Laval théologique et philosophique

Mathématiques et biologie

W. R. Thompson

Volume 3, numéro 1, 1947

URI : https://id.erudit.org/iderudit/1019781ar
DOI : https://doi.org/10.7202/1019781ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

Laval théologique et philosophique, Université Laval

ISSN

0023-9054 (imprimé)
1703-8804 (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

Thompson, W. (1947). Mathématiques et biologie. *Laval théologique et philosophique*, *3*(1), 77–88. https://doi.org/10.7202/1019781ar

Mathématiques et biologie*

Peut-on mesurer les propriétés des êtres vivants, et trouver des rapports numériques entre ces mesures? Dès lors, les êtres vivants sont-ils susceptibles d'être définis sous forme d'expressions purement mathématiques?

Tel est le problème que se pose la biomathématique et que nous tenterons de déterminer avec quelque précision. Nous aurons ensuite à passer à la critique des résultats scientifiques obtenus, à en dégager la signification et la portée philosophique exacte. Pareil sujet dépasse largement le cadre de notre exposé. Celui-ci n'a aucune prétention à traiter de façon exhaustive le problème des rapports entre la biologie et les mathématiques. Nous ne pouvons envisager que le développement d'un certain nombre d'exemples d'application des lois quantitatives aux principaux domaines de la biologie. Le but sera atteint s'il ressort de ces exemples d'étude mathématique de la forme, de la croissance, de la reproduction et de l'évolution des êtres vivants une idée générale des problèmes posés et de la méthode de la biomathématique. D'autre part, l'évaluation philosophique, du point de vue aristotélicien et thomiste, des résultats obtenus ne constitue nullement une mise au point définitive. Ce ne peut être qu'une ébauche d'explication beaucoup trop sommaire et insuffisamment nuancée. Elle ne peut tendre qu'à mettre en relief l'importance des problèmes soulevés pour la philosophie des sciences, et à montrer comment certains d'entre eux pourraient se résoudre.

En quoi consiste l'application des mathématiques à la biologie? Prise dans son sens étymologique exact, la biologie est la science de la vie. Il est admis en philosophie scolastique que Dieu et les anges vivent[1]. Ils ne sont pas pour autant compris dans le champ de la science biologique proprement dite, car celle-ci ne s'occupe que des êtres matériels vivants[2]. Dieu et les natures angéliques sont immatériels. On ne peut évidemment les dénombrer, dans le même sens que l'on dénombre des animaux de telle espèce ou les représentants de telle sorte de végétaux[3].

---

*Série de cinq conférences données à la faculté de Philosophie de l'Université Laval en 1944. Les conceptions essentielles de l'auteur sur la nature des connaissances expérimentales et des sciences exactes ont été exposées antérieurement dans son livre *Science and Common Sense* (1937) et dans un essai *Providence* (*The Thomist*, Maritain Volume, 1943). Le lecteur que la chose intéresse pourra sans difficulté faire les rapprochements nécessaires.

1. S. Thomas, *Ia*, q.18, a.3.

2. Jean de Saint-Thomas, *Cursus philosophicus*, T.II (éd. Reiser), p.8b30.

3. S. Thomas, *Ia*, q.50, a.3.

La mathématique est la science de la quantité[1]. La quantité suppose des choses étendues, c'est-à-dire dont les parties sont extérieures les unes aux autres. Là où on ne peut parler d'extériorité[2], il ne peut y avoir d'application des mathématiques[3].

Remarquons tout de suite qu'au sommet du monde matériel — philosophiquement parlant — nous trouvons un être dont l'activité caractéristique se situe en dehors du monde strictement matériel[4]. L'homme, être pensant, échappe dans une certaine mesure aux prises de la mathématique. Nous voyons donc que la biologie, si elle embrasse l'ensemble des propriétés et des activités humaines, déborde le champ spécifique de la science de la quantité. Peut-on dire, dès lors, qu'exception faite de l'activité intellectuelle de l'homme, le champ de la biologie et celui des mathématiques sont co-extensifs ? Il serait téméraire de l'affirmer. On devrait alors négliger les propriétés qualitatives des êtres. La différence entre le rouge ou le bleu, ou entre le doux et l'amer ne peut être exprimée en tant que telle par une différence quantitative. Or, ces qualités peuvent jouer, en tant que qualités, un rôle réel dans la vie des plantes et des animaux. Elles

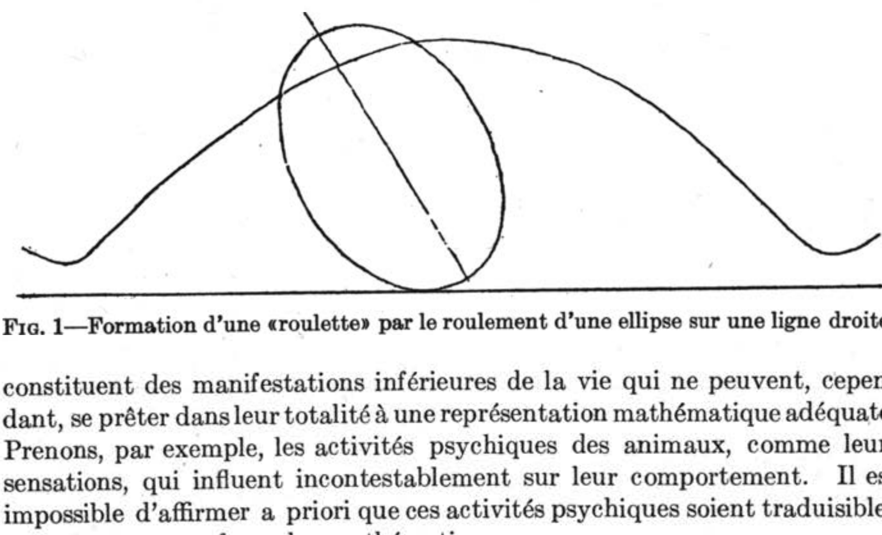

Fig. 1—Formation d'une «roulette» par le roulement d'une ellipse sur une ligne droite.

constituent des manifestations inférieures de la vie qui ne peuvent, cependant, se prêter dans leur totalité à une représentation mathématique adéquate. Prenons, par exemple, les activités psychiques des animaux, comme leurs sensations, qui influent incontestablement sur leur comportement. Il est impossible d'affirmer a priori que ces activités psychiques soient traduisibles adéquatement en formules mathématiques.

Cette remarque faite, il apparaît que la meilleure façon de poser le problème est de prendre l'être vivant, objet de la science biologique, dans ce qu'il a de commun avec l'être non vivant: ce qui veut dire, dans sa matérialité même. Certains philosophes, poussés par leur désir, assurément légitime, d'établir une distinction bien tranchée entre le vivant et le non-vivant, vont si loin dans ce sens qu'ils risquent d'oublier que les êtres vivants sont aussi des corps. Les êtres vivants étant des corps,

1. S. Thomas, *In Boetium de Trinitate*, q.5, a.3.
2. S. Thomas, *Ia*, q.14, a.12, ad 1; *Contra Gentes*, IV, c.65.
3. S. Thomas, *Contra Gentes*, IV, c.65.
4. S. Thomas, *Ia*, q.75, aa.1, 2, 4, 6.

possèdent, aussi bien que le monde inorganique, les propriétés corporelles qui sont exprimables par des êtres de raison mathématiques, dans la mesure où ceux-ci permettent la connaissance des objets matériels. Il y a lieu de se demander, en effet, comment la mathématique, qui comprend tout ce que nous savons de la quantité et des rapports qui existent entre des quantités diverses, nous sert à l'interprétation de la nature sensible. Il serait, de fait, impossible de formuler une description de la nature en termes purement quantitatifs.

Ainsi, pour mesurer une surface donnée, il faut pouvoir la distinguer du milieu où elle se trouve. La possibilité de cette distinction dépend de l'existence de propriétés comme la couleur, qui ne sont pas, en elles-mêmes, des quantités. Autrement dit, lorsqu'on parle de quantités, il faut pouvoir découvrir des parties les unes extérieures aux autres dans quelque chose qui, à d'autres égards, est foncièrement un[1]. Nous pouvons calculer le nombre d'unités de surface comprises dans une feuille de papier blanc. C'est que cette feuille nous apparaît comme continue ou homogène, maté-

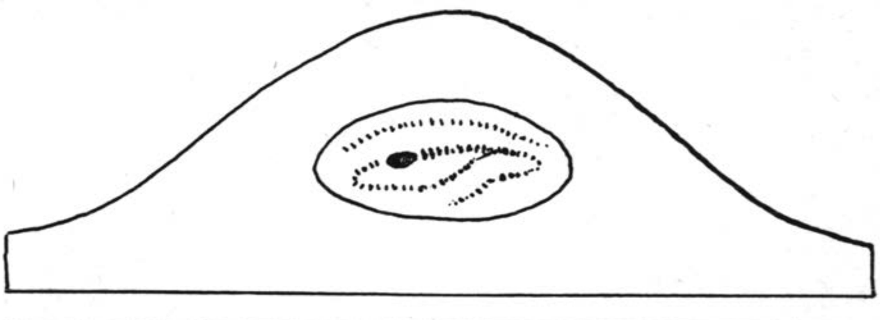

FIG. 2—Cellule hypodermique d'une larve de Muscide (*Miltogramma*).

riellement une. Nous pouvons aussi compter le nombre de feuilles de papier comprises dans une pile de feuilles. C'est que l'ensemble de ces feuilles nous apparaît, dans un certain sens, une unité. L'unité sur laquelle nous nous basons dans ce cas est spécifique ou formelle, tandis que dans le premier cas elle était aussi individuelle ou matérielle.

La quantité se divise en espèces. Les espèces de la quantité discrète sont les nombres, les espèces de la quantité continue sont les lignes, la surface et le corps mathématique[2]. La forme d'une ligne ou d'une surface n'est pas en elle-même une quantité: c'est une qualité[3]. La courbature d'une surface est un caractère spécifique ou qualitatif, exactement comme la couleur de la surface[4]. On peut exprimer la forme d'une courbe au moyen d'un système de coordonnées cartésiennes, par une série de valeurs numériques discrètes qui tend, à la limite, à s'identifier avec la courbe elle-même

1. S. THOMAS, *In de Trinitate*, q.5, a.3.
2. S. THOMAS, *In V Metaphysicorum*, lect.15 (éd. CATHALA), n.978.
3. J. DE ST-THOMAS, *Curs. phil.*, T.I, pp.610-621.
4. S. THOMAS, *Ia*, q.78, a.3, ad 2.

mais sans jamais y arriver. Ceci n'est toutefois pas une difficulté que nous rencontrons spécialement dans l'étude mathématique des êtres vivants. Elle dérive du fait que la quantité continue ne peut jamais être exprimée parfaitement par une série de quantités discrètes.

Pour autant que nous pouvons exprimer la nature au moyen de la quantité, nous le faisons en procédant à des mesures. Mesurer, c'est, fondamentalement, dénombrer: dénombrer les choses individuelles ou les parties des choses[1], prises en tant qu'unités de la même espèce, situées les unes en dehors des autres, affectées d'extériorité spatiale ou dimensive. C'est ainsi que nous mesurons les longueurs. (La bûche de bois qui a deux pieds de long a un deuxième pied en dehors d'un premier pied). En fin de compte, c'est de cette façon que nous mesurons tout ce qui est mesurable, et que nous établissons des rapports entre les choses ou les pro-

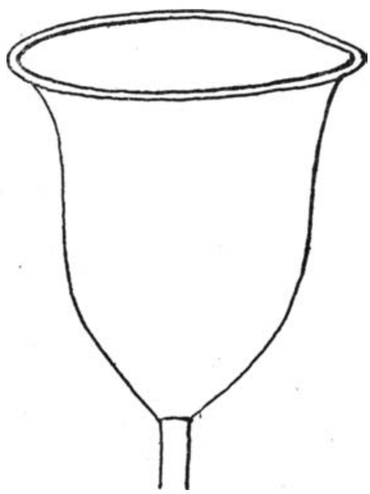

Fig. 3—Cloche et entonnoir d'un infusoire cilié (*Vorticella*); d'après Délage et Hérouard ('96).

priétés mesurables. Mais il est bon de faire remarquer que les mesures de certaines propriétés ne sont pas obtenues directement. Nous avons l'habitude d'évaluer et de comparer, d'une façon quantitative, le poids, la température et la couleur des corps, par exemple. Ces propriétés ne peuvent cependant être directement mesurées avec un mètre. Le poids, malgré son importance fondamentale pour la physique mathématique, n'est pas en lui-même une quantité mais une qualité. Pour pouvoir dire que deux corps ont le même poids, il faut qu'ils maintiennent les deux plateaux d'une balance à la même distance de la surface de la table. Le poids exact d'un objet est donné comme multiple d'un morceau à poids minimum choisi comme étalon. Si ce morceau de plomb est un gramme, un objet pesant dix grammes est celui qui exerce le même effet sur le plateau d'une balance que dix morceaux de plomb égaux au premier. De même,

1. S. Thomas, *In V Metaph.*, lect.8, nn.872-875.

la qualité que nous appelons température d'un corps n'est pas en elle-même mesurable. Mais elle détermine un allongement ou un raccourcissement d'une colonne de mercure dont la température est «inférieure» ou «supérieure» à sa température propre. Ce qui est directement perçu ou senti par nous comme une inégalité qualitative peut être de cette façon traduit en une différence dimensive ou quantitative, et, puisqu'il y a là une relation causale, le thermomètre nous donne des renseignements réels et exacts sur l'intensité de la température des corps. Même les couleurs peuvent être rattachées, suivant des procédés divers, à des valeurs quantitatives. On peut établir une échelle des différentes teintes obtenues par la dissolution d'un composé déterminé dans de l'eau distillée. Cette opération faite, une valeur numérique, ayant une signification réelle, peut être attribuée à chaque teinte rencontrée. Il est vrai qu'en se servant d'autres moyens, comme l'analyse spectroscopique, on peut trouver des valeurs quantitatives différentes pour des couleurs qui apparaissent identiques à l'œil. Ceci nous montre que les quantités obtenues au moyen des procédés de mesure n'ont pas identiquement la même signification que les qualités possédées par les corps. Mais, grâce aux relations causales qui existent entre les secondes et les premières, ces quantités ont une valeur d'expression réelle des qualités des choses.

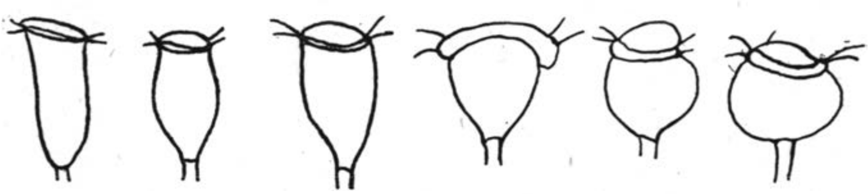

FIG. 4—Diverses espèces de *Vorticella*; d'après D'ARCY THOMPSON (*Growth and Form*, 1917).

Envisageons donc comment la science de la quantité peut venir s'intégrer dans la science biologique. Avant d'entreprendre l'application des mathématiques aux différents domaines que nous avons annoncés, jetons un premier regard d'ensemble sur l'objet traité par la biologie. Celle-ci, considérant les êtres vivants comme des corps, procède d'abord à leur classification. Elle les répartit en un certain nombre d'espèces, qui se définissent selon leurs propriétés sensibles. La propriété la plus fondamentale des corps, le premier accident, est la quantité[1]. Il faut donc s'attendre à trouver pour tous les corps, y compris les corps vivants, des valeurs quantitatives spécifiques. Le premier pas dans le traitement mathématique des êtres vivants consistera à déterminer ces valeurs. Il suffit de jeter un coup d'œil sur les œuvres descriptives des naturalistes modernes pour apprécier l'importance fondamentale de ces résultats. Dans toutes ses définitions des espèces vivantes, le systématicien s'efforce d'établir, non seulement pour l'ensemble de l'organisme, mais aussi pour ses diverses parties, des valeurs quantitatives exactes et spécifiques. C'est là un tra-

1. S. THOMAS, *In V Metaph.*, lect.15, n.983.

vail qui appartient essentiellement à l'époque moderne et dont on ne trouve guère de traces dans les encyclopédies du moyen âge. Les anciens, cependant, en reconnaissaient la nécessité, du moins en principe. Dans son *Commentaire sur les Sentences*[1], saint Thomas nous fait remarquer qu'un corps naturel n'est pas infiniment divisible. Au delà d'un certain point, la division de l'eau et de la chair ne donne plus eau et chair, mais d'autres substances. Pour chaque substance, il y a donc une valeur quantitative minime spécifique. Il s'ensuit que la détermination de cette valeur minime est un élément nécessaire pour la connaissance exacte des corps de la nature. D'autre part, il semble que, si l'on peut formuler une description quantitative exacte de toutes les espèces vivantes, l'apparition de ces espèces sous une forme donnée, est réglée par la nécessité mathématique.

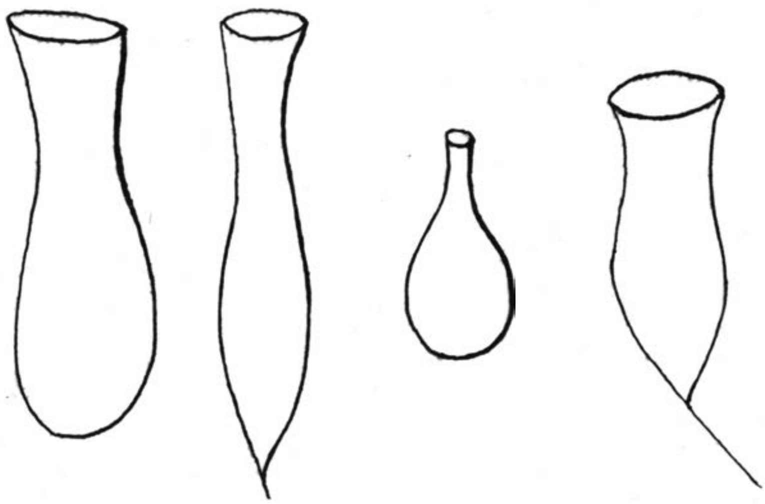

FIG. 5—Diverses espèces de *Salpingoeca*; d'après D'ARCY THOMPSON (*Growth and Form*, 1917).

Quoi qu'il en soit, il y aura lieu de revenir sur ce point, il faut assurément reconnaître que, puisque l'être vivant est un corps, il doit se conformer aux lois dimensives des corps. Certaines de ces lois s'appliquent de façon inéluctable à tous les corps. L'une des plus importantes concerne le rapport entre la surface et le volume. Dans tous les corps, quelle que soit leur nature, l'aire de la surface varie comme le carré des dimensions linéaires, et le volume varie comme le cube de ces dimensions. Ce qui s'exprime par les formules suivantes:

$$S \rightarrow L^2 \quad , \quad V \rightarrow L^3,$$

$$\text{ou} \quad S = KL^2 \quad , \quad V = K'L^3,$$

1. S. THOMAS, *In II Sententiarum*, dist.30, q.2, a.2.

ou K et K′ sont des constantes dont la valeur dépend du cas particulier,

$$\text{et} \quad \frac{V}{S} \qquad L \quad \text{ou} \quad \frac{V}{S} = \frac{K}{K'} L = K''L.$$

De ces rapports, résultent en biologie certaines conséquences importantes qui s'imposent impérieusement.

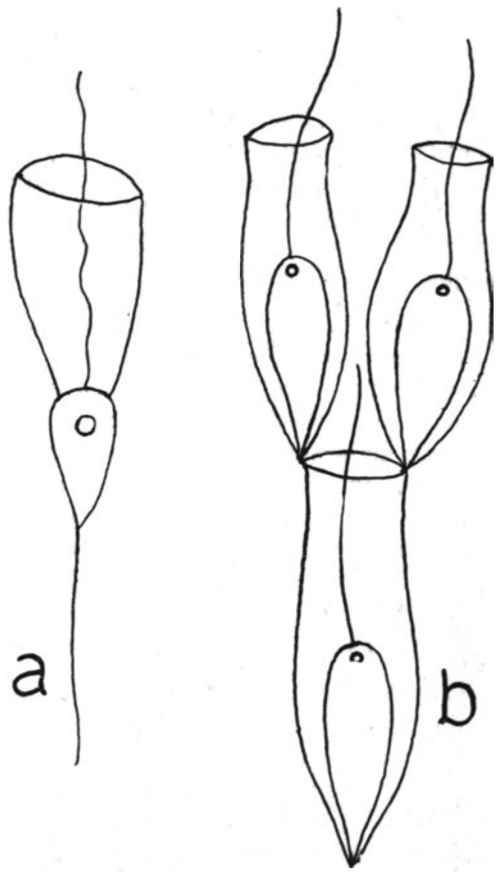

Fig. 6—Deux flagellés: a, Monosiga, b, Dinobryon; d'après Délage et Hérouard ('96).

Nombreux sont ceux qui, à l'heure actuelle, affirment que tout dans l'univers est relatif, et qu'il faut abandonner la notion de dimensions absolues. Selon cette opinion, «grand» et «petit» exprimeraient tout simplement des points de vue. Entre le grand, et le petit vu sous une loupe, il n'y aurait pas de différence réelle. Cette généralisation hâtive des principes de la physique moderne n'est pas soutenable dans le monde des corps. Puisque, toutes choses étant égales par ailleurs, le poids d'un corps dépend de son volume, il est évident que si un petit corps sphérique a une assise superficielle juste suffisamment rigide pour maintenir sa forme, un corps semblable, mais avec un diamètre deux fois plus grand sera plus ou moins déformé par l'effet de son propre poids, qui sera huit fois plus grand. Ainsi, un petit globule de mercure prendra une forme sphérique, mais un grand globule s'aplatit de plus en plus. C'est la raison pour laquelle nous ne trouvons pas dans la nature de très grands protozoaires sphériques, de plusieurs pieds de diamètre, par exemple. Un tel organisme s'écraserait contre le sol, attiré vers le bas sous l'effet de son propre poids, s'il ne possédait pas un solide squelette interne ou une enveloppe externe rigide.

Il faut remarquer aussi que le processus vital implique nécessairement des échanges continuels avec le milieu: l'absorption de la nourriture et de l'oxygène, le rejet des déchets divers. Or, toutes choses étant égales par ailleurs, la rapidité des échanges, dans un organisme monocellulaire, dépend de l'aire superficielle; et la quantité de nourriture nécessaire pour la vie, comme la quantité de matière résiduelle ou toxique qui doit être rejetée, dépend du volume. Il en résulte qu'au fur et à mesure qu'une cellule augmente de taille, le mécanisme des échanges avec le milieu devient de moins en moins adéquat pour le maintien de la vie.

Des amateurs de science naturelle s'amusent parfois à faire des comparaisons entre la force physique des insectes et celle des animaux supérieurs, et à en tirer des conclusions mirifiques à l'avantage des premiers. Une puce arrive à sauter environ deux cents fois plus haut qu'elle-même; si l'homme avait la force de la puce, disent-ils, il pourrait faire un saut de douze cents pieds. Mais, en réalité, la force du muscle dépend de l'aire latérale d'une section transversale, tandis que la masse à soulever dépend du volume. Il n'est donc pas étonnant que, toutes choses étant égales par ailleurs, par l'effet de rapports quantitatifs inéluctables, l'animal de petite taille puisse facilement faire des déplacements plus grands par rapport à ses propres dimensions que l'animal de grande taille.

Comme nous l'avons déjà constaté, à moins d'être muni d'un appareil de renforcement — d'un squelette interne comme les vertébrés, les spongiaires ou les coraux, d'un squelette externe comme les arthropodes —, un animal constitué par une masse protoplasmique peu dense ne peut pas augmenter indéfiniment de taille, sauf dans le cas où il prend la forme d'une croûte ou film comme les amibes ou les myxomycètes. Toutefois, il faut faire exception pour les animaux qui vivent immergés dans l'eau de la mer, et dont les tissus, comme il arrive dans certains cas, ont une densité voisine de celle de l'eau. Leur poids est, comme on le sait, diminué par celui du volume d'eau qu'ils déplacent. C'est pourquoi certains animaux aquatiques sans squelette, comme les méduses, atteignent des dimensions considérables et conservent une forme bien développée et assez compliquée. Jetées sur la rive, les méduses s'aplatissent sur le sable et ne peuvent plus se déplacer. En raison de ces mêmes principes, la baleine, dont la taille chez certaines espèces dépasse de beaucoup celle de tous les autres animaux qui existent actuellement, arrive à se déplacer avec une grande rapidité. Chez la baleine, la densité des tissus est à peu près celle de l'eau de mer, de sorte que on poids est complètement contre-balancé. Son pouvoir musculaire, qui dépend de la masse de ses muscles, n'est contrarié que par la friction superficielle, qui ne s'accroît qu'en rapport avec le carré des dimensions linéaires. Par contre, les grands animaux terrestres, qui ne jouissent pas de ces «avantages mathématiques», se montrent déjà lourds et embarrassés dans leurs mouvements, comme nous le constatons chez l'éléphant.

Nous venons de considérer, d'une façon très élémentaire, les conséquences de certains rapports dimensifs d'un ordre très général qui existent chez les êtres vivants. Mais, les morphologistes ont pu démontrer l'existence dans les corps vivants de relations quantitatives régulières beaucoup plus complexes. Ce sont des conceptions que n'ont jamais pu admettre certains philosophes vitalistes. «Dans le domaine de la vie, a dit Henri Bergson, le calcul a prise, tout au plus, sur certains phénomènes de destruction organique. De la création organique, au contraire, des phénomènes évolutifs qui constituent proprement la vie, nous n'entrevoyons même pas comment nous pourrions les soumettre à un traitement mathématique»[1]. En réalité, il est fort possible de trouver et de reconnaître chez les êtres vivants des *formes* susceptibles d'une définition mathématique. Il ne s'agit pas seulement des formes que le mathématicien appelle mixtes, mais aussi des formes géométriques pures. Les formes mixtes, tels le triangle et le cube, sont composées de parties qui correspondent à des lois mathématiques diverses. Dans la forme géométrique pure, au contraire, tous les points qui la composent dérivent d'une seule et même loi, comme c'est le cas pour la ligne droite, l'hyperbole, le cercle, l'ellipse et la sphère.

La forme sphérique, tout d'abord, se rencontre très souvent dans le monde vivant. Les œufs d'une foule d'animaux et de plantes, beaucoup d'organismes monocellulaires, ainsi qu'un certain nombre de métazoaires (comme l'Oursin paléozoïque) sont sphériques. D'une façon générale, on peut dire que cette forme tend à se montrer chaque fois que nous avons une cellule libre dont la densité interne et l'enveloppe externe sont physiquement uniformes.

Il est intéressant de remarquer que la surface sphérique appartient à une famille mathématique dont les autres membres ont également une importance considérable pour la physique et la biologie. Il y a six espèces de surface dans cette famille: le plan, la sphère, le cylindre, le caténoïde, l'onduloïde et la surface appelée par Plateau, le nodoïde. Toutes sont ce que le mathématicien appelle des surfaces de révolution, étant symétriques par rapport à leur axe. Chacune d'entre elles peut être considérée comme engendrée par le mouvement d'une ligne d'une certaine espèce tournant autour d'un axe. Certaines courbes parmi ces lignes peuvent être regardées comme engendrées à leur tour par d'autres courbes. Elles sont, en effet, ce qu'on appelle des roulettes de sections coniques, à savoir, le cercle, l'ellipse, la parabole et l'hyperbole. En effet, si nous faisons rouler une

1. HENRI BERGSON, *L'Evolution créatrice*, 18e éd., Paris, p.21.

section conique sur une ligne droite, le trajet suivi par le foyer de la courbe qui roule sera la roulette. Ainsi, si nous faisons rouler une ellipse (Fig. 1, p.78) le trajet suivi par le foyer de cette figure est une courbe sinueuse ou ondulée, avec des maxima et des minima. Le mouvement de cette courbe autour

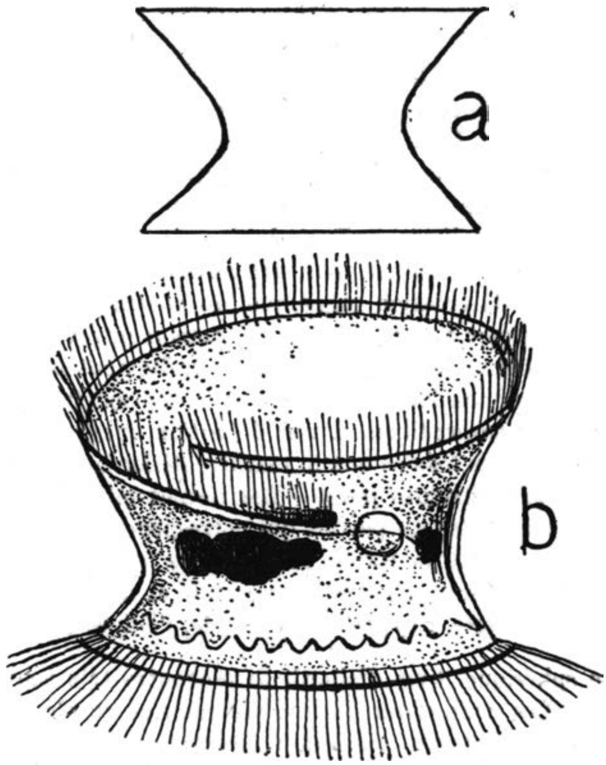

FIG. 7—a, Nodoïde; b, infusoire cilié, *Trichodina pediculus*: d'après D'ARCY THOMPSON (*Growth and Form*, 1917).

de la ligne droite ou autour de l'ordonnée maxima engendre la surface onduloïde. Comme on le voit, la sinuosité plus ou moins marquée de la roulette de l'ellipse dépend du rapport entre les deux axes. A la limite où ce rapport devient égal à un, l'ellipse se transforme en cercle, et, dans ce cas, la roulette est tout simplement une ligne droite, dont la révolution autour de la ligne axiale donne un cylindre. Le cylindre peut donc être regardé comme le cas limite de l'onduloïde. Si la longueur de l'un des axes de l'ellipse diminue jusqu'à zéro, tandis que l'autre conserve une valeur finie, l'ellipse se réduit à une ligne droite, dont les deux extrémités représentent les foyers. Chacun de ces derniers donne une roulette en forme de demi-cercle, dont la révolution autour de l'axe produit la surface sphérique. Supposons maintenant qu'un des foyers de l'ellipse se trouve à une distance finie de la ligne axiale tandis que l'autre foyer s'en éloigne indéfiniment. L'ellipse se transforme en parabole. Le mouvement de la parabole sur la ligne axiale donne la caténaire, qui engendre la surface caténoïde. De même, le roulement de l'hyperbole, dont le cas présente certaines difficultés spéciales, donne une courbe qui engendre, en tournant autour de son axe, la surface dite nodoïde.

Dans le monde vivant, et surtout dans les cellules individuelles et chez les protozoaires, nous trouvons souvent des exemples de surfaces de cette famille mathématique. Ainsi, les cellules qui constituent l'épithélium cuticulaire chez les larves de certains Muscides ont la forme d'un demi-onduloïde (Fig. 2, p.79). Parmi les Infusoires, les Vorticelles, (Fig. 3, p.80 et Fig. 4, p.81) dont le corps est constitué par une sorte de cloche portée par une tige délicate, présentent, selon les diverses espèces de cloches, toute une série d'onduloïdes: il existe tous les intermédiaires entre la cloche presque cylindrique d'une part et la cloche sphérique de l'autre. Les belles formes des Flagellés, Salpingoeca, Monosiga, Dinobryon (Fig. 5, p.82 et Fig. 6, p.83) et d'autres appartiennent au même type géométrique. La forme cylindrique existe partout dans le monde organique. Les surfaces caténoïdes et nodoïdes sont plus rares, mais on les trouve de temps en temps[1] (Fig. 7, p.86).

Si la forme d'une cellule ou d'un infusoire peut être définie mathématiquement, il s'ensuit forcément que toutes les relations quantitatives impliquées par la définition s'appliquent à ces formes. Si un œuf d'Echinoderme est sphérique, les rapports entre les valeurs quantitatives de cet œuf seront forcément donnés par les équations: $S = 4\pi r^2$ et $V = \frac{4}{3}\pi r^3$; et les conditions physiques posées pour le mouvement vital auront ces rapports comme base nécessaire.

On peut néanmoins objecter, et c'est en fin de compte le sens fondamental des remarques de M. Bergson, que la fixité absolue des formules mathématiques est incompatible avec le mouvement d'adaptation et la spontanéité vitale dont il dépend. A l'appui de cette objection, on fera remarquer que les organismes vivants et les cellules ne sont pour ainsi dire jamais exactement conformes à la définition mathématique. L'œuf de l'Echinoderme, ordinairement du moins, n'est pas parfaitement sphérique. La forme de l'infusoire est à peu près celle d'un onduloïde, mais on y trouve, dans la grande majorité des cas, certaines irrégularités qui démontrent d'une façon visible que le libre mouvement de la vie déborde les cadres rigides des lois mathématiques. Mais cette objection, répondent les biomathématiciens, dérive d'une méconnaissance des faits. Il est exact que la forme de l'être vivant présente bien souvent, sinon toujours, des irrégularités visibles par rapport à la forme mathématique correspondante. Mais de pareilles irrégularités se retrouvent dans la matière non vivante. La goutte d'eau, la bulle de savon ne sont jamais des sphères parfaites; la chaîne suspendue par les bouts ne suit pas la ligne exacte d'une courbe caténaire. Il n'y a pas, à ce point de vue, de différence fondamentale

1. D'Arcy W. Thompson, *Growth and Form*, 1917; W.R. Thompson, *Trans. Ent. Soc.*, London 1929, p.218.

entre la matière vivante et la matière non vivante. Pas plus dans un cas que dans l'autre cas, la forme de l'être matériel n'est identique à une forme mathématique. Il ne peut exister entre elles qu'une approximation, qui s'explique par la complexité du système de forces qui détermine les formes matérielles.

D'autre part, il faut remarquer que la série de formes que nous avons étudiées d'une façon très superficielle dans cette première partie, peut être regardée comme la manifestation ou le résultat d'une simple loi physique, à savoir que tout système matériel tend à se disposer de telle sorte que son énergie potentielle soit réduite au minimum. Dans une parcelle de matière physiquement homogène, soustraite à l'action de forces externes — comme dans le cas d'une bulle de savon flottant librement dans l'air ou d'une goutte d'un liquide suspendue dans un autre —. la force que le physicien appelle la tension superficielle tend à se répartir uniformément sur chaque partie désignable de la surface. L'opération de la loi dont il s'agit a donc pour effet de réduire cette surface au minimum. Or, le type parfait de la surface dite d'*area minima*, c'est-à-dire celle dont les dimensions sont aussi petites que possible par rapport à celles du volume, est la surface sphérique. Les autres surfaces, mentionnées plus haut dans cette étude, ne sont des surfaces d'*area minima* que d'une façon relative, par rapport à certaines conditions physiques qui empêchent la réalisation du type parfait. Toutes, cependant, expriment la tendance fondamentale des systèmes matériels à passer à l'état où leur énergie potentielle est réduite au minimum.

Point n'est besoin de signaler que la potentialité dont il s'agit ici n'est pas celle dont il est question en philosophie scolastique. La potentialité, en langage de physicien, a pour unique signification qu'un ressort tendu, si on ne l'en empêche pas, se détend; qu'une bille de billard, placée sur un plan incliné, roule en bas; qu'une bulle d'air sortant d'un tube au fond d'un verre d'eau, monte à la surface. Ce que le physicien appelle dans ces divers cas l'énergie potentielle, c'est simplement une certaine détermination actuelle de la matière, une capacité active de faire un certain montant de «travail», qui est en train de s'exercer, et le fera tant que les conditions où le système se trouve le permettront.

C'est évidemment une propriété qui appartient à tous les êtres matériels sans distinction. Placés au sommet d'un plan incliné, un œuf ou une pomme de terre roulent vers le bas, comme le fait la bille de billard. Les procédés employés pour étudier et analyser cet événement physique sont essentiellement les mêmes dans tous les cas, et s'appliquent aussi bien, que l'objet soit un être vivant ou non vivant. L'être vivant, objet de la science biologique, est un être matériel. Il doit donc se conformer, comme nous l'avons déjà montré succintement pour sa forme, aux lois communes des systèmes matériels, disons, aux lois de la mathématique.

W. R. THOMPSON.