

Explorer les potentiels de la sémiotique diagrammatique à travers son ancrage matériel graphique

Fabien Ferri
Université de Franche-Comté
(France)

1. Introduction

Jusqu'à l'époque contemporaine, la formalisation la plus aboutie de la logique a été la théorie aristotélicienne des syllogismes. De l'Antiquité jusqu'au XIX^e siècle, la théorie d'Aristote a en effet représenté un modèle formel dans l'art de raisonner. Des premiers travaux d'Aristote jusqu'à la scolastique médiévale, la logique s'est restreinte à l'analyse des langues naturelles. La proposition, composée d'un sujet, d'une copule et d'un prédicat, en constitue l'élément de base. Elle possède quatre formes : l'universelle affirmative (A) ; l'universelle négative (E) ; la particulière affirmative (I) et la particulière négative (O). On peut les représenter à travers un schéma qu'on appelle le « carré logique », puisqu'il représente géométriquement sous la forme d'un carré les oppositions logiques entre ces quatre formes (A, E, I, O).

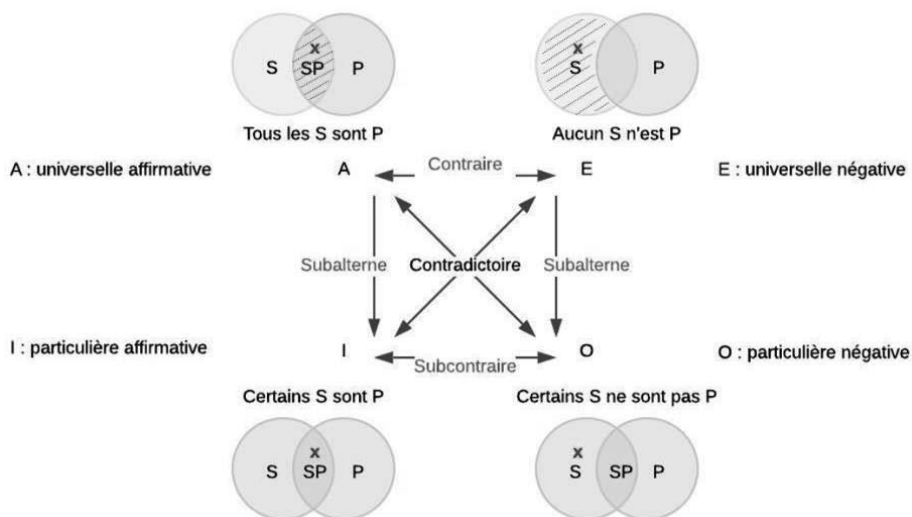


Figure 1. Carré logique

Pendant presque deux mille ans, on a tenu le système aristotélicien des formes valides de déduction pour complet en pensant qu'il n'était pas possible de l'améliorer. Le renouveau des études logiques à l'époque contemporaine a été dû à George Boole, qui a contribué au développement de l'algèbre de la logique.

Boole appartient à un courant de pensée que l'historien des sciences tchèque Luboš Nový a appelé l'« École algébrique anglaise » (Durand-Richard, 2002). La rupture opérée par ce groupe de savants a consisté en un changement de point de vue sur la réalité des objets mathématiques, qui a induit une mutation de l'algèbre. Les algébristes, dont la tâche depuis l'Antiquité était de parvenir à résoudre des équations, ont commencé au sortir de la révolution industrielle à déplacer leur centre d'intérêt de l'étude de la résolution des équations vers celle des lois abstraites opérant sur des ensembles d'éléments définis *a priori*, c'est-à-dire indépendamment de toute préoccupation de savoir si ces entités définies correspondent à des objets existants réellement ou non. L'École algébrique anglaise a initié dans une certaine mesure le mouvement formaliste, car elle s'est concentrée sur l'étude des structures abstraites et des conditions axiomatiques de leurs propriétés opératoires (Ruffieux, 2005).

Le problème de ces savants n'était en effet pas de savoir si la pratique mathématique doit être légitimée par l'existence des objets dont elle parle et sur lesquels elle prétend travailler, mais de connaître à quelles conditions des procédures opératoires mises en œuvre dans certaines branches des mathématiques peuvent légitimement être transférées dans d'autres branches de cette discipline. Le sujet de leur préoccupation concernait la pratique des mathématiques telle qu'elle est examinée par un point de vue interne de praticiens et de techniciens, qui réfléchissent activement sur ce qu'ils font. Dans leur cas, cela est passé par une réflexion sur l'écriture et les systèmes de notations utilisés pour exprimer les problèmes sur lesquels ils travaillaient.

Cette réforme de l'algèbre, conduite à travers une réflexion sur la forme du symbolisme à utiliser dans l'écriture des mathématiques, a pris le nom d'« algèbre symbolique » sous l'impulsion du mathématicien George Peacock (Durand-Richard, 1990). Par algèbre symbolique, Peacock désigne la science démonstrative et abstraite qui s'oppose à la science physique. Ce n'est pas une science dans laquelle on cherche à vérifier les raisonnements en ayant recours au contrôle expérimental d'une nature modélisée grâce à l'outil mathématique, mais une science qui prend pour objet l'esprit afin d'en identifier les lois de fonctionnement. S'agit-il pour autant d'une psychologie ?

Non, car l'objectif de l'algèbre symbolique n'était pas de saisir les lois de l'esprit à travers l'étude expérimentale de son activité dans un laboratoire. Il s'agissait d'étudier l'esprit à travers ses expressions dans le langage. L'analyse du langage était ainsi conçue comme la méthode d'accès aux lois de l'esprit. Le premier à avoir opéré une telle démarche est John Locke. Il sera suivi au XVIII^e siècle par les penseurs des Lumières écossaises (Ruffieux,

2005). Ce qu'il s'agit de dégager, ce sont les lois du langage de l'algèbre, conçu comme le langage du raisonnement symbolique.

En définissant l'« algèbre symbolique » comme une science de l'esprit, Peacock affirme l'indépendance des opérations de l'algèbre par rapport aux objets sur lesquels elles opèrent. C'est pourquoi il ne définit plus l'algèbre comme la science des grandeurs calculables, mais comme celle des opérations de l'esprit telles qu'elles sont sédimentées dans les lois qui régissent l'ordonnement et la combinaison de symboles graphiques (Durand-Richard, 1990, p. 146). Les objets à connaître ne sont donc plus des quantités, mais des propriétés opératoires qui agissent sur des transformations symboliques. On peut dès lors dire de l'algèbre qu'elle est une technologie graphique, car c'est une technique de transformations des quantités réduites à des symboles manipulables.

Le premier objectif de cette contribution est de montrer, à travers l'analyse d'un exemple simple, comment la logique telle qu'elle a été héritée d'Aristote a muté vers un régime d'écriture diagrammatique au prix d'un certain nombre de transformations graphiques : tout d'abord grâce à une géométrisation incomplète initiée par Euler (1843), ensuite grâce à un processus d'algébrisation initié par Boole (Coumet, 2016, p. 137-176). La diagrammatisation de la logique opérée par Venn à la fin du XIX^e siècle à la suite des premiers travaux d'Euler et Boole a ainsi permis de constater que l'esprit logique peut s'observer fonctionner à travers une machine sémiotique graphique qui exhibe ses opérations.

Une fois la notion de machine sémiotique introduite grâce à cet exemple simple, il s'agit dans un deuxième temps de montrer en quoi un diagramme, en tant qu'objet graphique, est l'élément d'un dispositif sémiotique plus large, porteur de potentiels, dont l'appropriation par un lecteur conduit à sa mise en fonctionnement. Cela a pour conséquence de produire des contenus, des conduites ou des comportements pourvus de sens. Autrement dit, ce qu'il s'agit de comprendre, c'est que dès lors que la sémiotique devient diagrammatique, elle potentialise des conduites qui sont sources d'augmentation pour ceux qui s'approprient de tels dispositifs grâce à la maîtrise des systèmes d'écriture dont la structuration graphique et la codification sémiotique autorisent la mise en œuvre d'un programme d'intelligence artificielle fondé sur l'interprétation et la manipulation de différents types de diagrammes.

2. Sémiotique diagrammatique et logique

2.1. La géométrisation de la logique

Aristote présente dans l'*Organon* un type de raisonnement appelé syllogisme dont voici un exemple bien connu :

Prémisse 1 : Tous les Hommes sont Mortels.

Prémisse 2 : Tous les Grecs sont des Hommes.

Conclusion : Donc, tous les Grecs sont Mortels.

Le syllogisme permet de parler de choses qui existent, c’est-à-dire vraies pour certains individus et fausses pour d’autres. Il est toujours constitué de deux prémisses et d’une conclusion. Les prémisses et la conclusion prennent l’une des quatre formes suivantes :

Forme I	Tout A est B	Universelle affirmative
Forme II	Nul A n’est B	Universelle négative
Forme III	Quelque A est B	Particulière affirmative
Forme IV	Quelque A n’est pas B	Particulière négative

Figure 2. Tableau des quatre formes fondamentales du syllogisme

Dans l’ensemble du syllogisme, les trois prédicats (A, B, C) qui interviennent apparaissent tous chacun deux fois. C’est donc du rapport de deux quantités (A, B) à une même troisième (C) que l’on déduit leur rapport réciproque. La forme la plus simple du syllogisme est le mode Barbara composé de trois propositions universelles affirmatives :

Prémisse 1 : Tout A est B
 Prémisse 2 : Tout B est C
 Conclusion : Donc, tout A est C

Dès lors, l’expression géométrique eulérienne des deux prémisses universelles affirmatives consiste à représenter chaque notion par un espace et chaque espace par un cercle (Euler, 1843, p. 260) : pour la notion d’« homme », on trace un cercle (A) qui inclus tous les hommes. Pour la notion de « mortel », on trace un cercle (B) dans lequel est inclus tout ce qui est mortel. Si l’on considère la proposition : « Tous les hommes sont mortels », cela revient à inclure le cercle (A) dans le cercle (B) :

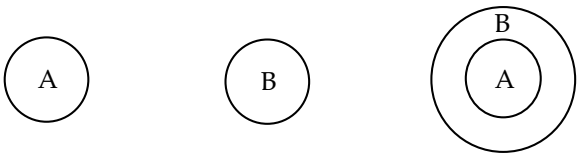


Figure 3. Expression eulérienne de la proposition « Tous les hommes sont mortels »

De cette façon on représente géométriquement une proposition affirmative universelle, où le cercle (A), qui représente le sujet de la proposition, est entièrement inclus dans le cercle (B), qui représente le prédicat. Traduit dans le système d’Euler, les quatre formes fondamentales du syllogisme énumérées plus haut s’expriment de la façon suivante :

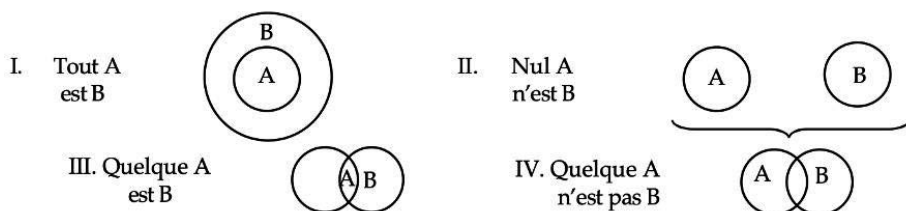


Figure 4. Expression eulérienne des quatre formes fondamentales du syllogisme

Comment une réflexion progressive sur l'écriture symbolique a-t-elle conduit certains logiciens et mathématiciens à faire passer le régime d'expression graphique de la logique d'une forme géométrique à une forme algébrique ? Comment ce régime d'expression algébrique a-t-il permis en retour de systématiser l'écriture de la logique, en réussissant à parfaire sa spatialisation graphique à travers son expression diagrammatique ?

2.2. L'algébrisation de la logique

Après Euler et avant Venn, Boole transpose le mode de raisonnement algébrique dans la logique pour qu'elle devienne une logique symbolique, c'est-à-dire une logique dont la validité des procédures ne dépend pas de la signification des symboles manipulés, mais seulement des lois de leur combinaison :

La caractéristique bien déterminée d'un *vrai calcul*, c'est d'être une méthode reposant sur l'emploi de Symboles, dont les lois de combinaison sont connues et générales, et dont les résultats admettent une interprétation cohérente. (Boole, cité par Coumet, 2016, p. 139)

Faire une science des opérations de l'entendement, exposer les procédures du raisonnement sous forme d'un calcul algébrique, telle est la tâche que s'est fixée Boole dans *Les Lois de la pensée* ([1854] 1992). On est à l'articulation de la psychologie, de la logique et des mathématiques. Il s'agit de faire une science de l'esprit et d'expliquer les mécanismes qui régissent son objet grâce à l'algèbre.

La visée la plus profonde de Boole, comme Coumet l'a remarqué, est d'atteindre l'« opération mentale élémentaire » (2016, p. 143). Mais une fois cette opération atteinte, comment la faire correspondre à un symbole ? Comment extérioriser l'opération mentale élémentaire pour la mémoriser et la reconnaître, afin de pouvoir la reproduire dans un acte de lecture ? Comment symboliser l'opérateur élémentaire à l'œuvre dans le mécanisme d'inférence opéré par l'esprit ? Comment faire en sorte que les combinaisons de symboles d'opérations mentales expriment adéquatement l'activité de l'esprit ? Comment les symboles peuvent-ils dicter la marche à suivre à celui qui les interprète pour qu'il reproduise le schématisme opératoire d'une inférence effective valide ? Comment passe-t-on de l'enchaînement effectif des opéra-

tions à son expression symbolique, et de cette expression symbolique à sa reproduction dans un acte interprétatif valide et véridique ?

La méthode algébrique est celle qui, selon Boole, doit diriger l'enchaînement des opérations. Ce qu'il cherche à mettre sur pieds, c'est une théorie des équations logiques. Deux progrès en logique vont rendre possible son algébrisation (Diagne, dans Boole, [1854] 1992), c'est-à-dire la transformation de la proposition en équation logique :

1) La quantification du prédicat. La proposition « Tous les hommes sont mortels » est universelle car le sujet « hommes » est quantifié par « tous ». Le sous-entendu de la proposition est « Tous les hommes sont quelques mortels », puisque le renversement de la proposition de départ la transforme en « Quelques mortels sont tous les hommes ». Or c'est la considération de la quantité particulière « quelques » du prédicat « mortels » qui permet de regarder la proposition « Tous les hommes sont quelques mortels » comme une équation entre deux classes qui ont une extension équivalente. Cela permet de transformer la formule d'attribution « S est P » en une formule d'équivalence où la copule « est » est remplacée par le signe d'égalité « = » qui signifie que deux classes ont les mêmes membres. La formule d'attribution de la logique classique, en devenant une formule d'équivalence, a ainsi donné naissance à la logique des classes, fondée non plus sur la notion d'identité, mais sur celle d'équivalence.

2) L'introduction de la notion d'univers du discours par De Morgan à la fin des années 1840. Il s'agit de commencer par appliquer la négation au prédicat et non plus au sujet. La proposition « Nul homme n'est immortel » devient ainsi « Tout homme est non immortel ». Le prédicat privatif « non immortel » représente-t-il une classe définie ? Si on considère que les « immortels » et les « non immortels » forment la totalité de ce dont on parle, alors cette totalité est l'univers du discours. Autrement dit les « immortels » et les « non immortels » sont des termes complémentaires par rapport à l'univers du discours.

En transformant la proposition logique originellement organisée suivant le schéma identitaire de la formule d'attribution en une équation organisée suivant le schéma égalitaire d'une formule d'équivalence, Boole transforme la représentation du raisonnement logique jusqu'alors perçu comme une déduction opérée à partir de propositions en un calcul algébrique opéré sur des classes grâce à des équations. Dès lors on peut se poser la question suivante : existe-t-il un système diagrammatique ayant le même ordre de généralité ? C'est à cette question que Venn a voulu répondre en cherchant l'expression diagrammatique du calcul algébrique des équations de la logique de Boole (Venn, 1880).

2.3. La diagrammatisation de la logique

Soit les conventions interprétatives suivantes de l'algèbre de la logique :

- 1 : désigne l'univers du discours ;
- X : désigne un premier attribut ;
- Y : désigne un second attribut ;
- x et y : désignent les classes qui possèdent les attributs X et Y ;
- $\bar{x}$: désigne la classe $1 - x$;
- $\bar{y}$: désigne la classe $1 - y$;
- xy : désigne l'intersection des classes x et y ;
- $x + y$: désigne la somme logique des classes x et y .

Étant donné deux attributs X et Y , « l'univers du discours symbolisé par 1 pourra être divisé en quatre classes disjointes, selon que les choses comprises dans cet univers possèdent ou non l'attribut X , et possèdent ou non l'attribut Y » (Coumet, 2016, p. 103). La conséquence qui en découle est la suivante :

$$1 = xy + \bar{x}y + x\bar{y} + \bar{x}\bar{y}$$

L'expression diagrammatique de cette équation est la suivante :

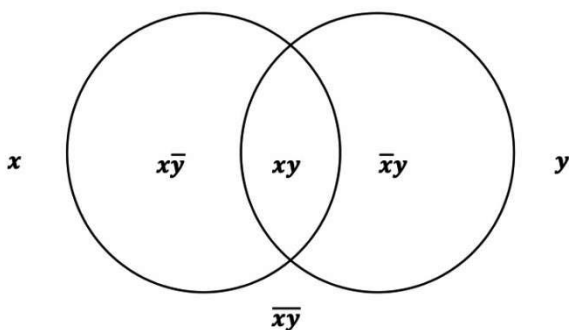


Figure 5. Traduction diagrammatique de l'équation universelle

Le trait suscrit (*vinculum*) situé au-dessus de chaque lettre permet ainsi de matérialiser tous les prédicats privatifs reconnus comme les compléments des prédicats attributifs par rapport à l'univers du discours. Alors que la diagrammatisation eulérienne exprime une proposition qui énonce une relation déterminée entre deux classes, on peut observer que celle de Venn exprime la subdivision de l'univers du discours en quatre régions et fournit une sorte de matrice à l'intérieur de laquelle on pourra ensuite exprimer des propositions.

La différence notable entre Euler et Venn, c'est que Venn ne cherche plus simplement à représenter les relations entre les termes des propositions, mais les relations entre les propositions elles-mêmes, et donc à considérer le groupe des syllogismes de la logique aristotélicienne comme une totalité. Le problème que cherche à résoudre Venn peut se formuler ainsi : quelle doit être

la structure d'un schéma géométrique pour que celui-ci exprime le groupe des substitutions des classes d'attribution de l'univers du discours sur lequel on souhaite raisonner ?

Après Euler et avant Frege, Venn n'a plus simplement fourni, grâce aux diagrammes qui portent maintenant son nom, une représentation visuelle des relations entre les notions exprimées dans les propositions logiques, il a réussi à exprimer d'une manière systématique et complète les relations entre les classes d'attribution associées à ces notions. Le principe est toujours le même : les relations entre classes d'attribution sont exprimées par des relations entre des figures géométriques et les figures géométriques correspondent toujours à des cercles qui se recoupent. Il faut donc trouver le schéma géométrique correspondant à la traduction de l'univers du discours, dans lequel la combinaison d'un nombre fini de figures géométriques permet de visualiser le rapport de deux quantités x et y à une même troisième z , c'est-à-dire le groupe de leurs permutations dans l'univers du discours. Ainsi, pour trois attributs X , Y , Z , on obtient les huit permutations des classes d'attribution suivantes : xyz , $xy\bar{z}$, $x\bar{y}z$, $x\bar{y}\bar{z}$, $\bar{x}yz$, $\bar{x}y\bar{z}$, $\bar{x}\bar{y}z$, $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$. L'univers du discours doit cette fois-ci être divisé en huit classes disjointes :

$$1 = xyz + xy\bar{z} + x\bar{y}z + x\bar{y}\bar{z} + \bar{x}yz + \bar{x}y\bar{z} + \bar{x}\bar{y}z + \bar{x}\bar{y}\bar{z}$$

Venn en déduit que le schéma géométrique permettant d'exprimer une telle totalité est le suivant :

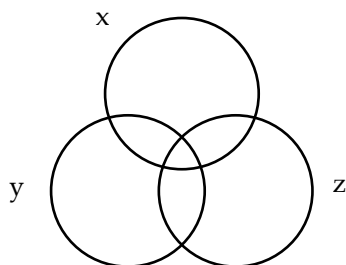


Figure 6. Matrice diagrammatique découverte par Venn

Les règles d'interprétation des diagrammes sont les suivantes : si une région d'un cercle est hachurée, cela signifie que l'ensemble est vide ; si elle est pourvue d'une croix, cela signifie que l'ensemble contient au moins un élément. Enfin, si une région, partielle ou totale, est vide, elle doit être interprétée comme n'exprimant aucune information (elle peut être vide ou non-vide nous n'en savons rien). Ainsi pour la notion d'« homme », les diagrammes de Venn permettant d'exprimer les propositions « Il y a des hommes » et « Il n'y a pas d'hommes » se représentent de la façon suivante :

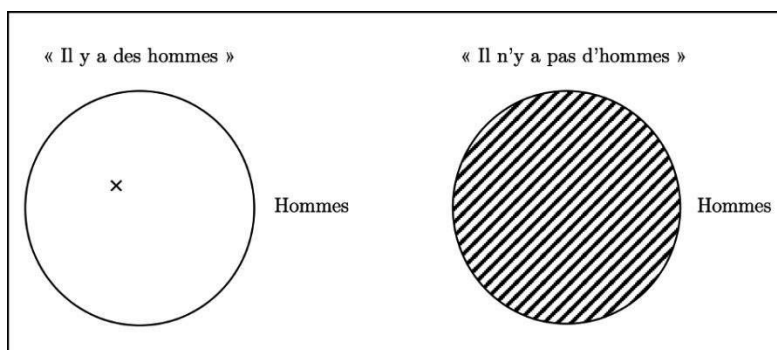


Figure 7. Conventions interprétatives adoptées pour la lecture des diagrammes de Venn

D'après les prémisses suivantes :

- 1) Tous les Grecs sont des Hommes
- 2) Tous les Hommes sont Mortels

La proposition (1) implique que tous les Grecs qui ne sont pas des hommes sont barrés ; la proposition (2) implique que tous les hommes non mortels sont aussi barrés. On peut alors observer et déduire de la production du diagramme inférieur la conclusion suivante : « Tous les Grecs sont Mortels ». Le diagramme terminal de la partie inférieure de la Figure 8 découle des translations spatiales qui matérialisent visuellement la production effective du résultat véridique. La vérité est produite au terme d'une série de transformations géométriques simples dont la matérialisation permet l'intuition contrôlée.

Étudier le mécanisme interne de l'inférence en représentant un ensemble de prémisses au moyen de diagrammes permet d'observer les transformations des prémisses en conclusion par une série d'étapes graphiques élémentaires dont la genèse est la suivante : figuration géométrique des propositions logiques (Euler) ; codage algébrique des classes d'attribution qui interviennent dans les raisonnements syllogistiques (Boole) ; complétion diagrammatique du groupe de substitution des classes en question dans un schéma symbolique définissant une totalité fonctionnelle (Venn).

Cet exemple illustre la thèse suivante, qui est au fondement du développement du programme de l'ingénierie sémiotique conçue comme intelligence artificielle graphique des systèmes diagrammatiques : un diagramme peut être conçu comme une machine sémiotique qui fonctionne suivant des conventions interprétatives. Dans ce cas particulier, il s'agit d'une machine logique. Mais tout diagramme, même s'il possède une logique intrinsèque, n'est pas réductible à une machine logique. C'est ce qui en fait la richesse. Cela signifie que le niveau sémiotique excède le niveau logique, et qu'un diagramme potentialise la production d'un supplément d'intelligibilité qui

excède toute formalité logique, comme nous allons le montrer dans un deuxième temps.

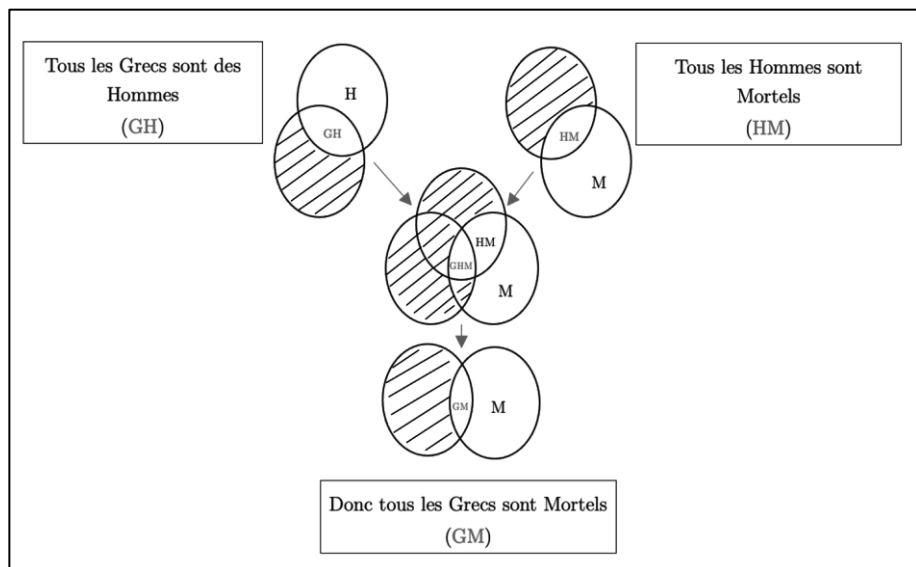


Figure 8. Ancrage matériel du raisonnement diagrammatique

3. Modélisation et effectivité diagrammatiques

3.1. Virtualité, potentialité et actualité diagrammatiques

Comment et pourquoi les diagrammes constituent-ils des formes sémiotiques et techniques dont la structure donne un pouvoir de genèse à ceux qui les manipulent suivant leurs conventions d'usage ? Comment ce pouvoir de genèse constitue-t-il une puissance générative auto-entretenu par les interprétants qui les lisent et les manipulent avec leurs yeux et leurs mains, et dont la qualité principale consiste à actualiser progressivement les contenus dont les diagrammes sont virtuellement porteurs, faisant ainsi de ces machines sémiotiques de véritables matrices génératives productrices d'intelligibilité ?

Les diagrammes sont une classe de représentations graphiques qui peuvent être lues, ce sont des objets médiatiques d'un certain type, des interfaces entre les hommes et le monde, qui révèlent que l'écriture est une « technique culturelle » (Krämer, 2003). Plus précisément, ils sont intimement liés à l'écriture comprise comme une technique d'inscription visant la reproductibilité d'un sens interprétable grâce à un ensemble de signes qui articulés les uns aux autres, font système. Même l'étymologie le confirme, car le terme « *diagramma* », qui désigne en grec une ligne tracée, provient plus profondément de deux racines indo-européennes d'où dérive le mot « crabe », en raison de l'inscription des déplacements de ce crustacé dans le sable (Batt, 2004, p. 6). Ce sens originel nous donne d'ailleurs un modèle paradigmatique

permettant de saisir ce que cette classe d'objets graphiques réussit à capturer : des essences opératoires. C'est la raison pour laquelle les diagrammes sont porteurs d'un enjeu ontologique qui leur donne aussi une valeur et une portée dans l'histoire de la métaphysique : ils permettent de donner une signification ontologique au concept d'opération, qui est situé à l'intersection de la pensée pratique, de la pensée technique, de la pensée logico-mathématique et de la pensée stratégique.

Car un diagramme est la trace statique qui virtualise dans un support d'inscription une opération ou un ensemble d'opérations dynamiques propres au devenir d'un objet, et qu'on ne peut pas réduire à un schéma ou un ensemble de schémas, dans la mesure où le diagramme en tant que support de mémoire doit être interprété et manipulé suivant des conventions interprétatives qui permettent de produire l'objet ou le processus dont il est la codification graphique plus ou moins complexe. Pour cette raison, le diagramme est une médiation paradoxale : il capture un devenir dans un système de traces statiques sans être pourtant une « image-mouvement » (Deleuze, 1983). Autrement dit, la diagrammatique n'est pas une cinématographie. C'est un dispositif sémiotique méthodique et génératif qui permet de produire des effets, des objets, des processus ou encore des solutions à des problèmes par la médiation d'un sujet interprétant qui participe au fonctionnement de ce dispositif en le manipulant avec ses yeux et ses mains. Au sein d'un tel dispositif, on peut distinguer trois modalités : le virtuel, le potentiel et l'actuel.

Est virtuelle une opération présente qui n'est pas effective, mais abstraite, parce que schématisée sur un support externe d'inscription et non encore congruente au schéma corporel du sujet agissant qui cherche à la reproduire dans une dynamique de résolution de problème. Est virtuelle l'opérativité exprimée par un verbe qu'on associe au schéma minimal d'une telle opération. En effet, dans le cadre de l'élaboration d'une « ingénierie sémiotique » (Ferri, 2021), dont l'objectif principal consiste à diagrammatiser une « théorie des opérations » (Simondon, [1958] 2013, p. 529) à laquelle Simondon a d'ailleurs donné le nom d'« allagmatique », si on prend comme exemple de situation paradigmatique celui mobilisé par Platon dans le *Sophiste* (*Ibid.*, p. 532), soit l'identité de rapports opératoires entre un pêcheur à la ligne et des poissons et un sophiste et des jeunes gens riches, alors le symbole graphique le plus simple pour saisir une telle opération de capture est la flèche :

pêcheur à la ligne $\rightarrow$ poissons $\equiv$ sophiste $\rightarrow$ jeunes gens riches

Car le symbole de la flèche étant orienté, il peut matérialiser de façon commode une intention opératoire en la schématisant au moyen d'un pictogramme. Si on double un tel pictogramme d'un ensemble de verbes qu'on lui associe – dans l'exemple du *Sophiste* les verbes hameçonner et séduire –

on peut alors opérer la déclinaison paradigmatique d'une opération de capture. De cette façon, on transforme la flèche en symbole graphique signifiant : le pictogramme devient par pure convention l'aide-mémoire du rapport opératoire qu'il s'agit de schématiser. Car ce symbole graphique aurait tout aussi bien pu schématiser la flèche d'un arc et alors signifier une opération de décochement entre un chasseur et du gibier. À partir de là, si on procède à la sériation de pictogrammes autres que la flèche, on peut exprimer, au moyen de signes graphiques dont on explicite les conventions d'usage un enchaînement d'opérations dont la finalité est de schématiser un processus de résolution de problème dans une situation pratique de la vie ordinaire (grâce à un mode d'emploi par exemple), dans l'organisation de la vie d'une entreprise (grâce à un mode opératoire qui présente l'ordre des opérations à accomplir pour réaliser une tâche dans un processus de production) ou encore dans l'activité d'une armée (grâce à un document technique militaire nommé concept d'opérations ou CONOPS).

Est actuelle une opération présente qui est effective, parce que donnée dans le réel en acte. Enfin, est potentielle une opération qui n'est ni virtuelle ni actuelle, mais qui peut s'actualiser dans l'avenir, c'est-à-dire devenir une opérationnalité effective. Alors que le virtuel est un présent inactuel matérialisé dans une trace qu'on peut réactiver, le potentiel est un fond caché qui peut devenir présent suite à son actualisation.

Ce qu'il s'agit d'actualiser dans le cas d'un diagramme, c'est donc une opérationnalité, c'est-à-dire le remplissage de la visée d'une conscience opérative telle qu'elle est dirigée vers l'accomplissement d'une opération en acte. Dès lors, pour rendre possible une telle actualisation, il est nécessaire de rendre potentielle la lecture du diagramme virtuel. Une telle potentialisation est rendue possible grâce à l'appariement du diagramme virtuel au sujet interprétant qui le lit au moyen des conventions de lecture prescriptives qui vont diriger et guider l'actualisation en contexte de la ou des opérations dont le diagramme est virtuellement porteur, dans la mesure où il s'agit d'un type d'enregistrement irréductible à l'enregistrement alphabétique ou numérique (Ferri, 2020, p. 56).

Pour cela, il faut premièrement doter le diagramme d'une structure notationnelle isomorphe à la structure de la situation interactive ou de la séquence d'opérations qu'il modélise. Deuxièmement, il faut que cette structure dirige la conscience qui s'en saisit vers l'opération ou la séquence d'opérations codifiée dans le diagramme, afin que cette conscience s'actualise dans une situation équivalente à la situation modélisée par la représentation diagrammatique. La fonction de la modélisation diagrammatique est de favoriser, pour le sujet interprétant qui s'approprie la représentation diagrammatique, la reconnaissance d'une situation objective équivalente à ce dont le diagramme est le modèle. La modélisation diagrammatique facilite la reconnaissance de la situation, mais pas de l'action immanente qui lui est associée.

Ce qui facilite l'opération effective entendue comme mise en œuvre du diagramme par le sujet interprétant qui s'en saisit, c'est le caractère à la fois lisible et visible de sa structure technique, c'est-à-dire sa « lisibilité ». Or la structure du diagramme comme outil graphique est sa « potentialité représentationnelle » (Giardino, 2017). Car le diagramme n'est pas qu'un modèle, c'est aussi un « outil cognitif » (Giardino, 2018). Or c'est cette « potentialité représentationnelle » du diagramme qui est au principe de l'actualisation de l'opération cognitive de l'agent qui s'en saisit sous la forme d'une opération pratique actuelle dans le réel, preuve d'une compréhension et d'une conscience pratiques. Par conséquent, la compréhension qui saisit le diagramme comme structure technique est l'aiguillon qui enclenche son appropriation dynamique dans une activité pleinement opérationnelle.

Cette appropriation dynamique de la conscience lectrice qui actualise le diagramme dans un faire possède un rythme, car le rythme d'actualisation du diagramme est conditionné par l'attention que le sujet porte à la situation actuelle dans laquelle il est impliqué et engagé. Cette attention est un ajustement à la situation, dans la mesure où la situation est un cas variable qui enveloppe des contingences non contenues dans le modèle idéal-typique (qu'est le diagramme en tant que modèle graphique) et auquel le sujet doit répondre en s'ajustant. C'est pourquoi toute actualisation diagrammatique est prise dans un circuit perception-action dont le modèle nous a été donné par la biosémiotique (Uexküll, [1834] 2010) et dont la conscience technologique ou « mécanologique » nous a été donnée par Simondon (2012 [1958], p. 58). L'attention impliquée dans ce circuit perception-action participe ainsi de ce que Vincent Beaubois a décrit comme un « schématisme pratique de l'imagination » (2015, en ligne), dont l'actualisation analogique s'opère de manière contrôlée et ajustée par la médiation d'un diagramme correctement interprété.

3.2. Dispositif sémiotique et schématisme opératoire

C'est la raison pour laquelle la problématique diagrammatique est intimement liée au problème du schématisme tel que nous en héritons depuis Kant. Depuis la *Critique de la raison pure*, c'est-à-dire la fin du XVIII^e siècle, Kant appelle schème le « monogramme » ([1781] 2006, p. 226) grâce auquel l'imagination procure à l'entendement l'image dont celui-ci a besoin pour opérer la synthèse de la diversité des impressions que le sujet connaissant perçoit grâce à la vue synoptique que ce monogramme rend possible, et qui unifie et rend intelligible le monde que ce même sujet connaissant appréhende à travers les intuitions de sa sensibilité.

Le diagramme conçu comme schème graphique matérialisé dans un support d'inscription permet donc d'actualiser la problématique kantienne du schématisme de manière opératoire. Il rend possible la transcription d'une méthode de production dont la lecture permet d'initier la génération d'un supplément qui excède le diagramme en tant que médiation graphique méthodique. Il permet en outre de démystifier la notion de schème et de la

dissocier de la notion de conscience conçue comme intériorité psychologique, afin de la rattacher à la notion d'« intentionnalité opérative » introduite par Husserl (Gallagher et Miyahara, 2012, p. 127). En effet, l'intentionnalité opérative désigne la modalité de la conscience par laquelle il est possible d'accéder à l'essence opérationnelle saisie par un diagramme, à savoir le caractère « orthopratique » du diagramme (Ferri, 2021), puisqu'un diagramme est un type d'enregistrement qui donne accès à la conscience qui sait le lire à l'opération ou à la série des opérations pratiques, c'est-à-dire non calculatoires, qu'il médiatise. Autrement dit, cette caractérisation du diagramme comme schème graphique permet d'introduire trois aspects essentiels de la pensée diagrammatique :

- le caractère synoptique des composants d'un diagramme dans un espace sémiotique de présentation qui permet de les rendre visibles et contigus, c'est-à-dire coprésents ;
- la production d'intelligibilité et d'unité induite par cette visibilité et cette contiguïté ;
- enfin l'opérativité à laquelle donnent accès cette visibilité et cette intelligibilité, raison pour laquelle un diagramme est un support de modélisation et un embrayeur de simulation destiné à préparer l'exécution d'un ensemble d'opérations.

Un diagramme est donc un objet technique graphique qui est pris dans un processus sémiotique constitué de trois pôles :

- l'objet du diagramme conçu comme support de modélisation ;
- le diagramme entendu comme modèle graphique de cet objet ;
- l'interprétant qui se saisit du diagramme comme d'une méthode générative qui permet de produire un supplément de réalité qui excède le diagramme en tant que modèle graphique.

L'interaction dynamique entre ces trois pôles est d'ailleurs productrice d'un supplément d'intelligibilité, puisqu'elle produit un résultat qui engendre une augmentation du sujet connaissant et une croissance discontinue de la réalité. C'est la raison pour laquelle il est possible de rapprocher la pensée diagrammatique de l'empirisme radical (James, [1912] 2007a) et du pluralisme (James, [1909] 2007b), qui correspondent respectivement à la théorie de la connaissance et à l'ontologie de William James. D'une part parce que l'expérience du diagramme comme objet technique graphique est l'expérience de relations entre des contenus réels, imaginaires ou idéaux représentés par des inscriptions ; d'autre part parce que la manipulation de ces inscriptions par le sujet qui se les approprie, si elle s'opère diagrammatiquement, conduit le sujet à s'individualiser, c'est-à-dire à accomplir un devenir transformateur de son être, et à devenir producteur. Car le raisonnement diagrammatique qu'il poursuit à

travers cette « individuation sémiotique » (Ferri, 2021), en tant que co-fonctionnement de la pensée d'un vivant humain (dont le psychisme est structuré par des signes) avec un dispositif matériel dans lequel cette « pensée-signe » (Tiercelin, [1993] 2013a) est engagée, produit un supplément de réalité à la fois matériel et symbolique. Un tel dispositif sémiotique de nature diagrammatique donne d'ailleurs tout son sens au concept de « machine abstraite » (Deleuze et Guattari, 1980), car il permet de comprendre comment un dispositif qui fonctionne de façon diagrammatique produit des agencements matériels pourvus de sens à différentes échelles (micro, méso et macroscopique).

3.3. Analogie opératoire et supplément diagrammatique

Par exemple, la modélisation graphique de la théorie de la relativité restreinte d'Einstein au moyen d'un diagramme de Minkowski permet de rendre visible un phénomène absolument contre-intuitif comme celui de la dilatation des durées, et ainsi de déconstruire le concept de simultanéité absolue (Moutet, 2016, p. 34-35). En effet la figure 9 montre que si deux événements A et B sont simultanés dans le référentiel R, c'est-à-dire tels que $t_A = t_B$, alors en projetant ces événements sur l'axe $(Oc.t')$ parallèlement à l'axe (Ox') , on est conduit à constater que $t'_A > t'_B$. Cela signifie que dans le référentiel R', dont on suppose qu'il est en mouvement rectiligne uniforme par rapport au référentiel R, l'événement A a lieu après l'événement B car la droite pointillée de couleur rouge parallèle à l'axe (Ox') qui traverse A se trouve au-dessus de celle qui traverse B.

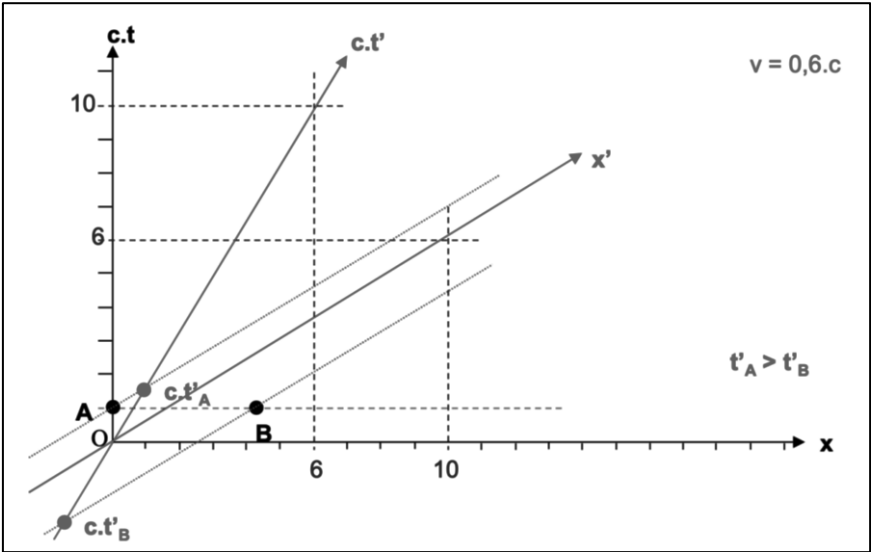


Figure 9. Diagramme de Minkowski (Moutet, 2016, p. 35)

Dans un autre ordre d'idées, la lecture d'un mode d'emploi permet de manipuler un appareil comme un autocuiseur pour lui faire accomplir sa finalité technique (Ganier, Gombert et Fayol, 2000), qui est de réduire le temps de cuisson d'un aliment :

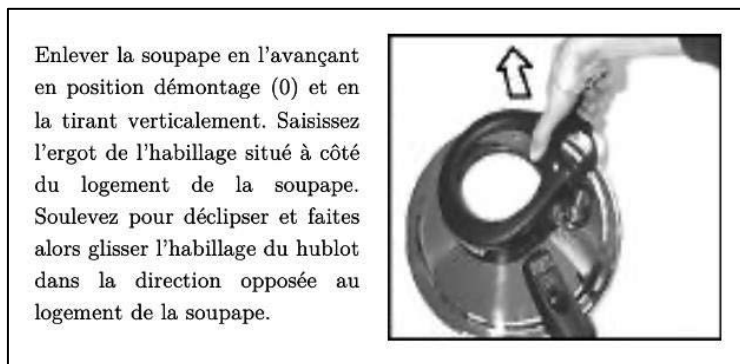


Figure 10. Mode d'emploi formaté en texte et illustration non fragmentés (Ganier, Gombert et Fayol, 2000, p. 147, ici modifiée)

Enfin l'appropriation d'une partition rédigée en cinétographie Laban permet d'exécuter un scénario chorégraphique à travers une performance artistique (figure 11).

Ainsi, dans le rapport qu'un phénomène décrit par une théorie physique entretient à son modèle graphique (diagramme de Minkowski), qu'un individu entretient à un appareil technique (via son mode d'emploi) ou qu'un danseur entretient à sa performance artistique (via une partition chorégraphique), on observe à l'œuvre un dispositif sémiotique dont le bon fonctionnement a pour conséquence de produire des résultats ou des actes pourvus de sens. C'est cette machinerie sémiotique qui est la preuve que la catégorie de « pensée diagrammatique » est légitime, puisque ces trois seuls exemples exhibent une même pensée à l'œuvre dans trois domaines absolument étrangers les uns aux autres : la physique théorique, la vie ordinaire et la pratique d'un art de la scène tel que la danse.

Même si leurs finalités sont différentes, ces trois situations produisent des comportements producteurs de sens qui nous permettent de discerner une équivalence de rapports opératoires entre des agencements comportant des objets de natures différentes, même si tous sont médiatisés par des supports de représentations graphiques. Ces trois exemples permettent ainsi d'introduire l'importance du topos de l'analogie dans la pensée diagrammatique, qui a commencé à être formalisée dans la pensée métaphysique de Leibniz à travers la notion d'expression (Debuiche, 2021), puis dans la philosophie des mathématiques de Peirce à travers celle d'iconicité (Chauviré, 1987), et enfin dans la pensée mathématique contemporaine à travers les notions d'isomor-

phie (Timmermans, 2012), de morphisme ou encore de foncteur, notamment dans la théorie mathématique des catégories (Jedrzejewski, 2007).

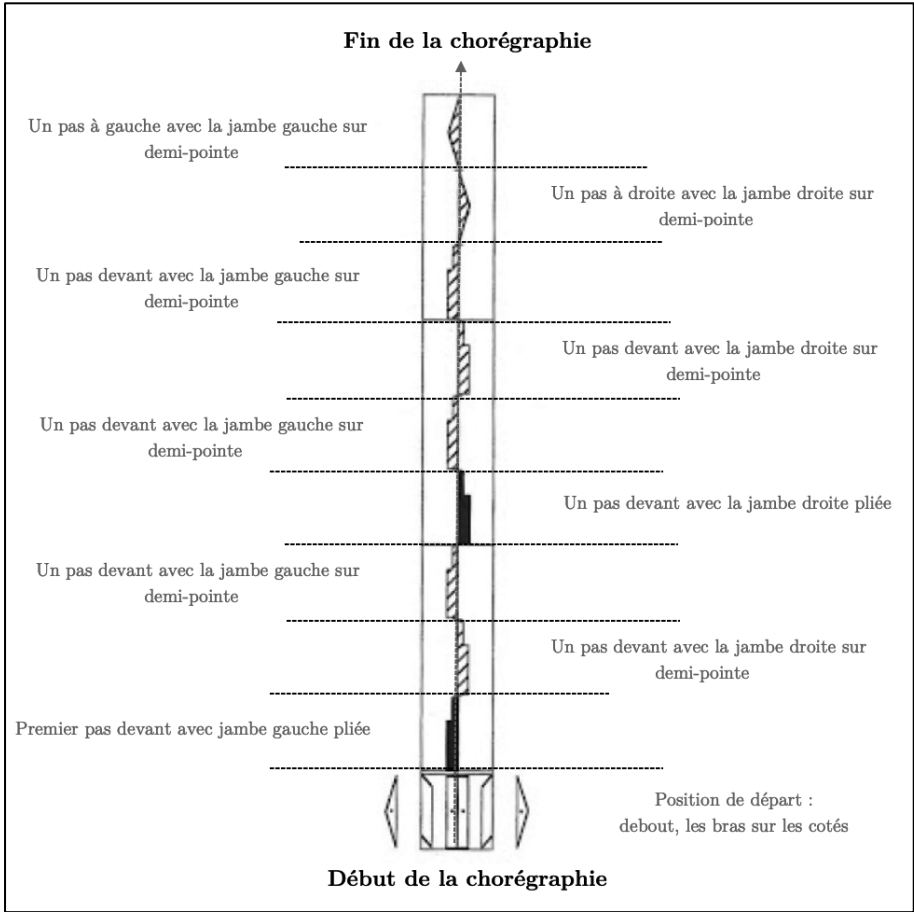


Figure 11. Traduction d'une portée écrite en cinégraphie Laban

4. Conclusion

En partant d'un exemple simple, nous avons cherché à démontrer, à travers l'étude du processus de diagrammatisation de la logique aristotélicienne, comment la genèse matérielle du raisonnement conduit à identifier un niveau d'intelligibilité extra-logique porteur de potentialités qui peuvent être exploitées dans le cadre d'une sémiotique non discursive, la sémiotique des systèmes diagrammatiques. L'analyse sommaire de quelques dispositifs sémiotiques auxquels sont branchés les objets diagrammatiques montre que de tels complexes inextricablement matériels et symboliques sont bien des dispositifs potentiels dans la mesure où leur mise en fonctionnement par des interprétants produit des suppléments d'intelligibilité d'une grande diversité : objectivation

graphique d'un phénomène décrit par une théorie physique, accomplissement d'une opération technique ou encore réalisation d'une performance artistique. Ces suppléments viennent confirmer, à l'issue d'un début d'exploration de nouveaux milieux sémiotiques et techniques, l'hypothèse originellement avancée par Bruno Bachimont selon laquelle la constitution de nos connaissances s'ancre dans notre utilisation d'outils matériels fabriqués dans des contextes d'interaction (Bachimont, 1996), les diagrammes constituant une nouvelle classe de tels outils matériels (Ferri, 2021), à la suite des dispositifs informatiques exploitant des systèmes à base de connaissances dans le cadre de l'ingénierie des connaissances (Bachimont, [1992] 1994).

L'ingénierie des connaissances est en effet une branche de l'intelligence artificielle au croisement des sciences de la nature et des sciences de la culture dont Bruno Bachimont (1996) a en grande partie contribué à délimiter le périmètre de validité scientifique, à exploiter le potentiel technologique et à produire la réflexivité épistémologique dans une thèse critique sur la position formaliste en intelligence artificielle.

En allant puiser dans le formalisme épistémologique hérité du Cercle de Vienne un « principe de modélisation » et dans le formalisme scientifique hérité de la logique mathématique un « principe d'effectivité » dont le couplage a rendu possible la réalisation d'un programme technologique visant à faire fonctionner des systèmes à base de connaissances qui instrumentent la résolution de problèmes effectués par des êtres humains dans le domaine de la médecine, l'intelligence artificielle conçue comme ingénierie des connaissances a pu technologiquement mettre en œuvre le programme de recherche qui lui était propre (Bachimont, 1996). La finalité théorique d'un tel programme était alors de répondre à la question suivante : pourquoi une machine informatique peut-elle produire de nouvelles connaissances ?

La réponse consistât à démontrer que le calcul, dès lors qu'il est déployé comme opérationnalisation computationnelle dans des dispositifs informatiques, autorise, au sens phénoménologique du terme, la constitution de nouvelles connaissances, dans la mesure où le support virtuel des machines calculatoires est un nouveau support d'inscription des connaissances au même titre que le support papier de l'écriture alphabétique (Bachimont, 2004).

Dans le prolongement de ce programme fécond, on peut à présent se poser la question suivante : comment une physique de signes « investis d'esprit » (Husserl, 1982) peut-elle devenir une mécanique symbolique pourvue de sens ? Notre hypothèse est la suivante : une telle physique des signes peut devenir une sémiotique opératoire non computationnelle grâce à la construction de diagrammes élaborés dont le cadre de l'ingénierie sémiotique (Ferri, 2022).

Références bibliographiques

Aristote, [1983] 2001, *Organon III : les premiers analytiques*, Paris, Vrin.

- Bachimont Bruno, [1992] 1994, *Le Contrôle dans les systèmes à base de connaissance : contribution à l'épistémologie de l'intelligence artificielle*, Paris, Hermès Science Publications.
- Bachimont Bruno, 1996, *Herméneutique matérielle et Artéfacture : des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser. Critique du formalisme en intelligence artificielle*, thèse de doctorat, Palaiseau, École polytechnique.
- Bachimont Bruno, 2004, *Arts et sciences du numérique : ingénierie des connaissances et critique de la raison computationnelle*, mémoire d'HDR, Compiègne, Université de technologie de Compiègne.
- Batt Noëlle, 2004, « L'expérience diagrammatique », *TLE*, n° 22, p. 5-28.
- Beaubois Vincent, 2015, « Un schématisme pratique de l'imagination », *Appareil*, n° 16, disponible en ligne.
- Boole George, [1854] 1992, *Les Lois de la pensée*, Paris, Vrin.
- Chauviré Christiane, 1987, « Schématisme et analyticité chez C. S. Peirce », *Archives de Philosophie*, vol. 50, n° 3, p. 413-437.
- Chauviré Christiane, 2008, *L'Œil mathématique : essai sur la philosophie mathématique de Peirce*, Paris, Kimé.
- Debuiche Valérie, 2021, *Leibniz et l'expression*, Aix-en-Provence, Presses Universitaires de Provence.
- Deleuze Gilles, Félix Guattari, 1980, *Mille plateaux*, Paris, Minuit.
- Deleuze Gilles, 1983, *L'Image-mouvement*, Paris, Minuit.
- Durand-Richard Marie-José, 1990, « Genèse de l'Algèbre symbolique en Angleterre : une influence possible de John Locke », *Revue d'histoire des sciences*, vol. 43, n° 2, p. 129-180.
- Durand-Richard Marie-José, 2002, « L'école algébrique anglaise (1812-1854) : apports et prolongements », *Bulletin de l'APMEP*, n° 442, p. 613-629.
- Euler Leonhard, [1768-1772] 1843, *Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique et de philosophie*, Paris, Charpentier.
- Ferri Fabien, 2020, « Comment et pourquoi le diagrammatique transforme-t-il l'histoire de l'écriture ? », *Cahiers philosophiques*, vol. 163, n° 4, p. 47-59.
- Ferri Fabien, 2021, *Science opérative et ingénierie sémiotique : des machines graphiques à la morphogenèse organique*, thèse de doctorat, Compiègne, Université de technologie de Compiègne.
- Ferri Fabien, 2022, « Ingénierie sémiotique et modélisation diagrammatique : au-delà du modèle de Turing », *Revue Intelligibilité du numérique*, n° 3, disponible en ligne.
- Gallagher Shaun, Miyahara Katsunori, 2012, « Neo-Pragmatism and Enactive Intentionality », *Action, Perception and the Brain: Adaptation and Cephalic Expression*, Schulkin Jay (dir.), London, Palgrave Macmillan UK, p. 117-146.

- Ganier Franck, Gombert Jean-Émile, Fayol Michel, 2000, « Effets du format de présentation des instructions sur l'apprentissage de procédures à l'aide de documents techniques », *Le Travail Humain*, vol. 63, n° 2, p. 121-152.
- Giardino Valeria, 2017, « L'imagination manipulatoire en mathématique », *Bulletin d'Analyse Phénoménologique*, vol. 13, n° 2, disponible en ligne.
- Giardino Valeria, 2018, « Tools for Thought: The Case of Mathematics », *Endeavour*, vol. 42, n° 2, p. 172-179.
- Husserl Edmund, 1982, *Idées directrices pour une phénoménologie et une philosophie phénoménologique pures. Livre second : Recherches phénoménologiques pour la constitution*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Hutchins Edwin, 2005, « Material anchors for conceptual blends », *Journal of Pragmatics*, vol. 37, n° 10, p. 1555-1577.
- James William, [1912] 2007a, *Essais d'empirisme radical*, Paris, Flammarion.
- James William, [1909] 2007b, *Philosophie de l'expérience : un univers pluraliste*, Paris, Les Empêcheurs de penser en rond.
- Jedrzejewski Franck, 2007, *Diagrammes et catégories*, thèse de doctorat, Paris, Université Paris 7.
- Kant, [1781] 2006, *Critique de la raison pure*, Paris, Flammarion.
- Krämer Sybille, 2003, « Writing, Notational Iconicity, Calculus: On Writing as a Cultural Technique », *MLN*, vol. 118, n° 3, p. 518-537.
- Martin Thierry, Roux Sophie (dirs.), 2016, *Œuvres d'Ernest Coumet*, Besançon, Presses Universitaires de Franche-Comté.
- Moutet Laurent, 2016, *Diagrammes et théorie de la relativité restreinte : une ingénierie didactique*, thèse de doctorat, Université Sorbonne Paris Cité.
- Peirce Charles Sanders, 1885, « On the Algebra of Logic: A Contribution to the Philosophy of Notation », *American Journal of Mathematics*, vol. 7, n° 2, p. 180-196.
- Peirce Charles Sanders, 1978, *Écrits sur le signe*, Paris, Le Seuil.
- Ruffieux Christiane, 2005, *La Naissance du concept de structure algébrique en Grande-Bretagne dans la première moitié du XIX^e siècle*, thèse de doctorat, Genève, Université de Genève.
- Simondon Gilbert, [1958] 2012, *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier.
- Simondon Gilbert, [1958] 2013, *L'Individuation à la lumière des notions de forme et d'information*, Grenoble, Millon.
- Tiercelin Claudine, [1993] 2013a, *La Pensée-signe*, Paris, Collège de France.
- Tiercelin Claudine, [1993] 2013b, *C. S. Peirce et le pragmatisme*, Paris, Collège de France.
- Timmermans Benoît, 2012, « Prehistory of the Concept of Mathematical Structure: Isomorphism Between Group Theory, Crystallography, and Philosophy », *The Mathematical Intelligencer*, vol. 34, n° 3, p. 41-54.

- Uexküll Jakob von, [1934] 2010, *Milieu animal et milieu humain*, Paris, Payot et Rivages.
- Venn John, 1880, « I. On the Diagrammatic and Mechanical Representation of Propositions and Reasonings », *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 10, n° 59, p. 1-18.