



**HAL**  
open science

# Quelques réflexions épistémologiques sur la compétition entre norme juridique et norme numérique

Jean Lassègue

► **To cite this version:**

Jean Lassègue. Quelques réflexions épistémologiques sur la compétition entre norme juridique et norme numérique. Le Big Data et le Droit, 2020. hal-03045665

**HAL Id: hal-03045665**

**<https://hal.science/hal-03045665>**

Submitted on 8 Dec 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Quelques réflexions épistémologiques sur la compétition entre norme juridique et norme numérique

Jean Lassègue

Chercheur au CNRS, membre du Centre Georg Simmel (EHESS)

## Introduction

1. Le fait et la norme dans le calcul

11. Comment penser l'unité de la notion de calcul ?

12. Continuité directe ou indirecte entre déduction et corrélation

2. Les réponses proposées à la question de l'algorithmisation

21. Déterminisme prédictif en ingénierie : la question ne se pose pas

22. Déterminisme prédictif en général : la question est réglée

23. Déterminisme prédictif et non prédictif : la question est loin d'être réglée

3. Retour au droit

Conclusion

Appendice

Bibliographie

## Introduction

Une constatation paraît s'imposer aujourd'hui : à mesure que l'usage des données massives s'accroît et qu'il tend à se généraliser à tous les domaines du savoir et de l'activité humaine, la démarche inductive consistant à recueillir des données se transforme en démarche normative qui vise à imposer des catégories déjà fixées relevant du calcul à tout événement pouvant survenir dans l'avenir<sup>1</sup>. La critique de l'approche purement inductive de la collecte de données en vue de constituer une connaissance a déjà été magistralement faite par C. Calude et G. Longo<sup>2</sup> et je ne vais pas y revenir. Je voudrais plutôt m'interroger sur le changement qui va du descriptif au prescriptif dans la collecte des données parce qu'il impose un changement de regard sur le statut de ce qui fait norme et intéresse donc directement le droit. Le calcul au fondement de ce travail de collecte de données joue en effet désormais le rôle de norme *a priori* pour lequel l'événement naturel ou social n'a d'existence que s'il est susceptible d'être appréhendé au préalable comme une donnée *calculable*. Ce changement impose ainsi une transformation du statut même de ce que l'on entend par réalité mais aussi de ce que l'on entend par légalité, du fait que l'idée de calcul tente désormais de se présenter comme la norme ultime. Il y a évidemment ici une situation qui doit intéresser le droit, car personne n'a décidé de cette transformation du statut de la norme et des conséquences que cette transformation peut avoir

---

<sup>1</sup>On s'en rend compte tous les jours quand une solution informatique présentée comme une liberté finit par être imposée comme une norme, de la feuille d'impôt aux relevés de compte bancaire.

<sup>2</sup>C. Calude et G. Longo, « The deluge of spurious correlation in Big Data », *Foundations of science* mars 2016, p. 1-18.

sur la nature même de la légalité, même si nous ressentons pourtant tous les jours les effets de cette transformation.

Il faut donc se demander en quoi l'usage du calcul et l'augmentation de sa puissance par la mise en réseau finissent par modifier la norme juridique. Évidemment, ainsi brutalement énoncé, un juriste ne manquera pas de répondre qu'*en aucun cas* l'augmentation d'un pouvoir de fait — en l'occurrence celui des ordinateurs et des réseaux — ne saurait avoir d'effet sur la légalité de la norme juridique, car ce serait confondre le droit et le fait. Cet argument de principe a certes du poids puisque la distinction entre droit et fait est indispensable à la possibilité même d'un jugement. Mais on répondra néanmoins que si l'argument vaut toujours à n'importe quel moment arbitraire du temps, il ne prend pas en compte la transformation interne de la norme *dans la durée* qui a ceci de particulier de conserver son pouvoir de contrainte tout en modifiant l'objet sur lequel cette contrainte porte. C'est ce que faisait remarquer E. Cassirer pour le cas du droit<sup>3</sup> et, plus généralement, pour toute forme symbolique qui possède le pouvoir de transformation interne de sa propre norme<sup>4</sup>. On fera donc ici l'hypothèse que si le droit est une forme symbolique, le calcul en est une autre<sup>5</sup> : la question que nous voulons aborder est donc celle de la *compétition entre normes* dans deux formes symboliques qui cherchent à étendre leur prérogative sur ce que l'on doit considérer comme légal et qui sont donc, aujourd'hui, en compétition et même en conflit mutuel<sup>6</sup>.

## I. Le fait et la norme dans le calcul

De façon pragmatique, on invoque généralement la puissance du calcul pour justifier en termes de gain de temps et de productivité l'introduction de l'informatique dans le domaine du droit et de la justice : n'y aurait-il pas en effet tout à gagner à ce que la puissance actuelle du calcul, mise au service du droit, permette de réaliser vite et mieux des tâches que l'exécution à la main rend trop lentes ou trop complexes ? Certes, les avantages consistant à déléguer à des machines des tâches répétitives qu'on est parvenu à bien spécifier au préalable sont immenses, et il n'y a aucune raison de vouloir s'en priver, que ce soit pour la compilation et l'archivage informatique de la jurisprudence commencés dès les années 1960 du siècle dernier, pour l'usage des logiciels d'aide à la décision à partir des données massives cinquante ans plus tard ou pour les nouvelles méthodes dites d'« apprentissage profond » par réseaux de neurones formels qui seraient susceptibles d'être appliquées au droit aujourd'hui.

Cependant, la situation actuelle ressemble fort à un paradoxe : les limitations internes au concept de calcul ont été mises au jour dès 1936<sup>7</sup> et pourtant, la foi dans l'omnipotence du calcul n'a non seulement jamais faibli depuis la construction des premiers ordinateurs à la fin des années 1940, mais a au contraire donné lieu à toujours plus de surenchère dans

---

<sup>3</sup>E. Cassirer, *Éloge de la métaphysique* ; Axel Hägerström, *Une Étude de la philosophie suédoise contemporaine*, Paris, Cerf, 1996, p. 125-126 : « Quand bien même cela serait pertinent [origine mythique du droit], ce n'est pourtant qu'un point de départ déterminé des conceptions juridiques qui est ainsi désigné et cela ne concerne pas l'ensemble de leur "sens" possible ; car c'est justement la transformation constante de ce sens et les motifs qui y exercent leur action qui constituent le véritable problème. [...] Il n'y a visiblement pas un simple oubli mais une transformation qui remplace l'ancienne teneur par une nouvelle. C'est justement le "pourquoi" de cette nouveauté qu'il s'agit de comprendre. »

<sup>4</sup>J. Lassègue, *Cassirer, du transcendantal au sémiotique*, Paris, Vrin, 2016, 2<sup>e</sup> partie, chap. 4.

<sup>5</sup>V., A. Garapon et J. Lassègue, *Justice digitale*, Paris, PUF, 2018, p. 278 s.

<sup>6</sup>E. Cassirer, *La philosophie des formes symboliques*, I, p. 22 : « Parmi les formes spirituelles fondamentales, il n'en est aucune qui ne s'efforce dès son apparition et dans tout son développement de se donner pour le tout au lieu de la partie et de s'arroger ainsi une validité absolue et non pas seulement relative. »

<sup>7</sup>A. Church et A. M. Turing en sont les deux principaux auteurs.

l'« algorithmisation » du rapport au monde, c'est-à-dire dans l'usage de solutions algorithmiques pour la résolution de problèmes empiriques, qu'ils relèvent des connaissances ou des techniques. Or, on aurait pu croire qu'une fois dépassé l'enthousiasme assez naïf des pionniers<sup>8</sup>, la question de la limitation interne de la notion de calcul aurait permis une maturité nouvelle qui aurait donné l'occasion de réfléchir à la portée de ce concept et à ce qu'on peut en attendre dans le cadre de son application aux connaissances et aux techniques : il n'en a rien été, et c'est bien plutôt à une résurgence des rêves d'omnipotence du calcul tels qu'ils avaient cours dans les années 1950 à 1970 du siècle dernier — tout en ayant leur origine chez Leibniz<sup>9</sup> — à laquelle on assiste depuis à peu près cinq ans, dans le droit en particulier. Il faut tenter de comprendre pourquoi, compte tenu de l'existence de théorèmes démontrant une limitation interne au calcul.

## A. Comment penser l'unité de la notion de calcul ?

Pour commencer, il faut remarquer que la notion de calcul possède au moins deux acceptions différentes.

D'une part, il s'agit d'un concept logico-mathématique relativement récent apparu dans les années 1930 du siècle dernier (il était auparavant utilisé en mathématiques sans constituer un objet proprement mathématique). Ce concept visait essentiellement à cette époque à caractériser la nature de la déduction dans les systèmes formels, et c'est à ce niveau conceptuel de la « calculabilité » qu'une limitation interne a été conjointement et indépendamment mise au jour par Church et par Turing en 1936 dans le sillage des théorèmes de Gödel de 1931. Même si la portée de ces théorèmes — en particulier le second théorème de Gödel — a été débattue à l'envi<sup>10</sup> dans les cercles philosophiques dès les années 1950 et jusque dans les années 1990<sup>11</sup>, ces réflexions ont eu peu de conséquences sur la croyance collective en l'omnipotence du calcul.

D'autre part, l'« algorithmisation », c'est-à-dire l'usage de solutions algorithmiques pour la résolution de problèmes empiriques, qu'ils relèvent des connaissances ou des techniques<sup>12</sup>, n'a cessé de s'étendre à partir de la construction des premiers ordinateurs, et ce, dans les domaines les plus divers, comme on peut en faire facilement l'expérience aujourd'hui. Ici, le calcul vise de façon essentielle la collecte, l'organisation et le traitement de données relevant du monde physique ou social et la détermination à partir d'elles de liens de corrélation permettant de reproduire indéfiniment un résultat, c'est-à-dire aussi de prévoir sa réapparition et son traitement afférent. Il est important de souligner ce point, parce que c'est précisément sur la possibilité d'une prévision que portera ultérieurement l'analyse des corrélations. Quoi qu'il en soit, il n'est pas fait mention d'éventuelles limites à cette algorithmisation dérivant des limitations conceptuelles découvertes dans la notion de calcul.

Comment comprendre cette situation paradoxale qui semble faire fi de l'unité de la notion de calcul ?

---

<sup>8</sup>On rapporte que Marvin Minsky avait dans les années 1960 demandé à un de ses étudiants de résoudre pendant l'été le « problème de la reconnaissance des formes et de la vision »... On en est encore loin aujourd'hui, même si des progrès spectaculaires ont été réalisés récemment en termes de reconnaissance de forme.

<sup>9</sup>V. l'Appendice à cet article qui porte sur ce point historique.

<sup>10</sup>Un grand professionnel de la logique, Jean-Yves Girard, parlait à ce propos de véritable « Gödelite ». V., J.-Y. Girard, « La Gödelite », p. 167-171, dans l'avant-propos de la traduction française de E. Nagel et J. R. Newman, *Le théorème de Gödel*, Paris, Seuil, 1989.

<sup>11</sup>La littérature est immense. Il faut commencer par citer le seul article de philosophie écrit par Turing en 1950, mais il serait impossible de faire une bibliographie complète à l'heure d'aujourd'hui.

<sup>12</sup>L'expression de « modélisation » a trait à la connaissance ; celle d'« algorithmisation » regroupe à la fois les connaissances et les techniques.

## B. Continuité directe ou indirecte entre déduction et corrélation

Il faut, pour tenter de bien comprendre l'enjeu, faire un peu d'histoire. Comme l'a fortement souligné G. Longo<sup>13</sup>, l'un des apports épistémologiques des théorèmes de limitation interne des formalismes a été de permettre de faire apparaître une analogie de structure entre les mathématiques et la physique tout en dégagant deux étapes dans l'histoire de ces sciences, la première reposant sur l'idée que tout *événement* dans un système physique ou tout *théorème* dans un système formel devrait être *décidable dans l'avenir* tandis que la deuxième étape reposait au contraire sur le fait, établi par des théorèmes de limitation interne, qu'il n'était pas possible de prédire l'intégralité des événements physiques ou des théorèmes déduits des axiomes dans le cadre de leurs systèmes respectifs. La première étape avait été défendue de façon emblématique par Laplace en physique et par Hilbert en logique dans sa reconstruction axiomatique des fondements des mathématiques. La seconde avait débuté quand, en physique, Poincaré avait établi dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle — et ce, contrairement au modèle laplacien originellement élaboré pour le cas de la mécanique céleste mais généralisé par la suite à toute la physique — le caractère non prédictible de certaines dynamiques pourtant formellement déterminées par des équations. Du point de vue des mathématiques, l'acte de naissance de la logique moderne peut être daté du moment où Gödel démontra en 1931 qu'il n'était pas possible de rabattre toutes les structures porteuses de sens mathématique sur des arrangements logico-formels, comme l'espérait initialement Hilbert. Ainsi la profonde mutation du paradigme déterministe au début du XX<sup>e</sup> siècle devient-elle plus claire quand on observe conjointement les cas de la physique et des mathématiques par le prisme des théorèmes de limitation interne : se dessine alors une analogie entre une première phase du paradigme déterministe, celle du déterminisme *prédictif*, représentée par les travaux emblématiques de Laplace en physique et de Hilbert en mathématique et une deuxième phase, celle du déterminisme *non prédictif*, représentée par ceux de Poincaré en physique et de Gödel en mathématique<sup>14</sup>.

À la lumière de cette histoire, le cas particulier des recherches de Turing sur le calcul a ceci d'exemplaire qu'il se situe exactement à la croisée des deux paradigmes qui viennent d'être décrits. Turing a en effet réussi un double tour de force : tout d'abord, il a réussi, d'un point de vue logico-mathématique, à définir universellement la notion de calcul dans le cadre du déterminisme prédictif au moyen du concept de « machine de Turing » d'une part et à dévoiler une limite interne à la notion de calcul, déplaçant le paradigme du déterminisme prédictif au déterminisme non prédictif dans le cadre de la logique mathématique, d'autre part ; il a ensuite, d'un point de vue physique, à la fois poussé à l'extrême le déterminisme prédictif en construisant un ordinateur — machine matérielle entièrement prédictive — d'une part, mais a proposé également un modèle mathématique rendant compte de l'émergence de certaines formes biologiques dans le cadre du déterminisme non prédictif d'autre part. Autrement dit, *il a contribué aux quatre parties d'un cadran croisant le concept de calcul et ses limites et ce qu'on peut ou ne peut pas en réaliser matériellement.*

On peut, à la lumière de ces remarques historiques, tenter de préciser ce que l'on peut attendre de l'usage de l'informatique à des fins d'algorithmisation — dans le droit notamment. On pourra alors mieux comprendre la nature des enjeux dans la compétition actuelle entre différentes formes de légalité dans le droit, celle issue des textes juridiques d'une part et celle issue des algorithmes codant des règles de droit de l'autre.

---

<sup>13</sup>V. « *Locus Solum* », MSCS, vol. 11/3, Cambridge University Press, 2001.

<sup>14</sup>F. Bailly et G. Longo, *Mathématiques et sciences de la nature. La singularité physique du vivant*, Paris, Hermann, 2006, chap. 2.

## II. Les réponses proposées à la question de l'omnipotence du calcul

Les différentes réponses qui sont faites à la question de la légitimité de l'expansion de l'algorithmisation se situent toutes dans le cadran que je viens de décrire brièvement et qui ont l'interprétation des théorèmes de limitation pour thématique sous-jacente.

### A. Déterminisme prédictif en ingénierie : la question ne se pose pas

Une première réponse consiste à dire que la question de l'interprétation des théorèmes de limitation ne se pose pas. On peut en effet vouloir répondre en dissociant intégralement les recherches logico-mathématiques ayant en particulier les théorèmes de limitation pour objet et les problèmes de calcul qui se posent dans le cadre de l'algorithmisation. Dans ce cas, on se situe exclusivement du point de vue du déterminisme prédictif en se limitant à l'objet matériel qu'est l'ordinateur. C'est par exemple le choix fait par l'historien des sciences Pierre Mounier-Kuhn qui considère que l'histoire de l'informatique relève essentiellement d'une histoire de l'ingénierie des ordinateurs, c'est-à-dire de l'augmentation de leur puissance de calcul, de leur miniaturisation et de leur mise en réseau, et qu'elle n'a rien à voir avec les limitations internes du concept logique de calcul<sup>15</sup>. Dans ce cas, on aurait affaire à deux champs différents relativement étanches, et la question de leur recoupement éventuel sous la catégorie de « calcul » deviendrait oiseuse.

Cette réponse ne me paraît pas satisfaisante. Outre qu'elle réduit à une pure coïncidence le fait qu'un certain nombre de figures capitales de cette histoire furent à la fois mathématiciens et ingénieurs — Turing, von Neumann, Shannon et Wiener pour ne citer que quelques noms parmi les plus éminents de la première génération —, elle rend inconcevables les transferts de notions d'un champ à un autre, phénomène pourtant avéré en histoire des sciences et des techniques<sup>16</sup>. De plus, la question de l'algorithmisation de la nature et de la société se trouve alors abordée sous l'angle d'un problème d'ingénierie qui laisse dans l'implicite le problème épistémologique de la légitimité de cette algorithmisation. Or il n'y a aucune raison de croire que les phénomènes naturels et sociaux se manifestent spontanément comme des données qui seraient exploitables par des algorithmes et que l'ingénierie informatique serait susceptible de traiter. Cette question revient en particulier à se demander ce que les méthodes discrètes propres aux algorithmes captent des phénomènes réputés continus, en particulier de nature biologique, phénomènes sur

---

<sup>15</sup>P. Mounier-Kuhn, *L'informatique en France de la Seconde Guerre mondiale au Plan Calcul. L'émergence d'une science*, Paris, Presses universitaires de la Sorbonne, 2010. Remarquons que la question de savoir si les limitations internes des formalismes auraient pu être découvertes par la voie de l'ingénierie avait été posée dans l'entourage de K. Gödel par Hao Wang, comme il le rapporte dans *Beyond Analytic Philosophy : Doing Justice to what we Know*, MIT Press, 1985. Hao Wang répondait par la négative.

<sup>16</sup>Un bel exemple d'un tel transfert est celui des concepts de probabilité et de statistique, nés dans les sciences sociales et qui finirent par se déplacer jusqu'au cœur de la physique théorique. V., I. Hacking, *The Taming of Chance*, Cambridge University Press, 2014 et, plus récemment, O. Rey, *Quand le monde s'est fait nombre*, Paris, Stock, 2016. J'ai montré sur un autre exemple que la trajectoire intellectuelle de Turing n'avait de sens que si l'on reconnaissait la persistance du point de vue de la limitation interne à travers tous les champs qu'il a abordés ; v., J. Lassègue, « L'évolution du constructivisme turingien : de la logique du mental à la morphogenèse de l'idée », *Intellectica* 2004/2 (39), p. 107-124 et « Turing entre le formel de Hilbert et la forme de Goethe », *Matière première* 2008, n° 3, p. 57-70.

lesquels Turing<sup>17</sup> et von Neumann<sup>18</sup> se heurtaient déjà dans leurs travaux. Il faut donc voir si d'autres réponses à la question de la scission, au sein de la notion de calcul, entre le niveau logico-mathématique centré sur la déduction formelle et le niveau naturel et social centré sur la corrélation sont envisageables.

## B. Déterminisme prédictif en général : la question est réglée

À l'opposé de la première réponse, on peut au contraire considérer que la question de l'unité du concept de calcul a été définitivement réglée le jour où il a été possible de définir le domaine du « calculable ». Dans ce cas, on se situe exclusivement du point de vue du déterminisme prédictif en pensant qu'il y a une continuité entre concept et objet, naturel ou social. Comment la notion de « calculable » permet-elle d'établir cette continuité ?

La notion de calculable implique deux traits caractéristiques : d'une part, la notion est tournée vers l'avenir puisqu'elle doit prendre en compte ce qui pourra faire l'objet d'un calcul ; d'autre part, elle doit permettre d'établir, dans ce domaine seulement possible, une frontière entre ce qui relève du calcul et ce qui n'en relève pas. Le théorème de limitation interne au calcul établi par Turing traite précisément de ces deux points. Compte tenu de la définition de la notion de calcul comme procédure intégralement exécutable par une machine programmable, il démontre qu'il y a des procédures qu'une machine programmable ne peut pas exécuter et qui ne sont donc pas calculables. L'exemple d'une procédure incalculable choisi par Turing porte sur l'analyse de la prédictibilité future du comportement d'une machine : il montre qu'une machine A, quel que soit son programme, ne peut pas prévoir le comportement d'une autre machine B par la simple inspection du programme de B<sup>19</sup>. L'exemple a ceci d'intéressant que, même s'il relève du domaine logico-mathématique, il aborde le point capital de toute analyse de corrélation de type « si A alors B », à savoir sa capacité à prédire des situations à venir. La notion de « calculable » décrit alors le champ tout à fait unique où se superposeraient déduction logico-mathématique et corrélation empirique : le domaine du calculable aurait cette vertu insigne d'autoriser l'intelligibilité des corrélations matérielles en termes de déduction logique.

Une telle réponse à la question de l'unité du concept de calcul a le mérite de respecter l'histoire des transferts réciproques de la logique mathématique et de l'ingénierie. Elle revient d'autre part à interpréter le champ du calculable comme celui où il devient possible de suivre pas à pas le rapport de corrélation dans la nature ou la société comme on le fait dans un système formel. L'analyse des comportements naturels et sociaux fondée sur les données massives, c'est-à-dire la « science des données », relèverait typiquement de cette approche. Pourtant, il n'est pas sûr qu'on puisse s'en contenter, parce que la superposition de la déduction logico-mathématique et de la corrélation empirique pose immédiatement un problème épistémologique grave.

## C. Déterminisme prédictif et non prédictif : la question est loin d'être réglée

La superposition de la déduction et de la corrélation que la notion de « donnée calculable » semble permettre pose en effet le problème du rôle que joue, dans cette superposition, la limitation interne de la notion de calcul. Je défendrai à cet égard la thèse suivante : absente du

---

<sup>17</sup>Dans son article de philosophie de 1950, « Computing Machinery and Intelligence », Turing insiste sur le fait que le cerveau n'est sûrement pas une machine programmable.

<sup>18</sup>La fin du livre de Von Neumann *The Computer and the Brain* (3<sup>e</sup> éd., Yale Univ. Press, 2012) porte sur cette question.

<sup>19</sup>C'est le problème que l'on appellera après Turing le « problème de l'arrêt ».

domaine interne circonscrit par le calculable qui peut s'étendre indéfiniment, la limitation interne à la notion de calcul ne s'en fait pas moins sentir par la tendance continue à vérifier si un processus naturel ou social quelconque relève ou non du calculable. La recherche continue de cette confirmation *se nourrit donc de sa propre limitation* qui est précisément le moteur de l'extension indéfinie du calculable, cette « algorithmisation » généralisée de la nature et de la société à laquelle nous assistons aujourd'hui et qui se manifeste par l'explosion des données massives. Il y a donc bien un rapport entre le niveau de la déduction formelle et le niveau de la corrélation empirique par le biais du théorème de limitation interne, mais c'est par le *défaut de calcul et, corrélativement, la dynamique consistant à y remédier constamment* que les deux niveaux sont en rapport, et non par une continuité directe entre le déductif et le corrélatif, qui n'appartiennent pas à la même sphère d'intelligibilité.

Dans le cas où la réponse consiste à dire que la question est loin d'être réglée, on se situe du point de vue de l'articulation entre le déterminisme prédictif et le déterminisme non prédictif à la fois du point de vue conceptuel et du point de vue de l'objet. Seul le dernier point de vue permet de rendre compte de la nature du calcul d'un point de vue général, et c'est donc celui qu'il convient d'adopter pour comprendre sa norme propre et le rapport qu'elle doit entretenir avec celle du droit.

On peut maintenant mieux saisir la place que l'on accorde au calcul dans le rapport au droit puisque les différentes réponses exposées plus haut à la question de savoir comment se situer par rapport à l'idée d'omnipotence du calcul tiennent à la façon dont les quatre cases du cadran sont interprétées.

### III. Retour au droit

Il est clair que seule la dernière réponse à la question de la nature du calcul est satisfaisante dans la mesure où c'est la seule qui la prenne en compte dans sa globalité, à la fois du point de vue de la transformation interne des connaissances (allant du déterminisme prédictif au non prédictif) et de l'objectivation de celles-ci dans certains objets (l'ordinateur dans le cas du déterminisme prédictif et tous les phénomènes critiques en physique et en biologie dans le cas du déterminisme non prédictif). Mais ce tableau épistémologique qui vaut pour les sciences de la nature reste à compléter pour les sciences sociales, et en particulier pour le droit. Plusieurs remarques peuvent d'ores et déjà être formulées.

Tout d'abord, ce tableau permet de fixer des limites au rapport entre calcul et droit. Non pas qu'il faille borner le pouvoir du calcul qui, *dans son ordre*, celui du domaine du calculable, peut s'étendre indéfiniment, comme l'algorithmisation actuelle de toutes les activités humaines dont le droit tend à le montrer. Mais cette extension indéfinie n'empêche pas qu'il y ait des limites *a priori* au calcul puisque certains problèmes peuvent se formuler en termes de calcul sans pouvoir avoir une solution dans ces mêmes termes. Cette remarque permet donc déjà de se débarrasser de toutes les tentatives imaginaires concernant une « Intelligence artificielle » qui remplacerait à terme les juges et le corpus des lois. Cet imaginaire se nourrit encore de celui de Leibniz, mais il est devenu inopérant parce que Leibniz n'avait, et pour cause, aucune idée précise de la limitation interne des formalismes<sup>20</sup>.

Le tableau épistémologique dressé plus haut pourrait ainsi servir de guide pour mieux comprendre les limites du rapport entre droit et calcul. Pour préciser ce rapport, on doit commencer par se demander s'il y a une zone de prédictibilité déterministe dans le droit qui pourrait être modélisée par le calcul.

---

<sup>20</sup>V. l'Appendice à cet article.



Pour répondre à cette question, il faut revenir un instant à un raisonnement épistémologique. On sait que la deuxième phase du paradigme déterministe, le moment non prédictif, a établi dans les systèmes physiques l'existence de plusieurs formes d'aléatoire (dans les systèmes à transition critique, en mécanique quantique et en biologie essentiellement<sup>21</sup>). On en avait conclu que l'existence de ces processus aléatoires rendait impossible la constitution d'un déterminisme prédictif à l'échelle de la nature. En quoi ce cas de figure intéresse-t-il le droit, qui en paraît bien éloigné ? C'est qu'on doit en conclure que la numérisation des processus naturels et leur transformation en donnée calculable ratent quelque chose du dynamisme de la nature, puisque le caractère aléatoire de certains processus échappe au calcul. Or c'est bien cette numérisation des processus naturels à laquelle on pense tout d'abord dans le cas du droit : c'est par exemple le cas classique de la limitation de vitesse contrôlée par radar qui transforme une donnée naturelle (la vitesse d'un véhicule en trajectoire rectiligne) en donnée calculable et qui fait l'objet d'une décision exécutée par un programme. Il y aurait donc peut-être des processus naturels qui, sans être aussi triviaux que la mesure d'une vitesse, intéresseraient directement le droit et que la modélisation par le calcul laisserait en partie échapper. On songe par exemple à tous les processus complexes dans des systèmes artificiels comme les centrales nucléaires où se mêlent à la fois des paramètres naturels imprévisibles (par exemple, un tsunami aux alentours d'une centrale comme lors de l'accident de Fukushima) et des paramètres technologiques d'une complexité telle que leur contrôle ne peut pas faire l'objet d'une prévisibilité totale. Du point de vue du droit, il devient alors difficile, voire impossible de démêler *a priori* les responsabilités des différents acteurs face à des processus naturels et culturels d'une telle complexité.

On pourrait ici faire une objection qui viserait à cantonner le droit à la sphère du calculable en disant que le rôle du droit n'est pas de prendre en compte les cas aléatoires naturels tels qu'ils sont décrits par le déterminisme non prédictif, mais de les envisager seulement du point de vue de leur « reste calculable », parce que le droit relève d'un fait de culture, c'est-à-dire de phénomènes de décision essentiellement discrets (la catégorie coupable/innocent, par exemple) qui sont modélisables par le calcul : l'argument de l'existence de processus non calculables, et donc aléatoires, dans la nature, ne serait dès lors pas pertinent puisque la légalité du droit ne commencerait qu'à partir du moment où les événements physiques seraient interprétés comme des événements logiques de nature calculable. Mais l'objection n'est pas valable précisément parce qu'il a été possible de montrer qu'*il existe aussi un aléatoire au cœur du calculable*, c'est-à-dire au cœur d'un instrument culturel majeur comme le calcul : le déterminisme non prédictif s'étend aux processus culturels et on a donc toutes les raisons de croire qu'il s'étend aussi au droit. Où ces processus relevant du déterminisme non prédictif pourraient-ils se situer dans le cas du droit ?

Le problème semble se situer au niveau de l'agrégation des données calculables. En effet, à partir du moment où ces données calculables ne sont plus seulement des mesures d'un événement physique externe effectuées au « coup par coup », pourrait-on dire (comme c'est le cas de la mesure de la vitesse d'une automobile par un radar), mais sont seulement conçues sous l'angle d'événements logiques susceptibles de traitement, elles peuvent faire l'objet de limitation interne comme dans tout processus calculable. Deux problèmes se posent alors.

D'une part, un problème de rapport entre cas général et cas particulier. Un programme informatique ne peut que produire de la réitération : les données calculables qui lui sont soumises sont toutes traitées de la même manière. Or on peut imaginer des cas juridiques où les

---

<sup>21</sup>C. Calude et G. Longo, « Classical, Quantum and Biological Randomness as Relative Unpredictability », in *Classical, Quantum and Biological Randomness as Relative Unpredictability*, CDMTCS Research Report Series, 2015, *Natural Computing*. 15.10.1007/s11047-015-9533-2. Les auteurs, après avoir décrit les différentes formes d'aléatoire, montrent le rapport possible entre l'aléatoire au sens physique et l'aléatoire au sens computationnel.

mêmes données calculables devraient être traitées autrement (par exemple, il peut y avoir des cas de force majeure où sauver la vie de quelqu'un en danger exige de rouler plus vite que la vitesse autorisée au-delà de laquelle le radar se déclenche).

D'autre part, et c'est le point le plus important, un problème de traitement proprement dit qui a donné lieu à l'exploration de plusieurs types de « hasard algorithmique ». Tout d'abord, il est possible de définir des cas où l'exécution d'un programme peut donner lieu à un comportement complètement aléatoire, c'est-à-dire perdre toute pertinence dans ce qu'il cherche à capter et traiter du monde extérieur. C'est le cas par exemple où le programme a la même taille que les données qu'il exécute et où il perd, dès lors, tout pouvoir prédictif<sup>22</sup>. Or on ne sait pas, dans le cas de procédures complexes, si leur mise en forme algorithmique ne serait pas de même complexité que les données que la procédure algorithmique aurait à traiter. Qu'on songe par exemple aux processus aléatoires dans un phénomène intégralement culturel comme une salle de marchés et l'impossibilité qu'il y a à déterminer les responsabilités juridiques en cas de crise majeure : l'avantage d'en passer par une modélisation informatique visant au calcul des responsabilités serait dans ce cas à peu près nul.

Du point de vue de la taille des ensembles de données calculables ensuite, le fait de chercher à capter des régularités entre données calculables par le biais de programmes permettant l'établissement de régularités servant ultérieurement de normes se heurte à une limitation *a priori*, puisque le nombre de fausses corrélations entre éléments d'un ensemble dépend de la taille de cet ensemble<sup>23</sup>. Du point de vue mathématique, on peut alors démontrer que les fausses corrélations sont infiniment plus nombreuses que les vraies, ce qui devrait servir d'avertissement suffisant à toute velléité de croire qu'il suffit d'augmenter mécaniquement la taille des bases de données juridiques pour parvenir à déterminer des régularités sur lesquelles baser des jugements automatisés. La question de la « bonne taille » pour une base de données particulière dépend donc d'un calibrage qui n'est pas calculable à l'avance.

\* \*  
\*

Ces remarques épistémologiques ont cherché à donner un bref aperçu du cadre épistémologique général dans lequel il devient possible d'envisager les rapports du calcul et du droit. Ce cadre est lui-même dynamique : il ne vise pas à décréter ce que « peut » ou « ne peut pas » le calcul dans le domaine juridique mais à déterminer les critères permettant de nourrir la délibération sur son usage dans les différents cas, prédictifs ou non prédictifs, que l'on est parvenu à circonscrire. De ce point de vue, le calcul a très certainement sa place dans le monde du droit si on parvient à l'interpréter comme une façon parmi d'autres de participer à la production des faits, eux-mêmes soumis à argumentation, c'est-à-dire si le calcul parvient à être réintégré au sein d'un processus éminemment social, celui de l'élaboration collective du jugement.

---

<sup>22</sup>G. Chaitin, *Thinking about Gödel and Turing, Essays On Complexity, 1970-2007*, chap. « Leibniz, Randomness and the Halting Probability », World Scientific Publishing Company, 2007, p. 242 : « Cette théorie définit toute suite de données comme aléatoire, irréductible, sans structure, si elle est algorithmiquement incompressible, c'est-à-dire si la taille du plus petit programme d'ordinateur qui produit cette suite finie de données comme résultat a à peu près la même taille que le résultat qu'il produit. »

<sup>23</sup>C. Calude et G. Longo, « The deluge of spurious correlation in Big Data », *Foundations of science* mars 2016, p. 17 : « Notre travail confirme l'intuition selon laquelle plus la base de données que l'on explore pour trouver des corrélations est grande, plus il y a de chances de trouver des régularités récurrentes et plus élevé le risque de faire des erreurs. Nous avons montré que la majorité écrasante des corrélations sont fausses. En d'autres termes, il y aura des régularités mais, par construction, la plupart du temps (presque toujours dans un sens mathématique), ces régularités ne pourront être utilisées pour prévoir et agir. »

# Appendice

Cet appendice vise à montrer combien le projet d'un calcul intégral du droit repose sur une métaphysique datant de l'âge classique dont on a toutes les raisons épistémologiques de vouloir s'affranchir aujourd'hui. Le sens de la notion de légalité juridique ainsi que ses transformations seront, par ce biais, précisés.

## I. Le projet algorithmique de l'âge classique

C'est essentiellement à Leibniz que revient d'avoir exprimé de manière cohérente dans les années 1674-1678 le projet d'une légalité algorithmique du monde se manifestant à la fois dans les domaines mathématiques, physique et juridique. La convergence de méthode portant sur ces domaines pourtant réputés indépendants se fonde sur l'idée de calcul.

### A. Exhaustivité et finalité

Commençons par le cas du droit puisque c'est aussi le cas qui, chronologiquement, a d'abord retenu Leibniz<sup>24</sup>. Dans le *De Justitia et Novo Codice* de 1678, Leibniz développe un projet déductif-formaliste à l'égard du droit dans lequel le calcul joue un rôle central<sup>25</sup>. C'est l'idée d'interprétation du droit qui est remise en question par le biais de deux concepts, celui d'exhaustivité et celui de finalité, qui vont de pair.

Pour Leibniz, le calcul permet de déployer une combinatoire exhaustive des cas et, ce faisant, il sature tout le possible qu'il permet de circonscrire à l'avance sans en passer par l'apparition empirique des cas dans le temps : le passé et le futur sont alors complètement interchangeable. Cette prévisibilité des décisions juridiques est seulement possible si le juge renonce à toute interprétation de la loi et se cantonne à l'application stricte et réitérable de la règle — son « calcul » proprement dit. Ainsi l'exhaustivité des solutions permet-elle de distinguer d'une part la manipulation des règles que l'on a dépouillées de leur signification et qui sont combinées selon les lois de l'arithmétique et d'autre part la finalité que vise cette manipulation et qui se présente sous l'aspect numérique d'un résultat ou d'une solution à atteindre d'autre part. La finalité apparaît ainsi comme ce qui reste de la notion de sens quand elle est passée au crible du calcul. Le sens d'une décision juridique s'en trouve de ce fait modifié puisque le calcul congédie l'interprétation des règles au profit de l'effectivité de leur manipulation : c'est dans cette mesure qu'il s'agit d'un projet que l'on qualifierait aujourd'hui de formel. La légalité se déplace dès lors du sens à interpréter à l'applicabilité de la règle en vue d'assurer la prévisibilité de tous les cas possibles et en l'occurrence dans le cas juridique, de toutes les décisions (le sens ne resurgissant que dans la finalité).

Ce rapprochement entre exhaustivité et finalité est le fruit épistémologique d'un certain contexte culturel dont deux aspects doivent être soulignés ici : d'une part, l'analyse comparée des langues, européenne et non européenne, qui commence à se pratiquer avec l'expansion européenne hors d'Europe fait apparaître l'idée que les langues du monde sont « grammatisables », c'est-à-dire qu'elles sont régies par des règles en nombre fini que l'on peut transcrire par écrit en dépassant le savoir purement intuitif des locuteurs natifs qui ignorent leur

---

<sup>24</sup>On cite généralement le *De arte combinatoria* de 1666 (Leibniz a vingt ans) comme première tentative menée par Leibniz pour introduire dans le jugement de droit une combinatoire formelle. Que ce texte soit resté lettre morte par Leibniz lui-même est pourtant peu noté.

<sup>25</sup>V. <https://www.asmp.fr/travaux/communications/2008/boucher.htm>

grammaire<sup>26</sup> ; d'autre part, la recherche de ces règles de grammaire doit conduire à la constitution d'une grammaire universelle (et partant d'une langue universelle puisque toutes les langues ont des grammaires) qui se tiendrait au plus près de la façon dont les idées s'enchaînent dans l'« esprit ».

## B. La grammaire universelle, à l'articulation de l'idéographie chinoise et de l'alphabet européen

Quels sont les principes de cette grammaire universelle ? Chez Leibniz, qui a porté le projet à sa pleine maturité, ils sont deux, le premier de nature idéographique et le second de nature alphabétique.

Au cours de ses recherches, Leibniz, qui entretient une correspondance avec les jésuites résidant à la cour de l'empereur de Chine, transmet au père Bouvet son calcul binaire. Leibniz affirme (sans doute à tort, mais peu importe ici) que son calcul binaire fut appliqué avec succès par le père Bouvet au déchiffrement de textes chinois jusqu'alors non déchiffrés provenant d'une époque reculée, celle d'un empereur quasi mythique du nom de Fo-Hi dont on disait qu'il était à l'origine de l'écriture idéographique chinoise<sup>27</sup>. Leibniz parvient ainsi à faire converger le concept de l'écriture idéographique et son histoire, oubliée, à son avis, des Chinois eux-mêmes. Or l'écriture idéographique lui paraît être fondamentale parce qu'elle possède au moins un trait qui relève du formel : elle permet, selon lui, de représenter directement les concepts et leurs rapports mutuels. Il en conclut que la grammaire universelle doit reposer au moins en partie sur l'usage idéogrammatique tel qu'on le trouve dans l'écriture chinoise. Mais cette écriture a le défaut de ne pas avoir de principe de limitation dans le nombre de ses idéogrammes, et il faut y suppléer au moyen d'un alphabet tel qu'il est utilisé par l'écriture européenne qui peut, à partir d'un stock exhaustif de caractères combinables, écrire n'importe quel mot, comme le code binaire permet d'écrire n'importe quel nombre.

Ainsi, à partir du contexte culturel de la prise de conscience de la grammaticalité de toutes les langues du monde, Leibniz en vient au projet concret de l'écriture de la grammaire de la langue universelle *via* l'idée de calcul binaire.

On doit noter que, dans le même contexte du déchiffrement des caractères de Fo-Hi, Leibniz rapproche lui-même sa découverte du calcul binaire de celle de son calcul infinitésimal<sup>28</sup> faite

---

<sup>26</sup>Jusqu'alors en Europe, seuls le grec et le latin étaient dignes de posséder une grammaire (les autres langues étant vouées à la transformation indéterminée) et c'est tout d'abord à partir du patron des grammaires grecque et latine que l'on s'est efforcé de grammatiser les langues, en particulier non européennes. V., S. Auroux, *La révolution technologique de la grammatisation*, Liège, Mardaga, 1997. Remarquons que Leibniz considérait déjà que le grec et le latin ne pouvaient pas servir de patron à la grammatisation des langues non européennes.

<sup>27</sup>« [...] Ce qu'il y a de surprenant dans ce calcul, c'est que cette Arithmétique par 0 et 1 se trouve contenir le mystère des lignes d'un ancien Roi et Philosophe nommé Fohy, qu'on croit avoir vécu il y a plus de quatre mille ans et que les Chinois regardent comme le Fondateur de leur empire et de leurs sciences. [...]. Les Chinois ont perdu la signification des Cova ou Linéations de Fohy, peut-être depuis plus d'un millier d'années, et ils ont fait des Commentaires là-dessus, où ils ont cherché je ne sais quels sens éloignés, de sorte que la vraie explication leur vient maintenant des Européens. Voici comment : il n'y a guère plus de deux ans que j'envoyai au Père Bouvet, Jésuite Français célèbre, qui demeure à Pékin, ma manière de compter par 0 et 1, et il n'en fallut pas davantage pour lui faire reconnaître que c'est la clef des figures de Fohy. » « Explication de l'arithmétique binaire, qui se sert des seuls caractères 0 et 1, avec des remarques sur son utilité, et sur ce qu'elle donne le sens des anciennes figures chinoises de Fohy », *Math. Schrift.*, Gerhardt éd., t. VII, p. 226-227.

<sup>28</sup>Leibniz au T.R.P. Verjus, Hanovre, fin de l'année 1698 : « C'est depuis ma jeunesse que j'ai médité une nouvelle caractéristique qui donnerait moyen non seulement de signifier comme ceux des Chinois, mais aussi de calculer exactement sur bien des choses où jusqu'ici on ne raisonne que vaguement. J'ai réussi un peu dans mon calcul des infinitésimales et dans une autre méthode non encore publiée que j'appelle Calculum Situs, mais je prétends d'aller

vers 1674. Ainsi le calcul en tant qu'écriture universelle est-il non seulement au fondement du formalisme juridique mais rend aussi possible l'exactitude mathématique dans des domaines qui dépassent l'intuition (les éléments à compter ne sont plus dénombrables) et où il faut donc s'en remettre à l'application aveugle d'une règle. De même, en physique, l'usage du calcul infinitésimal permet un profond renouvellement de l'objet même de la physique puisqu'elle peut devenir une véritable dynamique reposant sur le concept de force et non plus seulement l'étude des systèmes physiques à l'équilibre (sans mouvement) comme chez Descartes. La cohérence des transformations repose sur une attention portée aux caractères et c'est donc un nouvel ordre graphique qui permet la généralisation de l'idée de calcul<sup>29</sup>.

Cependant, Leibniz n'aborde que très indirectement l'idée d'une limitation d'une telle formalisation parce qu'il ne parvient pas à distinguer clairement l'aspect purement syntaxique de la combinaison des caractères et le sens qu'ils peuvent avoir après la combinatoire formelle et hors d'elle. Il fait seulement remarquer<sup>30</sup> qu'il n'y aurait pas moyen de distinguer dans le livre enfermant toutes les connaissances humaines la partie ayant du sens de la partie dépourvue de sens, puisque le livre serait seulement le résultat d'une gigantesque combinatoire. Or c'est bien ce partage qui fait problème, car que faire d'un livre dans lequel la distinction vrai/faux/non-sens a été abolie ? Il est donc curieux de constater combien le rêve de Leibniz est tenace jusqu'à aujourd'hui, par-delà les limitations purement syntaxiques des formalismes.

---

## Bibliographie

AUROUX S., *La révolution technologique de la grammatisation*, Liège, Mardaga, 1997.

BAILLY F. et LONGO G., *Mathématiques et sciences de la nature. La singularité physique du vivant*, Paris, Hermann, 2006.

CALUDE C. et LONGO G., « Classical, Quantum and Biological Randomness as Relative Unpredictability », in *Classical, Quantum and Biological Randomness as Relative Unpredictability*, CDMTCS Research Report Series, 2015, Natural Computing, 15.10.1007/s11047-015-9533-2

CALUDE C. et LONGO G., « The deluge of spurious correlation in Big Data », *Foundations of science* mars 2016, p. 1-18.

CASSIRER E.,

– *Philosophie des formes symboliques*, t. I, Paris, Minuit, 1972.

---

bien plus avant si Dieu me donne assez de vie et assez de loisir ou aide pour cela, et je ne crois pas qu'il y ait rien qui puisse servir davantage à la raison humaine, qu'une caractéristique achevée. »

<sup>29</sup>Leibniz, « *Inventorium Mathematicum* », *Leibnizens Mathematische Schriften*, éd. Gerhardt, t. VII, p. 17 : « [...] l'instrument général de l'invention humaine réside dans des caractères appropriés, ce que montrent suffisamment les exemples de l'arithmétique, de l'algèbre et de la géométrie : l'esprit se trouve de ce fait dirigé par un fil quasi sensible pour qu'il ne se perde pas comme dans un labyrinthe. Dans la mesure où l'esprit ne peut pas embrasser de nombreuses choses d'un même mouvement, son imagination est épargnée quand les signes remplacent les choses : il est très important que la façon dont les signes sont constitués puisse permettre de référer adéquatement aux choses. Ma propre contribution au progrès des mathématiques est née d'un seul fait : avoir rendu meilleur l'usage des symboles représentant les quantités. »

<sup>30</sup>Leibniz, *Opuscules et fragments inédits*, éd. E. Couturat, Paris, Felix Alcan, 1903, p. 532-533, texte que Couturat appelle « De l'horizon de la doctrine humaine ». « Or puisque toutes les connaissances humaines se peuvent exprimer par les lettres de l'Alphabet, et qu'on peut dire que celui qui entend parfaitement l'usage de l'alphabet sait tout ; il s'en suit, qu'on pourra calculer le nombre des vérités dont les hommes sont capables <et qu'on peut déterminer la grandeur> d'un ouvrage qui contiendrait toutes les connaissances <humaines> possibles ; et ou il y auroit tout ce qui pourroit jamais estre sçû, écrit, ou inventé ; et bien au delà. car il contiendrait non seulement les vérités, mais encor les faussetés que les hommes peuvent enoncer; et même des expressions qui ne signifient rien.

- *Éloge de la métaphysique, Axel Hägerström, Une Étude de la philosophie suédoise contemporaine*, Paris, Cerf, 1996.
- CHAITIN G. , « Leibniz, Randomness and the Halting Probability », in *Thinking about Gödel and Turing, Essays On Complexity, 1970-2007*, World Scientific Publishing Company, 2007.
- GARAPON A. et Lassègue J., *Justice digitale*, Paris, PUF, 2018.
- Girard J.-Y., « La Gödelite », in E. Nagel et J. R. Newman, *Le théorème de Gödel*, Paris, Seuil, 1989, p. 167-171.
- I. HACKING, *The Taming of Chance*, Cambridge, Cambridge University Press, 1990.
- HAO W., *Beyond Analytic Philosophy : Doing Justice to what we Know*, Cambridge, MIT Press, 1985.
- LASSEGUE J.,
- « L'évolution du constructivisme turingien : de la logique du mental à la morphogenèse de l'idée » *Intellectica* 2004/2 (39), p. 107-124.
- « Turing entre le formel de Hilbert et la forme de Goethe », *Matière première* 2008 (3), p. 57-70.
- « Machiavel, Léonard ou Galilée de la politique ? Sur une lecture de Cassirer par Claude Lefort », in G. Longo (éd.), *Lois des dieux, des hommes et de la nature*, Paris, Spartacus-idh, 2017, p. 27-38.
- LEIBNIZ G. W. F.,
- *Opuscules et fragments inédits*, éd. E. Couturat, Paris, Felix Alcan, 1903.
- « Explication de l'arithmétique binaire, qui se sert des seuls caractères 0 et 1, avec des remarques sur son utilité, et sur ce qu'elle donne le sens des anciennes figures chinoises de Fohy », *Leibnizens Mathematische Schriften*, Gerhardt éd., t. VII, Olms Verlag, Hildesheim, 1863, p. 226-227.
- Leibniz, « 5 lettres au père Verjus »  
[https://fr.wikisource.org/wiki/Cinq\\_Lettres\\_au\\_P%C3%A8re\\_Verjus](https://fr.wikisource.org/wiki/Cinq_Lettres_au_P%C3%A8re_Verjus)
- LONGO G., « *Locus Solum* », *MSCS*, vol. 11/3, Cambridge University Press, 2001.
- P. MOUNIER-KUHN, *L'informatique en France de la Seconde Guerre mondiale au Plan Calcul. L'émergence d'une science*, Paris, Presses universitaires de la Sorbonne, 2010.
- REY O., *Quand le monde s'est fait nombre*, Paris, Stock, 2016.
- A. M. TURING,
- « On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem », *Proceedings of the London Mathematical Society* 1936, n° 42, p. 230-265 ; trad. fr. in A. M. Turing, J.-Y. Girard, *La machine de Turing*, Paris, Seuil, 1999, p. 49-104.
- « Computing Machinery and Intelligence », *Mind* oct. 1950, *LIX*, n° 236, p. 433-460 ; trad. fr. in A. M. Turing, J.-Y. Girard, *La machine de Turing*, Paris, Seuil, 1999, p. 133-175.
- VON NEUMANN J., *The Computer and the Brain*, New Haven, Yale University Press, 1958, trad. fr. *L'ordinateur et le cerveau*, Paris, Flammarion, 1999.