

Intelligence artificielle

pour la science
et l'industrie

Cédric Villani a reçu en 2010 la médaille Fields, qui est l'équivalent du prix Nobel pour les mathématiques, discipline où le prix Nobel est inexistant. Professeur, chercheur, passionné de vulgarisation scientifique, homme politique, il a été chargé en 2017 par le Premier ministre Édouard Philippe d'une mission parlementaire sur l'intelligence artificielle. En 2018, il a initié la conférence « AI for humanity », lors de laquelle il a présenté son rapport sur l'IA sous le titre « Donner un sens à l'IA ». En dehors de son activité universitaire, à Lyon et en Essonne, il est engagé dans de nombreux projets associatifs, entrepreneuriaux, publics, en particulier auprès d'une association qui s'appelle SISTEMIC dont le but est de promouvoir les carrières scientifiques et technologiques des jeunes filles.

Introduction : peut-on définir l'intelligence artificielle ?

L'intelligence artificielle dont il est question aujourd'hui n'a rien à voir avec ce qu'on appelait l'intelligence artificielle au milieu des années 1980. À l'époque, adolescent passionné de sciences, je découvrais l'intelligence artificielle dans les ouvrages de vulgarisation de Douglas

Hofstadter¹. C'était le moment où avait été traduite en français la biographie d'Andrew Hodges² sur Alan Turing et

1. Douglas Hofstadter : universitaire américain (né le 15 février 1945), travaillant dans les domaines des sciences cognitives, de l'informatique, de l'histoire et de la philosophie des sciences, la philosophie, la littérature comparée et la psychologie.

2. Mathématicien et écrivain britannique, auteur de *Alan Turing : l'Énigme de l'Intelligence*.

son rôle incroyable dans la Seconde Guerre mondiale. Et l'intelligence artificielle était à l'époque un domaine scientifique dans lequel les mots essentiels étaient « comprendre » et « fonctionnement du cerveau humain ». C'était en lien avec les sciences cognitives et avec l'idée de la compréhension et du savoir. La question « comment fonctionnons-nous ? » et celle de la « conscience » étaient aussi beaucoup mises en avant. L'image très présente dans la culture populaire, encore présente aujourd'hui, était celle de HAL, le robot de *2001 l'Odyssée de l'espace* qui devient conscient.

L'intelligence artificielle aujourd'hui n'est pas du tout cela. Ce sont des algorithmes qui accomplissent des tâches déterminées, sans l'ambition de les comprendre. Ce sont des méthodes de calcul, et d'exploration dans des espaces de très grande dimension qui permettent d'accélérer une tâche fastidieuse. Cela ne ressemble pas à ce qu'on appelle d'habitude « comprendre ». Et la première chose à dire et à répéter à chaque fois sur l'intelligence artificielle, c'est qu'en l'état actuel des choses, ce n'est pas de l'intelligence. Du moins pas au sens où nous l'entendons en tant qu'êtres humains.

Ne cherchez pas une définition précise. Dans une rencontre toute récente organisée au laboratoire de Google à Paris, réunissant une vingtaine d'experts et de gens intéressés par le sujet de l'intelligence artificielle en général, le responsable en charge chez Google a commencé la soirée

en disant : « Si on demandait à chaque personne autour de la table de donner sa définition de l'intelligence artificielle, il y aurait sans doute autant de définitions que de personnes présentes. »

Moi-même, quand j'étais responsable du rapport sur l'intelligence artificielle, en bon mathématicien, je prévoyais de commencer par un chapitre Définition ! Mais après un certain nombre d'auditions et de réflexions sur le sujet, j'ai vite compris qu'il ne fallait pas passer par cette étape. **Chercher la définition de l'intelligence artificielle serait un leurre : c'est un sujet qui se définit par les usages.**

1 L'impact de l'intelligence artificielle dans les sciences

1.1. En mathématiques, un impact du numérique plutôt que de l'intelligence artificielle

Parmi les jeunes scientifiques de ma promotion, tous et toutes ont vu leur carrière scientifique impactée massivement par la numérisation en général ; mais une partie seulement a vu l'intelligence artificielle débouler dans leur sujet. Certains en informatique bien sûr, mais aussi en physique, y ont trouvé leur chemin. Chez les mathématiciens, on peut dire que certes, certains d'entre nous se sont mis à faire de l'intelligence artificielle, au sens de développer des algorithmes, mais aucun n'a vu sa pratique de mathématicien – cherchant,

ciselant, classant, partageant des démonstrations – impactée de façon importante par le sujet.

Certes, nous avons eu une révolution numérique en mathématiques, mais cela a été quoi ?

Il y a eu les articles numérisés qui ont changé la façon d'échanger des données, les plateformes répertoriant les articles, les grandes bases de données, dont celle qui est tenue par *l'American Mathematical Society*, et les grands dépôts comme arXiv³ qui ont servi à se partager l'information. Tout cela a eu un rôle majeur. Et avec le numérique, mais aussi les courriels, le volume a augmenté massivement !

Et puis il y a eu TeX, l'unique, l'incomparable ! TeX, le logiciel qui sert à tous les mathématiciens et mathématiciennes pour écrire et mettre en forme leurs articles mathématiques, soit directement, soit indirectement, avec une typographie qui est contrôlée. Cela nous a permis, à partir des années 1990, de regagner un domaine qui avait été complètement perdu, celui du contrôle de la clarté de l'écriture mathématique dans les publications : le contrôle des formules, le contrôle des beaux signes « intégrale » et des innombrables autres symboles qui nous sont chers, le contrôle des bons espacements, des parenthèses, tout ce qui fait qu'on pouvait composer nos ouvrages nous-mêmes sans être à la merci d'intermédiaires.

3. arXiv : archive ouverte d'articles dans des domaines scientifiques ou économiques.

Il y a encore eu, évidemment, l'essor des calculs massifs, des simulations numériques, qui ont joué un rôle majeur dans la résolution quantitative des équations différentielles ou variationnelles, dans la mise en œuvre du travail des ingénieurs, dans l'intuition des experts en physique mathématique et dans d'autres domaines mathématiques. Et dans certains cas des preuves assistées par ordinateur, depuis Appel-Haken (le théorème des quatre couleurs, revisité et corrigé récemment) jusqu'à la preuve de la conjecture de Kepler par Hales et ses collaborateurs.

Voilà certes des évolutions notables, mais tout cela n'est pas pour autant de l'intelligence artificielle au sens habituel, et l'impact de cette dernière sur la recherche mathématique est resté très limité.

1.2. L'impact de l'intelligence artificielle dans les autres sciences

Dans d'autres domaines en revanche, en particulier la biologie, la médecine, la chimie, il est devenu impossible d'ignorer l'impact de l'intelligence artificielle. Cette différence avec les mathématiques est avant tout une différence de nature de l'exploration et du savoir.

Certes, toutes les sciences sont en interaction, et je suis résolument favorable à ce que l'on aborde la culture scientifique comme un tout où mathématique, physique, biologie, chimie, et même les sciences humaines sont en interaction

permanente, formant un grand ensemble connecté. Mais dans sa pratique, il y a des singularités de la discipline mathématique. Par exemple, le profil de carrière : on a coutume de dire que les mathématiciens arrivent à maturité en moyenne plus jeunes que les autres scientifiques ; et d'ailleurs, c'est cohérent avec le fait que la médaille Fields soit strictement limitée aux personnes de moins de 40 ans. Un des facteurs derrière cette relative jeunesse, c'est qu'en mathématique les concepts comptent bien plus que les catalogues, et l'expérience joue un rôle moins important. Alors que dans d'autres disciplines (chimie, biologie), il est impossible de travailler sans catalogues, car il y a beaucoup de propriétés que vous ne pouvez pas deviner, que vous ne pouvez pas inventer. En clair, en mathématique on est beaucoup moins dépendant de catalogues d'expériences.

Il y a d'autres différences sociologiques. La mathématique est une discipline moins hiérarchisée que la chimie ou la biologie ; c'est assez naturel en fait, car les disciplines qui réalisent de grandes expériences ont aussi besoin d'une organisation plus dirigiste... Il y a certainement d'autres facteurs, mais j'en reste là !

Et en tout cas, retenons que les disciplines scientifiques sont différentes dans leurs méthodes de travail et d'acquisition du savoir. Et cela se ressent en permanence. Dans la gouvernance d'une université, on observe en général que, lors des discussions, et quels que soient les thèmes, trois blocs se forment au sein

des sciences « exactes » : le premier, les mathématiciens et informaticiens ; le deuxième, celui des physiciens ; le troisième, celui des chimistes, biologistes, géologues.

Ces disciplines différentes ont aussi un rapport différent à la notion d'apprentissage automatique. Les disciplines, dont la pratique repose beaucoup plus sur des concepts et sur une structuration du savoir comme en mathématiques ou en physique théorique, ont été beaucoup moins affectées par l'IA, et, en particulier, par l'IA statistique, qui est aujourd'hui la plus répandue. Cette approche statistique est d'ailleurs très prédominante (mais pas pour autant exclusive) dans les usages de biologie ou médecine.

Prenons un exemple de jeu mathématique comme celui du jeu de go, jeu défini par des règles mathématiques simples. On peut très bien imaginer un apprentissage par l'intelligence artificielle qui, à partir des règles, puisse deviner les propriétés. C'est ce que fait AlphaGo. Après AlphaGo qui utilisait les parties déjà jouées, il y a eu AlphaGo Zero qui ne partait de rien pour lancer l'apprentissage.

En matière de biologie, de chimie, ou de santé, on ne sait pas retrouver ou réinventer les règles à partir de zéro. On peut dire que c'est juste l'état de l'art, mais qu'un jour on y parviendra... On peut quand même attendre longtemps ! Imaginez qu'il faille retrouver toutes les propriétés chimiques à partir de l'équation de Schrödinger⁴,

4. Équation fondamentale en physique quantique. En effet, sa résolution permet de connaître à tout instant la position d'un électron.

ou les mécanismes biologiques à partir des réactions de base en biologie. C'est plus dur en chimie qu'en physique, plus dur en biologie qu'en chimie, plus dur en médecine qu'en biologie. Plus le nombre de paramètres croît, plus la diversité et la personnalisation comptent, plus c'est difficile à aborder ou à deviner. Grand nombre de paramètres, grande variabilité, méconnaissance des mécanismes fondamentaux : tout cela est propice à l'IA !

Et la physique ? On sait que la mathématique et la physique ont partie liée dès 1600, quand commence la révolution scientifique. Encore aujourd'hui, on peut argumenter que la moitié des concepts qu'on utilise en mathématiques ont leur origine quelque part en physique. On ne peut absolument pas en dire autant de l'interface mathématiques/biologie. Cela a été un échec presque constant des mathématiciens que d'essayer de comprendre le caractère extrêmement hétérogène, et varié, des propriétés des molécules, des cellules, et de la biologie en général. C'est une raison pour laquelle la mathématique, a eu tant de mal à se faire sa place en biologie. Mais pour ces mêmes raisons, l'IA, et plus généralement l'algorithmique, sont en train de changer cette donne. L'excellent ouvrage de Ian Stewart sur les avancées mathématiques en biologie dresse un bon panorama.

Avant que l'on parle tant d'intelligence artificielle, d'autres méthodes de calcul jouaient ce rôle. Il n'y a pas si longtemps, c'était la grande

mode des méthodes MCMC⁵, les méthodes de Monte Carlo Markov Chain, pour résoudre toutes sortes de problèmes de grande dimensionnalité. Encore auparavant ont été utilisées les méthodes d'algorithmes génétiques ou la foisonnante variété de techniques utilisées en construction d'arbre phylogénétique⁶, par exemple par Joe Felsenstein.

Et maintenant, c'est l'IA qui est devenu un domaine incontournable dans les disciplines comme la médecine, la biologie, et maintenant la chimie !

2 La place de l'homme face à l'emploi de l'intelligence artificielle

La démarche scientifique n'est certainement pas de faire du calcul. Si vous dites à un scientifique qu'il est un calculateur, il n'appréciera pas, un mathématicien pas plus que les autres. La science, c'est l'organisation en concepts. Mais si on laisse à la machine et à l'algorithme le soin de faire des calculs, et à l'humain qui l'utilise, le soin de tenter d'en extraire les concepts, pourquoi pas ?

Cela signifie qu'aujourd'hui, l'intelligence artificielle n'est pas une révolution méthodologique de **faire de la science, mais plutôt une révolution dans la manière de l'appréhender. Elle**

5. Équation fondamentale en physique quantique. En effet, sa résolution permet de connaître à tout instant la position d'un électron.

6. Figure utilisée en biologie. Les différentes espèces vivantes y sont classées sous forme d'arbre, dans lequel chaque nœud représente une caractéristique commune aux espèces rattachées (par exemple squelette osseux ou ailes).

est notamment utile lorsque les simulations se font en utilisant de nombreuses bases de données, ou encore quand les calculs sont trop fastidieux pour être faits à la main.

Aucun nouveau domaine ou théorème mathématique n'a encore été découvert par l'intelligence artificielle. Et même, aucun domaine scientifique n'a été inauguré par l'IA. Certains contempteurs considèrent brutalement que l'IA n'est pas de la science, mais juste une démarche empirique, une régression par rapport aux grands principes de la science. Mais si le rôle de **l'intelligence artificielle est** justement d'être en soutien à l'analyse et à la démarche méthodologique et conceptuelle, cela veut dire que **c'est un outil qui peut soutenir la science et lui permettre d'explorer de nouvelles pistes.**

Au niveau humain, on peut faire la part des outils d'intelligence artificielle qui sont là pour vous aider à vous développer, à vous rendre plus intelligents, à aiguïser votre curiosité, et ceux qui sont là pour vous remplacer et qui au contraire vous abêtissent : ceux qui écrivent les phrases à votre place ; ceux qui vous suggèrent automatiquement où vous voudriez partir en vacances, au lieu de chercher par vous-mêmes, ceux qui vous emmènent automatiquement du point A au point B sans que vous ayez le moindre effort musculaire à faire et ainsi de suite.

Le philosophe Ivan Illich⁷, célèbre entre autres pour

7. Ivan Illich (1926-2002) : philosophe, référence importante en écologie politique et critique de la société industrielle.

son étude des rapports entre humains et technologie, avait l'habitude de distinguer les outils conviviaux, ceux qui viennent en soutien pour vous développer en tant qu'humains avec votre intelligence, votre corps, votre bien-être, et ceux qui, au contraire, parce qu'ils sont trop perfectionnés, trop exigeants, ou trop addictifs, viennent vous remplacer, vous empêcher de vous développer, ou vous mettre en situation de dépendance, et finalement vous amoindrir. Pour l'instant, on peut dire que l'intelligence artificielle dans les sciences a été un outil convivial qui a laissé la primauté à l'humain, en ce sens qu'elle a été là pour aider des personnes à continuer à développer les concepts et à continuer à faire de la science selon les grands principes que l'on connaît.

3 Les acteurs de l'intelligence artificielle, son impact politique

À la question : « Qui est concerné par l'intelligence artificielle ? », j'ai répondu : « Certaines sciences plus que d'autres, au niveau de l'industrie certaines plus que d'autres aussi, et au niveau des technologies certaines plus que d'autres. »

Mais au-delà de la sphère scientifique et technologique, la grande évolution de l'intelligence artificielle sur les 30 dernières années, c'est qu'aujourd'hui cela concerne et intéresse la société. Il y a 30 ans, aucun gouvernement n'avait quoi que ce soit à faire de l'intelligence artificielle. C'était un domaine qui était

réservé à des experts, et même à une poignée d'experts, c'était beaucoup moins interdisciplinaire qu'actuellement. Aujourd'hui, cela concerne tout le monde, en particulier les entreprises, les clients, et même dans la mesure où cela a été soutenu et tiré par les usages et par les applications, dans bien des cas cela concerne au moins autant les usagers que les développeurs. Dans la mesure où cela s'applique d'autant plus qu'il y a beaucoup de paramètres et que c'est imprédictible, évidemment quand on arrive dans la sphère des applications et des questions humaines c'est là que l'impact est le plus important. On ne voit guère à quoi ChatGPT pourra, dans un avenir proche, être utile sur des sujets scientifiques. En revanche, ChatGPT peut impacter la façon dont on communique, les corrections des copies, de cours de sciences politiques ou de quoi que ce soit, dans la mesure surtout où cela s'est invité sur le domaine de la culture générale. ChatGPT peut vous aider à préparer une plaidoirie, un argumentaire, un dossier de demande de subvention, un discours généraliste, un article de journal... Les impacts potentiels en termes de communication, en termes de messages, et en termes de débat public sont considérables. L'impact dans la relation au travail est aussi potentiellement considérable. ChatGPT n'est pas programmé pour dire le vrai mais pour dire le plausible. Cela a ses limitations, ses impacts, ses avantages et ses dangers. C'est bien sûr un objet hautement politique, non seulement par

son potentiel sur la société, mais aussi parce que la politique se nourrit de paroles et de discours !

Pour toutes ces raisons, on pourrait se dire que la catégorie qui devrait de prime abord, parmi les citoyens, être la plus branchée sur l'intelligence artificielle et se tenir au courant, est ce qu'on appelle les politiques. Ce n'est pas ce qui est observé. Les députés, de la gauche ou de la droite classiques, n'ont pas bien conscience des enjeux de l'IA et ne suivent pas la chose de près comme j'ai pu le constater lors de mon rapport.

Il ne faut pas croire que l'IA nous amènera spontanément vers un monde meilleur. « L'intelligence artificielle est le plus fabuleux concentrateur d'inégalités », m'a dit un jour le ministre d'un État asiatique. Mais justement, on peut s'en emparer pour conjurer cette prédisposition. L'intelligence artificielle pourrait être un sujet de redistributions des richesses pour la gauche classique. Cela pourrait aussi être un enjeu de la droite classique dans un contexte où on parle énormément des questions de souveraineté. Mais en fait, dans la pratique, ce ne fut pas le cas lors de la rédaction du rapport sur l'intelligence artificielle. L'intérêt fut plus grand, mais néanmoins limité, dans le camp de la majorité présidentielle au sens large, du fait qu'il y a eu un renouvellement de la classe politique sur cette case de l'échiquier en 2017 et du fait qu'il y ait eu un appel à la société civile. C'est seulement maintenant que la classe politique commence à s'y mettre.

Je suis convaincu que si Marx était de ce monde, il aurait travaillé sur l'intelligence artificielle et y aurait vu un enjeu énorme, de la même façon qu'il avait travaillé à l'époque sur le calcul différentiel et tenté d'appliquer les méthodes de calcul différentiel⁸ aux questions politiques. D'ailleurs, je tiens à le rappeler dans cette belle maison de la Chimie, Marx se passionnait aussi pour les enjeux liés à la chimie, lisait les chimistes de son époque et en particulier Von Liebig, convaincu que c'était une des clés majeures de la transformation politique.

À l'époque du rapport, le thème de l'IA en chimie n'était pas vraiment développé. Pourquoi, 5 ans plus tard, est-il si fort, comme on peut le voir dans cet ouvrage ? Il n'y a pas eu, dans cet intervalle, de révolution dans les concepts majeurs. En revanche, il y a, sans aucun doute, un accroissement de la puissance de l'IA. Des nouvelles techniques ont été découvertes. Les techniques, depuis plus de dix ans, tirent le sujet, les théoriciens et les experts courent après les expérimentateurs. Par exemple pour ChatGPT, ce sont les techniques dites des *transformers*⁹. Et il y a un peu plus de dix ans, le grand choc ce fut la réalisation du pouvoir des réseaux de neurones, alors que les experts les plus reconnus en théorie

algorithmique pensaient que c'était une voie sans issue. Et les quelques-uns qui passaient pour des originaux avec leur marotte, Yann Le Cun, Yoshua Bengio, Geoffrey Hinton¹⁰ et quelques autres, sont devenus des héros. Quelques années plus tard, ils ont reçu les plus hautes distinctions en matière d'informatique.

Cela a été pareil en IA pour les développements des grands modèles et les ChatGPT. Saut quantitatif et qualitatif ! En août 2022, Bertrand Braunschweig, expert très respecté en IA, présentait dans une conférence publique quelques failles qui mettaient les meilleurs agents conversationnels en erreur. Quelques mois plus tard, arrive ChatGPT en version publique et il ne faisait plus ces erreurs. L'humilité est de mise !

Dans la partie de cet ouvrage concernant la mise en place de l'enseignement de l'intelligence artificielle dans le domaine de la chimie, il est dit avec raison que c'est aux chimistes de se lancer avec des rudiments de programmation dans les expérimentations, assistés et aidés par l'intelligence artificielle parce que l'opération inverse est tellement plus difficile. On peut apprendre à un chimiste à programmer et à lancer un réseau de neurones ; on peut même apprendre à un élève très motivé de terminale à programmer son petit réseau de neurones, alors qu'il sera plus difficile de lui apprendre un cours de chimie organique,

8. Domaine mathématique s'intéressant aux variations infinitésimales de fonctions.

9. Les transformers sont un type de réseau de neurones développé en 2017, particulièrement adapté dans le traitement automatique du langage.

10. Yann Le Cun, Yoshua Bengio et Geoffrey Hinton ont reçu le prix Turing en 2019 pour leur travail sur le *machine learning*.

et on ne lui apprendra jamais une résolution d'équation de Navier-Stokes¹¹, ou tout ce genre de choses qui sont bien plus installées dans la science et qui demandent un savoir-métier bien plus solide.

Quelles évolutions à venir pour la discipline ? Il faut d'une part rester très solide sur les fondamentaux de la discipline et ne pas croire qu'on n'aura plus à les enseigner ; mais il faut utiliser autant que possible et à chaque fois que c'est possible les outils d'exploration et familiariser les élèves dès maintenant au fait que, dans la démarche expérimentale, il y a de nouveaux outils qui changent la donne et qu'on ne peut pas ignorer. Il faut donc travailler le plus possible, en mode interdisciplinaire, aussi bien dans les formations que dans la recherche. Il faut que les experts parlent aux experts, échangent leurs résultats, échangent les données, discutent pour savoir ce qui peut se faire, et que les équipes travaillent en partenariat pendant un certain nombre d'années.

Quels blocages sont à craindre ?

Ce qui est le plus dur à traiter systématiquement avec l'intelligence artificielle, ce ne sont pas les questions scientifiques et technologiques, ce sont la plupart du temps les questions politiques et les questions sociétales.

En 2018, la mobilité autonome était un sujet majeur dans l'industrie. Aujourd'hui

on en parle beaucoup moins, simplement parce qu'on s'est rendu compte que c'est beaucoup plus dur que ce que l'on croyait. Les ambitions d'innovation en matière d'automatisme et de mobilité sont bien en-dessous de ce qui était espéré il y a encore quelques années. On s'est rendu compte que, sur le plan technique, c'est beaucoup plus difficile que ce qu'on croyait de faire une voiture autonome. Mais dans bien d'autres dossiers, les blocages ont systématiquement été du côté politique, en particulier pour le dossier santé sur lequel j'ai beaucoup travaillé, car le rapport était à l'origine de la naissance de la plateforme nationale de données de santé pour alimenter justement la recherche par l'intelligence artificielle. Les blocages portaient par exemple sur des questions de débat de souveraineté publique, sur des questions de consentement et diffusion des informations, ou sur des questions des rapports de pouvoirs entre la CNIL¹² et les équipes de scientifiques qui opèrent. De sorte que, cinq ans après le rapport, on n'a toujours pas une plateforme de données de santé qui soit opérationnelle, donc on est très loin du niveau qu'on pouvait espérer.

Ce blocage au niveau politique est extrêmement important de façon générale. Quand vous êtes amenés à construire des plateformes de données, vous avez trois défis à résoudre.

Le premier défi est scientifique et technique : les questions de format réseau,

11. Équation fondamentale de la mécanique des fluides, permettant de décrire leur mouvement dans l'espace et le temps.

12. CNIL : Commission nationale de l'informatique et des libertés.

et d'interopérabilité, par exemple. C'est difficile mais on le résout.

Le deuxième défi est d'ordre éthique, légal, et réglementaire. Il porte sur toutes les questions liées à ce qu'on a le droit de faire ou pas. Il est de difficulté à peu près égale et on peut le résoudre.

Le troisième défi concerne le partage des pouvoirs. Qui a le droit de tenir la plateforme ? Qui en a l'accès ? Qui peut la modifier ? Ce point est beaucoup plus difficile à traiter et est même parfois indémêlable. C'est le cas de certains programmes de plateforme de données de santé, qui dépendent de plusieurs autorités.

Finalement, on a beau croire qu'on part d'un dossier technique, à la fin on arrive toujours sur des dossiers qui sont humains, des dossiers de confiance et avec un rôle du politique qui devient d'autant plus important.

Est-ce que la même chose peut se reproduire en chimie ? À coup sûr les obstacles seront moins importants qu'en médecine, domaine hanté par les peurs. Des questions de concentration de pouvoir, de secret industriel, de pollution peuvent bien évidemment se produire, mais on peut parier que les blocages politiques et humains seront moins importants qu'en médecine ou biologie.

Conclusion

L'impact de l'Intelligence artificielle sur la société

Les exemples traités dans les différents chapitres de cet ouvrage montrent l'impact de l'intelligence artificielle sur la chimie, avec des cas dans lesquels les bénéfices à venir pour la société sont incontestables. L'un des exemples utilisés comme illustration est l'importance des nouveaux polymères pour avoir des pales des éoliennes, à la fois résistantes et robustes. Et on se dit bravo la chimie des polymères, c'est exceptionnel. C'est vrai ! Mais attention ! On s'est placé ici sous l'angle de la création de nouveaux polymères utiles... Sauf que les polymères, à travers les plastiques d'emballage, sont aussi un des problèmes d'environnement majeurs dans le monde et des rapports sérieux

sur ce domaine, comme celui fait à l'OPECST¹³, concluent que la seule vraie solution est de réduire drastiquement le volume de production des plastiques. On se retrouve alors face à une équation politique insoluble. Ou plutôt, une équation qui ne se résout pas avec une solution technique mais avec un besoin de volonté ! Et le besoin de prendre à bras le corps les conséquences dans les habitudes, les usages, l'économie.

Le remède est on ne peut plus « low-tech » : juste arrêter la production de ces plastiques d'emballage, en tout cas la restreindre drastiquement, c'est la cause numéro 1 de pollution par les plastiques dans les grands continents et l'océan. Chimiquement et scientifiquement trivial, mais politiquement très difficile, cela entraînerait, entre autres, des reconversions liées aux fermetures d'usines. Il faudra bien le faire, c'est ma conviction d'homme politique ! C'est indispensable pour notre santé, pour notre planète, pour nos enfants... Mais cela demandera un vrai courage ! Et si l'on se concentre sur les solutions de haute technologie – avec de l'intelligence artificielle, de nouveaux matériaux, etc. – pour faire oublier qu'il y a aussi des remèdes de basse technologie à appliquer, c'est du « technoblanchiment », un adversaire redoutable au progrès !

Prenez un autre sujet comme l'agriculture : pour améliorer le diagnostic et la mise en œuvre dans ce domaine, on peut utiliser des outils, pas forcément à base d'IA mais en général numériques. Il y a une communauté française active sur ce sujet qui s'appelle « La ferme digitale ». Ils nous disent, exemples à l'appui, que dans les bons cas un agriculteur peut gagner grâce aux outils numériques jusqu'à 5 000 €

13. OPECST : Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques.

par an et économiser 100 h de travail sur cette même période. Certes ce n'est pas une révolution, sur une année de labour d'agriculteur mal payé et sans vacances, c'est réellement non négligeable. Il n'empêche que ce n'est pas cela qui changera complètement la donne pour rendre le métier attractif. Et plus généralement, cela ne va pas résoudre les principaux problèmes de l'agriculture, le premier étant l'usage massif des pesticides, herbicides et fongicides et en premier lieu des néonicotinoïdes, les plus ravageurs et destructeurs de biodiversité que le monde ait jamais connus. Ce n'est pas non plus le numérique ou l'intelligence artificielle qui dispenseront de regarder le fait que personne ne sait faire une transition écologique à production de viande constante. Il ne faut pas croire que l'intelligence artificielle ou quoi que ce soit de numérique nous dispensera de regarder ce problème en face : sans évolution de la consommation, en tous cas dans nos assiettes, il n'y aura juste pas de transition écologique. Il n'y aura pas non plus de transition écologique si on ne recrute pas massivement des agriculteurs et pour cela il nous faut une revalorisation du métier. Sortie des pesticides, sortie des énergies fossiles, amélioration de notre alimentation, revalorisation du métier d'agriculteur. Sur tous ces problèmes, on n'est pas sur des questions scientifiques dures, aucune solution technologique, aucun progrès de l'IA ne semble prêt à nous aider, on est sur des questions de société.

C'est bien plus général que le sujet de la chimie, et c'est à bien garder en tête : les techniques mathématiques et l'intelligence artificielle viennent s'inviter dans beaucoup de sujets, mais il faut être très attentif à ce que cela ne distraie pas aussi bien le scientifique que le politique du fait qu'il y a des enjeux et des défis comportementaux énormes, très *low-tech*. Et, si

au niveau des investissements et des directions de recherche on se fourvoie en allant regarder du côté qui avance, plutôt que du côté qui est difficile à résoudre, on est exactement dans la situation du fou qui va chercher ses clefs sous le lampadaire alors qu'il sait bien qu'il les oubliées là-bas dans l'ombre. Mais il n'a juste pas envie d'aller dans l'ombre parce que cela le dérangerait... Tâchons de ne pas être ce fou là.