ALAN TURING

Les Machines intelligentes

Préface de
Jean LASSÈGUE & Giuseppe LONGO

INÉDIT

technologia hermann

Préface

Pour qui se penche sur l'histoire des débuts de l'informatique et de ce qu'il est convenu d'appeler l'« intelligence artificielle », les travaux de Turing sont, à juste titre, incontournables, à la fois par leur profondeur, leur variété et leur originalité. Profondeur théorique de la définition du calcul comme de la preuve de la limitation intrinsèque de sa portée, d'abord. Variété des contributions technologiques à la mise au point de la machine à calculer par excellence, l'ordinateur, ensuite. Originalité de sa réflexion philosophique sur les capacités de l'ordinateur mesurées à l'aune de la notion d'intelligence enfin. Mais il y a un revers à la médaille : c'est précisément parce que les travaux de Turing font l'unanimité que l'on accorde un peu vite aux textes que l'on va lire une *univocité qu'ils sont pourtant loin d'avoir*. La lecture des travaux originaux que ce recueil rend possible va permettre de juger sur pièce.

Non que le concept mathématique de calcul soit imprécis, bien au contraire : Turing fut bien l'un des premiers, quelques années après les travaux de Gödel et de Church, à proposer une définition précise de la notion de calcul en l'identifiant aux fonctions définissables par sa machine logique (*Logical Computing Machine*) et en parvenant à tracer par ce moyen les limites du champ de sa validité – la calculabilité –, voilà déjà presque un siècle. Depuis la plus haute antiquité, en Mésopotamie, en Grèce et plus près de nous dans le monde arabe médiéval, on savait écrire des algorithmes, mais on n'avait pas éprouvé le besoin d'en donner une définition : l'algorithme était considéré comme un auxiliaire de calcul qu'il fallait trouver quand le besoin s'en faisait sentir pour résoudre un problème particulier, que ce soit le calcul du plus grand commun diviseur (Euclide) ou celui de la synthèse des fractions (Al-Kashi). La perspective de l'époque moderne est différente : en réponse aux grandes questions posées par Hilbert en 1900 et au cours des années 1920[1], il s'agit de démontrer qu'*il n'y a pas* d'algorithme pour tel ou tel problème et il faut donc parvenir à donner une définition précise et générale de la notion. Les trois mathématiciens dont il a été question plus

1. Jean Lassègue, *Turing*, Paris, Les Belles Lettres, 1998, chapitre II.

haut (Gödel, Church et Turing) en donnèrent trois versions différentes et Turing démontra, entre 1936 et 1937, qu'elles définissent la même classe de fonctions, les fonctions calculables. Ces mathématiciens-logiciens ont donc proposé un nouvel invariant fondamental des mathématiques, celui de fonction calculable, c'est-à-dire définissable par l'une des versions de la notion d'algorithme qu'ils sont parvenus à formuler. La fécondité extraordinaire de cette définition a profondément renouvelé la logique mathématique tout en permettant de créer des domaines entièrement nouveaux, de l'informatique théorique à la théorie de la programmation, domaines auxquels Turing a puissamment contribué. De façon plus large, comme tout résultat « négatif » portant sur une limitation interne, les résultats de Gödel, Church et Turing, démontrant l'existence d'énoncés *non* décidables ou de fonctions *non* calculables, ont ouvert des pistes nouvelles que ce soit en théorie de la preuve (avec les résultats de Gentzen en 1936) ou en théorie des modèles (avec Tarski en 1933)[2]. Mais l'extension du concept de calcul au-delà du champ

2. Giuseppe Longo, *Le cauchemar de Prométhée. Les sciences et leurs limites*, Préface de Jean Lassègue, postface d'Alain Supiot. Paris, PUF, 2023.

mathématique par le biais de la numérisation des connaissances au moyen des ordinateurs et ce dans les disciplines les plus variées – de l'astronomie à la biologie en passant par le droit et l'économie –, donne l'impression qu'on a fini par concevoir le calcul comme l'*unique instrument producteur d'objectivité*. Ainsi, serait objectif ce qui serait calculable par ordinateur et l'on aurait enfin trouvé, par ce biais, le moyen d'unifier toutes les sciences sous l'égide d'un seul concept, celui de calcul, grâce au génie d'un seul homme, Alan Turing, devenu en l'espace d'un siècle une sorte de figure tutélaire régnant sur les développements du « numérique ». Nous nous inscrivons en faux contre l'identification de l'objectif et du calculable et son corollaire, la prétention globalisante accordée à la notion de calcul, *car elle va à l'encontre des résultats de Turing lui-même*. C'est ce qu'il nous faut commencer par montrer.

Il faut se replonger un instant dans le contexte qui fut celui de Turing pour bien saisir la nature de l'enjeu. Le premier article fondamental de Turing, publié en 1936[3], appartient au champ de la logique mathématique,

3. A.M. Turing, « On Computable Numbers, with an application to the Entscheidungsproblem », *Proceedings of*

discipline encore récente à l'époque et dont l'ambition épistémologique consiste à étudier mathématiquement les mathématiques en clarifiant ses concepts de l'intérieur, c'est-à-dire en préservant le souci de rigueur démonstrative exigé en mathématiques. La logique mathématique adopte ainsi une démarche à la fois démonstrative et réflexive, de nature épistémologique – rôle jusque-là dévolu à la philosophie. Dans l'article de 1936, on voit cette réflexivité à l'œuvre : Turing y définit la notion de calcul en s'aidant de celle de machine et parvient à délimiter le périmètre des nombres calculables en exhibant du même coup un exemple de fonction non-calculable et la notion de « nombre réel incalculable ». La démarche mise en œuvre pour circonscrire le domaine du calculable relève intégralement du calcul, mais indique cependant un au-delà du calcul, auquel on ne peut pas ne pas penser.

Comment comprendre la nature de cette pensée calculante qui échappe constamment à sa propre détermination, ouvrant ainsi à un au-delà du calcul ? C'est la réponse *scientifique* à cette question que Turing a sans doute passé sa vie à élaborer. Sa méthode est toujours la

---

the London Mathematical Society, 1936-1937, 2 s. vol. 42, p. 230-265.

même : elle consiste à *étendre au maximum la portée du calcul une fois démontrée l'impossibilité* a priori *de s'y limiter*. Ce point de vue, essentiellement dynamique, rend compte de l'extraordinaire fécondité de Turing dont l'itinéraire intellectuel peut alors se résumer en trois étapes : en partant de l'ambivalence constitutive de la pensée calculante dont on vient de parler (1936), Turing a tenté d'étendre ce point de vue en montrant d'une part que cette ambivalence s'étendait également aux conditions qui seraient requises pour justifier un modèle calculatoire de la pensée (1948-1951)[4] et d'autre part aux conditions qui permettraient de justifier l'apparition des formes vivantes dans la nature (1952)[5]. Ces deux directions de recherche réactualisent donc la vieille distinction de l'esprit et du corps qu'elles permettent de repenser dans un nouveau cadre théorique fondé sur la distinction entre pensée calculante et calcul. Voir dans l'œuvre de Turing une simple extension progressive du périmètre du calcul est donc un *contresens flagrant* qui confond calcul et pensée

4. Cinq textes de Turing sont proposés ici en traduction.

5. A.M. Turing, « The Chemical Basis of Morphogenesis », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Series B, Biological Sciences, 1952, Vol. 237, No. 641, p. 37-72.

calculante, confusion sans doute favorisée par la numérisation progressive de nos connaissances *via* l'ordinateur. Notons à ce propos que la première traduction en français de l'article de 1950 avait « corrigé » le texte original de Turing : alors qu'il était nécessaire pour la machine de cacher l'aspect phénoménal de ses capacités arithmétiques pour passer pour un humain en faisant semblant de faire des erreurs de calcul, le traducteur, emporté sans doute par sa fascination pour la puissance du calcul, avait corrigé la « faute » et écrit à la place du texte original le résultat exact, induisant le lecteur en erreur… Il faut savoir résister à l'indistinction entre calcul et pensée calculante. Cette numérisation progressive à laquelle nous assistons aujourd'hui donne le sentiment d'une extension *indéfinie* du domaine du calcul, au mépris des résultats de 1936 et du nouveau cadre d'intelligibilité défini par Turing dans lequel l'extension du domaine du calcul ne peut se faire qu'une fois opérée la reconnaissance de ses limitations intrinsèques.

S'en tenir au contresens du tout calculable empêche donc de saisir la portée des résultats de Turing non seulement dans le domaine de la calculabilité, mais aussi dans ceux de l'intelligence artificielle et de la biologie théorique, ce dernier cas étant le plus souvent opportunément passé sous silence, considéré qu'il est par les tenants de la thèse du tout calculable comme un appendice négligeable dans le parcours intellectuel de Turing, tout focalisé qu'il serait sur l'exploration de la puissance du calcul.

Comme concevoir cet au-delà du calcul ? S'agit-il d'un *ailleurs* à tout jamais inaccessible et dont on pourrait faire l'impasse ou bien plutôt d'une *altérité* avec laquelle il est possible de rationnellement composer ? Pour nous, c'est la deuxième branche de l'alternative qui est la bonne : dès 1936, c'est la notion de non-calculable qui est centrale. Turing participe de ce point de vue d'un mouvement scientifique de grande ampleur consistant à montrer qu'il est possible de développer des moyens rationnels permettant de rendre compte de l'au-delà du calcul et d'en penser l'altérité. Cette entreprise exigeait cependant une transformation majeure portant sur la distinction entre calcul et détermination. Jusqu'alors, la scientificité des énoncés impliquait en effet un régime de la détermination dans lequel le calcul corroborait la déterminabilité : au moins théoriquement, le calculé était aussi le déterminé. Mais à partir du moment où il devient possible de démontrer l'existence de fonctions non calculables et de nombres réels incalculables, calcul et détermination cessent de se superposer puisque l'incalculable devient indirectement objet de détermination : le régime de la détermination s'en trouve de ce fait complètement transformé. Turing n'est pas le seul à avoir participé à ce changement majeur de paradigme : d'autres avant lui, Poincaré en particulier dès la fin du XIX^e^ siècle, l'avaient établi pour les sciences de la nature quand celui-ci avait démontré le caractère à jamais chaotique de toute évolution d'un système physique à au moins trois corps[6], en explicitant les limites de la mécanique newtonienne et laplacienne. On comprend dès lors que Turing ait pu s'intéresser dans la dernière partie de son parcours intellectuel, entre 1950 et 1954, à l'apparition et la croissance des formes biologiques qui sont des systèmes dont les éléments en interaction sont immensément plus complexes qu'un système à trois corps.

Dans cette refondation de l'idée de détermination autour d'une nouvelle façon de concevoir ses propres limites, la réflexion de Turing sur l'intelligence artificielle dont les textes de ce recueil témoignent joue un rôle majeur. Pourquoi ? Parce que l'« intelligence »

6. H. Poincaré, *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, Paris, Gauthier-Villars, 1892.

est l'instance productrice des connaissances : or, si l'on peut rendre compte de cette instance par le calcul, autrement dit si la pensée calculante peut s'identifier à un calcul, alors *toutes les autres formes de connaissance produites par l'intelligence peuvent également être identifiées à un calcul*. Tenter de promouvoir l'idée que la pensée calculante se confond avec un calcul est donc un enjeu capital parce que, si c'est bien le cas, toutes les connaissances tombent dans l'orbite du calcul[7]. L'intelligence artificielle, de

7. C'est ce que soutient le biographe de Turing, A. Hodges : « La thèse de Turing consiste à dire que le modèle de la machine à états discrets est la description adéquate d'un des aspects du monde matériel – à savoir le fonctionnement du cerveau. Turing défendit cette idée et ses implications avec fermeté et, assurément, quelque provocation. Poussant sa thèse aussi loin qu'il le pouvait, il fit surgir de nouveaux enjeux et de nouveaux arguments. Sa discussion de longue haleine autour de la "pensée" et de "l'intelligence" a toujours tendu à élargir le périmètre de ce qui devait être considéré comme pertinent. En 1936, son argumentation était centrée sur l'exécution des algorithmes, dans son travail de 1946-1948 le jeu d'échecs (dont il avait beaucoup été question durant la guerre) devint son paradigme de l'intelligence, un point central étant qu'une machine à jouer aux échecs victorieuse serait celle qui ferait apparaître des algorithmes qui ne lui auraient jamais été fournis. En 1950, les arguments tournaient autour de la possibilité de réussite d'une "machinerie intelligente" dont la tâche beaucoup plus ambitieuse consisterait à soutenir une conversation d'ordre général. » A. Hodges, « Alan Turing and The Turing Machine » dans *The*

ce point de vue, serait le verrou qu'il faudrait réussir à faire sauter pour promouvoir l'idée du tout calculable. Nous nous opposons évidemment à ce point de vue qui, nous l'avons vu, ne rend pas justice à Turing et dont on voit les immenses dommages qu'il aurait aujourd'hui sur les connaissances, des sciences physiques aux sciences sociales[8] en passant par la biologie[9]. Revenons donc aux textes, puisqu'ils sont maintenant disponibles et partons d'un exemple pour clarifier les choses.

Dans son article philosophique de 1950, « Computing Machinery and Intelligence[10] », présenté à juste titre comme l'un des premiers articles majeurs de philosophie de l'IA, le caractère fondateur de la démarche de Turing ne se situe cependant pas là où l'on aurait tendance à le situer tout d'abord. Nous nous opposons en particulier fermement à l'idée que

---

Universal Turing machine, a Half-Century Survey, R. Herken ed., Oxford Science Publications, Oxford University Press, 1988, p. 9.

8. J. Lassègue & G. Longo, « Qu'est-ce qu'écrire une loi ? L'écriture informatique en science et en droit », dans S. Besson, S. Jubé (eds.) *Concerter les civilisations*, Paris, Seuil, 2020, p. 239-249.

9. G. Longo, *Le cauchemar…*, *op. cit.*

10. A.M. Turing, "Computing Machinery and Intelligence", *Mind*, Volume LIX, Issue 236, October 1950.

Turing y aurait seulement défendu un modèle computationnel de l'intelligence. Si le lecteur regarde le texte de l'article avec un tant soit peu d'attention, il pourra aisément vérifier qu'à un paragraphe d'écart seulement (§ 6 et 7), Turing soutient que l'ordinateur *est* et *n'est pas* le bon modèle pour penser l'intelligence humaine. S'agit-il seulement d'une contradiction ou, pire encore, d'une faute d'inattention ? Nous ne le pensons évidemment pas. Il s'agit bien plutôt d'une conséquence du cadre théorique si subtil mis en place par Turing dans lequel la pensée calculante ne se laisse jamais enfermer dans le calcul, mais suscite au contraire d'elle-même l'ouverture vers son propre au-delà, comme l'analyse du calculable avait permis de définir le non-calculable – enjeu central de l'article de 1936. Dans le texte de 1950, Turing écrit d'abord que, dans cinquante ans, un ordinateur devrait pouvoir se faire passer pour un être humain (« imiter » dit-il) dans un jeu de questions-réponses entre un interrogateur et deux joueurs au point de gagner à ce jeu dans au moins 30 % des cas si le jeu ne dure pas plus que cinq minutes[11]. Ensuite, quand il en

11. A.M. Turing (1950), "Computing Machinery and Intelligence", *Mind*, Volume LIX, Issue 236, October 1950, § 6 : « Je pense que dans une cinquantaine d'années, il sera

vient au registre causal, il écrit que le système nerveux n'est certainement pas une machine à état discret, autrement dit un ordinateur numérique[12]. Que Turing produise ces deux énoncés sur la nature de la pensée et du cerveau de façon conjointe montre bien que c'est la limitation interne du calcul qui permet de penser que son au-delà relève d'un autre ordre de réalité, dont les processus causaux relevant de la matière font partie[13].

---

possible de programmer des calculateurs, qui auront d'ici-là atteint une capacité de stockage d'environ 109, pour qu'ils jouent si bien qu'un interrogateur moyen n'aura pas plus de 70 % de chances de gagner après cinq minutes d'interrogatoire » (voir p. ??? de ce volume).

12. A.M. Turing (1950), "Computing Machinery and Intelligence", *Mind*, Volume LIX, Issue 236, October 1950, § 7, p. 451 : « Le système nerveux n'a rien d'une machine à états discrets. » (voir p. ??? de ce volume).

13. Nous avons souligné dans un article deux points qui nous semblent capitaux à propos du « jeu de l'imitation » : d'une part, le fait que le lecteur est nécessairement placé dans une position d'ambivalence à propos de savoir si l'identification entre humains et ordinateurs est ou non réalisée – argumentation si typique du cadre théorique propre à Turing – ; d'autre part, le fait qu'il existe une différence entre une *imitation* dont on ne spécifie pas la nature causale comme dans l'article philosophique de 1950 et un *modèle* dans lequel cette spécification causale est nécessaire comme dans l'article de biologie théorique de 1952. Cf. G. Longo & J. Lassègue, « Actualité de Turing : entre

Pour bien comprendre l'enjeu de cette pseudo-réduction de la pensée calculante à un calcul, nous devons commencer par clarifier l'articulation entre mathématique du calcul et physique de la mesure. La mesure est nécessaire pour rendre possible la détermination des enchaînements causaux au sein de la nature. Un événement physique quel qu'il soit se situe en un certain lieu dans l'espace et à un certain moment du temps. Mais la mesure de cette situation qui permet de répondre à la question du « où », du « quand » et de l'évolution spatio-temporelle n'est pas déterminée absolument et dépend de la précision de l'instrument qui mesure : *la mesure classique est toujours un intervalle*. Comme l'exemple familier des cartes à différentes échelles le montre, plus on s'éloigne d'un lieu, moins ce qui s'y passe devient précis et, au-dessous d'un certain seuil correspondant à l'échelle de la carte, il n'est pas possible de savoir où se situe précisément un événement, quand il commence ni quelle direction il va prendre. Il en découle une non-accessibilité des événements sous le seuil de l'intervalle de mesure, qui pose le problème de l'imprédictibilité du futur, même dans un

---

captation d'héritage et ressource pour l'avenir », *Intellectica*, 2020/1, 72, p. 215-236.

cadre déterministe. Pour comprendre ce qui se produit dans l'intervalle de mesure, il est nécessaire de faire appel non pas à des nombres discrets (comme les entiers correspondant aux graduations bien séparées d'une échelle de mesure), mais, par exemple, à des nombres réels dont les valeurs ne sont qu'approchées. Il devient alors possible de montrer que la *détermination* classique n'implique pas la *prévisibilité* d'une dynamique, comme l'a observé pour la première fois Poincaré sur le problème des trois corps : dans un système d'équations impliquant l'interaction de trois corps seulement, toute perturbation en dessous du seuil de l'intervalle de mesure peut provoquer, au-dessus de ce seuil, des dynamiques divergentes et imprévisibles dans le temps. En principe, même dans le cas du lancement de dés, nous savons que les trajectoires vont parcourir une géodésique, un chemin optimal. Mais même si l'on écrivait énormément d'équations pour déterminer ce chemin (décrivant toutes les forces mesurables qui l'influencent de manière causale), les frictions et les perturbations en dessous de la meilleure mesure physique possible rendraient toujours leur trajectoire imprévisible – en tant que causes cachées à la mesure. Depuis Poincaré, on sait que l'aléatoire classique n'est, en principe, que de la détermination imprédictible. Turing, dans son article de 1952 sur la morphogenèse biologique, travaille exactement dans ce cadre. Et il est bien un pionnier : le peu de mathématiciens qui ont suivi les traces de Poincaré (Hadamard, Pontryagin, Kolmogorov…) travaille ou pense aux dynamiques célestes. Turing ose appliquer ces idées à l'engendrement de formes du vivant, par des déformations continues. Et il passe du « jeu de l'imitation » par sa « machine à états discrets » (1950), déjà si ambivalent, à un « modèle » de l'engendrement de formes, comme il le définit en 1952, *dans le continu*, où les « perturbations aléatoires » et les « instabilités catastrophiques » y jouent un rôle essentiel.

L'ordinateur en tant que machine à calculer a donc un statut très particulier : en tant que calculateur, il se situe hors de l'espace-temps physique et traite exclusivement de nombres entiers ; en tant que machine au contraire, il se situe dans un espace et un temps physiques et il est donc soumis, comme tous les corps physiques, au problème de la mesure et de l'imprévisibilité possibles de leur évolution spatio-temporelle. Articuler, dans l'ordinateur, calcul sur des nombres entiers et exécution au moyen d'une machine physique est donc un problème crucial, car il s'agit d'articuler le discret des nombres entiers et le continu des nombres réels rendant compte de la mesure. Comment faire en sorte que l'ordinateur se comporte, au sein de la nature, comme un objet qui ne soit pas soumis aux aléas des dynamiques imprévisibles ? Cette superposition de deux ordres, numérique et physique, fait de l'ordinateur un objet dont la nature est très difficile à cerner, précisément par ce qu'elle est mixte et que l'on a tendance à ne voir jamais qu'un seul aspect de sa réalité, discret ou continu. Il s'agit donc de faire *techniquement* en sorte que l'ordinateur fasse comme s'il se comportait comme un objet intégralement déterminable, c'est-à-dire qu'il est conçu comme une machine *à états discrets* alors qu'on sait par ailleurs qu'il existe en tant que machine physique au sein d'un monde que l'on comprend aussi ou mieux par le continu, toujours susceptible d'être soumis à des dynamiques imprévisibles sous un certain intervalle de mesure. De ce point de vue, l'ordinateur est un miracle technologique qui permet d'exécuter au sein d'une nature imprévisible des calculs prévisibles grâce à une structure physique qui encode des suites de 0 et de 1 de façon très stable[14].

14. Ce défi devient énorme quand on met les ordinateurs en réseau, dans un continu spatio-temporel, G. Longo, C. Palamidessi, T. Paul. Some bridging results and challenges

On pourrait objecter que la « nouvelle » intelligence artificielle, celle des réseaux de neurones, dont les applications *via* la reconnaissance d'images, de sons, de la parole, etc., ainsi que les chatbots conversationnels améliorent si fortement la productivité du travail, est bien une intelligence artificielle également basée sur des modèles continus. Le récent « Deep Learning » utilise et développe en effet des méthodes mathématiques très puissantes dans le continu qui sont souvent issues de la physique mathématique (méthodes d'optimalité, ondelettes, renormalisation)[15]. Mais, au bout du compte, ces modèles doivent toujours être implémentés dans une machine à états discrets, dans des séquences de 0 et de 1. Même si certaines « formes » qui émergent dans les dynamiques mathématiques décrites par le « Deep Learning » ressemblent à des dynamiques cérébrales (dans la reconnaissance d'images, il est possible de reproduire des dynamiques que l'on peut entrevoir dans le cortex cérébral – ou, plus précisément, les mêmes

---

in classical, quantum and computational randomness. *Randomness through Computation*, H. Zenil (ed), p. 73–92, World Scientific, 2010.

15. Y. Le Cun, *Quand la machine apprend. La révolution des neurones artificiels et de l'apprentissage profond*, Paris, Odile Jacob, 2023.

mathématiques peuvent être utilisées pour les décrire), le cerveau animal ne possède pas « derrière » lui une machine à états discrets qui ferait les calculs, comme le « Deep Learning ». Autrement dit, l'image de la « pensée » que nous renvoie l'IA *est toujours celle d'un calcul sur des nombres entiers*. Certains philosophes en viennent à dire : « ce qui ne peut être calculé ne peut être pensé[16] » : les séquences de 0/1, les calculs discrets et les algorithmes, telles sont les limites de leur monde. Et chacun de leur côté, Judea Pearl et Leslie Valiant, tous deux récipiendaires du prestigieux *Turing Award* (le prix Nobel de l'informatique), en viennent à expliquer que les lois de la physique et de la biologie sont des algorithmes (enrichis par des corrélations statistiques entre données numériques, selon Pearl ; ou par des « écorithmes », néologisme construit à partir d'« algorithme » selon Valiant qui cherche à souligner l'interaction entre les programmes)[17].

---

16. J. Ladyman, J., D. Ross, *Every Thing Must Go, Metaphysics Naturalized,* Oxford UP, 2008 ; autrement dit, ce qui ne peut être calculé par les machines produites ou gérées par les GAFAM ne peut être pensé.

17. J. Pearl & D. Mackenzie, *The Book of Why. The New Science of Cause and Effect*, New York, Basic Book, 2018 ; L. Valiant, *Probably approximately correct*, New York, Basic Books, 2013.

Pearl est explicite : le monde est, comme le prétend Laplace, déterministe et prévisible (au pire, avec les méthodes statistiques, qu'il utilise avec beaucoup de talent), à l'exception de l'indétermination quantique[18]. Et il en est exactement ainsi dans un univers numérique, constitué de points bien séparés et accessibles : seule la mesure quantique, si elle est nécessaire, empêche la prévisibilité[19]. Excellents techniciens dans leur discipline, Pearl et Valiant

---

18. J. Pearl le dit explicitement : « Ce modèle fonctionnel quasi-déterministe reflète la conception de Laplace de la nature… (seuls les phénomènes de mécanique quantique présentent des associations qui pourraient entrer en conflit avec le modèle laplacien) ». Cf. J. Pearl, "The Logic of Contrefactuals in Causal Inference", *J. Amer. Stat. Assoc.,* 2020, 95, 450.

19. Turing est parfaitement conscient du fait que sa machine, prototype mathématique de l'ordinateur moderne, est « laplacienne » et il l'écrit d'ailleurs explicitement : « […] étant donné l'état initial de la machine et les signaux en entrée, il est toujours possible de prédire tous les états futurs. Cela rappelle le point de vue de Laplace. », A.M. Turing (1936-7), « On Computable Numbers, with an application to the Entscheidungs-problem », *Proceedings of the London Mathematical Society*, 2 s. vol. 42, p. 440. Mais, il est tout aussi parfaitement conscient des limites internes de sa machine laplacienne, au point de passer à des systèmes non-linéaires « à la Poincaré », au cœur de ce qui sera appelé, bien des années plus tard, le « chaos déterministe », A. Dahan Delmedico, J.-L. Chabert, K. Chemla, *Chaos et déterminisme,* Paris, Seuil, 1992.

projettent sur le monde ce qu'ils savent faire, sans aucune réflexion critique. Ainsi, dans un monde algorithmique, une pierre tombe parce qu'elle est « programmée pour tomber », comme le soutient Stephen Wolfram, tout comme cela se produit sur un écran d'ordinateur. Heureusement, Einstein nous a expliqué qu'une pierre tombe « pour des raisons de symétrie[20] » et la physique ignore de telles absurdités.

La situation est très différente en biologie, discipline à laquelle Turing s'est intéressé dans son article de 1952, article qui s'éloigne radicalement de son travail sur le calcul par la machine à états discrets de 1936. Ses idées de 1952 restent jusqu'à aujourd'hui très minoritaires en biologie et concernent seulement certains aspects de l'engendrement des formes au cours du développement. En l'absence d'une « théorie de l'organisme » (ontogenèse), et malgré le riche débat théorique de la théorie de l'évolution (phylogenèse) à partir de Darwin, de vagues métaphores computationnelles continuent d'être évoquées pour parler

20. L'équivalence relativiste entre gravité et inertie rend la première claire au sens des théorèmes de Noether : l'inertie est un principe de conservation, donc une propriété de symétrie (une symétrie de translation spatiale).

du vivant, malgré ou contre la tentative exploratoire de Turing. On entend dire aujourd'hui que « nous pouvons contrôler l'évolution » en reprogrammant les organismes[21]. Des techniques difficiles justifient cette arrogance, avec des conséquences très modestes, notamment par rapport aux promesses qui avaient d'abord été faites[22].

On présente ainsi souvent l'ordinateur, du fait de sa double nature de calculateur et de machine, comme la résolution incarnée de l'aporie du continu et du discret dont le mathématicien René Thom disait qu'elle était la plus profonde des mathématiques. Il s'agit au contraire de ne pas prendre pour argent comptant cette façon de présenter l'ordinateur,

---

21. J. Doudna & S. Sternberg, *A Crack in Creation: Gene Editing and the Unthinkable Power to Control Evolution*, London, Bodley Head, 2017. Pour un compte-rendu G. Longo, « Programming Evolution: a Crack in Science. A Review of the book by Nobel winner, J.A. Doudna, and S.H. Sternberg », in *Organisms. J. Bio Sci.,* 2021, vol. 5, nº 1.

22. Pour ce qui est des promesses non tenues, après le séquençage du génome humain, ce titre très ronflant devrait suffire : « L'Institut National du Cancer se fixe pour objectif d'éliminer les souffrances et la mort dues au cancer d'ici 2015 » ; cf. A.C. von Eschenbach, « NCI [Nat. Cancer Inst.] sets goal of eliminating suffering and death due to cancer by 2015 ». *Journal of the National Medical Association*, 2003, 95.

car confondre l'ordre des nombres discrets et celui de la mesure continue est scientifiquement un non-sens qui ne peut s'expliquer que par le *besoin* de croire en l'identité de la pensée calculante et du calcul. De puissants intérêts non scientifiques d'ordre symbolique et financier y trouvent, à notre avis, leur compte.

Il est temps pour le lecteur de juger sur pièce : grâce aux traductions proposées dans ce volume, les textes sont maintenant à sa disposition. À lui de se faire une idée de l'élargissement qu'il faut accorder à la distinction entre pensée calculante et calcul dans le champ de l'intelligence artificielle et, par extension, dans tous les champs de la connaissance.

Jean Lassègue
(directeur de recherche au CNRS,
Centre Georg Simmel, CNRS-EHESS)

&

Giuseppe Longo
(directeur de recherche émérite au CNRS,
Centre Cavaillès, CNRS-ENS)