

DIDIER GIL

Matérialisme et informatique

Publications de l'Institut de recherche mathématiques de Rennes, 1985, fascicule 2
« Science, histoire et société », , p. 42-54

http://www.numdam.org/item?id=PSMIR_1985__2_42_0

© Département de mathématiques et informatique, université de Rennes,
1985, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la série « Publications mathématiques et informatiques de Rennes » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

A propos du livre de M.E. LEVIN

Metaphysics and the Mind-Body Problem

(Chap. VI : "Computers, Or, Is there Intelligent Life on Earth ?")

MATERIALISME ET INFORMATIQUE

(quelques remarques)

Didier GIL

Un texte "commentaire"

"Le nouveau n'est pas dans ce qui est dit, mais dans l'évènement de son retour" disait Michel Foucault, à propos de ces discours qui, à travers l'histoire, "indéfiniment, par delà leur formulation, sont dits, restent dits, et sont encore à dire" ; "parce qu'on y soupçonne quelque chose comme un secret ou une richesse", nous conservons, ajoutait Foucault, ces discours en re-produisant des textes "commentaire". (2)

Le texte de Michael LEVIN est sans doute, avec une grande transparence (voire une certaine "arrogance"...), de cette sorte de matérialisme "sacramental". Reprise de thèmes fondateurs et d'un modèle historique du matérialisme (le mécanisme dix-septiémiste), l'ouvrage se présente à la manière d'une défense et illustration actualisée (renouvelée et rénovée) de la "thèse antique selon laquelle - écrit LEVIN - l'homme est une partie de la matière, tous ses états sont des états physiques et toutes ses propriétés sont des propriétés physiques". (3)

Assurément, rien n'est avancé dans ce texte récent qui n'ait été déjà dit, fût-ce autrement, dans le passé, par les matérialistes. Si bien qu'on jugera vite surannées la démarche et l'intention d'un tel ouvrage ; en France, tout particulièrement, où personne (presque personne) n'ose écrire l'exposé magistral d'un système matérialiste. Qu'on s'en félicite ou qu'on le déplore, le régionalisme épistémologique a éteint, semble-t-il, les deux guerriers du vieux débat sur la matière et l'esprit.

.../...

Une nouvelle "preuve du pudding"

Qu'en est-il de l'évènement propre à ce retour du matérialisme?

Pour un matérialiste anglo-saxon d'aujourd'hui tel que LEVIN le matérialisme moderne a commencé avec Thomas Hobbes. Au delà, exceptés le positivisme logique (le "physicalisme" de Carnap, Feigl, le Cercle de Vienne) et la philosophie analytique (Ryle, Wittgenstein), rien, pour ainsi dire, n'a compté. Le marxisme, la "dialectique", sont tenus pour des contre-sens eu égard à un matérialisme stricto sensu (monisme). Ni Marx ni la célèbre preuve du pudding (4) et pourtant, c'est bien de la vérité du matérialisme dont il est aussi question dans l'ouvrage de LEVIN ; il s'agit, non pas de prouver la réalité matérielle du monde extérieur mais de prouver tout le matérialisme, sa parfaite "plausibilité", à l'encontre et sur le terrain privilégié de l'idéalisme subjectiviste ; LEVIN se propose donc d'exhiber la preuve définitive qui doit avérer la réalité entièrement matérielle de la pensée.

Si, selon LEVIN, il est aujourd'hui incontestable que l'homme n'est que matière pensante (ou matière consciente, matière intelligente...) c'est que :

1) La logique mathématique contemporaine est parvenue à produire une théorie de la décidabilité du calcul d'une fonction, et, simultanément, à formuler un schéma abstrait et universel de la machine capable d'effectuer le calcul de toutes les fonctions mathématiques définies par ladite théorie (Gödel, Post, Markov, Church, Turing, dans les années 30).

2) Le schéma abstrait de la dénommée "machine universelle" est réalisable, et, ce qui intéresse LEVIN, il s'est historiquement matérialisé dans des applications effectives : l'informatique (immédiatement après la 2ème guerre) et la recherche en "Intelligence Artificielle" (dès les années 50 aux Etats-Unis).

La preuve de la pensée, c'est l'ordinateur

"L'évènement" du retour matérialiste est tout entier résumé dans cette "accroche", que le chapitre VI développe comme un leit-motiv :

"l'homme est une Machine de Turing" (A.M. Turing, mathématicien anglais, met au point le schéma abstrait de la machine universelle en 1936). Comprendons : l'homme est une espèce de machine à calculer (certes complexe, spontanée, vivante) et la notion de "machine consciente" ou "pensante" ou "intelligente" ne veut dire rien d'autre que ceci : l'âme est une machine à calculer dont les "entrées" (inputs) et les "sorties" (outputs) constituent le corps (principalement le cerveau). Ce n'est donc qu'une espèce parmi d'autres, qui sont artificielles, étant produites par l'homme, à son image formelle.

Sous les auspices de Turing, ce matérialisme est un retour de Hobbes puisqu'il défend une conception opérationniste de la pensée : l'activité mentale (raisonner, percevoir, éprouver un sentiment, créer ...) est définie comme procédure effective de résolution d'un problème, au sens où la logique mathématique parle de procédure de décision et de calcul ou encore d'algorithme (théorie de la décidabilité). L'état de conscience lui-même est défini comme fonction décidable (ou calculable ou effective) c'est-à-dire que pour chaque état de conscience doit logiquement pouvoir être formulé l'algorithme dont il est le résultat (thèse de la Turing-calculabilité) ; le schéma abstrait de la Machine de Turing donne en effet la forme universelle de cette procédure par laquelle n'importe quelle fonction est décidable et calculable (en un nombre fini d'étapes) (5).

Ce matérialisme est un "mécanisme" au sens où la cybernétique comme théorie de l'automate abstrait, définit une "machine", c'est-à-dire : un automate à nombre fini (ou infini) d'états. Il s'agit d'un mécanisme de l'âme et non pas un mécanisme du corps au sens où Descartes définissait le modèle du corps-machine : peu importe, pour LEVIN, que le corps soit fait de fils électriques, de rouages, de circuits électroniques ou de vaisseaux sanguins... L'essentiel est que cette âme ne soit pas "d'étoffe spirituelle". L'âme est donc conçue comme un système cybernétique, plus spécialement : un système de traitement de l'information. C'est seulement en ce sens que la pensée peut être dite mécaniquement produite.

Enfin, ce mécanisme qui définit les conditions formelles du matérialisme de LEVIN trouve dans les résultats de la recherche en "intelligence artificielle" les conditions de sa "vérité objective" : les ordina-

teurs intelligents sont, comme l'homme, des Machines de Turing "incorporés" (embodied).

Un pudding indigeste ?

Le livre de LEVIN n'a eu aucun retentissement en France. Il n'a d'ailleurs pas été traduit comme aucun des autres ouvrages ou articles (pléthoriques) qui comme celui-ci occupent pourtant une place décisive dans la littérature philosophique de langue anglaise. Le débat - dominant outre atlantique - autour du "Mind-Body problem" n'a, du moins sous sa forme originale, d'écho ici que très limité. Il n'a pas les caractéristiques ni l'ampleur de la grande querelle philosophique, née au Etats-Unis dans les années 50, et qui, depuis, n'a pas cessé de s'aiguïser.

En effet, la pensée dont on vient d'exposer brièvement un système exemplaire recueille une faveur qui a crû dans l'univers philosophique anglo-saxon au point qu'un courant se déclarant explicitement matérialiste (et réunissant, outre LEVIN, des philosophes américains, australiens et britanniques dont certains sont assez réputés (6)) s'est constitué, ces vingt dernières années. On comparera, pour en juger (et se faire une idée de la singularité du matérialisme vu par les anglo-saxons) l'article français "matérialisme" paru dans l'Encyclopaedia Universalis et l'article paru à la même rubrique, en anglais dans The New Encyclopaedia Britannica.

La dette à l'égard du positivisme logique et de la philosophie analytique y apparaît considérable. La fascination pour les modèles scientifiques (cybernétique et neurosciences), le goût du langage formel de la logique des prédicats, et l'âpre attention portée aux développements de la recherche en "sciences de la cognition" (le secteur de l'I.A. en particulier) n'ont leur équivalent chez aucun philosophe, matérialiste ou non, de ce côté-ci de l'océan.

On évitera toutefois de réduire l'originalité de ce matérialisme à l'exotisme dont il peut nous saisir (ou à l'amusement qu'il procurera à certains). De même, il serait erroné de déprécier a priori cette philosophie en soulignant l'incurie conceptuelle dont on peut la croire entachée; "la liste est longue, disait récemment Canguilhem, des publications qui,

dans le domaine de culture anglo-saxon, ont des titres alliant "Mind" ou "Brain" à "Machine" (...). Inutile, concluait-il, de relever l'usage, c'est-à-dire l'abus d'expressions non-pertinentes telles que cerveaux conscients machines conscientes, ou intelligence artificielle" (7).

La philosophie spontanée des savants de l'I.A.

A la lettre, le sérieux et l'intérêt philosophiques de l'ouvrage qui nous occupe seraient, d'emblée, gravement hypothéqués. La singularité du matérialisme de LEVIN réside en effet dans l'escamotage de notions issues des développements de la logique mathématique (calculabilité, décidabilité, Machine de Turing, thèse de Church ...) et de réalisations consécutives en science du calcul automatisé, c'est-à-dire l'informatique théorique ("Computer Science"). Que cet escamotage et les jeux de langage auxquels il donne lieu (notamment les combinaisons rhétoriques fustigées par Canguilhem) puissent conduire à formuler des inepties scientifiques : cela est à savoir, mais c'est aux mathématiciens de le dire. Du point de vue philosophique, mépriser ce matérialisme, c'est, en revanche, se méprendre doublement.

Se méprendre d'abord sur les enjeux et l'effectivité tout uniment théorique et pratique d'une telle orientation philosophique. Mais c'est aussi se méprendre sur l'ordre du discours philosophique dans lequel le texte de LEVIN et ceux qu'il représente s'inscrivent d'une nécessité tenace et puissante. Or cet ordre est essentiel ; n'avons-nous pas besoin de comprendre ce qui se dessine à notre propre horizon de pensée, dans nos pratiques sociales, confrontés que nous sommes, également (mais avec du retard) aux mutations techno-scientifiques fondatrices d'une "intelligence" (la conception intellectuelle "assistée" par l'ordinateur)?

Première procédure : l'exploitation d'un discours scientifique. De ce point de vue, la pensée de LEVIN, redoublée d'un (fier) néo-positivisme, répète une tradition qui est aussi celle des matérialismes : l'emprunt aux sciences est une imprudence régulière et l'escamotage qui en résulte est inévitable ; une telle procédure a d'ailleurs souvent ses précurseurs parmi les savants eux-mêmes ; tel est le cas du matérialisme de LEVIN qui doit beaucoup à A.M. Turing ; on pourra en juger en se reportant au célèbre

texte que le mathématicien anglais écrivit en 1950 : "Computing Machinery and Intelligence" (8). Comme matérialisme régional parce qu'il est nécessairement issu des modèles scientifiques d'une époque et parce qu'il "s'applique" à un niveau de réalité scientifique historiquement déterminé, le matérialisme de LEVIN ne prête aucunement à une critique spécifique ; les exemples historiques sont en effet nombreux de ce rapport aux sciences à la fois générateur et régulateur de la pensée matérialiste (et peut-être même de la philosophie en général) : matérialismes physiques ou cosmologiques, matérialismes biologiques (dynamistes, vitalistes, évolutionnistes, neurophysiologistes ...), matérialismes "mécanistes" (dix-septiémistes), "matérialisme historique" ou encore "matérialisme dialectique", etc.

Il est une autre procédure, plus étonnante en revanche à laquelle participe ce discours matérialiste. Dans sa grande systématisme, le matérialisme informatique de LEVIN nous formule sans détour ce qu'on ne doit pas hésiter à appeler la philosophie spontanée des savants-ingénieurs de la connaissance ("Computer Science" et "Knowledge Engeneering"). Que la pensée matérialiste puisse exploiter la pratique techno-scientifique aux Etats-Unis (en l'occurrence la "culture informatique" des hackers, l'idéologie du "Moi-machine" (9)) est certes un fait d'ordre du discours philosophique explicable ; mais il surprendra ceux qui, en France, sur un versant plus exigeant dans la critique du rapport de la philosophie aux sciences et au reste des abstractions sociales, se réclament du matérialisme.

Une "illusion transcendantale"

C'est, en effet, sur le terrain de l'idéalisme que le matérialisme croit pouvoir asseoir son autorité contre le subjectivisme. Or, c'est ainsi qu'il se fourvoie dans une véritable illusion, de celles que Kant qualifiait d'"illusions transcendantales". Non pas qu'il convienne de maintenir le présupposé d'un usage foncièrement illégitime des concepts eu égard aux limites de la connaissance imposées naguère (arbitrairement) par Kant, en particulier les limites de la connaissance de "l'âme". (Il y a en revanche, justifiant la critique, un "usage transcendant" de la Raison matérialiste lorsque LEVIN prétend appliquer directement les catégories du "Mind-Body Problem" aux objets des mathématiques et légiférer dans le domaine de la connaissance des comportements humains. Les matérialistes

marxistes ont bien connu ce type d'abus métaphysique).

L'activité mentale de l'homme n'est certes pas une inconnaissable "chose en soi". Mais est-on aujourd'hui bien certain que les limites historiques de cette connaissance (dont Kant avait défini le tracé d'un geste absolu) se soient considérablement déplacées? Par ailleurs, a-t-on pris la juste mesure de ce qu'atteste un tel déplacement?

Que ces limites se déplacent, et que cela s'en ressente dans le rapprochement de branches du savoir scientifique (linguistique, mathématique, logique, neurophysiologie, cybernétique, psychologies ...) voire certaines fusions, mais aussi dans d'autres tendances plus enclines au cloisonnement (les neurosciences s'éloignent du modèle cybernétique) : cela est incontestable.

On remarquera qu'il s'agit d'une phase "ouverte", problématique, dans laquelle beaucoup de questions restent, sans réponse, à l'état d'hypothèses. L'objectivation du domaine de réalité visé, c'est-à-dire l'activité mentale de l'homme et plus généralement le comportement individuel, est loin d'être achevée (si tant est qu'elle doive l'être un jour ...). C'est plutôt à une multiplication d'objets que l'on assiste en ce domaine ; ne serait-ce que sous cet angle, cela hypothèque donc nettement l'ambition unificatrice du modèle matérialiste anglo-saxon ; monumentale illusion dont voici l'illustration : la représentation du rapport âme/corps comme rapport entre programme mental ("mental software") et matériel physiologique ("physiological hardware") censé le réaliser, veut surtout corroborer la thèse de l'unification des sciences et la réduction "physicaliste" des prétentions spécifiques de la psychologie (10).

En vérité, il y a plus d'éclatement et d'éristique à la base de cette connaissance de "l'âme" que de tentatives réussies de généralisation. Il convient ici de résister avec tenacité aux objurgations de philosophes comme LEVIN : il n'y a pas, davantage en ce domaine qu'en aucun autre, de mouvement continu d'unification et de réduction "physicaliste". A l'inverse, c'est dans un pluralisme objectif (qui n'a de cohérence que relative et non pas téléonomique) que la connaissance de l'activité mentale de l'homme a toutes ses chances de progresser.

De sorte que, comme affirmation d'une connaissance scientifique de "l'âme" intégrée à la conception du monde (matérialiste), l'exploitation philosophique - matérialiste - des théories scientifiques (fussent-elles logico-mathématiques et eussent-elles ainsi la dimension formelle de l'universalité) n'aboutit chez LEVIN qu'à formuler des "apparences transcendantales", c'est-à-dire des pseudo-connaissances. Il conviendrait de conjurer rapidement les effets d'une telle illusion, en premier lieu, sur les domaines de connaissances concernés.

Il est certain que les tenants du subjectivisme (les adversaires privilégiés du matérialisme anglo-saxon : "phénoménalistes" ou "mentalistes", des "cartésiens" comme Chomsky sont compris par LEVIN sous cette "étiquette") s'évertuent à repousser sans cesse les limites de la connaissance de l'activité mentale, au fur et à mesure même que cette connaissance se constitue et s'approfondit : celle-ci n'atteindrait finalement que ce qui, dans l'activité mentale, ne ressortit pas à l'"âme". Ils le font, dit LEVIN (à juste titre) en "idéalisant" les capacités mentales comprises sous la notion vague d'"intelligence". Mais ce n'est là également qu'un fait d'ordre du discours philosophique : l'exploitation des limites objectives de la science (la revendication idéologique du bien connu "supplément d'âme").

Ces mêmes adversaires du matérialisme anglo-saxon objectent aussi des conséquences qu'ils tirent des limites, selon eux patentes, propres aux expérimentations menées en "intelligence artificielle" : aucun ordinateur présumé "intelligent" n'a jusqu'ici pu égaler les capacités naturelles de l'homme. Si l'on a bien saisi le point de vue de la "Machine de Turing", la vacuité de cette objection apparaît d'emblée, du point de vue du modèle formel "universel" exploité par LEVIN, ces limites sont logiquement dénuées de pertinence. L'essentiel reste pour le matérialisme informatique qu'il soit théoriquement possible d'écrire le programme de Turing adéquat de chacun des comportements mentaux visés et que tous les programmes de Turing soient pratiquement réalisables (embodiment) dans un matériel physique quel qu'il soit : matière vivante, électrique, électronique ... Humain ou informatique.

Un projet anthropologique

LEVIN rêve d'une anthropologie matérialiste forte. Il est pour lui avéré que le matérialisme dispose à présent d'un modèle unique de toutes les activités mentales (ce en quoi nous nous représentons à nous-mêmes comme ayant une "âme") qui lui permet de produire légitimement une anthropologie complète ; celle-ci décrit, selon lui, exactement, la procédure formelle universelle par laquelle le matériel cérébral et corporel dans son ensemble fonctionne et dont il engendre la totalité de ses productions : les connaissances mais aussi les sentiments, le génie, le pouvoir, le devoir...

Il est probable qu'il se fourvoie mais on admettra qu'il ne ressortit pas au philosophe de juger de la valeur heuristique de la métaphysique lévinienne. Même s'il est toujours permis d'en douter, il ne sert en effet à rien de discuter si, dans cette illusion transcendantale, se dessine une imprudente mais roborative anticipation pour le devenir des sciences concernées.

On jugera plutôt, pour conclure, des motivations pratiques d'un tel projet, sur lesquelles se joue en définitive l'adhésion à cette sorte de matérialisme.

En effet, ce matérialisme informatique propose, non seulement aux praticiens de la science mais, au delà, à tous les agents sociaux, un nouveau "foyer imaginaire" de la "matière" (la matière programmée) qui, à l'évidence, prétend servir avant tout des intérêts non proprement spéculatifs. Or quel intérêt pratique y a-t-il de nos jours à promouvoir la croyance en une programmation universelle de la nature pensante, dont à défaut de connaître le détail complexe, nous pourrions penser le mécanisme formel universel? Quelle nouvelle "idée régulatrice" de l'"âme" se dessine-t-il ainsi à l'horizon de nos pratiques sociales?

Les adversaires de LEVIN s'écrient au scandale d'une pensée profondément immorale qui rabaisse la condition humaine ; il est à la fois sans issue et trop aisé de "jouer sur ce velours" ; on serait d'ailleurs conduit à répéter le mépris historique constant dont le matérialisme a toujours fait les frais.

Cette philosophie qui explique tous nos actes les plus mystérieux par l'idée de la procédure de décision, pose des questions qui, à coup sûr, n'intéressent pas que le philosophe. Mais la philosophie a de bonnes raisons de ne pas les ignorer ; la raison matérialiste, a fortiori, ne saurait les méconnaître sans se disqualifier.

En effet, quelle est la place encore possible (ou pour le moins : quel est le type de problématique possible) dans quoi puisse être réfléchi un projet d'existence ? Que vaut le projet qui s'inscrit dans la problématique d'une recherche, peut-être illusoire mais effrénée, du "logiciel" humain complet?

Si les notions d'intelligence ou de pensée sont des idées de la raison (au sens kantien du terme) et que ces idées tiennent lieu, provisoirement, de concepts scientifiques encore inchoatifs, le débat sur le "niveau" des capacités mentales de l'homme ne saurait déboucher que sur des antinomies. Idéalisation ou réduction de ce qui est compris sous le terme d'intelligence : cette alternative n'a de sens (métaphysique) que du point de vue de la philosophie spontanée des savants de l'"I.A." ; il n'en a probablement aucun du point de vue des domaines et des niveaux de réalités scientifiques définis par les théories scientifiques évoquées plus haut. On se bornera donc à constater que ces sciences ne nous disent ni s'il existe un modèle formel unique du "fonctionnement" de notre "appareil" mental, ni si une telle hypothèse est théoriquement cohérente.

En marge du débat épistémologique, on se résignera, en conséquence, à poser une simple question : que pouvons-nous espérer?

Pour LEVIN, l'avenir est à la définition et à la réalisation des programmes de l'amour, de la création artistique, du devoir moral et, sans doute, des stratégies sociales, politiques et économiques... Les programmes de nos "formes de vie", pour reprendre l'expression qu'il emprunte à Wittgenstein.

Il y a, dans cette anthroponomie du programme le dessein (peut-être horrifiant) d'une anthropologie intégrale qui, affirmant la nécessité d'un texte écrit à l'avance (à la lettre : ce qui est pro-graphein) - fût-

il "probabilitairement" réalisable par un "automate à nombre infini d'états -
réusscite une vieille négation téléologique de l'Histoire.

* *
*

(1) LEVIN (M.E.). - Metaphysics and the Mind-Body Problem (Oxford, Clarendon Press, 1979).

(2) FOUCAULT (M) . - L'ordre du discours (Paris, Gallimard, 1971) pp. 27 - 28.

(3) Op. déjà cité, Préface, p. vii.

(4) boutade de F. ENGELS : "La preuve du pudding, c'est qu'on le mange".

(5) Cf pour plus de précision sur la Machine de Turing et la Turing - calculabilité : KLEENE (S.C.) . - Logique mathématique (Paris, A. Colin, 1971) chap. 5, pp. 231 - 248.

(6) On citera les philosophes australiens J.J.C. SMART, D.M. ARMSTRONG, britannique U.T. PLACE, américains D.K. LEWIS, P.K. FEYERABEND, J.W. CORNMAN ...

On se référera à :

ROSENTHAL (D.M.) . - Materialism and the Mind-Body Problem (Englewood Cliffs N.J., 1971).

SMART (J.J.C.) . - The New Encyclopaedia Britannica, article "matérialisme" (Macropaedia, 1974), vol. II.

BLOCH (O) . - Le matérialisme, (Paris, P.U.F., 1985) pp. 116-119

ARMSTRONG (D.M.) . - A materialist Theory of Mind (London, Black-well, 1968).

ARMSTRONG (D.M.) & MALCOLM (N.) . - Consciousness and Causality (Lymington, Hants, Blackwell, 1984).

N. MALCOLM est un adversaire des matérialistes.

(7) CANGUILHEM (G.) article "Le cerveau et la pensée" in Prospective et santé n° 14 (ce texte reproduit dans sa quasi-totalité la conférence prononcée par l'auteur le 20 Février 1980 dans le cadre du M.U.R.S.), p. 89.

(8) TURING (A.M.) article "Computing Machinery and Intelligence" in Mind, vol LIX, n° 236 (1950) reproduit et traduit sous le titre "Les ordinateurs et l'intelligence" . - Pensée et Machine (Seysse, Champ Vallon, 1983).

(9) Cf TURKLE (S.) . - The Second-Self, Computers and the Human Spirit (New York, Simon and Schuster, 1984).

(10) cf la critique de ce point de vue par Patrick SUPPES : SUPPES (P) . - Probabilistic Metaphysics (Oxford, Blackwell, 1984), pp. 130 - 134.

$$f(a) = a + 1$$

(pour $a = 2$, $b = 1$)

0	1	1	0	1	0
59	60	61	62	63	64



0	1	1	1	0	0
59	60	61	62	63	64

inputs (lecture)
Machine

ouputs
(réécriture)

T de M	1	0
état 1	1 → 2 60	0 → 1 59
état 2	1 → 2 61	1 → 3 62
état 3	0 ↑ 3 63	0 ↑ 3 63
	-----	-----

$$X = \{1, 0\}$$

$$Y = \{1, 2, 3\}$$

$$Z = \{\rightarrow, \leftarrow, \uparrow, 1, 0\}$$

$$f = x \circ y \text{ dans } Y$$

$$g = x \circ y \text{ dans } Z$$

X = ensemble fini des symboles d'entrée (inputs)

Y = ensemble fini des états

Z = ensemble fini des symboles de sortie (outputs)

f = une application de x sur y dans Y

g = une application de x sur y dans Z

$$M = \{X, Y, Z, f, g\}.$$

(Machine de Turing)