

Jean Lassègue

L'évolution du constructivisme turingien : de la logique du mental à la morphogenèse de l'idée

On présente généralement les recherches de Turing de façon caricaturale en limitant son œuvre à l'invention du concept de "machine de Turing" qu'il aurait appliqué une première fois en vue de démontrer que le problème hilbertien de la décision n'avait pas de solution constructive (Turing 1936) et une seconde fois pour rendre crédible la possibilité d'une "intelligence artificielle" (Turing 1950). En fait, le parcours intellectuel de Turing est plus riche et plus complexe, tout en ayant pour thème principal l'interprétation mécaniste de la notion de construction.

"Construction" ou "constructivisme" ne sont pas des mots qu'il est fréquent de rencontrer sous la plume de Turing. On peut néanmoins les employer à bon droit dans son cas dans la mesure où il est l'un des rares scientifiques - sans être le seul¹ - à avoir thématiqué deux grandes directions du sens de la notion, la première de nature logique et la seconde de nature génétique - au sens de dépendant d'une genèse. Il se trouve ainsi être à la croisée de deux significations du terme de constructivisme - le premier requérant une *analyse* algébrique de type *structural* et le second une *description* de l'*émergence de formes*.

D'une part en effet Turing fit partie de ceux qui contribuèrent le plus à préciser la notion de constructif dans le cadre logique du "programme" hilbertien au cours des années trente de ce siècle². C'est à partir de ce cadre purement logique qu'il fut amené d'autre part à rencontrer un autre sens du terme de constructif : en s'étant fixé le projet de «construire un cerveau» (Hodges 1983 : 290) au moyen de l'ordinateur qu'il avait grandement contribué à construire et à faire fonctionner, Turing conçut le projet de modéliser l'activité de pensée d'une part (Turing 1947; Turing 1948; Turing 1950; Turing 1953) et les mécanismes chimiques qui président à la constitution progressive des formes végétales et animales d'autre part (Turing 1952; Turing et Wardlaw 1953). Turing a ainsi montré en quel sens la signification qu'il accordait au terme de constructivisme en logique avait des conséquences sur la façon de

¹ Von Neumann est sans doute celui qui, avec Turing, a le plus contribué à l'élaboration du thème constructif à cette période.

² Sur le programme de Hilbert cf. Introduction de J. Largeault à (Hilbert 1925 : 115-120) et (Kreisel 1958).

concevoir l'idée d'émergence de la forme telle qu'on la rencontre aussi bien dans la pensée que dans le monde organique.

Les deux sens de la notion de construction, bien qu'ils paraissent éloignés, possèdent donc des rapports et ce sont ces rapports que je vais essayer de dégager en replaçant la démarche de Turing dans son contexte historique propre.

1. Le constructivisme logico-algébrique fondé sur un acte mental.

Tel qu'il apparaît dans une tradition qui remonte à Boole, le constructivisme logico-algébrique se donne pour objet l'étude des "lois de la pensée". Ce constructivisme se donne comme point de départ des éléments atomiques qui ont été individués au préalable et dont on réussit, par le biais d'un traitement logico-algébrique, à opérer une mise en rapport. Les agrégats complexes qui sont susceptibles d'être construits ne sont pas d'une nature différente de celle des éléments qui les composent et sont donc toujours susceptibles d'être analysés. Ce sont les lois de construction de tels ensembles qui sont assimilés au fonctionnement de la pensée elle-même.

L'apport de Turing à cette problématique, contenu dans son article de 1936, est double.

D'une part, il précise la nature du traitement logico-algébrique en le décrivant sous la forme d'un acte mental qu'il est possible d'identifier à un calcul écrit ; c'est cet aspect écrit, extérieur au "mental" - inaccessible sans la médiation d'un langage - , qui permet de déléguer à une machine le traitement logico-algébrique lui-même (Turing 1936 : § 1). Avec le recul, on s'aperçoit ainsi que la perspective ouverte par Turing fait passer d'une problématique descriptive concernant les lois de la pensée à ce qui fait la légalité de ces lois, à savoir l'acte mental susceptible ultérieurement d'être délégué à une machine.

D'autre part, en focalisant son attention sur l'acte mental sous-tendant le traitement, Turing, dans le même article, propose une description de l'acte en question en usant de termes comportementaux. Or il démontre que deux types de comportement sont possibles : soit un comportement *local*, toujours prévisible parce que toujours analysable par un traitement logico-algébrique soit un comportement *global* qui peut devenir imprévisible parce qu'un tel traitement peut faire défaut³. L'introduction

³ C'est par le biais du problème dit "de l'arrêt" que Turing formule cette perspective . Cf (Turing 1936 : § 11).

d'une distinction de ce type apparaît ainsi comme une transformation majeure de la problématique logico-algébrique telle qu'elle apparaît dans le programme formaliste dans laquelle la notion d'analysable possédait d'emblée une validité universelle.

Deux remarques historiques paraissent nécessaires pour préciser en quoi ce constructivisme mental pouvait faire cependant partie d'une problématique plus spécifique à la logique mathématique des années trente.

11. L'acte mental finitiste dans l'axiomatique formelle

Depuis qu'en théorie des ensembles Cantor avait introduit de façon controversée l'usage de l'infini actuel - le transfini -, les mathématiciens s'étaient trouvés confrontés à la nécessité de circonscrire un domaine absolument sûr à l'intérieur des mathématiques. C'est le domaine finitaire - dont on pouvait rendre compte par l'usage exclusif de l'infini des nombres entiers - qui apparaissait comme pouvant remplir ce rôle, par opposition au domaine non-constructif du transfini dont on pouvait approcher la nature au moyen des nombres réels. Il fallait donc étudier les rapports entre ces deux domaines du constructif et du non-constructif à l'intérieur de chaque branche des mathématiques.

La démarche axiomatique telle qu'elle avait été renouvelée par Hilbert avait permis d'une part de dépasser l'opposition traditionnelle entre l'axiomatique de la géométrie euclidienne et les autres axiomatiques et d'autre part de déplacer le questionnement portant sur la consistance des axiomatiques vers la question de la consistance de la seule axiomatique des nombres entiers. Hilbert avait alors fait usage d'une stratégie nouvelle, dite méta-mathématique. Il avait opéré la distinction entre d'une part une axiomatique à contenu dans laquelle les propositions sont considérées selon leur signification et d'autre part sa réplique formelle dans laquelle - la signification étant laissée de côté⁴ - l'enchaînement des propositions devait s'effectuer à l'aide de la seule inférence logique conçue comme raisonnement fondé sur un principe de progressivité. Il devenait alors possible, au sein de l'axiomatique dite formelle, de considérer d'un même point de vue toutes les propositions, qu'elles exigent ou non de par leur contenu un acte mental impliquant un nombre finitaire ou transfini d'étapes, pourvu qu'elles s'enchaînent toutes selon l'inférence logique. En effet, l'inférence logique fondée sur l'idée de progressivité était elle-même portée par un acte mental qui, lui, devait être de nature strictement

⁴ Sauf la signification "minimale" rendant possible la distinction entre les différents symboles matériels employés. Cf. (Hilbert 1925 : 228).

finitiste. Le projet consistait ainsi à parvenir à déclarer légitimes les mathématiques du transfini, même si celles-ci dépassait par leur contenu le domaine de sûreté du finitaire.

Il fallait dès lors préciser la nature finitiste de cet acte mental à l'œuvre dans le principe de progressivité présent dans l'inférence logique, que l'on avait seulement décrit jusqu'ici comme un processus effectuable en un nombre fini d'étapes. Le vocabulaire n'était d'ailleurs pas entièrement stabilisé à l'époque (Gandy 1988 : § 5) : outre la notion d'effectivité, on parlait de processus "constructif" (Weyl 1921 : 21), de l'"effectivement calculable" (Herbrand 1931 : 210) ou d'instruction "mécanique" (Von Neumann 1927 : 265-266), selon les auteurs. Or s'en tenir à la seule inférence logique dans la manipulation des propositions sans signification au sein de la réplique formelle de l'axiomatique à contenu ne pouvait reposer en dernière instance que sur une pure discipline de la pensée : suivre étape par étape la règle écrite de l'inférence logique reposait ainsi sur un acte attribué en dernière instance à la sphère du mental dont on ne pouvait pas avoir de signes tangibles au sein de l'axiomatique formelle elle-même. S'en remettre à un tel acte réclamait alors une justification en termes philosophiques, énoncée par Hilbert sous la forme du postulat suivant (Hilbert 1922 : 140) :

« [...] c'est que notre pensée est finitiste ; quand nous pensons, se déroule un processus finitiste. »

Ainsi était-ce pour des raisons tenant à la stratégie méta-mathématique mise au point par Hilbert que l'on en était venu à attribuer à l'acte mental un caractère "finitiste" ou "effectif".

12. La contrepartie formelle de l'acte mental finitiste : le programme

Une autre raison, propre au développement interne de l'axiomatique formelle, allait favoriser un questionnement technique et non plus seulement philosophique concernant la nature de ce qu'il fallait entendre par raisonnement effectif : l'arithmétisation de l'axiomatique formelle telle qu'elle avait été élaborée par Gödel. Cette arithmétisation associait dans une correspondance biunivoque les signes primitifs de l'axiomatique formelle et des nombres entiers (Gödel 1931 : 116). Gödel montrait ainsi en quel sens l'explicitation de la notion de raisonnement effectif passait par le recours à la notion de calcul. Comme la notion de raisonnement effectif, la notion de calcul sur les entiers reposait en effet elle aussi sur la notion de progressivité, sur le déroulement étape par étape d'un processus.

Or la notion de calcul impliquait que soit définitivement clarifié, du point de vue *interne* à l'axiomatique formelle, c'est-à-dire au niveau des signes eux-mêmes et non plus seulement du point de vue de l'acte mental qui le rendait possible, ce qu'il fallait entendre par effectivité ou constructivité. C'est ici que l'intervention de Turing fut déterminante : il montra que l'explicitation de la notion de calcul passait non pas seulement par la postulation du finitisme de la pensée comme l'avait fait Hilbert mais par une analyse de l'acte mental sous-tendant tout acte de calcul, dont les étapes, en nombre *explicitement* fini, pouvaient être intégralement développées sous une forme tabulaire (Turing 1936 : § 3). Pour le comprendre, Turing incitait le lecteur, dans son article de 1936, à se placer dans un état d'esprit finitiste : il ne s'agissait plus, comme l'avait fait Hilbert, de décrire de l'extérieur la notion d'acte mental finitiste mais de se placer en pensée dans son effectuation même, c'est-à-dire de retrouver ce que l'on pourrait appeler la source constructive de toute pensée. Turing obligeait ainsi le lecteur à prendre en charge lui-même la compréhension du concept de calcul, c'est-à-dire l'effectuation de la série finie de ses étapes. Le lecteur était ainsi poussé à mettre en action cet acte mental en s'identifiant aux mouvements des signes. Ce faisant, Turing renversait la direction allant de l'acte mental finitiste à la manipulation des signes et mettait la manipulation des signes à la première place en contraignant le lecteur à restreindre ses actes mentaux à cette manipulation. Il s'agissait alors de dresser la liste finie des "comportements" qu'un automate abstrait ou un être humain en train de calculer – un "calculateur" (*computer*) comme disait Turing (Turing 1936 : § 9) - pouvait adopter quand était associée à chaque comportement une configuration écrite dans une liste finie donnée à l'avance. Ainsi, même si l'intuition du processus finitiste devait bien être ultimement rapportée à l'effectuation d'un processus seulement mental, comme Hilbert en avait postulé la nécessité, il devenait possible, *sans psychologisme*, d'en décrire le processus sous la forme d'une contrepartie formelle au sein des signes, en suivant la voie arithmétique tracée par Gödel.

La contrepartie formelle de l'acte mental finitiste portait dans l'article de Turing de 1936 le nom de "machine" et plus spécifiquement - après le compte-rendu que fit Church de l'article de Turing⁵ - le nom de "machine de Turing". La notion de machine de Turing opère en elle-même une double réduction de l'infini au fini. D'une part, il apparaît clairement que l'achèvement d'un calcul n'entre en rien dans la détermination du calcul proprement dit puisque la longueur d'un calcul, y compris celui d'une

⁵ Le compte-rendu parut dans *The Journal of Symbolic Logic*, (2), 1937 : 42-43.

longueur infinie, relève toujours d'une table d'instructions finie. Par exemple le calcul de l'expansion des décimales d'un nombre réel - Turing prend dans son article l'exemple de π - ne s'arrête jamais et pourtant, la table d'instructions de la machine de Turing qui calcule cette expansion est bien finie. D'autre part, Turing montre qu'il existe une classe de machines appelée "Machine Universelle" (Turing 1936 : § 6) qui opère une réduction supplémentaire au fini, réduction qui porte non pas sur un calcul particulier mais sur l'ensemble infini de tous les calculs possibles. Une machine universelle en effet est par construction susceptible d'imiter les instructions contenues dans les tables d'instructions de n'importe quelle machine : une machine universelle réduit donc tout calcul opéré par une machine de Turing dédiée à l'exécution d'un calcul particulier à la table d'instructions *d'une seule* machine. Ainsi la notion de machine de Turing opère-t-elle une double réduction : en compréhension tout d'abord, puisque chaque calcul de longueur arbitraire est réduit au point de vue du fini et en extension ensuite, puisque l'infinité des calculs est elle-même réduite à ce point de vue.

On peut dire ainsi que les cinq ans d'évolution au sein du projet finitiste hilbertien allant de l'arithmétisation de l'axiomatique formelle à la constitution de "tables" associant une configuration écrite au comportement mécanique d'un automate abstrait (1931-1936) constituent l'acte de naissance des langages de programmation. La notion philosophique d'acte mental idéalisé y est relayée par la notion technique de rédaction de programme, qui gardera de ses origines philosophiques un cachet dont on retrouvera la trace dans le débat inauguré par Turing touchant la nature de la pensée. Ce débat s'inscrit dans la tradition de l'école mathématique anglaise dont on peut retrouver la trace jusqu'à Locke. Dans le cas en effet où la question de la construction ne porte plus sur la limite entre le calculable et l'incalculable en mathématique comme c'était le cas pour Turing dans son article de 1936 mais où l'on fait porter la question de la construction sur l'acte de pensée qui rend possible la détermination de cette limite, on en vient à se demander : "Comment concevoir la nature de la pensée compte tenu de ce que l'on sait du finitisme de tout acte mental dans le cadre de l'axiomatique formelle ?". Turing retrouvera ainsi ultérieurement le point de vue philosophique inauguré par Hilbert mais armé de la notion technique de programme, c'est-à-dire d'un recours généralisé à la réécriture finitaire de signes codifiés, à partir duquel la réplique formelle de l'acte mental fondant le calcul devient non seulement pensable mais analytiquement descriptible.

13. La nature de la pensée finitiste

A la question de la nature de la pensée en général, Turing répondait en 1939 qu'il y avait à l'œuvre *deux* facultés dans la pensée, qu'il dénommait "intuition" et "ingéniosité". La première, de nature non-constructive, n'a pas de contrepartie formelle tandis que la seconde, de par sa nature constructive, en a une (Turing 1939 : § 11):

«Le raisonnement mathématique peut être considéré de façon schématique comme l'exercice d'une combinaison de facultés que nous pouvons appeler l'intuition et l'ingéniosité. L'activité de l'intuition consiste à produire des jugements spontanés qui ne sont pas le résultat de chaînes conscientes de raisonnement. [...]. L'exercice de l'ingéniosité en mathématique consiste à aider l'intuition par des arrangements adéquats de propositions et peut-être par des figures géométriques ou des dessins. Dans les temps pré-gödeliens, certains pensaient que [...] la nécessité d'un recours à l'intuition pourrait être entièrement éliminée. [...] Nous avons essayé de voir jusqu'où il était possible d'éliminer l'intuition. Nous ne nous préoccupons pas de savoir quelle quantité d'ingéniosité est requise et nous faisons donc l'hypothèse qu'elle est disponible en quantité illimitée. »

Quels sont les rapports entre ces deux facultés ? Telle qu'il la décrit en 1939, la structure algorithmique de la pensée - l'ingéniosité - apparaît comme une activité qui rend possible l'*expression* des jugements spontanés émanant de l'autre faculté - l'intuition - dont il a été prouvé qu'elle ne pouvait pas être entièrement éliminée. La frontière entre les deux facultés n'est cependant pas fixée une fois pour toutes puisque les productions non-constructives de l'intuition peuvent devenir constructives grâce au travail logique et algorithmique⁶ émanant de l'ingéniosité. Les rapports entre l'intuition et l'ingéniosité sont donc de nature essentiellement dynamique et c'est bien en cela qu'il s'agit d'activités de pensée et non pas seulement de facultés dont les domaines de validité seraient conçus de façon figée.

Bien plus, l'ingéniosité n'est pas seulement la servante de l'intuition, considérée comme définitivement première par rapport à son expression algorithmique toujours partielle telle qu'elle émane de l'ingéniosité : l'ingéniosité, bien qu'elle soit de nature constructive et qu'elle soit de ce fait la source de toute expression possible, comporte cependant en elle-même un aspect inaccessible dans la mesure où elle ne peut pas être

⁶ L'activité de l'ingéniosité est à la fois *logique* dans l'établissement des niveaux de complexité qu'elle instaure au sein de la hiérarchie des axiomatiques formelles et *algorithmique* dans les solutions calculables qu'elle trouve aux problèmes dont les solutions n'avaient pas été envisagées du point de vue de leur programmation possible.

intégralement décrite *a priori*. On sait en effet, comme le fait remarquer K. Gödel, que le concept de machine universelle de Turing est l'*exemple type* d'un automate abstrait complexe dans lequel le comportement *global* de la machine ne peut pas être prédit à l'avance du fait de l'absence d'une procédure globale de décision concernant son comportement⁷ :

« Dans ce cas [celui de la machine universelle de Turing] on pourrait dire que la description complète de son comportement est infini parce qu'à cause de la non-existence d'une procédure de décision prédisant son comportement, la description complète ne pourrait être donnée qu'en énumérant toutes ces instances. »

On voit dans ce cas que, pour pallier l'absence d'anticipation du comportement global de l'automate abstrait, il est avantageux, en termes de coût d'accès à la connaissance pourrait-on dire, d'adopter une démarche quasi-expérimentale de *description du comportement* plutôt que d'*analyse de la structure*. *Le passage d'un constructivisme logico-algébrique à un constructivisme génétique s'impose alors de lui-même*. En effet, de par l'impossibilité d'une analyse de la structure qui serait susceptible d'anticiper globalement toutes les instances du comportement, la machine universelle s'apparente plus à un organisme génétiquement construit qu'à une structure algorithmique immuable. Par analogie avec la vie organique, on peut dire alors qu'il est possible d'*auto-entretenir* la machine universelle de Turing par le biais des machines qu'elle simule et qu'elle est donc tout autant douée de forme que de structure.

Quels rapports entretiennent alors les deux facultés à l'œuvre dans les actes de pensée ? On voit tout d'abord que les deux facultés d'intuition et d'ingéniosité ne sont pas accessibles dans leur intégralité : dans le cas de l'intuition, c'est la capacité de *production* qui reste inaccessible globalement du fait que l'on ignore la «chaîne de raisonnement» qui rendrait compte de ses manifestations. Dans le cas de l'ingéniosité en revanche, c'est notre capacité d'anticipation du comportement de la machine universelle qui reste inconnue dans sa globalité. Les rapports qu'entretiennent les deux facultés sont donc complexes dans la mesure où elles paraissent empiéter l'une sur l'autre : l'ingéniosité vient se substituer à l'intuition en lui donnant une expression par le biais d'un algorithme mais inversement, la constitution du concept de machine de Turing, concept "ingénieux" par excellence, est le résultat d'un acte d'intuition complètement original. Il faut donc envisager les rapports entre les deux

⁷ Il s'agit d'une lettre de Gödel envoyée à Burkes, l'éditeur de (von Neumann 1966 : 56).

facultés sur un mode dynamique : chaque fois que l'on trouve un algorithme susceptible d'être exécuté par une machine de Turing, c'est-à-dire chaque fois que l'on étend le domaine de validité de l'ingéniosité, on retrouve cependant en même temps la trace de l'intuition qui a présidé à la naissance du concept de machine de Turing. Dans l'accumulation progressive des programmes se joue donc la reconstitution de la pensée elle-même, algorithmique par l'ingéniosité et organiquement constituée par l'intuition.

2. Le constructivisme génétique conçu comme organisation d'une forme.

Outre la découverte que la complexité de la notion de machine universelle nécessitait une analyse de la notion de programme en termes de comportement, ce qui a rendu concevable le projet de «construire un cerveau» est lié à l'évolution des besoins en calcul qui s'est dessinée pendant la guerre (balistique d'une part et cryptographie de l'autre) et pour laquelle il a fallu développer une technologie adaptée. C'est dans ce contexte que le constructivisme de Turing a subi un infléchissement capital.

21. La découverte d'une extension au concept abstrait de machine

Deux dates doivent être mentionnées à cet égard. Autant que l'on puisse juger pour une période historique toujours en partie couverte par le secret défense, c'est à partir de 1941, si l'on en croit A. Hodges (Hodges 1997 : 27-28), que Turing aurait pris conscience – du fait de son travail en cryptographie mécanisée – de l'extraordinaire généralité que son analyse de l'acte de calcul permettait d'opérer sur le traitement des données dans des domaines les plus divers : toute combinatoire entre éléments discrets pouvait être traitée d'un point de vue "mécanique", au sens très abstrait que Turing donnait à ce terme. A partir de 1943 ensuite, c'est-à-dire à partir de son voyage secret aux États-Unis, sa maîtrise progressive de la technologie électronique l'aurait finalement convaincu qu'il était possible d'incarner, au sein du monde physique, des répliques finies de l'automate abstrait - la machine universelle de Turing - dont il avait dessiné le plan logique dans son article de 1936.

Un changement tout à fait considérable s'amorçait alors : il ne s'agissait plus d'en rester au *plan logico-mathématique* de la calculabilité et des conséquences que l'on pouvait en tirer concernant la nature de la pensée - comme il l'avait fait jusqu'alors - mais d'en venir également à un *plan physique*, en interprétant le concept de machine au sein du monde

physique comme un concept *logico-biologique* permettant de penser l'émergence progressive d'une organisation, à la fois du point de vue mental et du point de vue organique. Ce passage d'un plan à un autre ne consistait pas en une "application" du concept de machine à la réalité physique : il était plutôt le résultat de la découverte qu'il y avait un plan d'organisation plus profond que les plans mathématique et physique, celui de la manipulation logique des signes, qui permettait de les engendrer tous les deux comme des interprétations. Deux champs scientifiques nouveaux allaient en naître : d'une part la modélisation informatique de résolution de tâches intellectuelles (perception, évaluation, décision) et d'autre part une nouvelle façon d'envisager la morphogenèse des organismes, c'est-à-dire l'émergence de régularités structurelles dans les formes vivantes.

Bref, il s'agissait de montrer que le constructivisme mécaniste rendait possible la mathématisation de l'émergence de phénomènes d'organisation au sein de la pensée ainsi qu'au sein du monde vivant. De ce point de vue, le champ de pertinence du concept de machine avait ceci de profondément original qu'il n'était ni limité au domaine de l'idéalité logico-mathématique ni à celui des propriétés chimico-biologiques liées à la matière physique mais qu'il visait à les *engendrer* conjointement, la *pensée* proprement dite se situant précisément dans cet engendrement simultané. C'est le sens même de la notion de pensée qui me semble dès lors avoir évolué chez Turing : la pensée en tant que pensée constructive n'est plus seulement cette entité d'emblée abstraite, dévolue à la production intuitive et à l'analyse ingénieuse des rapports conceptuels, comme elle l'était dans les années 36-39, mais, par-delà la différence entre l'abstrait (assimilé au *software*) et le matériel (assimilé au *hardware*), elle devient, à partir de 1948, ce par quoi une entité tout à la fois conceptuelle et matérielle se donne une forme. Avant d'en venir aux difficultés propres à cette interprétation de la notion de pensée, examinons les deux champs scientifiques qui sont issus de cette conception nouvelle.

211. La modélisation informatique de processus de pensée

Pour ce qui est du premier champ scientifique, il est bon de remarquer que la modélisation informatique de processus de pensée dans le cadre du projet de Turing n'est pas encore ce que l'on appellera par la suite "intelligence artificielle" puisque l'expression n'est pas de Turing et qu'elle ne sera imaginée qu'en 1956 par McCarthy et Minsky, soit deux ans après la mort de Turing. Si "intelligence artificielle" il y a dans le cas de Turing, il faut plutôt entendre l'expression au sens étymologique de "renseignement mécanisé" tel qu'il a pu le pratiquer à partir de 1939,

quand il devint membre de la section Cryptographie du Service Britannique du Chiffre.

Les seules contributions effectives - et non programmatiques - que Turing donna dans ce domaine ont eu essentiellement pour objet la modélisation des jeux et plus particulièrement celle du jeu de dames et du jeu d'échecs⁸. Pourquoi un tel intérêt pour la notion de jeu ? Parce que le jeu possède, comme l'axiomatique formelle dont le concept de machine tire son origine, deux caractéristiques : *il est formel quant aux règles et auto-organisé quant à la partie*. Les règles sont en effet fixées une fois pour toutes et définissent la structure dans laquelle toute partie possible doit avoir lieu mais, pour un jeu un tant soit peu complexe comme les échecs, le déroulement d'une partie n'est aucunement prévisible à partir de l'énoncé des règles : chaque partie concrète prend forme en se frayant un chemin particulier et imprévisible parmi une foule immense de possibilités et peut être interprétée comme une construction auto-adaptative résultant de la compétition entre les stratégies développées par les joueurs.

La modélisation consiste alors à étudier certaines stratégies mises en place par les joueurs et conduit donc à mettre au jour les algorithmes permettant de répondre au mieux (c'est-à-dire en minimisant les pertes et maximisant les gains) à telle ou telle situation. Par un procédé cumulatif, il devient possible d'améliorer les algorithmes déjà découverts en s'aidant d'un ordinateur : en faisant jouer une machine contre elle-même grâce aux algorithmes déjà découverts, il devient possible, de par la grande vitesse de traitement propre à la machine, de jouer un grand nombre de parties pour voir si les algorithmes restent pertinents dans des situations très diverses. L'intervention humaine reste cependant déterminante car, en faisant jouer la machine contre elle-même, on prend le risque de ne pas avoir accès aux meilleures stratégies si les algorithmes que l'on a déjà trouvés ne sont pas pleinement adéquats : la machine ne jouerait finalement que dans un périmètre limité de possibilités. Pour parer cette difficulté il faut donc, quand on constitue un programme de jeu, étudier les stratégies de nombreux joueurs et tâcher de faire varier les algorithmes : ainsi peut-on espérer que les algorithmes dégagés s'adaptent les uns aux autres et donnent accès aux meilleures stratégies.

Quelle est la portée du modèle mis en place ? Tel qu'il se présente, le modèle met au jour un certain nombre d'algorithmes qu'il est possible de retranscrire sous la forme de programmes. On peut de ce fait considérer

⁸ (Turing 1953) . Au cours des années 60 et 70, ses travaux furent repris et discutés. Cf. (Michie 1974) .

le programme comme une nouvelle sorte de structure, celle qui formaliserait les stratégies auto-adaptatives susceptibles d'être développées dans le jeu. Il faut remarquer cependant que le jeu constitue un monde *déjà formalisé* grâce aux règles et dont les éléments sont tous clairement distingués dès l'origine. Dans le cas d'activités qui n'ont pas lieu au sein de mondes déjà formalisés et qui entretiennent avec un milieu environnant des relations d'échange réciproque, il est peu vraisemblable que l'on parvienne à rendre compte de la cause de leur organisation au vu des seuls algorithmes. Les algorithmes n'ont en effet aucune valeur explicative pour ce qui est de la cause de telle ou telle configuration dans une organisation parce que l'on ignore à la fois les règles et le type d'éléments qui ont présidé à l'émergence de l'organisation en question. Dans le type de modèle que l'on développe en intelligence artificielle, la cause de l'organisation reste donc implicite par rapport à la structure explicite du programme parce que l'existence d'un milieu avec lequel des échanges sont possibles est toujours présupposée. Or ces échanges au sein d'un milieu ont lieu dans l'espace physique dont la structure (métrique, topologique, etc) devient intégralement implicite quand on se limite à un codage discret.

L'exemple du jeu se trouve donc bien à l'intersection de l'acte mental finitiste d'une part et de la pensée comme organisation d'autre part. On voit cependant qu'un dualisme distinguant l'abstrait et le matériel peut se réintroduire dans ce type de modèles parce que l'on aura naturellement tendance à passer sous silence l'implicite de la cause de l'organisation au profit de l'explicite du fonctionnement de la structure.

L'étude de la morphogenèse présente des problèmes inverses et similaires, comme nous allons le voir maintenant.

212. La morphogenèse

L'étude de la morphogenèse n'est pas née avec Turing et elle remonte aussi loin qu'Aristote. Mais la question de la morphogenèse reste secondaire dans la tradition darwinienne dans laquelle Turing a baigné et c'est la lecture du *On Growth and Form* de D'Arcy Thompson (D'Arcy Thompson 1917) où celui-ci mêlait spéculations philosophiques héritées de l'Antiquité, biologie, et mathématiques, qui semble avoir fait découvrir à Turing la pertinence du point de vue constructif à l'intérieur de ce champ, en focalisant sa recherche sur les réactions chimiques à l'œuvre dans le processus de la morphogenèse.

Turing commence à tourner son attention vers les problèmes biologiques au cours de son année sabbatique de 1947-1948, qu'il passe à Cambridge et durant laquelle il suit des cours de physiologie et de

neurologie. Il se lance dans l'étude de la morphogenèse proprement dite à partir de 1951, une fois abandonnée l'informatique théorique et parallèlement à ses contributions à la modélisation informatique des processus de pensée⁹.

Dans le domaine de la morphogenèse, Turing tente de constituer un modèle des réactions chimiques qui sont à l'origine causale de la constitution de formes au sein du monde vivant. Les exemples étudiés par Turing dans ses travaux publiés sont ceux de la disposition des taches et des couleurs de pelages, de la structuration en anneau des tentacules et de l'arrangement régulier des pétales le long des tiges (Turing 1952). Son modèle, appelé de "réaction-diffusion"¹⁰, consiste, en partant d'un état homogène de la matière, à étudier d'un point de vue mathématique les conditions d'apparition d'une brisure de symétrie qui soit à l'origine d'une organisation. Dans le modèle, Turing fait intervenir deux substances chimiques abstraites dont il ne cherche pas à établir la réalité et qu'il nomme "morphogènes" : ils ont respectivement un rôle activateur et inhibiteur. Au départ, ils sont tous les deux dans un état stable mais une perturbation aléatoire entraîne une production supplémentaire de l'un des morphogènes et le système est alors parcouru par des ondes qui tentent de le stabiliser de nouveau : plusieurs types de stabilité sont possibles. L'un d'entre eux est de type oscillant et consiste soit en des ondes stables, soit en des ondes stationnaires. Turing suggère que ces ondes stationnaires - que l'on appellera plus tard des "structures de Turing" - sont alors figées et qu'elles dessinent alors la forme de l'organisme. Le processus de fixation convertit l'information chimique en information géométrique. Turing ne cherche pas à rendre compte de ce mécanisme de conversion du chimique en géométrique : il s'en tient à l'idée que les ondes figées apparaissent comme l'étape finale du développement de l'organisme au cours de son histoire et rendent causalement compte, de ce fait, de sa forme.

Le modèle consiste donc à tenter de déterminer la cause ou plutôt un type particulier parmi un ensemble de causes rendant compte de l'émergence d'une organisation matérielle. Turing focalise son attention sur les réactions chimiques bien qu'il fasse remarquer que d'autres types de cause (électrique et cinématique) participent sans doute également à l'élaboration de la forme : la mathématisation qu'il expose n'est pas

⁹ Ses contributions à la morphogenèse et à la modélisation informatique des processus de pensée datent respectivement de 1952 dans (Turing 1952) et de 1953 dans (Turing 1953).

¹⁰ Cf. (Turing 1952 : § 1). Turing a aussi décrit de la même manière un modèle botanique dont il ne sera pas question ici. Cf. (Turing et Wardlaw 1953) ; (Turing 1953) ; (Turing et Richards 1953-1954).

adéquate pour la description des autres causes. On doit souligner que les substances chimiques que sont les morphogènes n'ont *aucune réalité avérée* et ne sont donc pas des phénomènes au sens ordinaire du terme. Ces substances ont donc ceci de paradoxal de viser à une certaine pertinence dans l'explication des phénomènes tout en ayant le statut d'objets fictifs, c'est-à-dire concevables comme pleinement indépendants par rapport au substrat. D'où provient alors leur pertinence ? C'est dans le cadre du modèle qu'elles l'acquièrent. Le modèle proposé par Turing est un modèle mathématique suivi d'une esquisse de simulation informatique. Décrivons-en brièvement la forme.

La partie mathématique du modèle est fondée sur un certain nombre d'équations différentielles permettant de décrire les processus déclenchés par les réactions chimiques. Du fait que l'on ne possède pas les solutions générales pour les équations du modèle, la description proposée utilise des méthodes de résolution par approximation. La partie mathématique vise ainsi à la description seulement idéale des processus étudiés et sa pertinence ne requiert pas que les entités manipulées soient phénoménalement avérées.

Dans la partie informatique, à peine esquissée (Turing 1952 : § 13), Turing montre que la simulation informatique conduit à une approximation supplémentaire par rapport au modèle mathématique : la simulation informatique porte seulement sur certains cas particuliers qui sont cependant particulièrement éclairants pour les phénomènes étudiés. On peut en conclure que la pertinence informatique apparaît ainsi comme relevant d'un autre ordre que celle qui provient de la partie mathématique : elle vient de ce que les entités abstraites du modèle sont soumises à un *temps de traitement* qui, sans être celui de la physique des phénomènes, s'en rapproche néanmoins. A mi-chemin entre l'idéalité mathématique et l'espace-temps de la physique, la simulation informatique semble donc constituer comme une forme hybride au sein de laquelle des entités idéales sont contraintes par le biais d'un traitement qui simule le processus étudié. Les objets chimiques idéaux que sont les morphogènes finissent ainsi par avoir le même statut hybride que la simulation informatique : c'est par le biais du traitement que cette dernière rend possible qu'ils acquièrent une pertinence biologique, tout en conservant leur aspect abstrait. A la cause (chimique) de l'organisation matérielle correspond donc ici la structure idéale mise en place (la stabilisation de la réaction-diffusion des morphogènes dans un tissu) que la simulation informatique fait coexister dans son registre temporel propre.

Par le biais de ses modèles morphogénétiques, Turing a donc essayé de se tenir au plus près du rapport entre structure et forme, entre acte mental

finitiste et pensée conçue comme organisation : son but était de réduire la disparité entre l'implicite de la forme et l'explicite de la structure qui existait encore dans ses recherches dans le domaine de l'intelligence artificielle. Y est-il pleinement parvenu ? Ce serait trop dire. Il a, en tous cas, conçu la simulation informatique des processus chimiques comme étant au cœur de ce rapprochement. Son suicide, le 7 juin 1954, nous prive d'une étude plus complète de ce champ d'investigation.

22. L'origine énigmatique de la pensée conceptuelle dans le cadre du constructivisme génétique

L'extension progressive du champ de pertinence du concept de machine à des domaines relevant d'une organisation pose un problème tout à fait capital, celui de l'indépendance de ce concept par rapport au substrat matériel.

Dans le cas de l'intelligence artificielle en effet, on a vu à l'instant que le programme n'exprime que l'analyse structurale de la forme. C'est ce qui permet de déclarer les programmes élaborés en intelligence artificielle pleinement indépendants par rapport au substrat matériel et, partant, susceptibles d'être incarnés dans des substrats les plus divers - mécanique, électronique ou autre. La cause physique de l'organisation de la forme - qui pose le problème d'un *non-constructif néanmoins organisé* - reste implicite.

Dans le cas de la morphogenèse, l'indépendance à l'égard du substrat qui se manifeste dans la stabilisation d'une forme - la "structure de Turing" -, est le résultat d'un *processus* qui fait précisément l'objet de la modélisation. Il y a donc une différence entre les deux domaines : le premier se donne d'emblée comme pleinement indépendant par rapport au substrat et rejette dans l'implicite la cause de son organisation et le processus qui préside à son apparition tandis que le second étudie la construction progressive de cette indépendance dans l'élaboration de la forme.

Apparaît alors comme un point aveugle dans la nouvelle façon de concevoir la pensée comme pensée constructive : comment rendre compte de l'implicite causal dans le domaine conceptuel régi par l'analyse structurale ? Autrement dit, comment s'est progressivement construite l'indépendance de la forme conceptuelle mécaniste à l'égard du substrat matériel ? La réponse à cette question difficile fait l'objet, me semble-t-il, du seul article philosophique écrit par Turing en 1950, qui, interprété ainsi, s'inscrit en droite ligne de la démarche morphogénétique : il s'agit de penser la possibilité d'une morphogenèse de la pensée conceptuelle

parallèlement à une morphogenèse de l'organique. C'est là que se joue la question philosophique de l'origine du concept de machine, autrement dit l'invention de son idée¹¹. De ce point de vue, il paraît indispensable d'en venir à la façon dont Turing lui-même aborde la question de l'apparition de ce concept dans sa pensée quand il décrit son propre itinéraire intellectuel.

3. Les motivations de Turing dans l'élaboration de sa démarche scientifique.

On ne va pas chercher ici à réduire l'invention du concept de machine de Turing à des "causes" psychologiques dont il est trop clair qu'elles nous sont à tout jamais inaccessibles et qu'elles devaient être d'ailleurs tout aussi inaccessibles à Turing lui-même. Il ne s'agit pas non plus de "psychologiser" le concept de machine de Turing mais seulement de faire remarquer où intervient le psychologique dans l'élaboration d'un concept. Mais le psychologique ne se réduit à l'individuel dans ce qu'il a de plus indicible : c'est dans les textes écrits par Turing, c'est-à-dire au moyen d'un médium collectif et à destination d'un public, que se dessine un réseau d'intentions que l'on ne peut que rapporter à sa psychologie. On trouvera donc dans les lignes qui suivent un essai d'interprétation de la façon dont Turing est parvenu à représenter son propre accès au concept de machine tel qu'il l'a lui-même décrit dans ses textes.

L'itinéraire intellectuel de Turing est tout à fait remarquable, dans son acharnement à penser de différents points de vue le problème du rapport entre structure et forme, entre acte mental finitiste et pensée comme organisation. Les motivations qu'il pouvait avoir à proposer des réponses à cette question ne relèvent pas toutes de l'intérêt scientifique tel qu'on l'entend généralement. Tenter, comme il s'essaya à le faire, de reconstituer simultanément la forme de la pensée et celle du corps repose dans son cas sur un certain nombre de motivations inconscientes qui pourraient rester tacites si elles n'influaient pas sur sa démarche scientifique. Mais ce n'est pas le cas, comme je vais tenter de le montrer et il est donc nécessaire de mettre au jour ces motivations en analysant le lien qu'elles peuvent avoir avec sa démarche scientifique. Si nous les laissons dans l'ombre, cela aurait au moins deux résultats fâcheux : d'une part, cela aurait pour conséquence d'abandonner toute enquête psychologique au domaine de l'irrationnel alors que toute la démarche

¹¹ Il faut entendre ici idée dans un sens philosophique fort, celui de la manifestation de la co-naturalité des plans de l'abstraction et du physique.

scientifique de Turing doit au contraire nous servir d'exemple et nous inciter à considérer que le psychologique est lui aussi susceptible de rationalité ; d'autre part, si, comme je l'espère, je peux montrer où ces motivations inconscientes jouent un rôle dans son argumentation scientifique, les mettre au jour permettra de *ne pas en être dupe* et de *ne pas les reconduire* sous prétexte qu'elles prennent place dans une argumentation indéniablement scientifique. C'est, me semble-t-il, la seule façon de parvenir à se faire une idée de l'itinéraire en question.

31. Un point d'achoppement : le jeu de l'imitation

C'est essentiellement dans son seul article philosophique, "Computing Machinery and Intelligence", publié en 1950, que transparaissent les motivations de Turing ; aussi est-ce sur cet article qu'il faut maintenant s'attarder. L'argumentation qu'il y déploie a pour thème général la possibilité d'une intelligence mécanique. Pour tâcher de dépasser les controverses liées à la définition de l'intelligence, Turing propose de jouer à un jeu de son invention, le "jeu de l'imitation", composé de *deux* jeux successifs - contrairement aux présentations rapides que l'on donne généralement du jeu en question. Au cours d'un premier jeu qui se joue entre un homme, une femme et un interrogateur séparé physiquement des autres joueurs, l'interrogateur pose des questions à l'homme et à la femme et chacun doit essayer de dissimuler son sexe à l'interrogateur en imitant les réponses que serait censé donner l'adversaire. Au cours d'un deuxième jeu, une fois l'homme remplacé par un ordinateur qui doit dissimuler à l'interrogateur "qui" il est en imitant les réponses de l'homme (qui imitent les réponses de la femme), on est censé parvenir à la conclusion que la dissimulation est totale et que l'interrogateur ne pourra pas parvenir à deviner le sexe des joueurs, bref, que l'ordinateur est capable de remplacer l'être humain sans que la présence de l'ordinateur soit décelable par un autre être humain.

Le jeu vise donc deux buts : d'une part prouver que la notion d'intelligence est indépendante de tout substrat physique et qu'elle est de ce fait susceptible d'être incarnée dans les matériaux les plus divers, y compris les ordinateurs ; d'autre part, montrer qu'un ordinateur convenablement programmé est capable de remplacer l'un des joueurs humains au jeu en question. Or ces deux buts sont inaccessibles par le biais du jeu lui-même.

Dans le cas du premier jeu, Turing précise que la meilleure stratégie pour la femme «est sans doute de dire la vérité» (Turing 1950 : 433-434). Or deux points méritent d'être soulignés : d'une part, cette stratégie a pour

conséquence immédiate l'élimination de la femme dans le jeu puisque dire toujours la vérité est une stratégie trop univoque pour échapper longtemps à la perspicacité de l'interrogateur ; d'autre part, attribuer une telle stratégie à la femme n'a aucun caractère de nécessité car cette stratégie pourrait aussi bien échoir à l'homme qu'à la femme¹². L'attribuer systématiquement à la femme a un aspect gratuit qui a donc une autre fonction que celle qu'avance Turing dans les explications qu'il en donne et qui repose sur une analogie dans le jeu entre la vérité et la femme d'une part et le mensonge et l'homme d'autre part. La question qu'une telle attitude soulève est alors la suivante : sur quel fondement repose l'analogie tracée par Turing entre la vérité et le mensonge d'un côté et l'homme et la femme de l'autre ? Force est de constater que cette analogie est *illégitime* et qu'elle laisse penser que l'élimination de la femme à d'autres motivations que celles qui sont explicites dans le jeu. Aucun argument rationnel ne permettant de dire pourquoi c'est à la femme qu'il revient de dire la vérité, on peut en déduire qu'il s'agit là d'un fantasme propre à Turing : le rapport du logique au biologique passe chez lui par une élimination du féminin.

Dans le cas du deuxième jeu, la conclusion qui doit être atteinte consiste à considérer que la notion d'intelligence est indépendante de tout substrat physique. Cette conclusion ne peut pas être administrée à partir du dispositif du jeu : en effet, pour réussir à l'établir, il faut décider à un moment donné que l'interrogateur ne parviendra jamais à faire la différence entre l'homme et la femme et qu'il est donc temps de remplacer l'homme par un ordinateur. Or ce moment *ne peut pas être déterminé temporellement* parce qu'il est toujours possible que l'interrogateur finisse par poser la question qui lui permettra de reconnaître un joueur. Passer au second jeu implique donc d'être *déjà* convaincu avant même le début d'une partie et par des arguments qui, à l'évidence, ne dérivent pas du déroulement d'une partie. Il y a donc ici une pétition de principe dont la fonction est de distinguer un explicite (parvenir à déterminer les manifestations de l'intelligence) d'un implicite (le point de vue occupé par Turing implique une interrogation sur la différence des sexes). C'est cette distinction qui invite à revenir sur le parcours intellectuel de Turing et à y déceler des motivations d'ordre fantasmatique.

32. L'orientation fantasmatique des recherches scientifiques menées par Turing

¹² C'est ce que j'ai montré dans (Lassègue 1993) et dans mon livre (Lassègue 1998) .

Les recherches de Turing le conduisent à concevoir la pensée non pas seulement comme une faculté de combinaison - sans définir d'ailleurs plus avant le statut des éléments combinés - mais aussi comme *idée*, entendue comme une faculté simultanément abstraite et physiquement créatrice de ses objets (c'est-à-dire ce que la tradition métaphysique aristotélicienne réinterprétée par les monothéismes appelle "entendement divin"). Aussi est-il à la recherche d'un plan d'intelligibilité qui serait susceptible d'engendrer conjointement la mathématique et le physique et c'est la raison pour laquelle son attention est retenue par des questions ayant rapport à la constitution causale des organismes dans laquelle les deux points de vue, mathématique et physique, sont mis en rapport par le biais de l'informatique.

Or une telle recherche réintroduit des questions de genèse qui, dans le cas des espèces vivantes, ont pour horizon une interrogation sur la nature de la sexualité puisque tout engendrement d'un organisme s'opère au moyen de la différenciation sexuelle. Chez Turing, l'interrogation portant sur la genèse prend alors la forme détournée d'une interrogation sur la nature et le rôle du *chimique*, interprété comme substance à la frontière de l'abstrait et du matériel et susceptible d'être décrite au moyen de l'écriture informatique. L'informatique et le chimique entretiennent le rapport d'un langage à son objet et ont ainsi partie liée avec la sexualité. De ce point de vue, la différenciation sexuelle me semble pouvoir être interprétée de façon fantasmatique comme ayant un pendant chimique : les deux entités idéales au fondement du modèle morphogénétique et qui y jouent respectivement un rôle d'activateur et d'inhibiteur apparaissent comme des traductions symboliques de la différence sexuelle et du rôle causal qu'elle joue dans l'engendrement d'un organisme. Il est remarquable de constater que, dans le même temps, l'exemple-clé de Turing dans son modèle morphogénétique est celui d'un organisme capable de s'auto-reproduire sans différence sexuelle, l'hydre d'eau douce, c'est-à-dire d'accomplir un engendrement que l'on peut qualifier d'abstrait. C'était précisément ce type d'engendrement qui faisait l'objet des recherches dans le domaine de l'intelligence artificielle et dont Turing détaillait les conditions psychologiques de possibilité dans son article philosophique ayant le jeu de l'imitation pour thème. Aussi, en éliminant d'emblée la femme au jeu de l'imitation, Turing commet-il comme un lapsus qui tend à montrer que derrière le débat explicite sur la nature de l'intelligence, c'est sur la nature de la pensée comme *idée* que se situe véritablement les enjeux : pour Turing, la pensée comme idée est concevable sans que son engendrement soit fondé sur la différence des sexes parce qu'elle est capable de s'engendrer elle-même. La pensée se trouve alors caractérisée

fantasmatiquement comme auto-engendrement à l'écart de la différenciation sexuelle. L'homosexualité de Turing et le fantasme de parthénogenèse qui semble l'habiter ne sont sans doute pas pour rien dans cette construction fantasmatique qui motive en profondeur, comme nous venons de le voir, l'orientation de ses recherches scientifiques.

33. Distance à prendre à l'égard du matériau fantasmatique

On pourrait croire que les motivations inconscientes de Turing n'ont pas besoin d'être explicitées puisqu'il est possible d'en dégager le contenu proprement conceptuel qui, en tant que concept, est indépendant de tout contenu psychologique. Et il est vrai que le concept, en tant que concept, est en général indépendant du parcours psychologique qui l'a rendu accessible.

Dans le cas particulier qui nous occupe cependant, il faut reconnaître que la distinction entre concept et itinéraire psychologique ne va pas de soi parce qu'elle fait elle-même l'objet de l'analyse de Turing et qu'il est donc impossible de la présupposer sans immédiatement accorder ce qui est à prouver. Précisément parce que la réflexion de Turing porte sur les conditions d'accès au concept, il est impossible de présupposer que ces conditions sont d'emblée rassemblées pour faire émerger le concept. Or c'est bien ce que l'on a tendance à faire quand on interprète le jeu de l'imitation soit comme un "test de Turing" susceptible de prouver expérimentalement que l'intelligence est de l'ordre du concept (et de ce fait que celle-ci peut s'incarner dans des matériaux les plus divers) soit que l'on essaye d'élaborer un nouveau jeu de l'imitation qui atteindrait véritablement son but parce que l'on aurait reconnu l'existence du "lapsus" commis par Turing. Dans l'un ou l'autre cas, on a *déjà* accordé que le jeu de l'imitation relève du domaine du concept et que la notion d'intelligence est indépendante des substrats physiques. On ne doit donc pas tomber dans l'erreur qui, sous couvert d'une analyse en termes d'emblée conceptuels, abrite en fait la possibilité de l'intervention du fantasme : il y aurait là une reconduction du présupposé de Turing et de sa conception abstraite de l'intelligence.

Conclusion

Le constructivisme turingien balaie un champ d'investigation considérable et se modifie en profondeur au fur et à mesure que le concept de machine s'enrichit : il s'étend progressivement de la logique à la calculabilité puis à l'informatique théorique et enfin à la modélisation des processus de pensée et à la morphogenèse. Il tente une synthèse inédite de deux grandes tendances de la notion, structurale et organiciste, fondées

toutes les deux sur un mode spécifique de rapport à la pensée : c'est ce que nous avons appelé l'analyse de la pensée comme acte mental d'une part et comme idée d'autre part. Dans le cas de l'acte mental finitiste, il s'agit pour Turing d'établir un parallèle entre l'acte mental finitiste et sa contrepartie formelle : c'est précisément le finitisme interprété de façon structurale qui constitue le lien entre la réalité de l'acte mental et son modèle formel et qui permet au modèle d'être adéquat à la réalité mentale qu'il interprète en termes calculatoires. Le finitisme structural a donc, dans ce cadre, une portée ontologique en ce qu'il rend possible l'élaboration d'un modèle formel de l'acte mental. Dans le cas de l'analyse de la pensée comme idée, c'était le processus d'organisation de la structure qui devenait central et pour lequel il fallait trouver un modèle adéquat : la tâche - d'une difficulté extrême - consistait à articuler un niveau structural indépendant de tout substrat matériel et l'émergence progressive d'une telle structure à partir d'un substrat au départ indifférencié. Il y avait là une double difficulté : difficulté dans l'objet d'abord puisqu'il fallait trouver la mathématisation susceptible de décrire le plus adéquatement possible cette émergence ; difficulté psychologique ensuite, puisque l'émergence de la structure n'était autre que celle de l'acte mental lui-même : il y avait là une réflexion du sujet sur lui-même dont on a vu qu'elle était autant alimentée par le fantasme que par le concept. Il ne pouvait plus s'agir ici en effet d'élaborer un modèle formel de l'acte mental mais seulement de se faire une idée de sa genèse en interprétant ce que Turing lui-même pouvait en laisser apercevoir.

Jean Lassègue
Laboratoire LaTTICe-CNRS
Ecole Normale Supérieure
1 rue Maurice Arnoux
92120 Montrouge
jean.lassegue@ens.fr

Références bibliographiques.

D'Arcy Thompson, D. A. 1917. *On Growth and Form*. Cambridge, Cambridge University Press.

Gandy, R. 1988. "The Confluence of Ideas in 1936". *The Universal Turing Machine; a Half-Century Survey*. R. Herken, Ed. Oxford, Oxford University Press: 55-111.

Gödel, K. 1931. "Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I". ; traduction française dans *Le théorème de Gödel* Paris, Seuil: 107-143.

Herbrand, J. 1931. "Notes de Herbrand écrites en marge de sa thèse". *Ecrits logiques*. J. v. Heijenoort, Ed. Paris, Presses Universitaires de France: 210.

Hilbert, D.

- 1922. "Die logischen Grundlagen der Mathematik". Mathematische Annalen 88 (1923): 151-165 ; traduction française dans J. Largeault, *Intuitionisme et théorie de la démonstration*, Vrin, Paris, 1992 : 131-144.

- 1925. "Über das Unendliche". Mathematische Annalen 95 (1926): 161-190 ; traduction française dans J. Largeault, *Logique mathématique - Textes*, Armand Colin, Paris, 1972 : 215-245.

Hodges, A.

- 1983. *Alan Turing; The Enigma*. London ; traduction française Payot, Paris, 1989.

- 1997. *Alan Turing ; a Natural Philosopher*. London, Phoenix.

Kreisel, G. 1958. "Hilbert's Program". Dialectica 12 : 346-372.

Lassègue, J.

- 1993. "Le test de Turing et l'énigme de la différence des sexes". *Les contenants de pensée*. D. Anzieu et al. Paris, Dunod: 145-195.

- 1998. *Turing*. Paris, Les Belles Lettres.

Michie, D. (1974). *On Machine Intelligence*. New York, John Wiley and Sons.

Neumann, J. von

- 1927. "Zur Hilbertschen Beweistheorie". Mathematische Zeitschrift 26 (1927): 1-46.

- 1966. *Theory of Self-Reproducing Automata*. London and Urbana, University of Illinois Press ; traduction française *Théorie générale et logique des automates*, Paris, Champ Vallon, 1996.

Turing, A. M.

- 1936. "On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem". Proceedings of the London Mathematical Society 42 : 230-265 ; traduction française dans A. M. Turing, J.-Y. Girard, *La machine de Turing*, Seuil, Paris : 49-104.

- 1939. "Systems of Logic based on Ordinals". Proceedings of the London Mathematical Society 45 (ser 2): 161-228.

- 1950. "Computing Machinery and Intelligence". Mind LIX (236 ; Oct. 1950): 433-460 ; réédité dans les *Collected Works of A. M. Turing, vol 3. "Mechanical Intelligence", 1992b* : 133-160 ; accessible dans le site électronique <http://www.sscf.ucsb.edu/~sung/comm115/writing-define-computing/Computing-machine/ry.html> ; traduction française dans A. M. Turing, J.-Y. Girard, *La machine de Turing*, Seuil, Paris : 133-175.

- 1952. "The Chemical Basis of Morphogenesis". Phil. Trans. Roy. Soc. B 237 : 37-72 ; réédité dans les *Collected Works of A. M. Turing, vol. 4, "Morphogenesis", 1992d*. P. T. Saunders, Ed. Amsterdam, North-Holland: 1-36.

- 1953. "Digital Computers Applied to Games". *Faster Than Thought*. B. V. Bowden, Ed. London, Pitman. 31: 286-310 ; réédité dans les *Collected Works of A. M. Turing, vol 3. "Mechanical Intelligence", 1992b*. P. T. Saunders, Ed. Amsterdam, North-Holland: 161-185.

- 1953. "Outline of Development of a Daisy". publié dans *Collected Works of A. M. Turing, vol. 4, "Morphogenesis", 1992d*. P. T. Saunders, Ed. Amsterdam, North-Holland: 119-123.

Turing, A. M. et B. Richards 1953-1954. "Morphogen Theory of Phyllotaxis". publié dans *Collected Works of A. M. Turing, vol. 4, "Morphogenesis", 1992d*. P. T. Saunders, Ed. Amsterdam, North-Holland: 49-118.

Turing, A. M. et C. Wardlaw. 1953. "A Diffusion-Reaction Theory of Morphogenesis in Plants". publié dans *Collected Works of A. M. Turing, vol. 4, "Morphogenesis", 1992d*. P. T. Saunders, Ed. Amsterdam, North-Holland: 37-47.

Weyl, H. 1921. "Über die neue Grundlagenkrise der Mathematik". Mathematische Zeitschrift 10 (1921): 39-79 ; traduction française "Sur la crise contemporaine des fondements des mathématiques" dans J. Largeault, *Intuitionisme et théorie de la démonstration*, Vrin, Paris, 1992 : 55-105.