



HAL
open science

Ingénierie sémiotique et modélisation diagrammatique

Fabien Ferri

► **To cite this version:**

Fabien Ferri. Ingénierie sémiotique et modélisation diagrammatique : au-delà du modèle de Turing. 2021. hal-03450312v2

HAL Id: hal-03450312

<https://hal.science/hal-03450312v2>

Preprint submitted on 26 Nov 2021 (v2), last revised 7 May 2022 (v3)

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.

Ingénierie sémiotique et modélisation diagrammatique : au-delà du modèle de Turing

Fabien Ferri¹

Résumé : Cet article montre dans un premier temps comment la modélisation spatiale et temporelle des objets de l'expérience en général conduit à l'idée de dispositif graphique. En exposant la déclinaison historico-génétique du concept de dispositif, nous montrons dans une deuxième partie dans quelle mesure cette déclinaison conduit au modèle scientifique actuel de ce qu'est tout dispositif : le modèle de Turing autrement connu sous le nom technique de machine de Turing. Une fois identifiées les limites du modèle de Turing, nous exposons dans une troisième et dernière partie les raisons qui nous autorisent à introduire la notion de dispositif diagrammatique, qui est selon nous au principe d'un nouveau type de modélisation : la modélisation diagrammatique.

Mots-clés : schéma, diagramme, modèle de Turing, ingénierie, sémiotique.

Abstract: This article first shows how the spatial and temporal modelling of the objects of experience in general leads to the idea of graphic device. In a second part, we show how this historical and genetic declension of the concept of device leads to the current scientific model of what any device is: the Turing model, otherwise known under the technical name of Turing machine. Once the limits of the Turing model have been identified, we expose in a third and final part the reasons that allow us to introduce the notion of diagrammatic device, which is, according to us, the principle of a new type of modelling: diagrammatic modelling.

Keywords: schema, diagram, Turing model, engineering, semiotics.

¹ Laboratoire COSTECH UR 2223, Sorbonne Universités, Université de technologie de Compiègne, Centre de Recherches, rue du Docteur Schweitzer, CS, 60319, 60 203 Compiègne cedex, France. Laboratoire Logiques de l'Agir UR 2274, Université Bourgogne Franche-Comté, Université de Franche-Comté, UFR Sciences du langage, de l'homme et de la société, 30, rue Mégevand, 25030 Besançon cedex, France.

Introduction

Nous partirons de la notion de schéma en commençant par en proposer la définition suivante : le schéma est une figure sans ornement. Autrement dit, c'est le modèle simplifié d'un objet spatial ou d'un processus temporel qui permet de représenter dans un espace à la fois sémiotique et graphique un objet ou un processus pour en comprendre les parties ou les moments essentiels. La fonction du schéma est donc double : elle est instructive et analytique, instructive parce qu'analytique.

Or pour devenir un diagramme, le schéma ne doit pas simplement conserver une homologie de structure avec ce dont il est le schéma, c'est-à-dire avec son objet entendu comme référent visé. Il doit être supplémenté d'une propriété : la générativité. Il doit donc être potentiellement producteur et reproducteur d'autre chose que ce qu'il représente. Une question se pose alors : comment le peut-il ? C'est-à-dire : quelles sont les conditions qui permettent de transformer le schéma en diagramme ? Autrement dit : de quoi le schéma doit-il être supplémenté pour être transformé en un diagramme permettant de produire un supplément caractéristique de la différence entre un schéma et un diagramme ? Quelle est la nature de ce supplément ? S'agit-il d'un supplément d'intelligibilité ?

Figure, schéma et processus de modélisation structurelle

Dimension spatiale du schéma

Nous venons de donner comme première définition extrêmement générale et approximative du schéma : « figure sans ornement ». Le schéma est donc une espèce du genre figure : il est en quelque sorte le squelette dont la figure est la chair. C'est une bonne métaphore pour décrire spontanément le rapport du schéma à la figure. Car le schéma dé-densifie la figure : il la dé-sature. On peut même dire qu'en la dé-saturant, il en révèle l'ossature (Ferri, 2021). Cette ossature a deux caractéristiques : elle conserve la forme apparente de la figure mais elle la dépossède simultanément d'un certain nombre de propriétés. Par exemple *L'Homme de Vitruve* de Léonard de Vinci est un dessin qu'on peut considérer comme une représentation picturale du corps humain. En tant que représentation picturale, c'est une figure du corps humain :

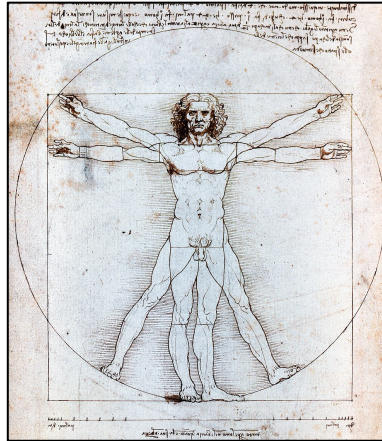


Figure 1. L'Homme de Vitruve. URL:

https://fr.wikipedia.org/wiki/Homme_de_Vitruve#/media/Fichier:Vitruvian_Man_by_Leonardo_da_Vinci.jpg

Mais la représentation du même corps, abstraction faite de sa peau, c'est-à-dire construite afin de représenter ses différentes parties internes, si elle est accompagnée d'une légende (permettant de dénommer les différentes parties constituantes du corps) et de flèches (permettant de les identifier une à une), alors elle devient un schéma. Ce peut être un schéma construit en vue de se faire une représentation des différents muscles du corps humain ou une représentation des différentes parties du corps chez l'homme et la femme :

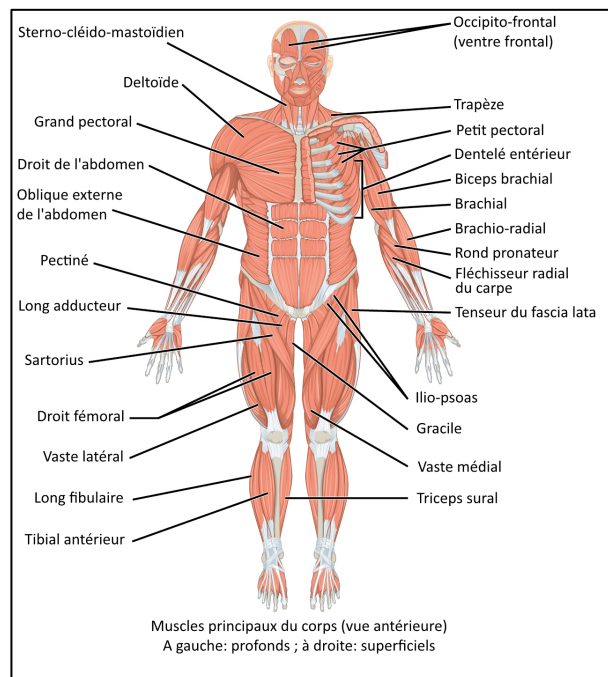


Figure 2. Schéma du corps humain. URL:

https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_muscles_du_corps_humain

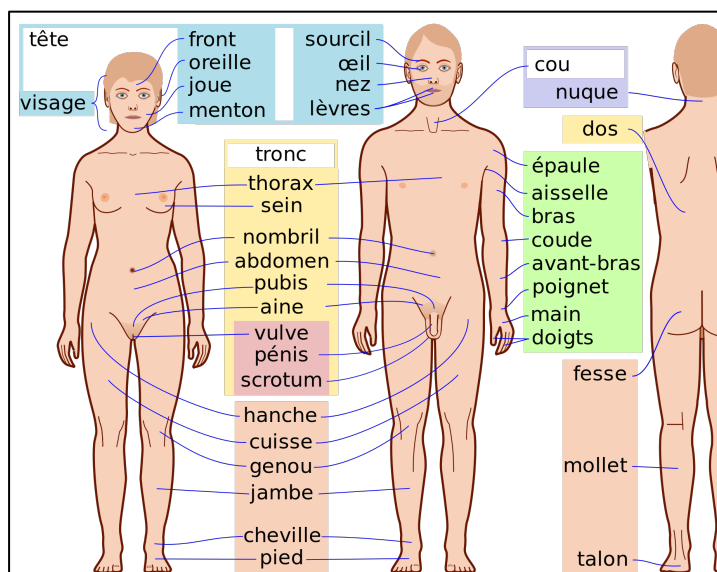


Figure 3. Schéma des corps de la femme et de l'homme. URL:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b1/Human_body_features-fr.svg/1920px-Human_body_features-fr.svg.png

Deux opérations découpent donc la figure en schéma : la distinction des parties de la figure et leur dénomination une à une. Nous pouvons ainsi avancer une première définition de la figure :

Une figure est une représentation graphique synthétique et synoptique, donc spatiale, plus ou moins dense et saturée, dont le schéma est la simplification et l'explicitation.

Qu'est-ce qu'ajoute le schéma à la figure et que lui retire-t-il simultanément ? Nous dirons qu'il lui retire la richesse sensible mais qu'il lui ajoute des attributs caractéristiques sinon des énoncés permettant d'expliciter et de simplifier ce dont la figure est l'étoffement. Autrement dit, ce qu'opère le schéma vis-à-vis de l'espace sémiotique et graphique de la figure, c'est un plongement de l'espace linguistique.

Dès lors, si le schéma conserve la proportion des rapports de distance entre les différentes parties de la figure qu'il représente, on dit qu'il en respecte les relations métriques. S'il respecte les relations métriques de la figure, il en respecte par définition les relations topologiques (rapports de position). Mais la réciproque n'est pas vraie : le schéma peut respecter les relations topologiques sans respecter les relations métriques, comme en témoigne par exemple ce schéma d'une cellule végétale :

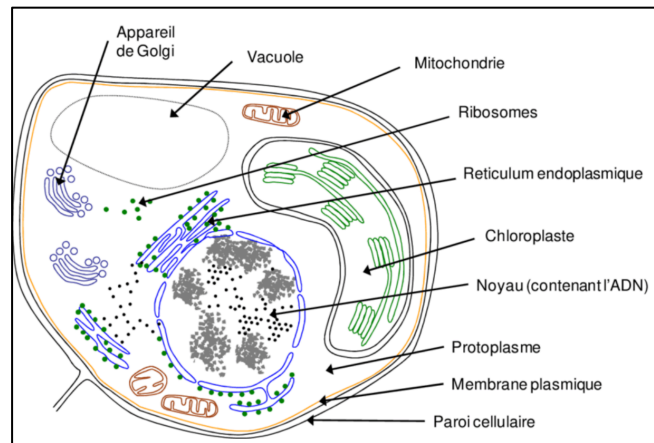


Figure 4. Schéma d'une cellule végétale. URL: https://www.researchgate.net/figure/Schema-dune-cellule-vegetale-dapres-Hopkins-Hopkins-1995-et-Gallien-Gallien_fig2_42100266

De plus, un schéma peut respecter les relations métriques et les relations topologiques des éléments de la figure qu'il représente sans nécessairement respecter les échelles relatives entre ces éléments. Lorsque le schéma respecte les proportions entre les relations métriques des éléments qu'il représente suivant un facteur d'échelle, le schéma devient une carte :



Figure 5. Carte de la France. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e1/France_blank.png

Nous venons de présenter la dimension spatiale du schéma comme représentation graphique. Il nous faut à présent caractériser sa dimension temporelle.

Dimension temporelle du schéma

Le schéma peut aussi avoir une dimension et une signification temporelles : c'est le schéma au sens du schéma comportemental, l'ensemble perceptible des rapports constants que laisse apparaître une conduite répétée. Cette dimension temporelle conduit d'ailleurs le schéma à se transformer en schème. Car la dimension temporelle est aussi celle qui introduit le mouvement du schéma au sein d'un processus moteur. En ce sens, le schéma devenant schème est une figure du corps en mouvement : c'est la figure d'un comportement qui se manifeste de façon répétitive, suivant une certaine constance et une certaine fréquence dans le temps, à travers des mouvements s'exprimant par des actions et des manières de faire.

Si dans sa dimension spatiale le schéma est à la figure ce que le squelette est à la chaire, on peut se demander quels sont les analogues temporels de la figure et du schéma ? Autrement dit, quelle image pourrait nous donner une représentation figurative du rapport des analogues temporels de la figure spatiale et du schéma spatial ? Nous dirons que le schème est à l'action ce que le schéma est à la figure (Ferri, 2021). Autrement dit, le schème est à la figure temporelle ce que le schéma est à la figure spatiale. C'est une dé-densification et une désaturation de la complexité de l'action saisie dans son épaisseur temporelle. Nous posons donc :

$$\frac{\text{Figure}}{\text{Schéma}} \equiv \frac{\text{Action}}{\text{Schème}}$$

L'action est ainsi posée comme une figure du temps, dont le schème est l'abstraction, c'est-à-dire le schéma. Nous pouvons dès lors poser la question suivante : comment peut-on représenter le schème, c'est-à-dire l'abstraction d'une figure temporelle, à travers un schéma spatial ? Autrement dit : comment peut-on représenter le schéma temporel d'une action, c'est-à-dire son schème, à travers un schéma spatial ?

Si on décompose l'action comme on décompose la figure dans le schéma figuratif, alors les segments de l'action considérée comme une totalité en constituent les parties temporelles. Si chaque segment partiel d'une action est représenté par une figure, alors il est possible d'extraire les schémas représentatifs des moments de l'action décomposée. Le principe de cette décomposition nous est donné par la technique de la chronophotographie :

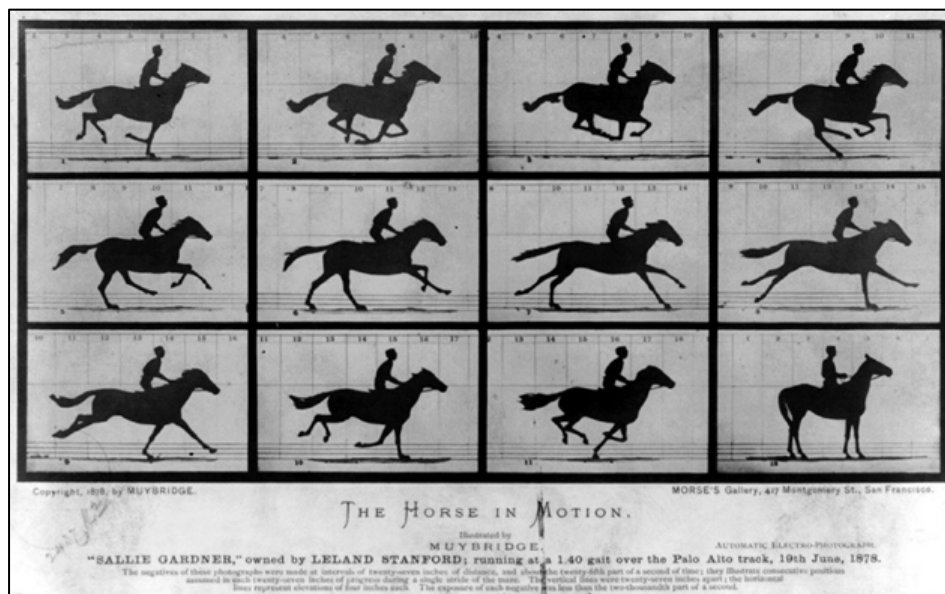


Figure 6. Chronophotographie. URL :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Chronophotographie#/media/Fichier:The_Horse_in_Motion.jpg

La représentation spatiale d'un schéma au sens où nous venons de le définir se présente donc comme la sériation ordonnée d'un nombre fini de schémas. Si le schéma désigne l'ensemble des rapports entre différents points du temps définissant les extrémités des segments d'une action entière et totale, alors il est possible de projeter ces points dans un espace de configuration pour en obtenir un schéma spatial. Cela conduit à l'idée de la représentation de moments temporels grâce à la disposition dans l'espace graphique d'un ensemble de marques qui représentent ces moments. Cela conduit donc à l'idée de dispositif graphique, si l'on entend par dispositif la détermination d'un comportement temporel par l'organisation spatiale d'un ensemble d'éléments reliés les uns aux autres (Bachimont, 2004, p. 16), dont l'unité synergique est orientée vers l'accomplissement d'une tâche déterminée, d'une action précise. Cela nous reconduit alors à la définition du mécanisme au sens cartésien du terme (Simondon, 2016, p. 397-411).

La représentation d'un mécanisme au moyen d'un dispositif graphique de marques conduit ainsi à l'idée de schéma technologique. C'est par exemple le schéma technologique du cycle 4-temps à allumage commandé du moteur à combustion et explosion. Le schéma de chaque phase nous donne un moment du cycle :

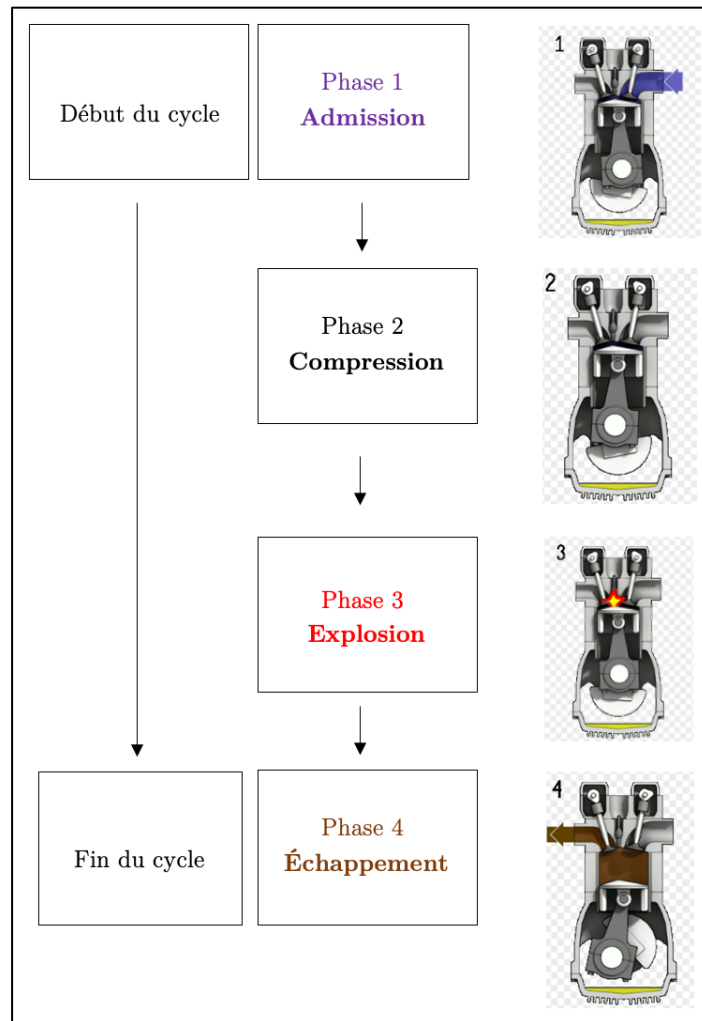


Figure 7. Cycle 4-temps du moteur à combustion et explosion.

URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_%C3%A0_combustion_et_explosion#/media/Fichier:4-Stroke-Engine.gif (Figure modifiée dans Ferri, 2021, p. 95)

La mise en mouvement chronophotographique de ces schémas permet de simuler graphiquement le cycle. Le GIF du cycle permet d'en donner quant à lui une représentation dynamique.

Du dispositif graphique au modèle de Turing

Extension du concept de dispositif : dispositif mécanique, dispositif thermodynamique et dispositif computationnel

Il nous faut maintenant revenir à l'histoire de la pensée moderne et contemporaine, car l'histoire de la rationalité moderne et contemporaine – telle qu'elle s'étend de Descartes jusqu'aux développements les plus récents de l'informatique théorique – nous enseigne que l'essence du mécanisme se loge dans le concept de dispositif. Qu'est-ce alors qu'un dispositif ?

Un dispositif peut être défini concrètement comme l'interdépendance systématique d'un nombre fini d'éléments dont la principale caractéristique est d'être des entités spatiales (i.e. des entités non seulement étendues mais aussi localisables dans un espace). Lorsque le dispositif fonctionne, les pièces qui le constituent sont mises en mouvement les unes par rapport aux autres suivant un ordre temporel bien défini. C'est pourquoi un dispositif se définit aussi par un nombre fini de moments temporels pendant lesquels ses pièces sont en mouvement les unes par rapport aux autres, dans les limites de ce qu'on appelle en physique des degrés de liberté. La restauration périodique des mêmes rapports entre ces entités spatiales, qui sont constitutives du dispositif (entendu comme ensemble d'entités matérielles ayant une solidarité concrète), définit quant à elle des cycles de fonctionnement, temporellement programmés par la disposition des pièces et l'ordre de leurs interactions dans le temps.

L'exemple canonique du dispositif mécanique est ainsi la montre, car la montre est le symbole concret du mécanisme qui produit, présente et reproduit le temps qui règle le calendrier de nos rapports sociaux. L'exemple canonique du dispositif thermodynamique est quant à lui le moteur, car le moteur est le symbole concret du mécanisme qui ne se réduit pas à l'automouvement immobile d'un mécanisme horloger, mais produit le mouvement du dispositif dont le moteur est le cœur. Par exemple, le moteur à explosion est le cœur du dispositif voiture, qui grâce à lui, rend possible son auto-mobilité, et par conséquent son déplacement spatial.

Or nous savons depuis maintenant 80 ans qu'il y a un modèle scientifique qui donne une formalisation rigoureuse de ce qu'est un dispositif, c'est ce qu'on appelle la machine de Turing (Turing, 1937). Pourquoi la machine de Turing est-elle la formalisation rigoureuse de ce qu'est un dispositif ? Avant de répondre à cette question, il est nécessaire de revenir sur le terme d'informatique et sur le sens de cette science qui a moins d'un siècle, car cela nous permettra de faire la transition entre les dispositifs thermodynamiques et les dispositifs computationnels, pour arriver à l'idée de géométrie abstraite et discrète du temps (Bachimont, 1996) dont la diagrammatique est selon nous le complément. Car la diagrammatique est la géométrie concrète des opérations pratiques pourvues de signification, menant à la résolution des problèmes de la vie concrète. La sémiotique diagrammatique est en effet le langage visuel de la pratique entendue comme ensemble des opérations non calculatoires, c'est-à-dire des opérations qui excèdent toute formalisation algorithmique et donc nécessitent pour être modélisées le développement d'une nouvelle discipline que nous appelons l'ingénierie sémiotique des systèmes diagrammatiques (Ferri, 2021).

L'informatique comme modèle scientifique des dispositifs

La machine de Turing est le modèle théorique du fonctionnement des ordinateurs modernes.

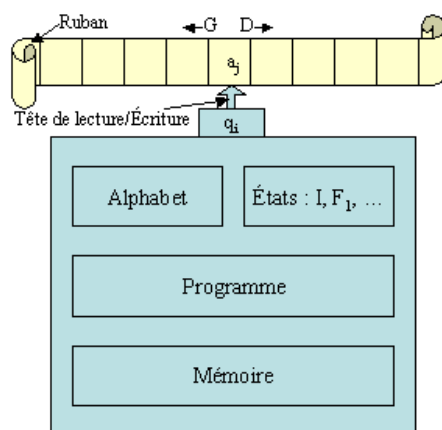


Figure 8. Schéma de la machine de Turing. URL:
http://www.desmontils.net/emiage/Module209EMiage/c5/Ch5_2.htm

Elle est un dispositif composé de trois éléments fondamentaux :

- Une bande mémoire divisée en cases sur lesquelles sont inscrites en entrées des données codées dans un alphabet fini et dénombrable.
- Un programme enregistré sur cette même bande mémoire, mais sur un emplacement distinct de celui des données. Ce programme est ce qui contient les instructions opératoires que la machine doit effectuer sur le code des données : il contient donc les règles de lecture.
- Le dispositif est composé d'une tête de lecture/écriture à états internes, en nombre fini et mutuellement exclusifs, appliquant les instructions du programme sur le code des données. Cette tête de lecture effectue donc les manipulations dictées par le programme. Elle est capable soit d'écrire un symbole, soit d'effacer un symbole, soit de se déplacer d'une case sur la bande, à droite ou à gauche.

Lorsque la tête de lecture rencontre un couple formé d'un état interne associé à une instruction de déplacement, mais qui n'est pas enregistré dans sa table de transitions, la machine s'arrête et l'ordonnancement des symboles stockés sur la bande mémoire correspond au résultat du traitement calculatoire effectué par la machine. Ainsi, ce que nous a permis de comprendre la machine de Turing, c'est qu'exécuter un algorithme au sein d'un dispositif informatique est équivalent à effectuer un calcul arithmétique avec un dispositif papier/crayon. Exécuter un algorithme, dans le cas le plus simple, c'est effectuer un calcul arithmétique automatisé au sein d'un ordinateur, qui est une réalisation concrète du principe de fonctionnement de la machine abstraite de Turing, modèle de tout dispositif, c'est-à-dire de tout arrondissement du temps par l'espace (Bachimont, 2004, p. 30-31).

Si la machine de Turing marque l'acte de naissance de l'informatique comme science, la réalisation du premier ordinateur en marque en revanche la naissance comme ingénierie. Dans informatique, il y a deux mots en un : information et automatique. Mais le mot

information ne doit pas nous tromper. Il doit être entendu au sens technique du terme, c'est-à-dire tel que défini par Claude Shannon au sortir de la Seconde Guerre mondiale (Bachimont, 1994, p. 16). L'information, en ce sens technique, c'est un code. Or un code est d'autant plus informant qu'il contient de bits.

L'informatique est donc l'ingénierie du traitement automatique de l'information, tel qu'il est mis en œuvre par une machine concrète, qui est un centre de calcul : l'ordinateur. Puisque le traitement est effectué par la médiation de calculs (qui correspondent à des exécutions d'algorithmes) effectués sur des codages (qui correspondent à des suites d'informations au sens de Shannon), l'informatique est aussi une science. On peut dire qu'elle est une science de la nature, car elle permet de comprendre comment des systèmes physiques structurellement différents peuvent être fonctionnellement homologues, car capables d'opérer les mêmes transferts logiques d'information, et donc être susceptibles d'une même modélisation algorithmique (Chazelle, 2012, §68). C'est ce que Simondon appelait le « principe d'équivalence des méthodes » (Simondon, 2016, p. 46) et que nous appelons le « principe d'équivalence fonctionnelle » (Ferri, 2021, p. 547), selon lequel un même résultat peut être obtenu à partir d'opérations et de structures très différentes. La réciproque étant vraie aussi : des mécanismes qui produisent des effets différents peuvent être équivalents. Par exemple, une sonnette électrique est équivalente à une horloge électrique, car elle fonctionne grâce au principe d'établissement et de rupture d'un courant dans un circuit à partir d'une action par contact. Le rapport $\frac{\text{Opérateur humain}}{\text{Sonnette}}$ est strictement équivalent au rapport $\frac{\text{Balancier}}{\text{Horloge}}$. Il y a donc beaucoup plus d'analogie réelle entre une horloge électrique et une sonnette électrique, qu'entre cette horloge électrique et une horloge à poids, dont l'ensemble *poids – roue motrice – crochet – remontoir – tambour* est strictement équivalent à un treuil de carrière.

L'informatique est le traitement automatique des informations (Berry, 2009), parce qu'elle est l'ingénierie de l'information discrétisée numériquement, dont le format technique de manipulation est le codage binaire, et dont le support virtuel opératoire et calculatoire est la machine de Turing. Elle est aussi une science, car les lois qui régissent ses manipulations sont les lois du calcul, formalisées à travers des algorithmes. Qu'est-ce qu'un algorithme ?

C'est un calcul effectuable sur des codages, c'est-à-dire sur de l'information discrétisée numériquement et techniquement manipulée dans un format binaire. Mais les signes manipulés ne signifient rien dans la mesure où ils ne le sont qu'en fonction de leur forme syntaxique (définie par le langage de programmation utilisé) et non de la signification qui leur est associée (purent conventionnelle et extrinsèque à la manipulation calculatoire). Comme la manipulation n'est pas fondée sur la nature physique des symboles manipulés, mais sur les règles syntaxiques du langage de programmation utilisé, un algorithme et son exécution ne dépendent pas de la nature physique de l'ordinateur qui les réalise. C'est la raison pour laquelle l'informatique a pu être définie comme une physique abstraite des signes. « Physique des signes » dans la mesure où ces derniers

sont manipulés de manière purement mécanique ; « physique abstraite » dans la mesure où les lois qui la concernent ne sont pas relatives à la matière, mais au temps (Bachimont, 1994, p. 16).

Suivant ces principes de codage numérique de l'information et de codage numérique des transformations à opérer sur des informations numérisées, il est possible d'obtenir le code résultat des données d'un problème et de sa méthode de résolution pour lequel l'exécution d'un programme enregistré sur une machine de Turing permet d'obtenir une résolution automatique du problème numérisé. Dès lors on peut se poser la question suivante : comment une physique de signes informatiques peut-elle devenir une physique des signes investis d'esprit ?

Dispositif computationnel et production de sens : l'ingénierie des connaissances

En opérant non plus un traitement automatique d'informations numérisées mais un traitement automatique des connaissances, comme l'a prouvé l'ingénierie des connaissances.

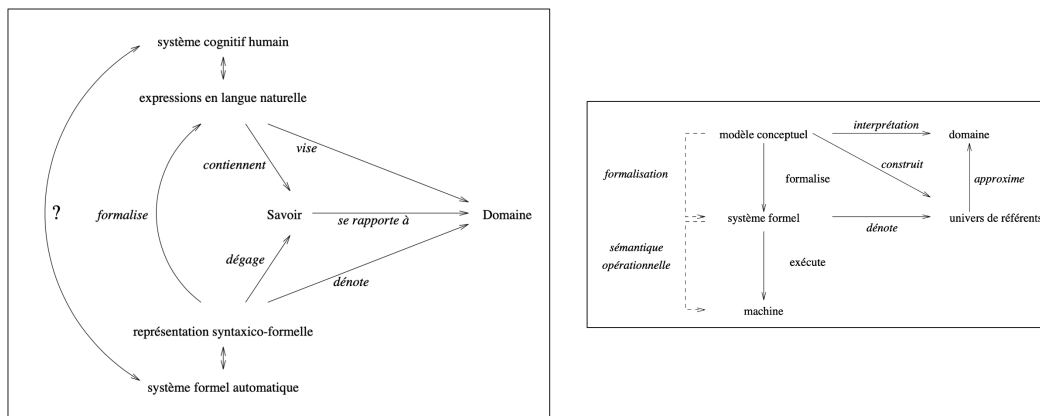


Figure 9. Diagrammes de fonctionnement de l'IA conçue comme ingénierie des connaissances (Bachimont, 1996, p. 3 et 5)

En effet, en opérant la modélisation de contenus véhiculés par des représentations linguistiques grâce à des représentations logiques formelles enrégimentées dans des processus calculatoires, l'ingénierie des connaissances a prouvé qu'il était possible de produire de nouvelles connaissances interprétables dans des domaines d'expertise (Bachimont, 1996). Dès lors on peut se poser la question suivante : comment une physique de signes investis d'esprit peut-elle devenir une algèbre symbolique pourvue de sens ?

Notre réponse est : en devenant une techno-sémiotique des opérations symboliques où coexistent sur un même support graphique sens et calcul. Comment est-ce possible ? En

construisant des diagrammes. Car les diagrammes sont des machines sémiotiques (Ferri, 2021) qui produisent des calculs qui ont du sens. Dans cette mesure, ce sont de nouveaux supports de connaissances, qui donnent accès à des fonctionnements signifiants et rendent possible des manipulations pourvues de sens.

Dispositif graphique et ingénierie sémiotique : vers une modélisation diagrammatique

Schéma et iconicité structurelle

Ce que cherche à préciser dans ce que nous appelons l'ingénierie sémiotique, c'est un principe de modélisation qui exploite l'oubli du formalisme logique hérité du Cercle de Vienne et un principe d'effectivité qui supplémente le principe d'effectivité calculatoire qui nous est donné par la logique mathématique (Bachimont, 1996). Nous proposons un autre principe de modélisation, complémentaire au principe de formalisation logique, que nous nommons principe de modélisation diagrammatique (Ferri, 2021, p. 422). Il doit permettre d'exprimer le contenu non logique d'une connaissance phénoménologique, c'est-à-dire la structure qualitative sur laquelle s'appuie la faculté intuitive non logique, qui était déjà reconnue par Turing dans le §11 de sa thèse comme l'une des deux sources du raisonnement mathématique (Turing, 1939, p. 214-215).

Au lieu d'avoir une abstraction du contenu linguistique par la formalisation logique, on obtient une abstraction du contenu intuitif par la représentation diagrammatique. C'est pour cette raison que l'ingénierie sémiotique ne s'intéresse pas à l'idiome linguistique comme vecteur de connaissance, mais au symbole graphique. Car ce dernier a pour fonction de compacter spatialement cette structure qualitative phénoménologique, pour la rendre saisissable de façon synoptique.

Diagramme et iconicité opérationnelle

Ensuite, il faut un principe d'effectivité. Ce principe, nous l'appelons le principe d'iconicité opérationnelle. C'est un principe d'effectivité opérationnelle non computationnelle. Au lieu d'exploiter un principe d'effectivité calculatoire, il s'agit d'exploiter la médiation grâce à laquelle on accède à l'effectivité non computationnelle. Cette médiation est selon nous l'iconicité opérationnelle (Ferri, 2021, p. 425). Or l'iconicité opérationnelle peut être capturée par un diagramme dans la mesure où un diagramme est une machine sémiotique, c'est-à-dire une machine qui donne accès à un contenu opérationnel qui n'est pas réductible à un contenu computationnel. Dès lors l'enjeu de l'ingénierie sémiotique consiste à élaborer un dictionnaire et une grammaire visuels de la pratique, c'est-à-dire une sémiotique visuelle des opérations pratiques irréductibles à des opérations de calcul. C'est donc la sémiotique qui peut nous donner

accès à la géométrie du sens pratique que nous appelons la diagrammatique, qui est la géométrie de l'espace des opérations non calculatoires de la pensée et de l'action pratique dans le monde.

Conclusion

L'analyse du schéma, dans ses dimensions spatiale et temporelle, conduit à l'idée de dispositif graphique, entendu comme disposition des signes graphiques dans l'espace sémiotique d'inscription permettant de représenter une configuration d'objets dont les relations au cours du temps sont programmées, c'est-à-dire déterminées à se reproduire suivant des cycles répétitifs.

La déclinaison du concept de dispositif permet d'en donner une caractérisation mécanique, thermodynamique et enfin computationnelle, dont la formalisation achevée est donnée par le modèle de Turing. Les limites de ce modèle autorisent l'introduction de la notion de dispositif diagrammatique, permettant la modélisation d'opérations non calculables, parce que non saisies par la formalisation algorithmique. Ces opérations non calculables sont l'objet d'une nouvelle discipline, l'ingénierie sémiotique, dont la finalité est de modéliser la géométrie du sens pratique nommée diagrammatique, qui est la géométrie de l'espace des opérations non calculatoires de la pensée et de l'action pratique dans le monde.

Bibliographie

- Bachimont, B. (1994). *Le contrôle dans les systèmes à base de connaissances : contribution à l'épistémologie de l'intelligence artificielle*. Paris : Hermès.
- Bachimont, B. (1996). *Herméneutique matérielle et Artéfacture : des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser ; Critique du formalisme en intelligence artificielle* (Thèse de doctorat d'épistémologie, École Polytechnique).
- Bachimont, B. (2004). *Arts et sciences du numérique : ingénierie des connaissances et critique de la raison computationnelle* (Mémoire d'Habilitation à diriger des recherches, Université de technologie de Compiègne).
- Berry, G. (2009). *Penser, modéliser et maîtriser le calcul informatique*. Paris : Collège de France/Fayard.
- Chazelle, B. (2012). *L'algorithmique et les sciences*. Paris : Collège de France/Fayard.
- Ferri, F. (2021). *Science opérative et ingénierie sémiotique : des machines graphiques à la morphogenèse organique* (Thèse de doctorat d'épistémologie, Université de technologie de Compiègne).
- Simondon, G. (2016). L'objet technique comme paradigme d'intelligibilité universelle. In : Simondon, N., Saurin I. (dir.), *Sur la philosophie : 1950-1980*. Paris, Presses universitaires de France, 397-420.

Turing, A. M. (1937). On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, vol. s2-42, no 1, 1937, 230-265.

Turing, A. M. (1939). Systems of Logic Based on Ordinals†. *Proceedings of the London Mathematical Society*, vol. s2-45, no 1, 1939, 161-228.