CATASTROPHES (THÉORIE DES)

Un événement et un avènement

La théorie des catastrophes est apparue sur la scène scientifique et philosophique mondiale en 1972, lors de la publication retentissante du livre de René Thom : *Stabilité structurelle et morphogenèse.* Cet événement a suscité un ample débat théorique et l'on peut d'ores et déjà le considérer comme l'amorce d'une rupture épistémologique.

Un survol de cette singulière conjoncture (qu'il faudrait analyser au niveau de la sociologie des sciences) montre qu'elle est l'effet de l'intrusion brutale de mathématiques fondamentales dans des régions réputées non formalisables et traditionnellement vouées à la langue naturelle. Comme si la séparation tranchée entre sciences quantitatives exactes et sciences descriptives « anexactes » se trouvait soudain remise en cause dans ses principes mêmes ; comme si l'immense champ phénoménologique (sociologie, psychologie, éthologie, biologie, linguistique, psychanalyse), où le raffinement expérimental ne se soutenait jusqu'ici que de formalisations substitutives (simulations informatiques, traitements statistiques, etc.), se trouvait soudain réarticulé à une formalisation réelle ; comme si le primat, qui semblait absolu, de l'affinité d'essence entre mathématiques et physique se trouvait soudain renversé ; comme si la géométrie rencontrait un « point de rebroussement » qui la déliait de l'objet pour la relier au sens ; comme si une opération dialectique latente depuis l'origine grecque de la pensée, constamment invoquée et anticipée par la philosophie et constamment révoquée et différée par la science, achevait enfin son temps d'incubation et se trouvait soudain passer de l'impossible au réel.

Une telle avancée théorique ne va pas sans quelques confusions, d'autant plus que la sophistication mathématique des bases de la théorie en dissimule le véritable statut. On ne saurait en effet oublier que, si la théorie des catastrophes est un avènement, c'est celui d'une intelligibilité nouvelle de ce qu'est en dernière instance l'être spatio-temporel de la nature en général, être spatio-temporel dont on peut dire après coup que la physique ne formalise qu'une strate, évidemment fondamentale.

De l'algèbre à la géométrie et de la géométrie au monde

Né le 2 septembre 1923 à Montbéliard, élève du lycée Saint-Louis de Paris puis de l'École normale supérieure, docteur ès sciences mathématiques en 1951, professeur à la faculté des sciences de Strasbourg jusqu'en 1963, médaille Fields (l'équivalent mathématique du prix Nobel) en 1958, professeur permanent à l'I.H.E.S. (Institut des hautes études scientifiques, le Princeton mathématique français) depuis 1963, médaille Brouwer en 1970, grand prix scientifique de la Ville de Paris en 1974, élu à l'Institut en 1976, René Thom est un des maîtres incontestés de la géométrie contemporaine. Comme celle de Riemann, comme celle de Poincaré (dont il partage la perspective intuitionniste, synthétique, holiste et l'aversion corrélative pour le formalisme pur), son œuvre mathématique est dominée par une interrogation essentielle : le « retour » de l'algébrique vers le géométrique.

Si l'on reprend la succession de ses travaux de topologie algébrique et de topologie différentielle sur la théorie de Morse, sur les fibrés en sphères et les carrés de Steenrod, sur la cohomologie et la classification des variétés différentiables, sur le cobordisme, sur la théorie des enveloppes et surtout sur la structure des applications différentiables et des morphismes stratifiés ainsi que sur la stabilité structurelle et la transversalité, on peut y voir à l'œuvre une pensée qui consiste à faire opérer au cœur des problèmes les plus ardus de la géométrie un certain nombre d'intuitions, au départ assez simples mais dont le traitement théorique révèle une richesse insoupçonnée. On peut dire succinctement que Thom a montré à quelles conditions la géométrie pouvait devenir une science phénoménologique et qu'il a élaboré certains des outils les plus vitaux pour son approche qualitative. Parti d'une réflexion technique approfondie, il a progressivement et naturellement abouti à une compréhension plus universalisante, et cela jusqu'à la « révélation » que la doctrine géométrique qu'il avait élaborée fournissait la réponse à l'aporie que constituait jusque-là la modélisation de ce qu'on appelle généralement morphologie dans les sciences descriptives. D'où l'idée révolutionnaire que l'« universum » des morphologies naturelles (de la géologie à la linguistique, de la biologie à l'anthropologie), universum empirique que l'on abordait jusqu'ici soit de façon résolument réductionniste, soit de façon purement descriptive, soit de façon faussement formelle, que cet universum de l'anexact, du qualitatif et du dialectique recelait en fait une forme ontologique autonome susceptible d'être géométrisée comme telle. La théorie des catastrophes est le nom de ce pari et de ce défi rationnel.

Théorie des catastrophes, morphosophie, phénoménologie

La théorie des catastrophes réalise le passage de la géométrie qualitative à une modélisation de l'universum morphologique. Elle repose d'une part sur un corpus mathématique d'une grande complexité et d'autre part sur un style d'observation et d'expérimentation assez singulier, résolument non réductionniste et non quantitatif (du moins au départ). Ce n'est pas d'ailleurs que ce style soit sans précédent. Il se maintient avec insistance dans l'histoire de la pensée mais il a toujours été marginalisé par le pouvoir de la science officielle. Pour s'en faire une idée on pourra, par exemple, se référer à l'une des œuvres qui a le plus compté pour René Thom : *On Growth and Form* de D'Arcy Wentworth Thompson.

Mathématiquement, la théorie des catastrophes a pour origine les travaux de Marston Morse et de Hassler Whitney sur les fonctions et les applications différentiables (cf. *infra*, in *Vies et portraits*, MORSE). Cette théorie se propose de géométriser la situation suivante.

Donnons-nous un système susceptible d'un certain nombre d'états internes et dépendant d'un certain nombre de paramètres de contrôle. Il existera en général des zones du contrôle pour lesquelles il y aura compétition, conflit entre plusieurs états et des valeurs du contrôle, dites valeurs catastrophiques, pour lesquelles un état devenu instable bifurque brusquement vers un autre. Si l'on modélise les états du système soit par les minimums d'une fonction potentielle (fonction énergie ou potentiel thermodynamique) soit par les attracteurs d'une dynamique (d'un champ de vecteur défini sur un espace de paramètres internes), ce problème devient un problème mathématique susceptible d'être exploré rigoureusement.

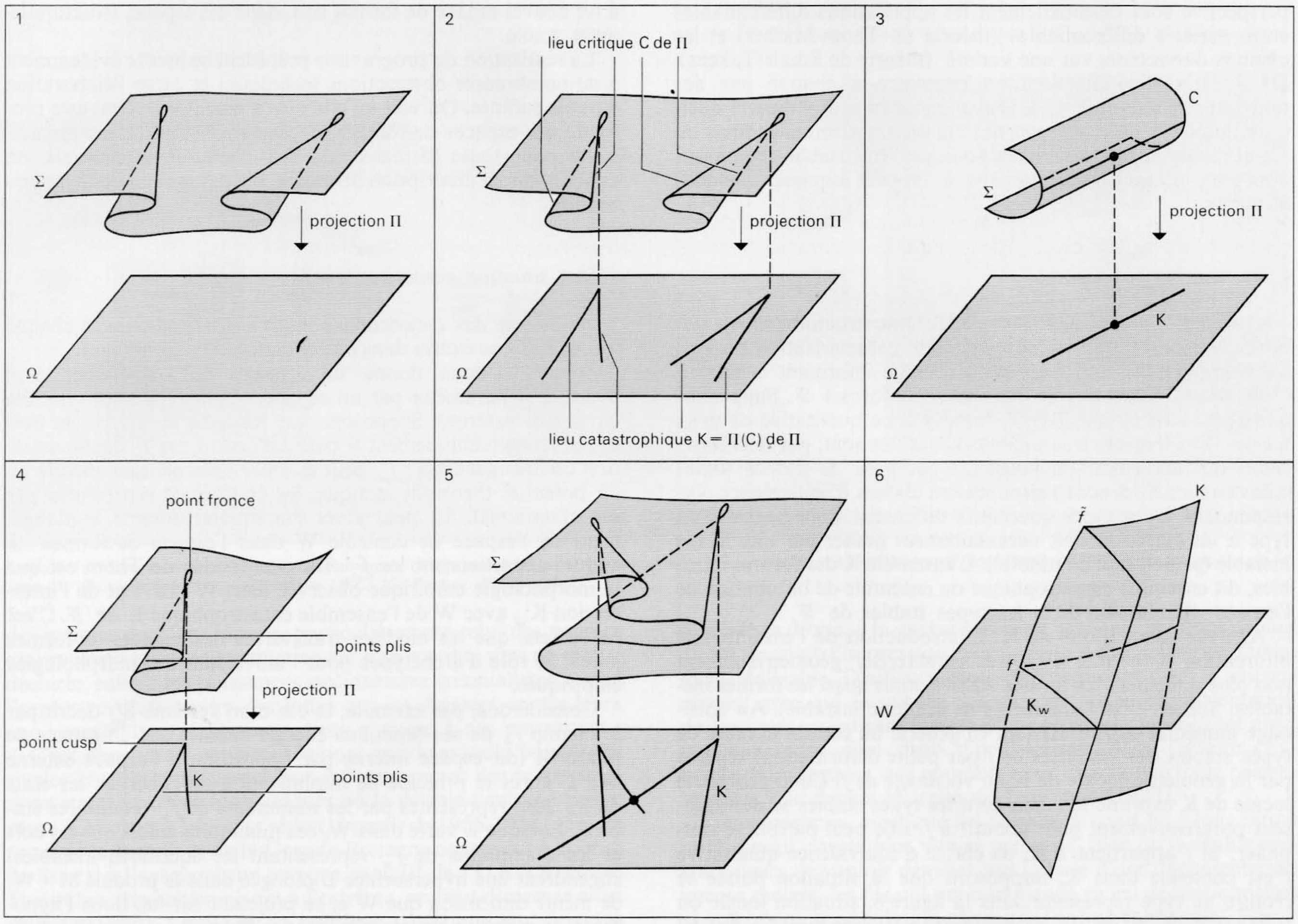
Admettons alors ce truisme qu'un système ne peut exister que s'il est structurellement stable (résistant aux perturbations infinitésimales). La grande découverte de Thom est que la stabilité structurelle est une contrainte très forte, si forte qu'elle impose une limite draconienne à la complexité morphologique locale des situations de conflit et de bifurcation. En particulier, il est possible de classer les situations stables (locales) de conflit entre minimums de fonctions potentielles dépendant d'un contrôle de dimension inférieure ou égale à quatre. On obtient ainsi la liste des sept catastrophes dites élémentaires. Il s'agit là d'un « point d'Archimède » : quelles que soient leurs causes matérielles, les phénomènes doivent se conformer aux « solutions archétypales » de la contrainte de stabilité structurelle. La théorie des catastrophes est donc une théorie ardue et exigeante, parfois ésotérique, dont les implications profondes sont à la mesure des difficultés mathématiques qui la sous-tendent.

Esquissons-en quelques rudiments.

Les solutions archétypales

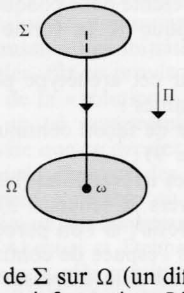
Les points catastrophiques

Partons d'un problème géométrique résolu par Whitney (cf., in *Encyclopædia Universalis*, CALCUL INFINITÉSIMAL : *Calcul à plusieurs variables*; TOPOLOGIE : *Topologie différentielle*); ce



problème est à l'origine de la théorie des catastrophes, celui de la classification des applications différentiables du plan sur le plan. Pour s'en faire une image, on peut le remplacer par celui (différent mais du même ordre) de la classification des projections Π d'un plan « plissé » Σ sur un plan de base Ω (fig. 1).

Les triplets (Σ, Ω, Π) sont les éléments d'un « espace » $\mathfrak{F}$ (de dimension infinie) dont il s'agit d'analyser la structure. La première grande idée est de travailler qualitativement (phénoménologiquement). Quels sont à ce niveau les caractéristiques d'une projection (Σ, Ω, Π) ? Au-dessus de la plupart des points ω de Ω, la situation est localement la suivante :



Π est un « décalque » de Σ sur Ω (un difféomorphisme local). Ce cas ne fournit aucune information. L'information est donc fournie par l'ensemble des points (exceptionnels) de Ω où la situation n'est pas du type précédent.

Un « coup d'œil » jeté sur la figure 1 montre que ces points – dits points catastrophiques – sont la projection des points de Σ – dits points critiques – où la direction de projection est tangente à Σ (on peut définir ces points intrinsèquement, indépendamment de tout plongement de Σ dans un espace ambiant).

Phénoménologiquement, (Σ, Ω, Π) se réduit donc au lieu critique C de Π dans Σ et à sa projection $K = \Pi(C)$ sur Ω (dit lieu ou ensemble catastrophique de Π), c'est-à-dire à ce que l'on appelle le contour apparent de Σ sur Ω relativement à Π (on remarquera d'ailleurs que la seule façon de dessiner Π est de dessiner son contour apparent). La question se pose alors de classifier ces contours apparents. Mais cette tâche est encore trop difficile. Ici intervient une autre grande idée, qui est celle de la stabilité structurelle. Intuitivement, la projection (Σ, Ω, Π) est structurellement stable si elle est invariante par petite déformation. Par exemple, la situation décrite par la figure 2 est stable, alors que la projection d'un plan Σ vertical sur un plan horizontal Ω est hautement instable.

L'idée est que la stabilité structurelle impose une contrainte drastique à la complexité morphologique locale de la situation. Dans l'exemple précédent – qui est structurellement stable –, il n'existe que deux types de situation locale :

– celle de la catastrophe dite pli (fig. 3 : un point pli),

– celle de la catastrophe plus complexe dite *cusp* ou fronce, point commun d'évanouissement de deux plis (fig. 4 : un point cusp).

Le théorème de Whitney

Il s'agit là d'une propriété générale. Le grand théorème de Whitney dit en effet que, si l'on considère une application différentiable du plan sur le plan qui soit structurellement stable, les deux seules situations locales non triviales qui peuvent intervenir sont celles du pli et du cusp. Globalement, le lieu critique C de Π est une courbe régulière (sans singularités) de Σ dont l'image K est une ligne (de points plis) ne pouvant admettre comme singularités que des cusps ou des self-intersections transversales, correspondant à des singularités semi-locales (fig. 5 : situation globale avec self-intersections).

C'est ce théorème de Whitney que Thom s'est proposé de généraliser à tout espace de formes. Mathématiquement, les deux types de formes que l'on a analysés jusqu'ici dans cette perspective sont essentiellement les applications différentiables entre variétés différentiables (théorie de Thom-Mather) et les champs de vecteurs sur une variété (théorie de Smale-Takens). Dans cette généralisation, on rencontre à chaque pas des difficultés techniques très sérieuses, mais on peut y repérer quelques intuitions assez simples qui ont progressivement acquis un statut et une importance mathématiques irrécusables. Peu à peu s'est donc dégagée une stratégie dont on peut esquisser quelques éléments.

La stratégie

– Caractérisation géométrique des formes structurellement stables. Ce qui précède indique que cette caractérisation passera par l'analyse de la configuration critique informant la forme.
– Analyse catastrophique de l'espace de formes $\mathcal{F}$. Supposons que l'on sache définir sur $\mathcal{F}$ l'équivalence qualitative de deux formes. Les formes structurellement stables sont, par définition, celles qui admettent un voisinage composé de formes toutes équivalentes. Elles sont regroupées en classes d'équivalence correspondant à des types qualitatifs différents. Pour passer d'un type à un autre, on doit nécessairement passer par une forme instable (principe de continuité). L'ensemble K des formes instables, dit ensemble catastrophique ou ensemble de bifurcation de l'espace $\mathcal{F}$, classifie donc les types stables de $\mathcal{F}$.
– Analyse géométrique de K. L'introduction de l'ensemble de bifurcation K permet d'espérer caractériser géométriquement non plus seulement les formes stables, mais aussi les formes instables. Soit en effet f une forme de K (donc instable). Au voisinage immédiat de f, il existera en général un certain nombre de types stables (les stabilisés de f par petite déformation) séparés par la géométrie locale de K au voisinage de f. Cette géométrie locale de K exprime la façon dont les types stables se déstabilisent progressivement pour aboutir à f. Elle peut parfois se simplifier. Si f appartient à K, sa classe d'équivalence qualitative $\tilde{f}$ est contenue dans K. Supposons que la situation puisse se réduire au type représenté dans la figure 6, situation locale où il existe dans $\mathcal{F}$ un « supplémentaire » W transverse à $\tilde{f}$ et tel que K s'obtienne au voisinage de f comme le « produit » de $\tilde{f}$ et de l'intersection K_W de K avec W. On dit alors que (W, K_W) est un modèle transverse de f. Un problème difficile est de savoir s'il n'existe qualitativement qu'un modèle transverse, c'est-à-dire si deux modèles transverses sont toujours équivalents. Dans le cas le plus simple, celui des fonctions, ce résultat se démontre à partir d'un théorème fondamental, le théorème dit de préparation différentiable démontré par Bernard Malgrange en 1962. Le problème sera donc désormais de classifier les modèles transverses locaux et d'analyser leur recollement global.
– Stratification des modèles transverses. Dans un modèle transverse (W, K_W) de f, l'ensemble catastrophique K_W est composé de la trace sur W d'un certain nombre de classes d'équivalences. Mais le principe de continuité implique que f puisse se déstabiliser par étapes, c'est-à-dire qu'il existe une hiérarchie dans l'instabilité. Dans les bons cas, cette hiérarchie se « lira » phénoménologiquement dans la géométrie même de K_W à travers ce que l'on appelle une stratification, c'est-à-dire un recollement de strates incidentes les unes aux autres et de dimension décroissante. En général, l'ensemble de bifurcation global K sera donc composé de zones stratifiées obtenues par recollement des stratifications locales et de zones chaotiques non modélisables (catastrophes généralisées).
– Déploiement universel. Soit f un élément de K admettant un modèle transverse (W, K_W). En paramétrant W par un multiparamètre w, on peut interpréter W comme une famille f_w de formes paramétrées par w, l'ensemble catastrophique K_W étant l'ensemble des valeurs de w pour lesquelles f_w est instable. Une telle famille s'appelle une déformation ou un déploiement de f. Réciproquement, si l'on considère un déploiement f_t de f paramétré par un multiparamètre t variant dans un espace local T, on peut l'interpréter comme un plongement de T dans $\mathcal{F}$ passant par f. On peut espérer alors que, parmi tous les déploiements de f, le déploiement f_w soit « optimal », à la fois le plus complet et le plus simple possible (on dit universel) et que la famille f_w, considérée comme une nouvelle forme appartenant à un nouvel espace de formes soit, dans cet espace, structurellement stable.

La réalisation du programme précédent se heurte évidemment à de nombreuses obstructions techniques et exige l'élaboration d'outils raffinés. On voit qu'elle vise à élucider la structure profonde des espaces de formes en général. Celle-ci étant préjudicielle pour toute formalisation des phénomènes naturels, on conçoit que sa description débouche sur des applications innombrables.

Une situation caractéristique

La théorie des catastrophes intervient naturellement chaque fois que l'on se trouve dans une situation du type suivant.

Supposons-nous donné un système S_w dépendant d'un contrôle w paramétré par un espace W (dit espace de contrôle ou espace externe). Supposons que les états de S_w soient descriptibles dynamiquement à partir d'une forme f_w (cette situation est très générale ; f_w peut être par exemple une énergie ou un potentiel thermodynamique, les états étant représentés par ses minimums). S_w peut alors s'interpréter comme le plongement de l'espace de contrôle W dans l'espace de formes $\mathcal{F}$ auquel appartiennent les f_w. La grande idée de Thom est que la morphologie empirique observée dans W provient de l'intersection K_W avec W de l'ensemble catastrophique K de $\mathcal{F}$. C'est en ce sens que les modèles transverses des espaces de formes jouent le rôle d'archétypes pour l'universum des morphologies empiriques.

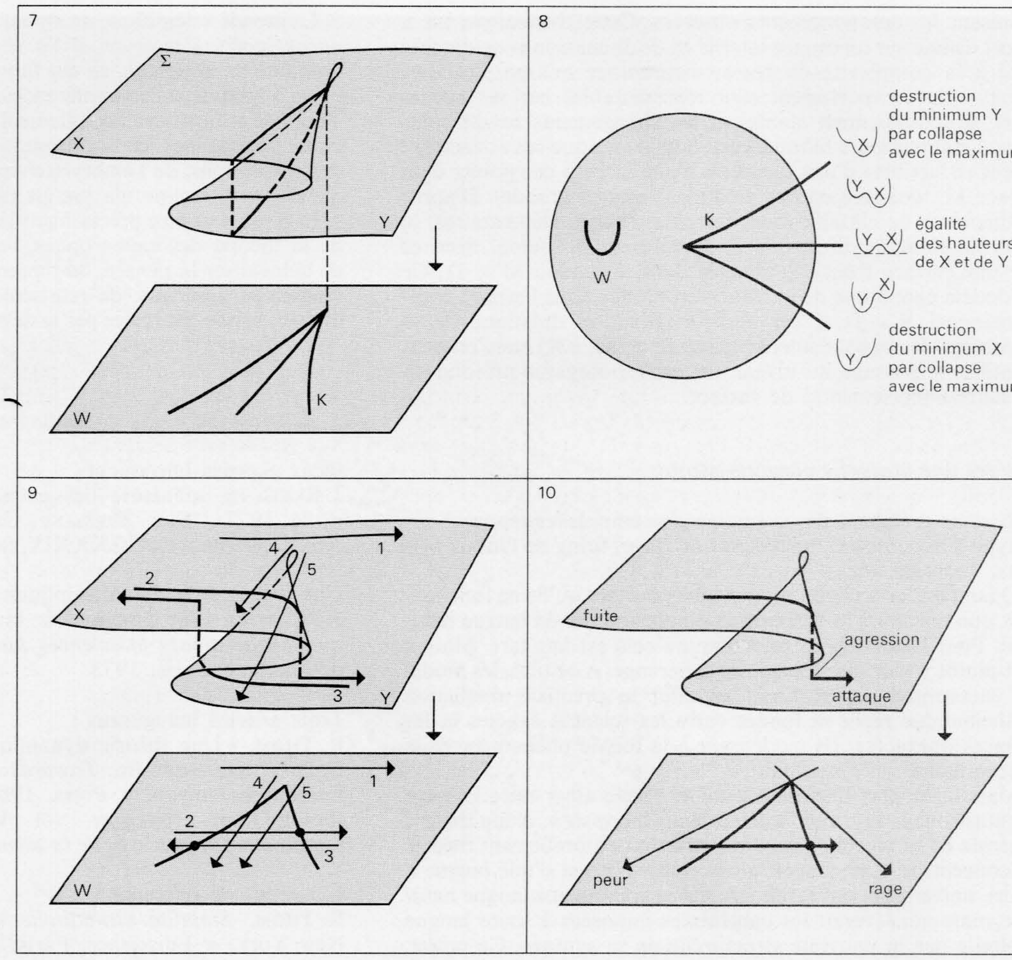
Considérons, par exemple, le cas d'un système S_w décrit par le champ f_w de ses fonctions énergie définies sur un espace de phase M (dit espace interne par opposition à l'espace externe W). D'après le principe de minimisation de l'énergie, les états de S_w sont représentés par les minimums de f_w (équilibres stables). Lorsque w varie dans W, ces minimums (ainsi que les cols et les maximums de f_w représentant les équilibres instables) engendrent une hypersurface Σ plongée dans le produit $M \times W$, de même dimension que W et se projetant sur lui. Sous l'hypothèse de stabilité structurelle et sous l'hypothèse que W est de dimension inférieure ou égale à 4, on peut classifier qualitativement toutes les morphologies locales qui peuvent apparaître et en donner des modèles canoniques (où M est de dimension 1 ou 2). Ce théorème, dit théorème de classification des catastrophes élémentaires, fournit une liste finie de sept morphologies archétypes (généralisation du résultat de Whitney).

Si, par exemple, W est de dimension 2, Σ sera une surface se projetant sur W et, d'après le théorème de Whitney-Thom, elle sera de complexité locale, au maximum de type cusp (fig. 7).

Cet archétype décrit la compétition de deux états (minimums) X et Y se présupposant réciproquement, séparés par un seuil (maximum) et s'identifiant lorsque ce dernier disparaît. Il est associé à un champ f_w qualitativement du type décrit sur la figure 8, où l'on a représenté dans chaque zone de W définie par l'ensemble catastrophique K la forme correspondante de la fonction énergie f_w.

Un système régi par cet archétype présente les caractéristiques qualitatives suivantes :
– possibilité de passer de façon continue de l'état X à l'état Y (chemin 1 de la figure 9) ;
– sauts catastrophiques irréversibles (bifurcations) de X vers Y (chemin 2) ou de Y vers X (chemin 3) ;
– phénomène d'hystérésis : si l'on parcourt un chemin de type 2 en sens inverse dans l'espace de contrôle (chemin de type 3), la bifurcation se produit à la traversée de l'autre strate pli ;
– phénomène de divergence : deux chemins très voisins dans l'espace de contrôle peuvent conduire à des états opposés (chemins 4 et 5).

D'après le théorème de classification, tout système décrit par un champ de fonctions, dépendant naturellement de deux contrôles et manifestant soit de l'hystérésis, soit de la divergence, est régi par l'archétype (local) cusp. On peut donc dire qu'en dernière instance son être physique « doit » se plier à la nécessité plus profonde d'être « solution » à la contrainte de stabilité structurelle. Ce qui déplace évidemment de façon notable la notion d'« explication » dans les sciences.



La complexité locale de type cusp.

Vers des modèles intrinsèquement transdisciplinaires

À partir de ce « point d'Archimède » qu'est le théorème de classification, Thom a développé sa théorie à plusieurs niveaux.

D'abord celui des phénomènes physico-chimiques (classiques ou non) manifestant des propriétés catastrophiques. Dans ce cas, où l'on connaît explicitement les équations différentielles (les dynamiques) régissant le processus, le problème est celui, purement mathématique, qui consiste à montrer comment dériver de ces équations des archétypes catastrophiques. La théorie des catastrophes n'apporte rien de vraiment spécifique sinon une doctrine cohérente et globale des effets de discontinuité (caustiques, ondes de choc, transistions de phase, bifurcations de solutions, ruptures de symétrie, structures dissipatives, etc.).

Il n'en va plus du tout de même lorsque l'on considère l'immense classe de phénomènes naturels pour lesquels il n'existe aucune dynamique explicite. Dans ce cas, la théorie des catastrophes introduit l'idée révolutionnaire que l'on peut en partie « remonter » des morphologies observées vers les dynamiques (inconnues) qui les engendrent.

Considérons, par exemple, un substrat biologique siège d'un processus morphogénétique. On peut associer au métabolisme local une dynamique sur un espace interne de paramètres biochimiques. Dans la perspective réductionniste, on cherche à connaître explicitement cette dynamique. Dans la perspective catastrophique, on se borne à la supposer. On peut alors introduire un modèle catastrophique où l'espace de contrôle est identifié à l'extension du substrat, et interpréter la morphologie empirique comme le contour apparent sur le substrat de la dynamique métabolique. On en déduit a priori, sans rien connaître de la dynamique interne, que celle-ci doit être conforme à l'un des modèles archétypes de la morphologie observée.

On voit donc que la théorie des catastrophes restitue l'apparaître au réel. Elle promeut des modèles d'un type nouveau que Thom oppose ainsi aux modèles physiques. En physique, les espaces « sémantiques » (ceux qui décrivent les « qualités » physiques des phénomènes) sont toujours dérivés de la structure globale de l'espace-temps de base et de son groupe d'invariance. Les modèles catastrophiques, en revanche, permettent de considérer des espaces sémantiques dérivés d'un espace de base quelconque. Leur limite est qu'ils n'héritent plus de la structure de l'espace-temps, c'est-à-dire qu'au lieu d'être globaux, prédictifs et quantitatifs, ils sont locaux, non prédictifs et qualitatifs. Mais cela ne les empêche pas d'être aussi universels et aussi mathématiquement fondés que les modèles physiques. C'est au choix laissé pour l'espace de base qu'ils doivent leur portée intrinsèquement transdisciplinaire.

Les modèles de Zeeman

Les premiers modèles psychologiques, éthologiques et sociologiques reposant sur cette possibilité de choix de l'espace externe ont été construits par le « catastrophiste » anglais E. C. Zeeman. Le plus rudimentaire est celui qui interprète par une morphologie fronce l'agression chez un animal, le chien (fig. 10). L'espace de base est régi par deux paramètres (facteurs) « psychologiques » : la peur et la rage. Le premier contrôle le comportement « fuite » et le second le comportement « attaque ». Lorsqu'ils agissent en même temps, « fuite » et « attaque » entrent en conflit, le comportement devient bimodal, ce qui « explique » qu'une très faible variation du contrôle puisse faire passer catastrophiquement l'animal d'un comportement à un autre (agression).

De tels modèles sont moins naïvement analogiques qu'il ne semble. Si l'on ne se laisse pas tromper par leur simplicité et si l'on revient à la théorie qui les engendre, on constate en effet qu'ils réalisent la première médiation explicite entre niveau profond (neurophysiologique) et niveau de surface (comportemental). Reprenons l'hypothèse du système nerveux comme « boite noire » en disant que les paramètres externes contrôlent une dynamique neuronique inconnue (ici, celle de l'hypothalamus) induisant les comportements observés. Cette dynamique est a priori définie sur un espace interne M de dimension considérable (liée à la complexité du réseau neuronique mis en jeu). Les « états » du comportement sont représentables par ses attracteurs structurellement stables et les changements catastrophiques d'état par leurs bifurcations. Supposons que ces attracteurs soient réductibles d'une façon ou d'une autre à des points d'un espace M′ (qui sera encore de dimension très grande). D'après le théorème de classification des catastrophes élémentaires, le contrôle étant de dimension 2, les bifurcations seront décrites par une surface fronce Σ plongée dans le produit $M' \times \Omega$. Or le modèle canonique de la fronce est plongé dans l'espace tridimensionnel $\mathbf{R} \times \Omega$. C'est à cette réduction drastique de la dimension de l'espace interne (passage de M′ à **R**) que l'on peut identifier le passage du niveau neurophysiologique profond au niveau comportemental de surface.

Vers une nouvelle caractéristique

Zeeman a élaboré des exemples plus complexes reposant sur ce type d'hypothèses : battements du cœur, firing de l'influx nerveux, anorexie, etc.

Quand on les analyse, on constate pourtant qu'ils ne font souvent que retrouver la description du phénomène en langue naturelle. Pour beaucoup de scientifiques, cela est une tare. Mais il faut plutôt y voir une marque de cohérence. À ce titre, les modèles catastrophiques réalisent en effet la première médiation mathématique réelle et fondée entre les sciences exactes et les sciences anexactes. Ils modélisent à la fois le phénomène et la conceptualité qui l'exprime.

Mais le rapport intrinsèque qui se révèle ainsi entre langage et catastrophes fait que la démarche « thomiste », d'une théorie générale de la morphogenèse devient tout naturellement théorie du concept. Elle se conçoit alors comme projet d'une langue a priori, universelle, qui serait structurée comme une langue naturelle mais qui lèverait les contraintes imposées à toute langue naturelle par la pauvreté structurelle de sa syntaxe. Ce projet, qui réactive le rêve de la caractéristique leibnizienne, n'est évidemment encore qu'à peine ébauché. Mais il cristallise ce qui, pour Thom, constitue la portée principale de sa théorie, à savoir qu'une géométrisation du concept permettrait d'intégrer aux théories scientifiques le recours constant qu'elles font à la langue sans jamais le thématiser comme tel.

En cela, la théorie des catastrophes, qui était déjà une morphosophie, retrouve la veine de la phénoménologie husserlienne et, à travers elle, toute l'histoire de l'ontologie depuis ses débuts présocratiques.

Vers une philosophie comme science rigoureuse

La théorie des catastrophes déploie donc un certain nombre d'idées-forces que l'on pourrait résumer ainsi :

- reconnaissance de l'universalité du principe de stabilité structurelle (au même titre que celui de causalité),
- nécessité de discontinuités pour assurer la stabilité,
- dégagement d'un pouvoir effecteur de la discontinuité en tant que telle et donc de ce que l'on pourrait appeler une causalité proprement structurale,
- possibilité de géométriser l'analogie et de la douer ainsi d'un statut scientifique.

Ces idées-forces réactivent diverses généalogies métaphysiques et ont une « couleur » philosophique assez facilement repérable :

- la théorie des catastrophes est une théorie dialectique ;
- la théorie des catastrophes est une théorie phénoménologique ;
- la théorie des catastrophes est une théorie platonicienne.

On ne peut donc apparemment que lui imputer soit son idéalisme, soit l'impossibilité où elle se trouve d'être falsifiée, soit les deux. Mais, en fait, elle ne cherche pas à valider une représentation du monde. Elle vise à déployer rigoureusement les conséquences d'une nouvelle articulation entre les mathématiques et le réel.

Le monde scientifique ne s'y est d'ailleurs pas trompé. Quelles que soient ses réserves, il l'a accueillie comme une nouvelle modalité de la pensée, ce qui fait que, à travers son activité intense d'interviews, de conférences, de séminaires et de voyages, Thom se trouve être actuellement le centre d'un réseau de discours hétérogènes (de la tectonique des plaques à la dynamique des révolutions, de l'embryogenèse aux structures symboliques) que l'interdiscipline n'a jamais réussi à réaliser.

Et c'est peut-être précisément là l'intérêt sociologique majeur de la théorie des catastrophes, de décloisonner les disciplines, de délocaliser la pensée, de reprendre des interrogations depuis longtemps désertées, de réarticuler des épaves de l'ontologie, divisée, brisée, morcelée par le développement techno-industriel.

J. P.

Bibliographie

Deux exposés introductifs :
J. Ekeland, « Théorie des catastrophes », in *La Recherche*, n° 81, 1977 / E. C. Zeeman, « Catastrophe Theory », in *Scientific American*, vol. CCXXXIV, fasc. IV, 1976.

Une présentation interdisciplinaire élémentaire :
J. Petitot, « Introduction à la théorie des catastrophes », in *Mathématiques et sciences humaines*, Maison des sciences de l'homme, Paris, 1978.

Trois articles inauguraux :
R. Thom, « Une théorie dynamique de la morphogenèse », in C. H. Waddington dir., *Towards a Theoretical Biology*, vol. I, Edinburgh University Press, 1968 ; « Topological Models in Biology », in *Topology*, vol. VIII, 1968 ; « Topologie et signification », in *L'Âge de la science*, n° 4, Dunod, Paris, 1968.

L'ouvrage de référence :
R. Thom, *Stabilité structurelle et morphogenèse*, Benjamin, New York, et Édiscience, Paris, 1972, 2ᵉ éd. 1977.

Un recueil d'articles de R. Thom :
R. Thom, *Modèles mathématiques de la morphogenèse*, coll. 10/18, Paris, 1974.

Deux recueils spécialisés avec des bibliographies extensives :
« Dynamical Systems – Warwick 1974 », in *Lecture Notes in Mathematics*, n° 468, Springer Verlag, Berlin, 1975 / « Structural Stability, the Theory of Catastrophes and Applications in the Sciences », in *Lecture Notes in Mathematics*, n° 525, Springer Verlag, Berlin, 1976.

Un débat :
J.-M. Lévy-Leblond, « Catastrophes, paradoxes et métaphores », in *Critique*, éd. de Minuit, 1977 / R. Thom, « Réponse à J.-M. Lévy-Leblond », *ibid.*

Encyclopædia Universalis
CALCUL INFINITÉSIMAL : *Calcul à plusieurs variables*, vol. 3, G. Glaeser / TOPOLOGIE : *Topologie différentielle*, vol. 16, C. Morlet.