



Abdelkader Bachta

(Université de Tunis)

La philosophie de la théorie constructale d'après Angèle Kremer Marietti.

Angèle Kremer Marietti a introduit la théorie constructale dans le monde philosophique français et en Tunisie. Elle a, notamment, traduit l'œuvre de synthèse d'Adrian Bejan (co-auteur : Sylvie Lorente), qu'elle a introduite avec un Avant-propos concis ⁽¹⁾ et a écrit, d'autre part, une étude, dans notre livre commun, intitulée : *Origines scientifiques et philosophiques de la théorie constructale, son futur présumé* ⁽²⁾, où elle reprend, largement, l'essentiel de l'Avant-propos.

Ce qui retient, particulièrement, mon attention en tant que lecteur de la théorie constructale, c'est cette double philosophie que notre auteur dégage scrupuleusement des textes de Bejan :

1°/ Une philosophie de la nature et de la technique, qui nous permet de comprendre et, par conséquent de prédire, les processus naturels et ceux relatifs aux machines ; or, cette philosophie s'appuie sur une théorie dont la signification est précise et qui repose sur un support scientifique bien déterminée ⁽³⁾.

2°/ Également, un autre genre philosophique fondateur qui est, cette fois-ci, complètement implicite. Cet aspect tournerait, en fin de compte, autour de deux concepts essentiels qu'Angèle Kremer Marietti présente simplement en se référant à une série de philosophes : à la fois la construction et la finalité (qui sont en fait corrélatifs) ⁽⁴⁾.

Dans la présente étude, je me propose d'exposer, à ma manière et en tant que lecteur d'Adrian Bejan, ces deux dimensions philosophiques.

I- Une philosophie de la nature et de la technique : Comprendre et prédire les processus naturels et techniques, la signification de la théorie et son support scientifique.

1/ Comprendre et prédire les processus naturels et techniques, la question des applications

a) Angèle Kremer Marietti a traité cette question à plusieurs reprises, mais le paragraphe 2 de l'article est plus explicite là-dessus. S'agissant des enchaînements que connaît la nature, nous lisons, par exemple : « la nature combine des processus élémentaires ; sur cette base, la théorie constructale conçue par A. Bejan explique... la génération des formes naturelles de tout ce qui nous entoure et peut en prédire l'évolution ». À ce niveau, l'auteur donne l'exemple des arbres, celui des poumons, ainsi que des deltas des fleuves.

En ce qui concerne le développement des choses créées, des machines, on peut lire, par exemple, l'affirmation suivante : « Parallèlement à ce qui se passe dans la nature, la théorie constructale d'Adrian Bejan conçoit et crée le plan parfait des machines. » L'auteur évoque, ensuite, sommairement, la manière dont use l'ingénieur appartenant à la théorie constructale pour arriver à ce but (5).

b) Il est, par conséquent, tout à fait logique de mentionner des applications naturelles et techniques de la théorie en question. Je l'ai fait en suivant, d'ailleurs, les textes de Bejan (6). D'ailleurs, Angèle Kremer Marietti n'a pas manqué de souligner tout cela avec beaucoup d'insistance, mais la spécificité de son analyse réside, essentiellement, dans cette bibliographie intéressante figurant dans le paragraphe 8 de l'article et citant un certain nombre d'auteurs qui ont effectivement appliqué la théorie constructale à divers domaines naturels et techniques. C'est ainsi que nous apprenons que Marion Cardon de Toulouse établit l'aspect constructal de la granulation solaire, qu'Antonio F Miquel touche à la survie – même sous un angle constructal – en pensant que « les racines fournissent la meilleure structure pour accéder à la plupart des nutriments dans le temps le plus court. »

c) On peut comprendre dès lors que la théorie constructale concerne l'évolution et la croissance, je l'ai également noté, de mon côté, dans mon étude. Mais ces développements naturels et techniques ne vont pas sans difficultés, sans la nécessité de surmonter des contraintes à quoi le paragraphe 2 signalé fait justement allusion.

En somme, nous avons besoin de comprendre la théorie en elle-même avec sa dimension positive (la croissance idéale) et son aspect, pour ainsi dire, négatif (les contraintes). Angèle Kremer Marietti, répond à notre interrogation.

2/ La signification de la théorie : processus idéal et contraintes

a) Le philosophe, Angèle Kremer Marietti, a bien mis en relief l'idée d'une construction « positive ». Nous la rencontrons dans l'Avant-propos. L'article en parle fondamentalement aux paragraphes 3 et 5.

Il s'agit d'abord de l'opposition entre la loi fractale de Benoît Mandelbrot et la loi constructale de Bejan, qui nous occupe ici. La première agit par fragmentation et brisure, la seconde adopte le trajet contraire et est constructive. Pour Bejan, « les choses ne se fragmentent pas mais... s'agrègent et se construisent en allant du plus petit vers le plus grand » (6bis).

Cette idée d'élaboration et de construction « constructale » s'éclaircit d'avantage dans le paragraphe 5, consacré à la formulation analytique de la loi en question, où Madame Angèle Kremer Marietti affirme expressément : « Peu importe comment se font la découverte et la compréhension des phénomènes et des processus à petite échelle, il faut affronter le défi d'assembler ces éléments invisibles dans des dispositifs palpables. Le défi est, selon Bejan, de construire, c'est-à-dire d'assembler et d'optimiser cet assemblage. »

b) Mais la construction idéale ne va pas de soi. Il y'a, comme entrevu, des difficultés. Madame Angèle Kremer Marietti a vu également cet aspect « négatif » de la construction. Elle nous dit, après le texte qu'on vient de citer : « Ce défi est difficile, parce qu'alors que les échelles les plus petites deviennent encore plus petites, la complexité du dispositif utile (toujours macroscopique) augmente. » La solution selon Bejan est de recourir à une nouvelle physique, c'est ce que pense le professeur Angèle Kremer Marietti ; j'y reviendrai.

Cependant, le plus grand obstacle réside dans les résistances que connaît réellement la croissance naturelle et technique. La philosophe Angèle Kremer Marietti n'a pas omis cette dimension de la théorie constructale. Elle l'a traitée dans son Avant-propos. Dans l'article, elle en parle, au moins, à deux occasions.

Définissant la théorie constructale dans le paragraphe 4, l'auteur nous dit, par exemple, « Les formes arborescentes des objets ou systèmes

naturels sont, par conséquent, des fruits de la minimisation des résistances, sous contraintes, des courants qui s'écoulent à travers ces objets ou systèmes ». Dans ce cas, l'arbre serait « le résultat de la minimisation de la résistance de la sève qui s'y écoule ».

Il en est de même du monde de la machine où l'ingénieur se voit obligé de répartir les imperfections afin de « rendre globalement minimale la résistance des flux » ; « La performance de la machine » est ainsi améliorée. De cette façon, souligne Madame Angèle Kremer Marietti, on peut « s'approcher davantage de la machine parfaite ».

Cette idée de contraintes « globales » est reprise dans le paragraphe 5 du même article, où l'auteur affirme, en somme, que la formulation analytique de la loi constructale est liée à l'idée d'évolution avec contraintes dont la finalité est l'équilibre. C'est alors que l'auteur se trouve dans l'obligation d'expliquer le terme d' 'équilibre'. Ce vocable n'implique pas l'arrêt du changement. Il veut dire exactement « que la performance globale ne change pas quand des changements se produisent dans l'architecture d'écoulement ».

c) Il est évident que cette évolution naturelle et technique dont les imperfections sont surmontables selon une vision constructale suppose un support scientifique, plus précisément physique et géométrique. Cette dimension, que j'ai analysée longuement dans mon étude, se laisse déduire aisément de ce qui précède. Madame Angèle Kremer Marietti l'a traitée, de son côté, avec beaucoup de profondeur.

3/ Le support scientifique : Science classique, géométrie et thermodynamique, origines scientifiques.

a) L'auteur, qui insiste bien sur le fait qu'il s'agit d'une nouvelle méthode scientifique, montre, dès l'introduction de son article, qu' « il s'agit d'une approche différente de la physique classique », car, au sein de celle-ci, on part d'un modèle qu'on fait tourner et qu'on modifie selon le cas (idée que l'usage de la mécanique newtonienne au 18^e siècle justifie parfaitement) (7). La science constructale, au contraire, avance sans cesse en optimisant ce qui existe ; et cela, afin « d'obtenir le système le moins imparfait possible » Et l'auteur d'ajouter : « Nous avons là un nouveau paradigme. »

Cependant, j'ai montré, dans mon article, que la théorie constructale utilise largement les résultats de la science classique (8). Madame Angèle Kremer Marietti a fait également allusion à cette idée dans l'introduction de son article en affirmant que la théorie constructale « utilise des équations comme celles de la conservation de la masse et de l'énergie. »

b) Quant au fondement physico-géométrique de la théorie constructale, le professeur Angèle Kremer Marietti l'a relevé avec beaucoup de lucidité dans l'Avant-propos et dans l'article. Dans les deux textes, elle a montré la nécessité, pour Adrian Bejan, de l'usage de la géométrie (en l'occurrence celle d'Euclide) et de la thermodynamique (plus précisément de la seconde loi en usage dans cette science) (9).

Mais l'apport personnel de l'auteur, à ce niveau, est d'avoir mis l'accent sur la notion géométrique de « surface ». Par exemple, dans le paragraphe 8 de l'article, nous lisons : « Dans la perspective constructale, le concepteur travaille essentiellement sur une base géométrique avec un effet important joué par la notion de surface. » C'est ainsi, par exemple, que pour le rejet de la chaleur, la forme rectangulaire est privilégiée. Et, en général, « des surfaces élémentaires sont organisées dans un réseau de collection »

c) De cette façon, Angèle Kremer Marietti peut très bien chercher les origines scientifiques de la théorie constructale. C'est ce qu'elle a fait, effectivement, dans l'Avant-propos et dans le paragraphe 6 de l'article.

Le début de cet ordre de recherches se localise nettement au 17^e siècle, c'est-à-dire, plus exactement, avec Fermat et Descartes qui auraient, tous les deux, inauguré l'ère de l'ingénierie et annoncé la perspective constructale en mettant « en valeur l'esquisse des lieux ». L'allusion est faite ici à la géométrie analytique qui, en effet, pense la localisation dans l'espace comme nécessaire à la technique en général.

L'auteur passe, ensuite, aux racines de la thermodynamique qui est, comme je l'ai montré également, fondamentale dans la théorie constructale (9). Mme Angèle Kremer Marietti remonte jusqu'à Denis Papin (1647-1712), qui « a inauguré l'ère industrielle avec la considération du travail des moteurs de vapeur ». On en vient, ensuite, à un grand précurseur de la science en question, c'est-à-dire Carnot le père (1753-1823) qui « a expliqué un principe selon lequel l'efficacité mécanique diminue à mesure que la différence dans la vitesse des pièces mobiles mises en contact augmente. »

Madame Angèle Kremer Marietti arrive ainsi à la période thermodynamique proprement dite, que commence sérieusement Carnot le fils (1796-1832), qui est, certes, influencé par son père, auteur du célèbre ouvrage, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, contenant la première formulation de la seconde loi de la thermodynamique.

Viennent ensuite R. Clausius, qui établit « une expression mathématique pour l'entropie », et L. Boltzman, qui dota d'une signification probabiliste la 2^e loi thermodynamique, puis Joseph Fourier qui « a donné une théorie mathématique sur l'indépendance de conduction de la chaleur de l'hypothèse calorique », enfin J. Liebig et J. Müller, théoriciens d'une corrélation entre la chaleur, les réactions chimiques et le travail musculaire, etc...

Le professeur Angèle Kremer Marietti analyse, enfin, les développements thermodynamiques dans les deux dernières décennies. Ce qui est tout à fait opportun, puisque Bejan, l'auteur de la théorie constructale, est spécialiste de la science thermodynamique, et s'inscrit bien dans ce cadre.

II - Une philosophie fondatrice implicite : Construction et finalisme

1 - La construction : Processus, rapport entre les parties et le tout, représentation de l'arbre.

La construction est d'abord un processus, c'est-à-dire un enchaînement ordonné de faits. Pour chercher un fondement philosophique à cette idée, qui est, du reste, évidente au niveau de la théorie constructale, Angèle Kremer Marietti se réfère à René Descartes et Auguste Comte.

a) En ce qui concerne le premier philosophe, on évoque essentiellement les quatre méthodes et surtout la troisième où l'idée de construction est plus claire : « La méthode cartésienne en quatre préceptes se retrouve appliquée dans la méthode constructale : mais on reconnaît en particulier le second qui demande de diviser chacune des difficultés et le troisième qui recommande de commencer par les objets les plus simples pour monter peu à peu comme par degrés jusqu' à la connaissance des plus composés. »

La spécialiste de Comte va, sur ce plan, jusqu'aux racines de la pensée du père du positivisme et y détecte une analogie avec la théorie constructale, car selon notre auteur l'intention initiale de Comte est finalement de construire : « Si l'on pense à la racine de l'intention qui fut celle du philosophe Auguste Comte avec le positivisme, on peut retrouver chez Adrian Bejan, une intention identique de chercher à « poser » pierre après pierre, comme le fait l'ouvrier du bâtiment. »

b) Mais la construction implique également l'idée certaine du rapport entre le tout et ses parties. C'est, en tout cas, ce que le professeur Angèle Kremer Marietti a bien vu. À ce niveau, notre auteur s'en rapporte à deux grands philosophes : Aristote et Leibniz.

La théorie constructale entraîne, pour Angèle Kremer Marietti, la vérité suivante : « En envisagement les sous-ensembles nous voyons que ce sont de petits éléments ; envisageant le réseau entier, nous voyons que chaque sous-ensemble est lié à tout élément dans le tout ». Cette sorte de dialectique constructible fait penser au concept aristotélicien d'actualité qui, selon ce philosophe grec, comme activité, n'est pas complètement réalisable. Madame Angèle Kremer Marietti l'a vu en revenant à un texte de *la Métaphysique* (10).

S'agissant du second philosophe, l'auteur a recours directement à la *Monadologie* (1721). Les monades sont des entités préalablement indépendantes et sans aucune influence mutuelle, mais grâce à l'harmonie préétablie divine, chacune d'elles exprimerait toutes les autres et l'univers tout entier (11).

« Nous pouvons voir une analogie formelle entre cette idée leibnizienne et celle de la théorie constructale pour laquelle le concepteur a adapté chaque sous-ensemble du réseau à tous les autres de sorte que le tout a une forme parfaite avec une efficacité parfaite » écrit Madame Angèle Kremer Marietti qui ne manque pas d'indiquer les différences.

c) La philosophe Angèle Kremer Marietti nous renvoie, enfin, à une caractéristique essentielle de la théorie constructale, c'est l'arborescence, impliquant la représentation de l'arbre qui y est, effectivement, fondamentale. Sur ce plan précis, l'auteur pense à Descartes et, plus précisément, à la métaphore de l'arbre résumant toute sa philosophie. « Nous devons rappeler que la représentation de l'arbre est importante dans la théorie constructale : par exemple des architectures arborescentes sont produites par l'optimisation de tout *design* géométrique. Toutes les caractéristiques de l'arbre sont déterministes et le résultat d'un simple principe d'optimisation... » nous dit, par exemple, Angèle Kremer Marietti.

2- Le finalisme : Aristote, Descartes et Kant.

a) D'un autre côté, la théorie constructale est régie par une intention finaliste, car elle vise toujours l'optimisation et l'équilibre. C'est pourquoi, d'ailleurs, le concepteur constructal est libre géométriquement : il doit attendre que son but soit atteint pour fixer la forme géométrique définitive et ultime de la machine ; le finalisme n'est pas étranger non plus à la

seconde loi de la thermodynamique, le second pilier scientifique de la théorie constructale (12).

Le professeur Angèle Kremer Marietti, qui connaît très bien cet aspect, relève, dans son article, de plusieurs façons, l'idée de finalité constructale (13). Pour la fonder philosophiquement, elle fait appel, si on veut suivre la chronologie, à Aristote, Descartes et Kant.

b) Le finalisme, bien connu d'Aristote, est traité, dans ses rapports avec la théorie constructale, par Mme Angèle Kremer Marietti, dans l'Avant-propos et dans l'article.

Après avoir montré la pertinence des trois premières causes aristotéliennes (c'est-à-dire efficace ou efficiente, matérielle et formelle) au niveau constructal, notre auteur s'arrête à la cause finale en insistant sur sa priorité sur le plan de la théorie qui nous intéresse ici. Madame Angèle Kremer Marietti déclare, à ce propos : « La cause finale prévue, le concepteur passe à la partie formelle de son travail ou partie de la décision. Sans cause finale, pas de *design* ni de conception ; celle-ci dépend de la cause formelle, mathématiquement pensée, et dont les données sont combinées avec le produit souhaité final. Il est capable d'organiser sa pensée afin d'accomplir ce qu'il veut créer. »

c) La philosophe Angèle Kremer Marietti trouve du finalisme approprié à la perspective constructale également chez Descartes, plus exactement, dans sa conception urbaniste cette fois.

Le philosophe français, qui est le père de la modernité comme on dit souvent, déplore, dans *le Discours de la méthode*, que les villes anciennes soient mal agencées, qu'elles n'aient pas été conçues au préalable par un concepteur. Ce qui signifie que, selon lui, il faut avoir, en matière d'urbanisme, une finalité qui serait la condition première de toute construction.

Madame Angèle Kremer Marietti trouve que cette remarque rejoint tout à fait le dessein du concepteur constructal, car celui-ci « sait chaque fois joindre l'utile à ce qui serait parfait dans n'importe quel projet constructal. »

d) Mais comment la théorie constructale, qui inclut nécessairement le mécanisme, va-t-elle avec la téléonomie (la distinction est souvent faite entre les deux concepts) ? C'est alors que Mme Angèle Kremer Marietti évoque Kant et la relation que ce philosophe établit, dans la *Critique de la raison pure*, entre mécanisme et téléonomie. « Kant ne les a pas pensés comme opposés parce qu'ils peuvent s'expliquer réciproquement. » Le point de vue kantien conviendrait à la théorie constructale, pense notre auteur, puisque celle-ci « établit que les formes et les structures sont régies

par une téléonomie, de sorte qu'il y'a une finalité mécanique qui procède d'une telle sorte de croissance que le tout transcende les parties dans une détermination suffisante du tout ».

Par conséquent, deux types de philosophie de la théorie constructale existent bien, en effet, vus par Angèle Kremer Marietti : la première est plus ou moins explicite ; en tout cas, elle ne résiste pas beaucoup à l'interrogation des textes. La deuxième est franchement implicite ; sa fonction est, clairement, fondatrice.

Entre ces deux catégories philosophiques, se trouve une relation bien déterminée : la seconde fonde la première. Effectivement, l'essentiel du premier niveau, se sont les deux idées de construction et de finalité, que reprend le deuxième plan d'une manière fondatrice.

Cette double démarche, que relève Angèle Kremer Marietti en tant que lectrice de l'apport d'Adrian Bejan, est certainement originale. On s'occupe, en ce moment, surtout, de comprendre littéralement la théorie en question, d'essayer de l'appliquer à divers domaines relevant de la nature et de la technique... et l'on peut dire que le professeur Angèle Kremer Marietti inaugure une nouvelle méthode inédite et, je l'espère, prometteuse. Cependant, la philosophie fondatrice est moins évidente, moins accessible. C'est pourquoi, nous pouvons penser qu'ici Angèle Kremer Marietti atteint le plus grand degré de nouveauté d'une lecture possible de la théorie constructale.

Notes

- (1) *La loi constructale*, Paris, L'Harmattan 2005.
- (2) In : Abdelkader Bachta, Jean Dhombres, Angèle Kremer-Marietti, *Trois études sur la loi constructale d'Adrian Bejan*, Paris, L'Harmattan 2008.
- (3) C'est une philosophie, dont elle essaie de comprendre et, en définitive, de chercher les fondements.
- (4) Chez Adrian Bejan, la construction vise toujours une fin, comme cela se précisera dans nos analyses ultérieures.
- (5) L'analogie entre la machine et la technique est claire ici. Il s'agit, en fait, d'une vérité essentielle chez Bejan ; elle est également importante chez Angèle Kremer Marietti ; je l'ai dégagée, à mon tour, dans mon étude, *La géométrie et la physique de la loi constructale*, in *Trois études sur la loi constructale* (ibid).
- (6) Ibid.
- (6 bis) Cependant, Bejan parle d'une certaine rencontre entre les deux lois, cf. notre étude citée.

- (7) En effet, au siècle des Lumières, la mécanique newtonienne est largement utilisée ; on s'y écarte au besoin et en fonction d'autres influences (celle de Descartes, par exemple) cf., à ce propos, notre livre, *L'espace et le temps chez Newton et chez Kant*, Paris, L'Harmattan 2002. (essentiellement la 3^e partie).
- (8) Ibid. J'ai montré, en somme, que la théorie constructale se fonde sur la géométrie euclidienne et la seconde loi de la thermodynamique sous leurs formes les plus élémentaires, les plus classiques.
- (9) cf. notre étude (ibid).
- (9 bis) Ibid.
- (10) Aristote, *Métaphysique*, vol 1 et 2, traduction Jules Tricot, Paris, Vrin, 2002.
- (11) *Monadologie* de GW Leibniz, texte allemand - français, Reclam Verlag, 1998.
- (12) Sur la liberté géométrique du concepteur constructal, cf. notre étude citée.
- (13) cf. par exemple, les paragraphes 4, 5 et 7.