'est de se demander pourquoi des personnalités reconnues, alors qu'elles n'ont pas l'air d'être idiotes, allèguent des théories aussi farfelues, au risque de se décrédibiliser ?

Mon hypothèse est que plutôt que de nous éclairer, ils essayent de jeter un écran de fumée sur ce qui est en train de se produire. Pourquoi ? Parce que derrière ils ont une stratégie qui, au-delà d'être économique, est politique. Ces grands acteurs de l'internet veulent essayer de prendre le pouvoir au-delà des États, d'assumer à leur place un certain nombre d'attributs de la souveraineté. Ils nous racontent donc une fable qui a pour visée de nous endormir. Mais en réalité, derrière, ils veulent aller très loin. Bien sûr, si on a peur de la singularité, on ne va pas voir ce qui se produit vraiment. Ce qui se produit vraiment c'est non seulement une puissance économique considérable mais aussi des attitudes qui défient en permanence les États. On l'a vu, par exemple, avec Apple. Au moment du premier confinement contre la CoViD, l'accord entre Apple et Google, le protocole qu'ils ont essayé d'imposer aux États européens, est tout à fait révélateur de ce type d'attitudes. Et dernièrement, Twitter a décidé de supprimer le compte de Donald Trump. Je n'ai aucune sympathie avec Donald Trump, mais il s'agit là d'une prise de pouvoir vraiment considérable : s'opposer au président de la république de son propre pays ! Cela pose tout un tas de questions. À partir du moment où les outils de communication sont essentiels pour les citoyens, puisque ça fait partie de leur vie civique, on ne peut pas leur supprimer l'accès à ces outils de façon autoritaire, sans procès, sans instruction du dossier, simplement parce que le propriétaire du réseau social l'a décidé. Cela aurait dû passer par la loi. Les réseaux auraient dû appliquer le droit. De même, en France la question se trouve posée avec la loi Avia. Sur le principe, le gouvernement avait raison, il faut imposer des limites à ce qu'on est peut dire sur les réseaux sociaux : la diffamation, l'incitation à la haine et à la violence sont inadmissibles ; mais il y a des lois qui établissent, avec précision, ces limites ; il suffit de les appliquer. Le problème de la loi Avia, et c'est pour cette raison que le Conseil Constitutionnel ne l'a pas acceptée, c'est qu'elle proposait de confier aux réseaux sociaux la responsabilité de décider de ce qui est acceptable ou non. Cela leur donne à mon sens un pouvoir de censure vraiment considérable. J'ai eu le sentiment que derrière les affabulations des GAFAM au sujet de la Singularité, il y avait des stratégies politiques passant par l'obscurcissement, le brouillage de ce qui en train de se tramer en secret. Je dois dire que j'ai été très étonné de voir à quel point ces fantasmagories avaient du poids.

Difficulté à publier en anglais une critique de la singularité

Jean-Gabriel Ganascia

Pour donner un exemple, un peu avant que j'écrive le mythe de la Singularité, un de mes anciens élèves qui avait un poste important chez Axa m'avait posé des questions pour savoir comment la Singularité changerait le futur et quels étaient les risques. Comment est-ce possible qu'une société aussi importante se soit posée des questions là-dessus ? Comment se fait-il qu'ils aient été impressionnés ? À cela il est important d'ajouter que la puissance de ces grands acteurs de l'internet fait que même les philosophes du domaine étaient très réticents à critiquer la Singularité technologique. Ainsi, au plan personnel, je m'étais intéressé, depuis quelques années, aux questions philosophiques liées à l'informatique et à l'intelligence artificielle, en particulier à la modélisation des raisonnements éthiques avec des outils d'intelligence artificielle, autrement dit à ce que l'on appelle l'éthique computationnelle, et je continue de travailler là-dessus. C'est à ce moment que, constatant qu'il y avait trop de discours absurdes sur la Singularité, j'ai ressenti le besoin d'écrire sur le sujet. J'ai donc écrit un article pour une conférence où il y avait trois pelés dans la salle. Après moi, dans la même session, il y avait quelqu'un qui disait des âneries sur l'intelligence artificielle. C'était assez pitoyable. Puis, j'ai écrit un article pour le publier dans l'édition spéciale de la revue qui faisait suite à la conférence.

Il y a eu deux relecteurs. L'un, très positif, m'a demandé de changer quelques détails, comme il est d'usage. L'autre m'a répondu qu'il ne pouvait pas être d'accord avec moi sur certaines critiques que j'adressais à Singularité et il m'a demandé de citer 4 fois un article avec le même premier auteur. J'ai alors supposé qu'il s'agissait du premier auteur de l'article. J'ai regardé sur le web ; il se trouve que je le connaissais et qu'il était régulièrement invité à faire des exposés dans les universités de la Singularité ! On a donc donné un article critique sur la Singularité à relire à un tenant de la Singularité. Puis, la personne chargée d'éditer le numéro spécial m'a répondu que, comme nous étions le relecteur et moi, sur deux positions opposées, et que mon article était bien évalué, qu'elle allait lui demander de rédiger une réponse. Cela me réjouissait. Mais, quelques mois plus tard, alors que j'avais oublié l'article entre temps, je reçois une revue d'un troisième relecteur, vraiment furieux, qui proposait de vider l'article de son contenu. J'étais un peu étonné. Je connaissais bien le rédacteur en chef de la revue. Je lui ai demandé si je pouvais réécrire mon article. Il m'a découragé en m'expliquant qu'il y avait très peu de chances que l'article soit finalement accepté et publié dans cette revue, quoi qu'il advienne. Puis je l'ai revu après et il m'a avoué qu'il était difficile d'écrire quelque chose contre la singularité car les enjeux étaient trop importants. J'ai donc compris qu'il y avait une difficulté à parler de ces choses-là en anglais. J'ai donc décidé d'écrire un livre en français. Aujourd'hui, le bouquin est traduit en japonais, en coréen, en portugais, en arabe mais pas en anglais. Fort de cette expérience, je crois pouvoir affirmer qu'il y a sur ces questions-là une ligne extrêmement forte dans les pays anglo-saxons.

Ces théories de la singularité viennent de la science-fiction

Jean-Gabriel Ganascia

La dernière chose étonnante est que ces théories de la singularité viennent de la science-fiction. Si on regarde Elon Musk, ses grands projets industriels en viennent. Prenons par exemple SpaceX : le projet vient d'histoires un peu ridicule de petits hommes verts rencontrés lors d'expéditions sur Mars. Aujourd'hui, il est impensable d'envoyer un homme sur Mars. Un robot ou une fusée, oui. Mais ce serait d'une extrême cruauté que de laisser quelqu'un trois ans dans une fusée dans des conditions difficiles. De même, Neuralink est emprunté à la science-fiction, de l'écrivain Iain Banks par exemple, etc. On a donc l'impression que les grands entrepreneurs de l'internet empruntent à la science-fiction un certain nombre de thématiques en expliquant qu'ils vont les réaliser. Ce faisant, on inverse la fonction de la science-fiction. Au début, songeons à Jules Verne, elle prenait acte des réalisations des scientifiques et en nourrissait un imaginaire littéraire, tandis qu'aujourd'hui, on part de l'imaginaire de la science-fiction et on l'introduit dans les projets technologiques des entreprises privées. Bizarrement, tant la Commission européenne que les organismes de financement de la recherche aux États-Unis, souhaitent qu'on décrive de la science-fiction dans les projets de recherche ; ce qu'on appelle un "breakthrough", une promesse de percée technologique, condition nécessaire pour qu'un projet soit financé, tient justement à un conte de science-fiction auquel on doit se référer. Je suis sûr que toi aussi quand tu as écrit tes papiers ou tes demandes de financements, on t'a demandé de mettre en avant ces "technological breakthrough".

Mehdi Khamassi

Oui, souvent.

Jean-Gabriel Ganascia

En réalité ce que demandent les bureaucrates européens c'est qu'on promette de réaliser des rêves de science-fiction, de la science-fiction qu'ils connaissent, c'est-à-dire de science-fiction un peu éculée, d'histoire de robots soldats, de voyages sur Mars, de mise en réseau des cerveaux... On se retrouve alors, en tant que scientifiques, dans une situation déconcertante où, face aux besoins de financements de nos équipes de recherche, nous nous prêtons à ce jeu. C'est le cas pour nous en tant que chercheurs ; ça l'est aussi pour les industriels. C'est grâce à ça qu'ils décrochent des contrats et qu'ils séduisent les investisseurs. Si maintenant on examine ce que fait Elon Musk, qui est un entrepreneur extrêmement avisé — aujourd'hui certains disent même que c'est l'homme le plus riche du monde —, on constate que ses entreprises sont comme les fusées, à deux étages. Par exemple, avec Neuralink il y a un premier étage qui porte sur les implants neuronaux, dont on sait qu'ils peuvent avoir des applications thérapeutiques extrêmement utiles, et un deuxième étage complètement aberrant qui porte sur cette augmentation de la mémoire et de l'intelligence en connectant les cerveaux au réseau. Régulièrement, il envoie des communiqués pour annoncer que son projet progresse et qu'il obtient des résultats extraordinaires. Mais si on regarde de près, on constate qu'il reproduit des expériences relativement classiques, comme des interfaces ordinateur-cerveau avec des porcs ou des singes, et éventuellement des implants thérapeutiques, encore qu'il n'a pas fait beaucoup parler de ses réalisations sur le sujet. Là-dessus, on sait qu'on peut progresser. En revanche, sur le deuxième étage, on ne progresse pas. Et, rien de ce qui est présenté aujourd'hui n'aborde ce point. Le deuxième étage est conçu non pour être réalisé, mais pour faire rêver et obtenir des financements qui lui permettent de développer le premier. Même chose pour SpaceX, il nous dit qu'on va pouvoir aller sur Mars, mais il n'est pas du tout en train d'aller sur Mars. Il est en train de faire des navettes spatiales ou des lanceurs satellites qui sont en train de damer le pion à Arianespace. Alors d'un point de vue industriel c'est extrêmement utile mais justement il faut bien voir que ça a un rôle qui est de brouiller les pistes et de stimuler l'intérêt des investisseurs.

IV. Sommes-nous dans un processus d'intelligence collective sur les questions d'éthique et d'enjeux sociétaux liés à l'IA ?

Mehdi Khamassi

Au fond, comme tu l'écris, cela produit une sorte de captation de l'attention vers des scénarios catastrophistes qui ne sont pas vraiment basés sur un raisonnement éclairé et qui quelque part, j'ai envie de dire, nous empêchent de bien penser ce que l'intelligence artificielle va pouvoir apporter à notre société. Et, comme tu le soulignes, l'intelligence artificielle peut nous apporter beaucoup de choses aussi. Par exemple, elle peut nous aider à faire sens des nombreuses données qu'on a, pour mieux comprendre le monde, prendre de meilleures décisions, ce qui serait un objectif humaniste justement. Et puis on pourrait aussi réfléchir aux risques qui nous semblent probables et à ce qu'on doit faire. Je voulais du coup te demander ton point de vue, avec ton expérience dans des comités d'éthique et tes interventions, penses-tu que la façon dont les États, l'Europe, mais aussi les sociétés savantes, essayent de gérer cette poussée de l'intelligence artificielle, relève quelque part d'un processus d'in-

telligence collective ? Y a-t-il des choses à améliorer ? Est-ce que les comités d'éthique suffisent ? Qu'est-ce qu'il manque dans tout ça ?

Jean-Gabriel Ganascia

Il y a plusieurs choses. Il y a d'abord le besoin d'une stratégie. Les États essaient d'avoir une stratégie parce qu'ils sentent que c'est déterminant pour leur futur. Je ne suis pas sûr que l'Europe ou que la France y parvienne, parce que souvent l'intelligence artificielle s'est mise en place à partir de petites structures et puis ensuite avec la capacité de lancer de très grandes compagnies. Or, en Europe on a du mal, d'autant plus que comme le monde européen est ouvert sur l'extérieur, dès que de petites sociétés commencent à prendre de l'importance, elles peuvent être rachetées par ces grosses sociétés. On comprend bien sûr que les ingénieurs qui lancent des jeunes pousses gagnent de l'argent au moment où celles-ci sont rachetées. C'est d'ailleurs leur seule chance de gagner un peu d'argent. Donc ils ne vont pas s'y opposer, c'est difficile de le leur demander. En plus, l'Europe n'encourage pas vraiment la création de très grands groupes, et même elle les décourage de multiples façons. Ça c'est un problème de stratégie industrielle qui est énorme. D'autant plus que les financements européens sont donnés avec un mécanisme d'évaluation de projets ouvert à tous les partenaires extra-européens. Les grands groupes internationaux ont accès à toutes les informations européennes puisque c'est totalement ouvert. Ils ont un pouvoir de lobbying extrêmement fort. Si on regarde, que ce soit à la Commission européenne ou au Parlement européen, ils sont en permanence présents dans les réunions. On est dans une situation qui empêche toute stratégie industrielle autonome.

Quand on lit les travaux des comités d'éthique, on l'a vu par exemple avec le livre blanc sur l'intelligence artificielle qui a été fait au plan européen, ce qui est très étonnant c'est qu'on nous explique que l'intelligence artificielle est essentielle, que l'Europe s'engage à faire un effort considérable et à mettre de l'argent pour devenir un champion du monde dans ce secteur. Or, l'enveloppe du budget promis est 10 fois moins importante que celle que mettent les États-Unis, et 50 fois moins que la Chine. Donc ce n'est pas sérieux. Surtout, on ne nous explique pas, ce qui est extraordinaire, tout ce que tu évoquais tout à l'heure sur les perspectives qu'on peut ouvrir avec l'intelligence artificielle, tout ce qui pourrait motiver les européens, ce qui fait qu'il y a un futur. Et c'est particulièrement vrai en France où on est très pessimistes par rapport à ça. En revanche, on nous parle de tous les dangers, de toutes les limites qu'il faut imposer, de toutes les restrictions nécessaires, etc. Bref, on montre tous les aspects négatifs et toutes les précautions qu'on prend, mais jamais des aspects positifs...

Quant aux comités d'éthique que l'on met en place, ce sont bien plutôt des comités de régulation. En tout état de cause, ce ne sont pas vraiment des comités de réflexion sur l'éthique ; l'enjeu n'est pas d'ordre philosophique ; il est d'abord et essentiellement juridique. On a fait ça avec le RGPD, qui a ses qualités et ses défauts. Quand on le regarde en détail, il s'avère très lourd, très coûteux et très ambiguë. D'ailleurs, les différents États européens ne l'interprètent pas tous de la même façon. Et puis sur d'autres choses aussi, on n'engage pas les réflexions qui devraient avoir lieu. Il faudrait former l'ensemble des citoyens et des ingénieurs à une réflexion ouverte à chaque moment, parce qu'on ne peut pas anticiper ce qui se passe avec des principes abstraits et contradictoires. Le problème des technologies de l'information c'est que les modes d'appropriation sont toujours différents de ceux qu'on imagine. Qui aurait anticipé qu'avec des réseaux de copains, que sont les réseaux sociaux, on arrive à transformer la politique dans le monde et à créer à la fois des empires financiers immenses mais surtout des transformations complètes de la politique ? Donc ça, ce sont des choses qu'on a découvert petit à petit. On ne peut pas exiger dès le départ de savoir ce qui va être bénéfique ou néfaste. Quand on regarde les résultats des rapports qui ont été rédigés par les différents comités d'éthique,

ils partent de grands principes de bioéthique qui sont tous un peu discutables et qui, de toute les façons, ne s'appliquent pas vraiment au numérique. En effet, à mon sens les questions d'éthique du numérique ne s'imposent pas dans les mêmes termes que les questions de bioéthique, parce qu'elles ne portent pas sur un individu à un moment donné. Ainsi, en bioéthique, on le sait depuis Hippocrate, le médecin ne doit pas nuire, il doit procurer des remèdes qui soignent et bannir le poison. Peut-on transposer ça et prétendre qu'on ne peut autoriser que des développements technologiques bénéfiques et non maléfiques ? Cela n'a pas de sens ! Était-il possible, en 2007, à la naissance de Facebook, de savoir si les réseaux sociaux seraient bons et pas mauvais ? Je crois vraiment qu'il faut qu'il y ait une réflexion plus en profondeur, une discussion vraiment philosophique, et pas seulement des comités à vocation réglementaire qui rédigent des textes et des recommandations insipides, plus nuisible qu'autre chose.

On l'a vu d'ailleurs dans les régulations du Parlement européen, par exemple, le fait qu'on a eu cette résolution sur la personnalité juridique des robots. Si on réfléchit un peu, ça n'a pas grand sens parce que cela veut dire qu'on va avoir un fond d'assurance pour indemniser les victimes. On a dit que c'était une fiction juridique analogue à la fiction d'une personnalité morale des sociétés. Mais le parallèle ne tient pas : une société possède naturellement de l'argent, c'est sa fonction, alors que, dans le cas des robots, il n'y en a pas. D'autre part, s'il y a un accident mortel, ça relève du pénal, et ça échappera à ce type de législation. Ça veut dire que la cible est extrêmement étroite. En plus de ça, s'il y a un accident qui a des répercussions financières, le fait d'indemniser la victime sans faire d'enquête, en attribuant la responsabilité au robot et enjoignant à l'assurance d'effectuer le remboursement, est très dommageable. Cela permet de faire l'économie de l'enquête alors qu'il conviendrait de pousser les investigations jusqu'au bout pour déterminer les responsabilités exactes et pour améliorer la technologie. Donc, à mon sens, il ne faut surtout pas accepter une personnalité juridique des robots. Je suis donc très gêné face à cette résolution qui m'apparaît éthiquement condamnable.

De même sur les systèmes d'armes autonomes, il y a eu beaucoup de bêtises qui ont été dites, car on suppose, — c'est ce qu'on nous explique dans les projets de moratoires, — qu'ils constituent une révolution dans l'art de la guerre qui serait analogue celle qu'ont introduite la poudre à canon et la bombe atomique. Or ça n'a rien à voir parce que ce n'est pas d'une puissance de feux dont il est question avec les armes autonomes. De plus, il n'y a pas révolution. Ce sont des armes automatiques — c'est pour ça que la différence entre automatisme et autonomie est si importante, — c'est donc une continuation de ce qui s'est toujours fait. Entre une mine et une arme autonome il n'y a pas de différence fondamentale, si ce n'est que la mine normalement est immobile (encore qu'il puisse y avoir des mines mobiles, par exemple en mer). Sous la pression d'un certain nombre de groupes d'influence, cela a conduit le Parlement européen, en février 2019, à voter une résolution qui demande à la Commission européenne de ne pas financer les industriels qui fabriqueraient des systèmes d'armes avec de l'intelligence artificielle. Or, aujourd'hui, tout système d'arme moderne contient de l'intelligence artificielle. Cela revient donc à demander à la commission européenne de renoncer à financer une industrie militaire européenne. En conséquence, cela revient à interdire à l'Europe d'avoir une défense souveraine. Quand on analyse la généalogie de ce type de résolution, on voit qu'elle vient de groupes de pression anglo-saxons, à la fois américains mais surtout anglais. Il faut savoir que c'était à l'époque où les anglais faisaient encore partie de l'Europe mais allaient quitter l'Europe. Or les anglais ont une industrie de l'armement. Donc ça les arrangeait vraiment que l'Europe ne finance pas d'autres industries de l'armement. Ça veut dire que les législations qui sont en cours d'adoption, ou disons qui ont fait l'objet de résolutions au niveau du Parlement européen, se révèlent délétères.

On invoque souvent l'éthique, mais, je ne suis pas sûr que ce soient des questions d'éthique ou des considérations éthiques qui motivent ces décisions. L'éthique c'est d'abord — et surtout sur des domaines nouveaux comme ceux-là, — une réflexion sur ce qui est en train d'advenir, une réflexion

vive et ouverte à toutes les nouveautés. Et pas simplement des corpus de règles contraignantes qui lient les mains.

Stratégie européenne sur l'IA ?

Mehdi Khamassi

Alors il y a plusieurs éléments : il y a les questions d'éthique et puis cette réflexion en profondeur vraiment à un niveau philosophique, et puis tu parles, et c'est important, de stratégie au niveau européen. Dans ce sens-là, est-ce qu'une intelligence artificielle européenne est quelque chose qui a du sens et un avenir selon toi ?

Jean-Gabriel Ganascia

Ça devrait avoir un sens ! En tout cas, je crois qu'on a besoin, dans le domaine du numérique, de travailler à une échelle plus grande qui est celle des nations telles qu'elles existent aujourd'hui, en particulier des États-nations européens. Ce qui fait la puissance des États-Unis c'est qu'ils ont un énorme marché intérieur, avec en plus tout le marché européen. Il me semble que si on veut être capable de mettre en place des très grandes sociétés, il faudrait qu'on puisse avoir un marché de taille équivalente, parce que les données sont proportionnelles à la taille et que la puissance d'un réseau de communication est une fonction quadratique du nombre de nœuds de ce réseau. Donc, plus il y a d'échanges, plus il y a de données et plus on peut développer les techniques d'intelligence artificielle. Je crois donc qu'il est absolument essentiel d'avoir des stratégies européennes. Peut-être que le problème jusqu'à présent, est qu'il n'y a pas de conscience suffisante de cette nécessité en Europe. Sans doute aussi parce que l'Europe est en situation de faiblesse ; elle se prend à son propre piège : elle veut être universelle, ouverte au monde entier et donc elle accueille tous les acteurs d'internet qui font leur propre lobbying et qui sabordent un certain nombre d'initiatives strictement européennes. Qui plus est, ils émargent souvent, à travers leurs différentes filiales, à des programmes européens dont ils pompent les financements. Ils recrutent aussi les meilleurs étudiants dont ils aspirent le savoir-faire. Donc, on se retrouve dans une situation où l'Europe est ponctionnée par différents acteurs. Je pense qu'un jour il y a aura une conscience de ces enjeux-là et à ce moment les choses se transformeront. Mais aujourd'hui on se retrouve dans une situation très difficile de ce point de vue-là.

Questions éthiques pour le chercheur en IA/robotique qui signe des pétitions sur ces sujets

Mehdi Khamassi

Du coup une question que peut se poser le chercheur dans ses actes individuels du quotidien, dans son éthique, dans ses tentatives de contribuer à des choses et parfois juste à une petite échelle : parfois on est exposé à des pétitions qu'on est invité à signer. Notamment, ces dernières années, il y en a qui ont été initiées par des instituts comme, par exemple, le Futur of Life Institute, dont tu rappelles dans tes ouvrages qu'ils sont financés en lien avec ces géants du web, des choses liées à la singularité.

Alors au départ, il y avait des premières pétitions et des concepts un peu fumeux effectivement, de la singularité ou autre, sur lesquels je restais sceptique. Et puis, je me rappelle il y a quelques années, peut-être 2017-2018, il y a avait cette pétition qui disait qu'il fallait faire quelque chose par rapport aux armes autonomes. Je me suis retrouvé face à cette pétition à me dire : dois-je me méfier des personnes qui appellent à signer ? En même temps, le contenu me paraissait important pour qu'on prenne conscience de ça et pour que le débat soit ouvert. Et, par exemple, cette pétition-là je l'ai signée, comme un certain nombre de collègues. Mais avec tout ce que tu racontes, il y avait peut-être des intentions derrière. Que doit-on faire ?

Jean-Gabriel Ganascia

Alors c'est très difficile. Justement sur les armes autonomes, au moment où je l'ai vue, j'ai quand même pris la peine de regarder en détail. Je me suis rendu compte qu'une analyse vraiment approfondie des termes montrait que c'était absurde. Souvent on nous explique que c'est une troisième révolution dans l'art de la guerre. On nous donne des exemples pathétiques avec ces quadricoptères dévastateurs qui attaqueraient des étudiants sans défense ; il y a eu des films à gros budget qui ont été faits pour nous marquer. Quand on les regarde, au premier abord on est effrayé, on a tendance à signer. Mais si l'on fait une analyse plus approfondie, si l'on discute avec des spécialistes de ce genre de choses, si l'on en parle avec des militaires, on se rend compte des affabulations. Il y a des enjeux très particuliers et il faut être très vigilant. C'est la difficulté parce qu'effectivement au départ, dans nos milieux et nos générations, on n'est en général pas très favorables aux industries de l'armement et on n'aime pas tellement la guerre. Donc effectivement lutter contre ça peut sembler relever d'un mouvement spontané de protection contre les méfaits de la guerre. Je conçois qu'on soit contre les armes et contre la guerre, mais lorsqu'on cible les armes autonomes, la portée est toute autre. Quand on lit le texte lui-même, il n'apparaît pas du tout hostile à la guerre. Il affirme même le contraire en expliquant que c'est inévitable car les États sont en train de les développer. En parallèle, il affirme que ce sont des armes seront peu chères, ce qui est contradictoire. Il fait mine d'ignorer que, contrairement à ce qui se produisait dans les années 1950, ce ne sont plus les militaires qui financent les industries de l'armement — c'est beaucoup plus compliqué que ça, — c'est l'industrie grand public et en particulier sur ces dispositifs, c'est plutôt le jeu vidéo qui va financer des recherches qui ensuite pourront être exploitées par les militaires. On est donc dans un cas de figure totalement différent de celui qui existait auparavant. C'est l'absence d'analyse de ce type de choses qui me semble très problématique. Je crois qu'il faut être très vigilant. J'ai écrit, il y a quelques années, un article sur le sujet. J'ai examiné les enjeux européens autour de ces questions. J'ai constaté qu'il y a des mouvements très forts pour imposer un moratoire au développement de ces armes autonomes. Et, derrière, il y a des enjeux d'ordre politique et économiques qui demanderaient à être élucidés avec une grande perspicacité.

Questions éthiques liées à un certain nombre d'applications de l'IA

Mehdi Khamassi

J'ai envie de te poser une dernière question qui suit cette direction. Au fond l'objectif d'une intelligence artificielle éthique bienfaisante, qu'on pourrait développer au niveau européen et pousser dans ce sens, semble, en même temps tel que tu le décris, en tension avec les réalités géostratégiques,

peut-être avec les ambitions du gouvernement américain, des grandes entreprises comme les géants du web et avec les ambitions de la Chine. Comment faut-il selon toi aborder le problème ?

Jean-Gabriel Ganascia

Il faudrait d'abord une éducation de l'ensemble de la population. C'est la très forte demande d'un côté et le refus d'un certain nombre d'applications jugées néfastes de l'autre, qui aideront. Mais, pour cela, il faut expliquer les enjeux. Prenons l'exemple de la reconnaissance faciale et la reconnaissance de postures. Certains veulent l'interdire. Moi je pense que ce serait dommage parce que cela peut avoir des applications extrêmement utiles. Il existe aujourd'hui un patrimoine cinématographique énorme. La reconnaissance faciale peut aider à l'indexer automatiquement. On ne va pas, sous prétexte qu'on peut l'utiliser de façon malfaisante, se priver de ce genre de techniques qui sont essentielles pour mettre en valeur notre patrimoine et notre culture. En même temps, il faut refuser des applications comme celles qu'on développe en Chine, avec un marquage des individus à la culotte. Je crois que ça ne pourra se faire que s'il y a une société qui est aux aguets et qui s'inquiète à juste titre des applications des technologies. Notre rôle de scientifiques est de bien mettre l'accent sur ce qui est vraiment problématique et sur ce qui l'est moins. Il faut être très attentif parce qu'il y a des mécompréhensions. Au moment de la covid avec les systèmes de traçage il y a eu des inquiétudes qui lorsqu'on les analyse dans le détail n'étaient absolument pas justifiées, parce qu'il y avait une très grande attention, notamment entre autre de la part de chercheurs de l'INRIA, à la protection des données personnelles. Beaucoup craignaient qu'avec les applications de traçage, toute les données de santé individuelles deviennent accessibles à l'État, sans songer qu'elles le sont déjà ! Si on décide de ne jamais mettre les données individuelles de santé à disposition de l'État, il faudrait exiger le démantèlement de la sécurité sociale. On doit être raisonnable ! Il faut essayer d'expliquer les différents risques et les mesures de prévention, puis de les mettre en rapport les unes avec les autres, en expliquant la nature des compromis que l'on choisit, collectivement, de faire. Je pense que c'est ça qui est très difficile dans le monde actuel. Je crois que ce qu'il faut c'est qu'il y ait d'abord une conscience des dangers et des enjeux, et en même temps un projet commun, qui sera aussi une motivation, qui ne soit pas simplement un projet frileux, sinon on n'y arrivera jamais, et que l'ensemble de la population européenne et en particulier française s'intéresse à ces choses-là. Or, malheureusement quand on interview des gens dans la rue, on voit qu'il y a surtout des craintes. Les comités d'éthique que l'on a réunis font surtout écho aux craintes. Ils sont là pour dire "On va y aller mais à reculons". Alors qu'il faut y aller de façon enthousiaste et, en même temps, être capable de mettre en place des garde-fous contre des utilisations qui seraient extrêmement dommageables. J'ai mentionné tout à l'heure la notion de "crédit social" telle qu'elle existe en Chine. Je trouve cela terrifiant. Mais il y a plein d'autres applications qui pourraient être problématiques pour notre liberté si l'on n'y prend pas garde. Pour le résumer en un mot, ce qui m'embête, c'est que ces comités d'éthique qui se réunissent depuis 4-5 ans et qui dictent un tas de chartes, de principes et de recommandations, ne se sont jamais opposés au projet d'Elon Musk dans sa société Neuralink, et à sa volonté de connecter tous les cerveaux au réseau internet. D'un point de vue éthique, il n'y a rien de pire : il va nous mettre ce qu'il veut dans la tête. Si cela devait vraiment advenir, ça serait la pire dictature qu'on puisse imaginer. Ce qui m'étonne est que ces comités d'éthique ne s'y sont jamais opposés, alors qu'on aurait dû interdire à Elon Musk de proposer de tels projets. De même, Mark Zuckerberg dit qu'il veut développer des interfaces cerveau-ordinateur. Les interfaces cerveau-ordinateur peuvent jouer un rôle majeur dans beaucoup de domaines, comme la rééducation après un AVC, etc. Mais Zuckerberg souhaite faire ça dans le but de communiquer entre réseaux sociaux et individus, pour percevoir leurs désirs. C'est ici

aussi la pire des choses au point de vue éthique. La morale c'est d'abord d'instituer une distance avec son désir, qu'on est capable de réfréner. Là encore je n'ai pas vu d'opposition par rapport à son projet. C'est cela qu'il faut réussir à dénoncer, et que l'ensemble de la population dise "voilà ce qu'on veut faire voilà ce qu'on ne veut pas faire".

Mehdi Khamassi

Un grand merci, car tous ces éléments sont vraiment éclairants, et vont alimenter nos réflexions dans TESaCo. Et au plaisir de rediscuter de tout ça avec toi.

Jean-Gabriel Ganascia

Au plaisir. Sur les questions de technologies, enfin de neurotechnologies cognitives, je voulais qu'on fasse un avis avec le comité d'éthique de l'Inserm. Je ne sais pas si on en aura le temps. Mais ce sont vraiment des questions qu'il faudrait se poser. Il y a beaucoup de jeunes gens hyper sympas qui montent des petites boîtes développant des technologies neurocognitives ; ils n'ont pas d'intentions machiavéliques. Bien au contraire, ils souhaitent améliorer le bien-être. Mais il faut se demander quels effets induits cela peut avoir, par exemple avec la neurostimulation cognitive. Je pense que dans chaque cas de figure, il faut regarder avec attention ce qui est proposé et être capable d'alerter si nécessaire, tout en faisant en sorte de rassurer lorsque c'est possible. J'ai lu par exemple la loi sur la sécurité globale. J'ai ensuite été interviewé, mais je n'osais pas trop m'exprimer, car c'était une émission à la radio, au moment de la covid, à l'aveugle et je ne voyais ni l'interviewer ni les autres interviewés. De plus, le producteur diffusait des informations très hostiles à la loi. Beaucoup ont cristallisé leurs critiques sur l'article 24, dont ils craignaient qu'il interdise la photographie de policiers au cours de manifestations. Il y a peut-être eu plusieurs rédactions de cet article, mais dans celle que j'ai eu, il n'y avait vraiment pas de quoi s'offusquer. Plus précisément, l'article 24 comprend deux sous-articles. Le premier stipule qu'on n'a pas le droit de publier sur les réseaux sociaux des photos qui permettent de reconnaître des agents des forces de l'ordre. Beaucoup ont interprété ça comme une interdiction de prendre en photo les forces de l'ordre. Or, ce n'est pas le cas. En effet, le deuxième sous-article explique qu'il est possible, si ça se justifie, d'envoyer à la justice des photos qui permettent de reconnaître des policiers qui se seraient mal conduits. En cela, la loi vise à interdire l'appel public à la haine sur les réseaux sociaux, comme cela s'est produit avec Samuel Paty. Cela apparaît justifié. Il faut l'expliquer. Il y a une mauvaise compréhension. Pourtant, il suffit de lire la loi pour s'en convaincre. Je ne suis pas certain que la première rédaction ait été aussi limpide que celle que j'ai lue, mais celle-là était vraiment très claire. C'est notre rôle je crois d'essayer d'expliquer et de démêler le vrai du faux. Malheureusement, c'est difficile parce que nous sommes dans un monde de technologies de l'information où toutes sortes d'informations circulent et où nos facultés d'attention sont saturées. On n'a pas les capacités cognitives de tout lire. C'est un problème de communication. Dans la communication, il y a l'émetteur, le récepteur, le canal et le code. Et, trop souvent, face à la profusion, le récepteur ne prend, dans le flot immense d'information qu'il reçoit, que celles qui l'intéressent.

Mehdi Khamassi

Et c'est un exercice très délicat pour le chercheur parce que des fois on peut avoir l'air de dire "attention il y a cet aspect positif, ou il y a cela qu'il faut nuancer" mais on peut, si on n'a pas bien expliqué certaines choses, être vite mis dans le même sac "Alors lui, il justifie le système". Cela donne l'effet inverse et il n'y a pas plus beaucoup d'écoute.

Jean-Gabriel Ganascia

Sur la reconnaissance faciale, j'ai pris ça comme exemple car c'est vrai que c'est extrêmement intéressant de faire l'indexation des vidéos. On ne va pas s'en priver. Il y a plein d'autres applications d'authentification. L'authentification on peut dire que c'est un peu sécuritaire. En revanche, là, l'indexation de données multimédia n'apparaît pas vraiment sécuritaire ; c'est d'un autre ordre. Pour des raisons culturelles, on doit l'encourager. Notre rôle, en tant que chercheurs, est d'expliquer et d'essayer de faire passer ces idées dans la population en éduquant.

Mehdi Khamassi

C'est une belle conclusion.

LES CAHIERS DE TESACO N°3

Les textes réunis dans ce deuxième numéro des Cahiers de TESaCo sont issus des comptes rendus de cinq séances du séminaire interne de TESaCo ayant eu lieu en 2020 et 2021. Par la diversité de leurs sujets, approches et problématiques, ces contributions reflètent l'extension de notre programme de recherche. Chacune explore les conditions d'un équilibre entre opportunités et risques pour une technologie particulière — que ce soit dans la pratique ordinaire ou dans le contexte d'événements extraordinaires tels que la pandémie de la Covid-19.