

DYNAMIQUE ET MODELISATION CHEZ THOM ET EN ANALYSE COMPARTIMENTALE



ABDELKADER BACHTA

INTRODUCTION : POURQUOI THOM SE DESINTERESSE-T-IL DE L'ANALYSE COMPARTIMENTALE ?

- La modélisation, chez Thom, repose sur une certaine dynamique à laquelle il prête une grande attention dans son œuvre. Cette pensée qui est, comme le reconnaît l'auteur lui-même, imprégnée de topologie (sa première spécialité) est largement influencée par la biologie, en l'occurrence par l'embryologie comme la comprend son correspondant Waddington¹.
- Il y a cependant une branche biologique où le modélisme est lié, d'une façon essentielle, à la dynamique et à laquelle Thom ne paraît pas accorder de l'intérêt : il se contente d'y faire allusion en critiquant son

¹ Cf une « théorie dynamique de la morphogenèse » extrait de *Towards a theoretical Biology* 1966 cf aussi « *Correspondence between Waddington and Thom* », in *modèles mathématiques de la morphogenèse*, Christian Bourgeois éditeur 1980.

mode de mathématisation². Il s'agit de l'analyse compartimentale en usage, surtout en pharmacologie, et qui consiste à déterminer la cinétique d'une substance quelconque passant d'un compartiment à un autre (un traceur, un médicament et ...) car le corps est conçu ici, comme constitué de diverses cases à tous les niveaux qu'elle traite: systèmes stationnaires (où la quantité de la substance et sa vitesse sont constantes) et système non stationnaires_ systèmes linéaires (engageant des équations linéaires) ou systèmes non linéaires (qui y sont rares).

- Il serait intéressant de comprendre ce désintérêt. Pour cela, il suffit de comparer les deux genres de dynamique et de modélisation. C'est ce que nous comptons faire dans cette étude en partant de la pensée thomienne et du livre d'Atkins où on trouve une synthèse précise de l'analyse compartimentale allant jusqu'aux principes qui la fondent³.

I. LA DYNAMIQUE : L'IDEE DE FORME ET LE CLASSICISME.

1. L'IDEE DE FORME : SA PREGNANCE CHEZ THOM ET SON ROLE FIGURATIF EN ANALYSE COMPARTIMENTALE

- a) Le lien entre la dynamique thomienne et l'idée de forme est certain. Il se manifeste dans l'œuvre fondamentale, mais aussi dans son article antérieur annonçant la thèse de l'auteur qui s'intitule : « Une théorie dynamique de la morphologie⁴ », où le titre est déjà, à ce propos, très significatif. Dans ce dernier texte, Thom explique le terme de « Morphogenèse » en se mettant au-delà de ce que disent certains puristes français et de ce que pensent les anglo-saxons. En respectant

² Cf *Modèles à compartiments multiples pour les systèmes biologiques*, Gauthier _Villars1973. (Traduit en Français par B. Maurau).

³ Cf « la controverse », in *Modèle mathématiques de la morphogenèse*, chapitre 7, cf. aussi *Penser les mathématiques, seuil* 1982, p252/273

⁴ Ibid. l'œuvre fondamentale, c'est *stabilité structurelle et Morphogenèse*, Interéditions 1972 et 1977.

l'étymologie du mot (la référence à l'étymologie est souvent décisive chez lui), il déclare : « Ici nous emploierons le terme «Morphogenèse » conformément à l'étymologie, au sens le plus général, pour désigner tout processus créateur (ou destructeur) de formes ; on ne se préoccupera ni de la nature (matérielle ou non) du substrat des formes considérées, ni de la nature des forces qui causent ces changements. »

La considération des formes, abstraction faite de tout contenu expérimental, va être fondamentale pour circonscrire plusieurs concepts clés chez l'auteur comme celui de catastrophe (ou de singularité) qui est une forme qualitative et singulière, celui d'information qui reposerait, conformément à l'étymologie, sur la notion de forme⁵ etc..

La même référence (et ses conséquences épistémologiques) détermine l'orientation mathématique de Thom, qui est géométrique. C'est, d'ailleurs ce que l'auteur déclare dans la même étude lorsqu'il avoue que sa théorie vient en partie (l'autre origine, c'est l'embryologie à la Waddington) de ses « propres études en Topologie et Analyse différentielle ».

2. Cette option géométrico-topologique justifiée est essentielle dans les rapports du modélisme thomien à d'autres modes de modélisation comme celui qui régit la pensée compartimentale en biologie (Nous avons montré, dans un travail antérieur que cette option est décisive dans l'opposition entre Thom et la perspective logico-cognitiviste⁶).

b) La forme n'est pas absente en analyse compartimentale :

⁵ Cf. notre étude, sur la critique thomienne des sciences cognitives, in *Plastir* 27, 06/2012.

⁶ Ibid

Au cours des analyses des modèles théoriques, les compartiments sont représentés par des formes circulaires, généralement, séparées par des flèches indiquant le début et l'aboutissement du trajet effectué par la substance considérée. Tel est le cas du système stationnaire à un compartiment ou celui stationnaire, aussi, à deux compartiments⁷.

Sur le plan non stationnaire, on peut citer la représentation du modèle théorique pour expliquer l'absorption d'un médicament⁸... En ce qui concerne les systèmes non linéaires (car les systèmes non stationnaires peuvent être, comme ceux qui sont stationnaires, linéaires) donnons comme exemples :

i) L'image graphique d'un modèle à quatre compartiments représentant la cinétique d'un médicament théorique. ii).Le graphique du modèle à trois compartiments utilisé pour étudier la cinétique du contrôle de la synthèse enzymatique⁹, etc...

Dans le même ordre d'idée, signalons également la présence de la géométrie : elle est employée, en général, pour décrire le temps parcouru par la substance soumise à la dynamique.

Exemples :

- 1) La droite (xy) relative au système à un compartiment.
- 2) Le tracé semi logarithmique de la concentration en deutérium du cholestérol digitémide sérique.
- 3) La figure décrivant le rapport entre l'apparition de l'inuline dans le milieu, après transfert du cœur perfusé

⁷ Cf. GL. Atkins, chapitre 3.

⁸ Cf. GL. Atkins, chapitre 4

⁹ Cf. GL. Atkins, chapitre 5

du milieu contenant de l'inuline à un milieu, exempt d'inuline, et le commencement des périodes fatales de 10 mm, etc..

Néanmoins, observons d'abord que ces formes en usage, en analyse compartimentale, ne sont le produit d'aucune dynamique : elles lui sont manifestement contemporaines puisqu'elles la tracent. On peut dire la même chose des courbes géométriques auxquelles on a fait allusion dont le rôle est, simplement, descriptif d'un aspect important de la dynamique.

Tout laisse croire, par conséquent, que la fonction des formes (et de la géométrie en général) est ici simplement figurative, représentative. Ce qui veut dire qu'on est loin de leur caractère fondamental et prégnant qu'on a remarqué chez Thom. Désormais, on peut soutenir, déjà, que l'orientation géométrique n'est pas essentielle en analyse compartimentale.

3. LA DYNAMIQUE CLASSIQUE ENTRE LE REFUS ET L'AGREMENT :

- a) On peut penser que Thom est proche de la dynamique classique lorsqu'on lit dans l'article, « Topologie et signification »¹⁰ l'intérêt qu'il accorde à la notion de résonance qui est un concept important dans la mécanique en question. Mais, pour l'auteur, d'après le même texte, cette notion permet d'objectiver la signification (à laquelle certains linguistes ne croient pas) et de justifier l'analogie que Thom a toujours défendue. Par conséquent, il est évident que ce qui intéresse l'auteur ce n'est pas la signification dynamique de la notion qui nous occupe, mais ces implications linguistiques sémantiques.

¹⁰ Extrait de la revue *l'Age de la science*, n°4,1968.

En fait, il refuse la dynamique classique en tant que telle. Ce refus (et la critique qui lui est associée) est clair dans une étude de l'auteur intitulée, « *Langage et Catastrophe* »¹¹. Dans ce texte, il adresse trois critiques essentielles à ce genre de dynamique :

- 1) Il n'accepte pas la représentation qu'elle se fait de l'objet ; une telle représentation fait que l'on connaît a priori tous les états postérieurs d'un tel objet, ce qui est contraire à l'enseignement de la théorie des catastrophes dont la tendance est plutôt de localiser et de spécifier qualitativement les positions inscrites dans une évolution précise.
- 2) Il n'admet pas non plus la croyance au déterminisme absolu à quoi adhère la dynamique classique. Cette « foi » est incompatible avec la thématique de la théorie des catastrophes qui a toujours posé que le déterminisme est un projet et non une réalité¹².
- 3) L'auteur accuse le classicisme dynamique d'avoir omis la considération de la naissance et de la mort d'une chose. René Thom, de son côté, a largement traité dans son œuvre, la genèse et la fin des choses. Nous voulons, seulement, remarquer, à la l'encontre de l'auteur, que Newton, l'un des grands représentants de la dynamique classique, a bien étudié les quantités naissantes et les quantités évanouissantes¹³.

Dans le même texte contenant le refus de la dynamique classique, Thom déclare, en substance, que cette dernière connaît des difficultés sérieuses au niveau de la mécanique des fluides, qu'elle ne peut pas

¹¹Article publié aux *Proceedings of the Bahia Symposium for dynamical systems*, 1972, Academic Press, New York.

¹² Cf. une « théorie dynamique de la morphogenèse », *ibid.*

¹³ Cf. notre étude, in *Dogma*, « le modèle mathématique de la morphogenèse ».

s'appliquer à la biologie. Ceci est certainement vrai, de son point de vue, de l'embryologie à la Waddington, qui est son soutien théorique. Mais est-ce vrai pour les autres branches biologiques ? En tout cas, l'analyse compartimentale dément clairement cet avis.

b) Il est possible de croire que Thom rencontre sur ce plan l'analyse compartimentale à deux reprises.

1) L'analogie comme conséquence de l'idée physique de résonance est présente dans la section biologique en question. Nous n'en voulons pour preuve que l'idée de simulation qui y est fort importante et qui entraîne, nécessairement, l'analogie : une similitude partielle doit lier les deux éléments à rapprocher.

2) Comme dynamique des populations, l'analyse compartimentale s'occupe de la genèse et de la mort des phénomènes¹⁴, or nous avons vu que Thom insiste beaucoup sur cet aspect.

Toutefois, signalons, d'abord, que la première ressemblance n'est pas strictement dynamique comme nous l'avons vu. En ce qui concerne la dynamique des populations, notons, premièrement, qu'elle n'intéresse, en analyse compartimentale, que les systèmes non linéaires (qui sont moins fréquents que ceux qui sont linéaires). De plus, d'après les déclarations d'Atkins lui-même, ce n'est pas une méthode exclusive représentant la spécialité spécifique de l'analyse compartimentale; c'est plutôt, dans ce domaine, un procédé que ce secteur biologique partage avec d'autres spécialités¹⁵. Enfin, remarquons, comme on l'a vu, que la dynamique classique ne nous paraît pas être dépourvue de la recherche relative à la genèse et à la fin des choses.

¹⁴ Cf. GL Atkins, chapitre 5.

¹⁵ Ibid.

En somme au-delà du point de vue thomien, sans le contredire, le classicisme dynamique se réduirait à deux éléments qui sont :

- 1) La représentation « rigide » de l'objet comme dirait Thom lui-même.
- 2) Le déterminisme.

Mais à y avoir plus clair, c'est le déterminisme qui est le fond, l'élément le plus important : c'est parce qu'on est déterministe qu'on conçoit l'objet d'une façon raide et inflexible.

Ce genre de rigueur dans la conception de l'objet provient, manifestement, de la grande exactitude qui accompagne le déterminisme. Celui-ci a, effectivement, caractérisé la pensée scientifique classique jusqu'à devenir le synonyme de la science en général. En gros, il a fallu attendre l'avènement de la physique des quanta et, plus généralement, de la microphysique, pour être désabusé. De toute façon, nous croyons que Laplace, dont l'expression, à ce niveau, est connue, a bien décrit le déterminisme classique.

Compte tenu de ce qui précède et de l'examen des textes, nous croyons plutôt que l'analyse compartimentale est du côté du classicisme conçu comme, essentiellement, déterministe : l'appareillage de mesure et d'expérimentation très strict dont fait usage cette spécialité biologique montre, en effet, que le déterminisme en est la finalité ultime.

Cette idée s'éclaircira d'ailleurs dans la seconde partie de cette étude.

Ainsi on a affaire à deux dynamiques différentes, les modélisations respectives qui reposent sur ces dernières le seront, obligatoirement, aussi.

II. LA MODELISATION : LA MATHEMATISATION ET L'APPROCHE DU REEL :

1) LA MATHEMATISATION ENTRE LA QUALITE ET LA QUANTITE :

- a) Thom a toujours souligné, explicitement, que la morphogenèse, qui est intimement liée à sa dynamique, implique, nécessairement, une démarche qualitative, échappant à la quantification. Dans « une théorie dynamique de la morphogenèse », par exemple, il fait remarquer que l'étude des catastrophes, qui est essentielle dans le type de modélisation qu'il adopte, ne peut pas être saisie quantitativement. Il nous dit par exemple :

« Néanmoins, si l'on s'intéresse, non à l'évolution quantitative mais seulement à la structure qualitative (topologique), des surfaces séparatrices, le problème devient plus accessible. »

Dans le même article, il évoque une expérience biochimique et arrive à une équation différentielle qui devrait le mener à la mesure et à la quantité, mais il dit, en substance, que cet aspect ne l'intéresse pas, que ce qui attire son attention, c'est l'évolution qualitative du système. C'est ainsi qu'il parvient, à la fin de l'analyse, à des considérations qualitatives qui concernent les attracteurs, les bassins qui leur sont associés et les surfaces qui les séparent (catastrophes).

De tels éléments sont, du reste, fondamentaux dans sa théorie des catastrophes qui est, évidemment, une théorie qualitative¹⁶.

Mais on ne peut pas ignorer, à ce propos, son texte devenu classique, « la controverse », où on trouve une distinction nette entre sa perspective qualitative et celle, qui lui est opposée, la méthode quantitative.

¹⁶ Cf. notre étude, in *Dogma*, sur le modèle mathématique de la morphogenèse

Dans cette étude, on trouve, également, une justification à la fois philosophique et scientifique des deux approches antagonistes.

Le point de vue qualitatif se fonderait, philosophiquement, sur le comprendre (le connaître) qui est l'un des buts de la science et qui fait, en dernière analyse, qu'on localise et qu'on particularise ce qui est initialement universel : la tendance première c'est l'universalisation, mais la solution ne peut être que singularisante. A l'inverse, le fondement philosophique de la quantification, c'est l'autre but de la science, complètement inconciliable avec le premier, savoir l'action qui vise, initialement, le local, le particulier et qui, pour trouver des solutions, doit être dans l'universel.

Sur le plan strictement scientifique, sa théorie reposerait sur ces régulations spécifiques qui, selon lui, donnent naissance aux formes typiques. De cette façon, on évite la mesure.

L'auteur nous dit : « Ici il n'y a plus de groupe continu d'invariance, parce que deux spécimens de la même forme ne sont pas nécessairement égaux métriquement (par exemple : deux chiens). »

Par contre, la méthode opposée (la quantification) exigerait la régulation globale de l'espace-temps. On peut dire, d'après R. Thom, que les lois fondamentales de la physique (attraction universelle, lois de Maxwell etc.), dont le caractère analytique est manifeste et qui justifient pleinement l'usage de tels procédés, expriment la régulation de l'espace-temps vis-à-vis des accidents qui l'affectent (radiation, matière, particules élémentaires, etc.).

Il est clair que la philosophie et la science se rencontrent, à ce niveau, pour tracer une ligne de démarcation entre le global (l'universel)

assurée par l'analyse quantitative et le local (le particulier, le singulier) que garantit la modélisation à la Thom.

Si l'analyse quantitative est vérifiée, complètement, par la physique fondamentale, elle devient invalide lorsqu'il s'agit des autres sciences où la régulation globale de l'espace-temps n'est pas possible. L'auteur nous explique que dès qu'on quitte le domaine des lois fondamentales, il y a une dégénérescence véritable de la quantification.

Il s'arrête aux grosses difficultés que rencontre la biologie en essayant de quantifier ses objets. L'analyse compartimentale va le contredire nettement.

Il y a donc un véritable dilemme, Thom l'a résolu en faveur de sa propre démarche, car il montre, dans « une théorie dynamique de la morphogenèse », que tout modèle quantitatif présuppose un découpage qualitatif de la réalité. La division dont il est question, ici, concerne les diverses spécialités physiques, biologiques, etc....

b) En analyse compartimentale, la qualité n'est pas totalement absente :

Premièrement, Atkins nous avertit, dans l'introduction de son livre, que cette discipline était, au début des années quarante, généralement, qualitative.

Ensuite, la simulation, à laquelle on a déjà fait allusion et dont on parlera ultérieurement, est une opération qualitative. Cette vérité évidente est soutenue, clairement, par le même auteur dans le chapitre 6 de son livre.

Enfin, on peut lire au chapitre 7 de la même œuvre que lorsqu'on teste le premier modèle, on fait souvent, d'abord, une évaluation qualitative, on passe après, à la quantification (c'est dit à propos du premier

modèle qui se présente à l'expérimentateur intuitivement). Mais, en fait, la perspective générale est, sur ce plan, essentiellement, quantitative.

Observons, pour commencer, que les équations différentielles (qui sont le plus souvent linéaires ici et dont les suites sont, chez Thom, qualitatives, comme nous avons vu) définissant la dimension mathématique du modèle (l'autre aspect est théorique) sont utilisées, manifestement, pour mesurer l'évolution d'une substance qui passe d'un compartiment à un autre. C'est, d'ailleurs, ce que Atkins déclare à plusieurs reprises. On peut lire, par exemple, dans la préface de son livre ceci :

«Lorsque la substance quitte un compartiment vers un autre, sa vitesse est proportionnelle à sa quantité (ou concentration) dans le compartiment initial. Il est donc aisé de comprendre la possibilité de décrire le système à l'aide d'équations différentielles. ».

L'auteur résume, ainsi, ce que la lecture attentive de son texte peut dévoiler clairement. La différentiation est, par conséquent, un instrument de mesure indispensable en analyse compartimentale. On comprend alors pourquoi cet outil est le fond de l'enseignement mathématique que l'auteur réserve, dans les appendices, aux biologistes : La transformation de Laplace y est destinée pour transformer les équations différentielles complexes en équation algébriques plus faciles à résoudre.

Les matrices et les déterminants facilitent la résolution d'un grand nombre d'équations algébriques, substitués des équations différentielles. L'opérateur différentiel simplifie le calcul différentiel. On peut trouver, enfin, dans ce texte, un ensemble d'astuces

techniques commodes pour résoudre les équations associées aux systèmes différentiels complexes.

Mais la différentiation, malgré sa très grande importance, n'est pas le seul signe de la quantification en analyse compartimentale.

On peut citer, à ce propos, aussi, l'usage des calculateurs qui sont de deux types :

Analogiques et numériques et qui ont, en général, deux fonctions :

- 1) Ils permettent de traiter les équations différentielles non linéaires dont l'intégration ne peut pas être donnée analytiquement.
- c) Ils comptent parmi les modèles à simuler et dont on parlera plus longuement dans les prochaines analyses. Dans les deux cas, l'emploi de calculateurs, quelque soit leur genre, cache la volonté de calculer d'une façon précise et rigoureuse qui appuie la méthode quantifiante caractérisant l'analyse compartimentale¹⁷.

Il est, donc, très normal qu'Atkins insiste, dans son ouvrage, sur la nécessité de quantifier :

Dans l'appendice, par exemple, il nous dit, en substance, que les biologistes, y compris ceux qui s'occupent de l'analyse compartimentale, ont besoin, malgré les réticences, d'apprendre les mathématiques (en l'occurrence celles qui sont quantitatives). C'est pourquoi il se propose de résumer l'essentiel des mathématiques nécessaires, à ce niveau.

Par conséquent, contre la résolution de Thom, on fait obéir cette section biologique à la quantification la plus serrée. Ce n'est donc pas

¹⁷ Cf. GL Atkins, Introduction, chapitre 5(résoudre les équations non linéaires) chapitre 6(simulation).

curieux de lire, dans « La controverse », lorsque ce mathématicien illustre fait allusion à cette spécialité, qu'il n'est pas satisfait de son mode de mathématisation.

De toute façon, le réalisme unit ces deux démarches qui nous ont paru, jusqu'ici, différentes. La question est de savoir comment va-t-on approcher la réalité. Les différences vont, sûrement, surgir de nouveau¹⁸.

2) LA MODELISATION ENTRE LA CONCEPTUALISATION ANTI-EXPERIMENTALE ET LA THEORISATION CONFIRMEE EXPERIMENTALEMENT :

- a) La conceptualisation chez Thom est, de nos jours, un fait connu dans les cercles épistémologiques et scientifiques. Legay, par exemple, en parle avec insistance¹⁹. Du reste, elle se laisse, facilement, déduire des considérations précédentes relatives à la dynamique et à la modélisation thomienne et, notamment, de l'idée de compréhension qui provoque l'orientation mathématique de notre auteur. En fait, cette idée de modélisme conceptuel est diffuse dans l'œuvre de Thom. Prenons quelques exemples significatifs :

Dans « une théorie dynamique de la Morphogenèse », il déclare, définissant l'aspect conceptuel de sa modélisation, que le but de la science consiste, avant tout, à créer des structures a priori (forcément intellectuelles) qui organisent ce que nous fournit la nature, le réel.

Dans son étude ayant pour titre, « Applications de la théorie des catastrophes »²⁰, il souligne, expressément, l'importance de l'ontologie (nécessairement menant aux concepts) dans la construction d'un

¹⁸ Pour Thom, Cf. notre étude déjà signalée sur le modèle mathématique de la morphogenèse. Pour GL Atkins, cf. chapitre 2 (définition du système) plus chapitre 6 et chapitre 7 (l'expérimentation).

¹⁹ Cf. notre étude, in *Dogma*, sur Thom et Legay.

²⁰ In « modèles mathématiques de la morphogenèse » (Ibid) chapitre 6

modèle. Il pense, sûrement, à sa manière de modéliser la nature, qui l'a mené, comme on sait, à des considérations ontologiques et philosophiques très profondes²¹.

Au fond, Thom généralise la conceptualisation à toutes les sciences. Contentons-nous, à ce propos, de deux exemples :

- Dans son article, « *Aux frontières du pouvoir humain - Le jeu* »²², il lance un appel express aux savants de ne pas dédaigner la pensée et de la sauver des pratiques contraires.
- Dans « La méthode expérimentale : un mythe des épistémologues (et des savants) »²³, on rencontre un point de vue anti-positiviste relatif à la nécessité de la causalité dans le domaine scientifique en général. Cette idée, que de grands savants, comme Bacon et Claude Bernard, auraient plus ou moins ignorée, implique, fatalement, pour Thom, un saut dans le mental (c'est-à-dire dans le conceptuel).

Cette démarche conceptualisante permet à l'auteur de faire remonter sa théorie des catastrophes, qui est le fondement de son modélisme, à une certaine herméneutique, étrangère à l'approche analytique (c'est-à-dire quantitative et expérimentale qui serait adoptée par l'analyse compartimentale). Dans « Applications de la théorie des catastrophes », il nous explique que la fonction de sa théorie est herméneutique vis-à-vis des sciences sur lesquelles elle porte.

²¹ Cf. notre étude, in *Dogma*, sur le modèle mathématique de la morphogenèse

²² Compte rendu d'une conférence donnée au centre Pompidou dans la série.

Le jardin des sciences-traduction dans la revue américaine *Substance*.

²³ Cf. *la philosophie des sciences aujourd'hui*, Gauthier Villars 1986 (Colloque sous la direction de Jean Hamburger de l'académie des sciences.

Le sens de cette herméneutique devient clair dans « *Aux frontières du pouvoir humain : Le jeu* ». Il s'agit de renverser la loi des trois états de Comte, de s'en tenir à l'étape théologique pour retrouver les qualités occultes d'Aristote, qui témoignent, selon l'auteur, de l'existence d'esprits dans la matière. La tâche de l'herméneutique serait donc de cesser de croire à l'imbécillité des choses qu'on devrait, au contraire, traiter comme intelligentes. La conséquence ultime de ces analyses concerne la prégnance de la théorie ; c'est, d'ailleurs, ce sur quoi l'auteur insiste dans son texte.

Ce qui précède conduit tout naturellement à une dimension anti-expérimentale du modélisme thomien. On atteint, au fond, le niveau philosophique qui doit être étranger à toute expérimentation.

- Justement, après avoir exposé son modèle, dans son étude déjà citée sur les rapports entre la dynamique et la Morphogenèse, l'auteur nous explique, en substance, que celui-ci n'a pas besoin d'une vérification expérimentale. Du reste, les références, déjà citées, pour prouver son conceptualisme, sont toutes adressées contre les expérimentateurs.

On comprend alors que lorsque l'auteur évoque des expériences, son style ne peut être que didactique. De même, quand Thom nous dit que le choix d'un modèle peut, parfois être tranché, expérimentalement, en ajoutant, d'un autre côté, qu'il faut, d'abord, concevoir le modèle, nous ne croyons pas que l'expérience "cruciale" reviendrait à son modélisme²⁴.

²⁴ Cf. « Une théorie dynamique de la Morphogenèse ».

D'une façon générale, il y a, chez Thom, une démystification du rôle accordé, ordinairement, à l'expérience en science. Sur ce plan, la meilleure référence, c'est « La méthode expérimentale : un mythe des épistémologues et des savants ». Là il se bat directement avec des expérimentateurs présents au colloque et croyant fermement à leur outil.

Voici quelques idées principales qu'il leur oppose :

- 1) L'expérience n'est pas le seul critère de scientificité. Il y a lieu de penser à d'autres critères d'ordre théorique.
- 2) Le début de la science, ce n'est pas l'expérience, qui, selon l'auteur, est fort ancienne, mais la notion mathématique de fonction. Cette idée est reprise dans plusieurs autres textes de Thom.
- 3) Il y a des difficultés sérieuses à vérifier, expérimentalement, une fonction $f(x)$ à cause du nombre infini de valeurs qu'on peut accorder à la variable x .
- 4) Mais le coup de grâce donnée à l'expérience se trouve dans « Aux frontières du pouvoir humain : Le jeu », où il nous dit, en substance, que l'expérience n'est pas capable de saisir l'objet, car elle le détruit et qu'on ne peut pas comprendre ce qu'on anéantit.

Au lieu de la démarche expérimentale destructrice, l'auteur propose dans le même texte, une méthode qui reposerait sur une relation de compréhension et d'une sorte d'amour qui lierait l'esprit humain à celui qui est inhérent dans la matière.

Malgré cet échec, l'expérience peut être utilisée d'une façon valide au niveau des lois fondamentales déjà signalées, car, sur ce plan, le noyau théorique est dur.

En revanche, l'usage de l'expérimentation, en biologie, serait impossible parce que cette science manquerait de cadre théorique solide²⁵.

Thom va être, encore une fois, contredit par la pensée expérimentale.

- b) Le caractère théorique de la modélisation compartimentale est indéniable. Tout laisse croire que cet aspect est premier, c'est-à-dire qu'on met, d'abord, en place, une théorie précise. Le plan du livre d'Atkins est, à cet égard, révélateur :

Les premiers chapitres (jusqu'au chapitre 5) sont réservés aux données théoriques, le reste est consacré à l'expérience. Cette dimension théorique est définie par deux types de modèles en étroite relation, qui sont : Le modèle strictement théorique, et celui qui est typiquement mathématique, différentiel (nous y avons fait allusion dans les analyses précédentes).

On peut lire au chapitre 2 de l'ouvrage d'Atkins : « Un modèle théorique est la représentation de la cinétique d'une substance dans un système biologique. L'idée de la compartimentation est fondamentale pour la construction de ces modèles théoriques... Un modèle mathématique est un système d'équations qui sont dérivées du modèle théorique et décrivent les concentrations et les quantités de substance en jeu en fonction du temps ... ». Bien entendu, dans les deux cas, on est sur le plan de la théorie, mais le modèle strictement théorique est premier puisque c'est de lui qu'on déduit le modèle proprement mathématique.

²⁵ Cf. « La méthode expérimentale : un mythe des épistémologues », Ibid.

Néanmoins celui-ci est plus général, car plusieurs modèles théoriques spécifiques peuvent correspondre, en analyse compartimentale, au même modèle mathématique. Atkins nous dit, à ce propos, dans le même chapitre : « Très souvent, plusieurs modèles théoriques donnent naissance au même modèle mathématique de telle sorte que, bien qu'un modèle mathématique décrive un système, il est impossible de décider quel est le modèle théorique qui peut s'y appliquer ».

De toute manière, la teneur du livre, qui nous occupe, vérifie, pleinement, cette dernière idée : malgré la diversité des modèles théoriques représentés par des figures diverses, le modèle mathématique demeure, en général le même : des équations différentielles, la plupart du temps linéaires.

- Cependant, cet ensemble d'éléments théoriques doit, nécessairement, être en accord avec l'expérience. Atkins souligne cette nécessité, déjà, dans la partie réservée à la théorie. Parlant de la procédure à suivre pour étudier le comportement d'un système à l'aide d'un traceur, l'auteur demande, au chapitre 3, d'analyser les données expérimentales « de façon à calculer les divers paramètres du modèles » .Il va même jusqu'à affirmer que si le modèle n'est pas approprié, il faut en imaginer un autre.

Le crédit de l'expérimentation, comme élément indispensable pour confirmer la théorie, conduit le savant, en analyse compartimentale, à suivre la voie de la simulation. C'est de cela que parle Atkins au chapitre 6 de son ouvrage.

L'auteur nous explique les raisons de ce transfert analogique :

- 1) Plusieurs systèmes, pris dans des domaines différents, peuvent obéir aux mêmes équations (nous avons déjà entrevu cette généralité de la science mathématique). On dit, alors, que ces systèmes sont analogues ; on peut, dans ce cas, emprunter le mode d'expérimentation de l'un pour en faire usage dans l'autre.
- 2) En analyse compartimentale, les expériences sont trop longues ; elles durent plusieurs heures et même plusieurs jours.

Dans d'autres secteurs physiques, elles sont beaucoup plus courtes, leur durée ne dépasse pas quelques minutes nous rapporte Atkins. Celui-ci cite, à ce niveau, les modèles à simuler suivants :

- Modèles hydrauliques
- Les dispositifs électriques analogiques
- Les calculateurs analogiques
- Les calculateurs numériques.

L'auteur n'oublie pas, à cette occasion, de montrer les fondements de ces ressemblances générales. Ce n'est donc pas étonnant qu'on parle de la nécessité et de la difficulté d'ajuster la théorie aux données expérimentales. C'est l'objet du chapitre 7 du même livre. Le problème ne concerne pas uniquement le modèle en lui-même, mais, également, la somme d'exponentielles qui lui sont associées. Le savant doit être, dans tous les cas, très prudent et très vigilant. Cette attitude psychologique se manifeste de plusieurs manières dont nous citons d'après le texte d'Atkins :

- 1) La répétition d'une façon inlassable des expériences.
- 2) l'usage des statistiques qui permettent d'estimer dans quelle mesure on peut se fier aux résultats de l'expérience.

- 3) Lors de la confrontation de la théorie avec l'expérience, un grand nombre de modèles s'appliquent, d'autres non, il y a lieu, par conséquent, de choisir le bon modèle ...

On peut parler d'une véritable patience expérimentale dont le savant doit être pourvu pour assurer, d'une façon certaine, cet accord entre la théorie et l'expérience.

Cette importance accordée à l'expérience doit décevoir René Thom qui réserve cette technique à la physique fondamentale, dont le noyau théorique est dur, contrairement, à celui de la biologie.

CONCLUSION : DEUX PROCEDURES DIFFERENTES MALGRE LES RESSEMBLANCES

- a. Les ressemblances existent bien entre les deux théories qu'on vient de comparer. Du point de vue ontologique, d'abord, l'attachement au réalisme est évident dans les deux cas. Ainsi confrontées ensemble au modélisme logico cognitif faisant fi de tout contenu réel, les deux démarches paraissent proches l'une de l'autre²⁶. Scientifiquement, nous avons relevé des similitudes qui les uniraient comme les idées de dynamique et de différenciation etc...

Toutefois, on ne fait pas le même emploi de ce qui est commun : on n'aborde pas la réalité de la même façon ; il s'agit, par exemple, de deux modes de dynamique et de différenciation qui ne sont pas semblables.

- b. Au fond, il est question de deux procédures différentes. D'un côté, Thom part de considérations géométrico-topologiques dont il trouve la concrétisation en embryologie à la Waddington ; ce qui lui permet de

²⁶ Cf. notre étude déjà citée, in *Plastir* 27, 06/2012.

traiter les phénomènes réels sous un angle qualitatif ou la conceptualisation anti-expérimentale est possible.

De l'autre, en analyse compartimentale, on ne fait pas de la géométrie un point de départ fondamental, On tombe, alors, dans le classicisme en matière de dynamique et de modélisation, où la quantification, appuyée, inévitablement, par l'expérience, est la règle. Le désintérêt de Thom pour cette discipline biologique est, ainsi, prouvé.

ICONOGRAPHIE : Photo de René Thom. Source : IHES : Institut des Hautes Etudes Scientifiques où il enseigna. http://www.ihes.fr/jsp/site/Portal.jsp?document_id=398&portlet_id=1103