

57

# RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES

29

C.P. BRUTER

## topologie et perception

TOME II

aspects neurophysiologiques

*2  
A Tale come  
I rouge  
and hendryls*

# TOPOLOGIE ET PERCEPTION

TOME II  
ASPECTS  
NEUROPHYSIOLOGIQUES

30R  
r3440  
(311)

382

DL-19 5 1976-11459

*Du même auteur :*

**Topologie et Perception.** Tome I, Bases Mathématiques et Philosophiques, Maloine-Doin, 1974.

*Chez d'autres éditeurs :*

**Les Matroïdes.** Collection Initiation aux Nouveautés de la Science, Dunod, 1970.

**Sur la Nature des Mathématiques.** Collection Discours de la Méthode, Gauthier-Villars, 1973.

**Eléments de la théorie des Matroïdes.** Lecture Notes 387, Springer-Verlag, 1974.

RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES

*Collection dirigée par Pierre Delattre*

---

Claude Paul BRUTER

*Docteur ès sciences*

# TOPOLOGIE ET PERCEPTION

TOME II

## ASPECTS NEUROPHYSIOLOGIQUES

108 figures

2 planches hors texte

---

DOIN S. A. Editeur - 8, place de l'Odéon, 75006 Paris

MALOINE S. A. Editeur - 27, rue de l'Ecole de Médecine, 75006 Paris



© — Maloine S. A. éditeur, Paris 1976

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa premier de l'article 40).

« Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal. »

Maloine	{ ISBN 2-224-0075-8 (Collection)
	{ ISBN 2-224-00265-3 (Topologie et perception Tome II).
Doin	{ ISBN 2-7040-0047-6 (Collection)
	{ ISBN 2-7040-0091-3 (Topologie et perception Tome II).

TROISIÈME PARTIE

**ASPECTS NEUROPHYSIOLOGIQUES**

# ASPECTS NEUROPHYSIOLOGIQUES

THE FIRST PART OF THE PAPER

The first part of the paper is devoted to a study of the effects of various factors on the response of the nervous system to electrical stimulation. The results show that the response is highly dependent on the intensity and duration of the stimulus, and that there is a significant difference in the response between different groups of subjects. The authors conclude that the response is a complex phenomenon involving both the central and peripheral nervous systems.

It is concluded that the response is a complex phenomenon involving both the central and peripheral nervous systems. The authors suggest that further studies should be conducted to investigate the underlying mechanisms of this response.

« On peut donc imaginer que l'être élémentaire aussi bien que l'être complexe est ainsi engagé dans une sorte de trajectoire idéale qui lui impose son développement. »

Claude BERNARD, *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux,*

Nouvelle édition : J. Vrin, Paris, 1966.

« Les Déistes, & les Chrétiens mêmes devoient donc se contenter de faire observer que dans tout le Règne Animal, les mêmes vûes sont exécutées par une infinité de divers moïens, tous cependant exactement géométriques. »

LA METTRIE,

*L'Homme Machine*, J. J. Pauvert, Paris, 1966.



## O *ubi campi*

La réalisation de toute œuvre exige « la tranquillité des champs », entendons celle de l'esprit. Cette quiétude sera toujours chèrement acquise, tant sont fortes les passions immédiates des hommes, esclaves malheureux des réactions souvent brutales, immodérées, parfois inconséquentes, de leur substrat neurophysiologique.

Au milieu de quelques-unes de ces tempêtes, dont les causes resteront lointaines aux esprits affaiblis par les mœurs du temps, j'ai eu la bonne fortune de pouvoir consacrer quelques mois à la rédaction et à la préparation matérielle de cet ouvrage.

On ne peut, à l'heure actuelle, réaliser une entreprise semblable sans bénéficier de la proximité d'un des grands centres où s'étudie la neurophysiologie. La masse livresque à consulter est importante, les connaissances se renouvellent rapidement : il est nécessaire de pouvoir puiser sans difficulté dans les richesses de bibliothèques bien fournies — dont le nombre et la qualité reflètent la puissance intellectuelle d'un pays. A cet égard, je remercie de son hospitalité la bibliothèque du Laboratoire de Physiologie Nerveuse de Gif-sur-Yvette.

De nombreux neurobiologistes ont mis à ma disposition des articles et des livres de qualité qui furent pour moi les sources de connaissances nouvelles et fécondes ; je suis heureux de pouvoir ici rendre hommage à MM. P. Cazard et Pierre Etevenon, aux Professeurs P.C. Boulet et Alfred Fessard.

J'ai une dette toute particulière envers Pierre Delattre et son équipe, auprès de qui j'ai non seulement trouvé une littérature de grande valeur, mais aussi, pendant la période de rédaction de ce texte, un réconfort moral d'une très rare qualité. Sur ce point, je n'aurais garde d'oublier l'aide que le Professeur Boris Rybak et plusieurs mathématiciens m'ont apportée.

Bures/Yvette, le 26 octobre 1974.

Les remarques pertinentes sur mon manuscrit dont le Professeur B. Rybak a bien voulu me faire part, m'ont été fort précieuses. Ma reconnaissance envers le professeur A. Fessard est non moins grande. Il m'a conduit, en particulier, à compléter et à enrichir les chapitres consacrés au nerf et à la mémoire. Son souci d'exactitude et de clarté m'a conduit à préciser davantage mon point de vue sur l'énergie. Je ne saurais trop le remercier d'avoir eu la générosité de me consacrer de si nombreuses et longues séances d'un travail méticuleux de mise au point, et d'échange fructueux de pensées.

Bures, le 2 avril 1975.



## INTRODUCTION

Cette introduction est divisée en quatre parties : la première expose le pourquoi de cet ouvrage ; la seconde, la méthode que je me suis essayé à employer ; la troisième partie présente quelques conclusions que j'ai pu tirer de cette étude ; quelques remarques d'ordre général, qui complètent l'exposé philosophique du tome I, font l'objet de la quatrième partie ; ces propositions nouvelles trouvent leur application dans ce texte.

### 1. But et plan général de l'ouvrage.

Comment se forment nos pensées ? Tel est le fascinant mystère que bon nombre de savants s'efforcent aujourd'hui de percer. *Topologie et Perception* voudrait apporter une contribution, aussi minime soit-elle, à cette passionnante recherche.

Dans le tome I première partie, quelques règles de constitution ou de comportement ont été données, auxquelles semblent obéir la majeure partie des objets naturels que nous connaissons. Notre pensée est soumise à ces règles. La seconde partie exposait un langage métaphorique, celui des mathématiques. L'emploi de ce langage pour décrire les formes ou l'évolution des processus provoque parfois une sensation de joie qui inonde le corps de sa chaleur au moment où s'initie la « compréhension » profonde du pourquoi de la forme.

Voici la troisième partie de *Topologie et Perception*. Elle est consacrée à la neurophysiologie du cerveau. Personne aujourd'hui ne contesterait la nécessité d'en approfondir la connaissance. Au siècle dernier déjà, les pédagogues de renom, C. Marcel en France, Spencer en Grande-Bretagne, recommandaient avec insistance l'étude de la physiologie et de l'éthologie. Car le développement de la pensée a pour substrat celui de notre corps, qui a ses lois. Dans la mesure où celles-ci sont le reflet de processus dotés d'une très grande stabilité structurelle, nous ne pouvons, aujourd'hui, que nous plier à ces lois. Evidemment certains progrès des sciences biologiques peuvent donner à penser que nous parviendrons, compte tenu des contraintes spatiales et logiques, à maîtriser la stabilité de mécanismes de plus en plus profonds, et que certains processus de développement pourront être freinés ou bien accélérés, voire modifiés dans leur destin pour donner naissance à des

êtres nouveaux. Mais à l'heure actuelle, vouloir faire pression sur la nature de l'être en s'écartant du code, conduit au désastre ; la personnalité de l'individu peut être faussée, étouffée même, voire cassée. L'étude qui est entreprise ici ne vise à aucune recherche pédagogique, mais avant tout à mettre en évidence, s'il est possible de le faire, des mécanismes physiologiques archétypes, qui nous imposent certains types de comportements, auxquels, en général, nous associons des concepts. Il faudrait ensuite définir avec précision le support physiologique de ces concepts, pour mieux comprendre comment ils arrivent à se perpétuer au cours du temps, à se combiner entre eux, et ainsi donner naissance aux pensées les plus subtiles. On verrait alors dans quelles circonstances, par quels moyens, ces pensées peuvent être, selon l'âge, modifiées, appauvries ou enrichies.

Comme toutes ces pensées sont fonction des propriétés de la Nature que nous parvenons à saisir, la part de cet ouvrage consacrée à l'étude du système perceptif adulte est importante. « Nihil est in intellectu quod non prius fuerit in sensu » affirme Aristote, et Helvétius remarque : « Aristote, Gassendi, Montaigne entrevoient confusément que c'est à nos sensations que nous devons toutes nos idées. Locke éclaircit, approfondit ce principe, en constate la vérité par une infinité d'applications. » Bien entendu, ce n'est pas la seule physiologie du système perceptif périphérique qu'il faudrait bien connaître, mais celle, encore plus complexe, du système perceptif intégrateur de toutes nos perceptions.

En gros, les chapitres III.6 à III.12 de cet ouvrage rassemblent les données physiologiques qui ont trait à l'organisation du système nerveux central, alors que les chapitres III.13 à III.15 traitent du système sensoriel. Auparavant, les chapitres III.0 à III.5 introduisent quelques préliminaires phylogénétiques ou généraux qui intéressent l'ensemble du système nerveux.

Chaque chapitre comprend d'abord un exposé sur les connaissances expérimentales les plus récemment acquises dans le domaine particulier qui est traité. Sous le titre de métaphores géométriques ou de commentaires, sont donnés ensuite des schémas d'explication possible, à base mathématique ou non, des faits expérimentaux précédemment décrits.

Ces paragraphes de commentaires auraient dû, dans leur ensemble, être écrits au conditionnel, car je n'y présente que des *hypothèses* de travail. Toutefois, afin d'alléger l'écriture, j'ai adopté, en général, le style affirmatif. Convaincu de la justesse du point de vue exposé, le lecteur s'accommodera fort bien de l'emploi de l'indicatif présent. S'il est, au contraire, choqué par la brutalité de l'assertion, peut-être voudra-t-il bien se souvenir alors, que la phrase ou le passage incriminés se situent en fait dans un contexte hypothétique.

La complexité du système nerveux est très grande, la lecture de ces textes demandera certainement quelque effort au lecteur non initié. Il peut lire séparément chaque chapitre ; toutefois, comme chacun d'eux fait en général appel à des notions exposées dans tous ceux qui le précèdent, il semble préférable de procéder d'abord à une lecture rapide et complète de l'ouvrage. Des figures, que j'ai voulu nombreuses, faciliteront cette lecture. Les figures remplacent de longues descriptions, de difficiles discours ; elles rassemblent d'une manière qui frappe les sens des données très diverses ; leur synthèse s'opère alors dans l'esprit avec aisance, la compréhension s'affine ou bien s'initie après de discrètes observations, souvent répétées, qui font mûrir puis éclater la connaissance.

Etant donné la particularité du sujet traité, et le développement pris par cette troisième partie de *Topologie et Perception*, il est apparu nécessaire de la publier séparément. La neurophysiologie classique en est l'objet principal. Ainsi, l'élaboration psycho-physiologique de la perception n'est pas abordée dans le texte présent. Un tome 3 paraîtra donc, qui traitera des données sociologiques, psychologiques pesant sur la formation de la perception et de la pensée, sur l'établissement du langage. Le troisième tome s'articulera autour de ces thèmes. Naturellement, on supposera acquise la substance des deux tomes précédents, de même que la lecture du présent volume sera facilitée par une certaine connaissance du contenu du tome premier. Notons enfin que le livre intitulé « Sur la nature des mathématiques » [36] peut servir d'introduction aux thèses développées dans les trois tomes de *Topologie et Perception*.

## 2. La méthodologie adoptée.

« Je t'annonce un double discours. » Ces mots d'Empédocle d'Agri-gente résument le plan de ce paragraphe, où je dis en premier lieu l'importance de la méthode historique et globale ; en second lieu, l'intérêt pour le savant d'utiliser des métaphores mathématiques ; j'essaierai alors de donner le mode d'emploi des modèles dynamiques.

### 2.1 Importance de la méthode historique.

2.1.1 On peut lui donner différents noms, génétique, phylogénétique, ontogénique ; Platon, dans le *Timée*, la qualifie de « naturelle » : c'est la méthode que nous suivrons.

Tout objet possède une vie propre, et l'espèce à laquelle il appartient, une longue histoire. Les événements façonnent avec le temps l'objet, le cours de son évolution. Connaître véritablement l'objet,

c'est, avant tout, avoir percé les secrets de son histoire, de la lignée dont il est, à la fois, l'aboutissement, et une projection.

Evidemment, il n'est guère de biologiste qui contestera le bien-fondé de cette méthode. Chacun s'acharne d'ailleurs à rappeler la nécessité de son emploi. « On ne comprend une chose que lorsqu'on en connaît la genèse » écrit L. Cuénot. Le début de l'ouvrage proprement dit commencera par une citation de Darwin qui va dans le même sens.

Il faut, encore aujourd'hui, répéter les mêmes paroles. Pourquoi trouvent-elles un écho si faible ? Parce que les esprits sont mal formés à la synthèse, ont du mal à prendre ce recul qui permet la vision d'ensemble. Parce que la pensée, absorbée par la finalité de l'acte, perd l'habitude de réfléchir à sa motivation lointaine et passée, de se retourner en arrière pour mieux embrasser la perspective du présent, et la prolonger dans le futur. Celui qui ne possède pas de don pour l'histoire, ne peut être bon prophète.

Point n'est besoin d'être devin pour affirmer que les études phylogénétiques ne connaîtront pas de répit. Dans la mesure où tous les maillons de la lignée sont présents, nous pouvons observer le rythme lent de l'évolution, en décrire la dynamique dont la morphologie, à des transformations métriques près, reste invariante au cours de la projection ontogénique. On peut donc penser qu'il existe des situations finales plus faciles à décrire à partir de leur phylogenèse, que par le biais de leur ontogenèse.

Le peu de connaissances approfondies en matière de phylogenèse — en dépit de la dimension de quelques très bons ouvrages — limite nos études selon cette approche. C'est dire l'étendue de l'effort que doit encore fournir le corps des biologistes.

2.1.2 L'historien possède une vision globale des événements ; et c'est sur l'aspect global de la méthode historique qu'il convient d'insister maintenant. Car l'observation montre (OP 21) que l'évolution opère ou bien sur des objets distincts qu'elle rassemble en unités organiques, ou bien sur des objets, à l'origine indifférenciés, qui se *fragmentent* avec l'écoulement du temps en parties plus ou moins indépendantes.

Tout le travail des biologistes et des physiciens expérimentateurs consiste, semble-t-il, à suivre la seconde méthode choisie par la Nature dans son avancée (cf. Fig. 97) ; par exemple, en physique nucléaire, on bombarde un objet « macroscopique » pour le fragmenter en petits morceaux « indépendants ». L'expérimentateur adopte la méthode que j'appelle globale : en effet, cette démarche, adoptée par les partisans des conceptions globales qui infèrent certaines propriétés des parties à partir de celles du tout, nécessite, au préalable, la décomposition

spatiale de la totalité en parties bien spécifiées. A l'inverse, le théoricien suit, le plus souvent, la méthode que l'on pourrait peut-être qualifier de réductionniste : à partir des petits morceaux, il cherche à reconstituer le tout. Son travail est très difficile et souvent infructueux, car il ignore le détail des interactions entre parties, qui dépendent de la nature et de la localisation spatio-temporelle de ces parties, de leur importance relative par rapport au tout. Ensemble d'interactions localisées, qui fournissent la base géométrique des régulations internes, et caractérisent, dans une large mesure, les propriétés des parties considérées. L'échec relatif de la méthode réductionniste stimule le désir d'employer la méthode globale. Implicitement, Spinoza en était un défenseur ardent : « La foule des philosophes commence par les créatures ; Descartes par l'âme ; moi je commence par Dieu. » La raison d'être de cette méthode n'avait pas échappé aux philosophes du siècle dernier : « L'intelligence, considérée dans son ensemble ou dans chacune de ses facultés, commence par les distinctions les plus grossières entre les objets et les actions, pour finir par des distinctions d'une finesse et d'une netteté croissantes. Nos cours d'études et nos méthodes... doivent se conformer à cette loi générale » écrit Spencer.

Il va sans dire, qu'à l'heure actuelle, l'usager de la méthode globale rencontre d'aussi grandes difficultés que l'amateur des méthodes réductionnistes. Mais que la première soit la méthode naturelle donne foi en elle, d'autant plus que quelques bons auteurs ont cherché d'instinct à la mettre en œuvre.

Le progrès dans ce domaine, est venu, semble-t-il des mathématiciens qui ne vivaient pas dans la seule sphère de leur discipline. Voici une forme mathématique globale, le lagrangien : on en déduit les équations des mouvements des parties. Les données du potentiel électrostatique, de la géométrie du condensateur, permettent de connaître les trajectoires des électrons au moment de la décharge. Enfin, grâce aux potentiels de Waddington-Thom, on peut suivre l'évolution d'une morphologie et, à ce titre, la théorie des catastrophes ouvre un champ immense de possibilités conceptuelles enrichissantes.

Comme on le remarque dans les exemples qui précèdent, quel que soit le nom qu'on lui donne, un lagrangien ou un potentiel, la donnée de départ dans l'emploi de la méthode globale est celle d'une énergie, d'une « âme », au sens <sup>(1)</sup> où l'entendaient Démocrite, et, semble-t-il, certains Pythagoriciens [0]. Evidemment, cette notion d'énergie est obscure, bien qu'en physique son emploi soit constant. On regrettera d'autant plus l'absence, dans la littérature scientifique, d'analyse

---

(1) Ame ou anima, ce qui produit le mouvement.

épistémologique de ce concept. A moins d'apparaître sous la forme de ce feu dont Bachelard a étudié la richesse de signification pour l'esprit, l'énergie échappe à notre perception sensorielle, et ne peut que lui échapper : l'énergie est une notion intégrale alors que notre perception ne décèle que des dérivées. Ce n'est qu'au niveau le plus intégrateur de notre cerveau que cette notion d'énergie prend à nouveau un sens. L'énergie synthétise les rapports entre l'objet, pris comme un tout, et le milieu dans lequel il baigne. Dérivée l'énergie, c'est faire l'étude dynamique locale de ces rapports. Aussi comprend-on que l'on puisse se dispenser de faire appel à cette notion délicate lorsque, par exemple, dans certaines théories des systèmes bien fondées [57], on parvient à se donner la géométrie de ces échanges, et les équations différentielles qui les régissent. En général on ignore ces propriétés fines, et l'on est en présence seulement de l'objet brut. Réfléchir alors aux propriétés possibles de son énergie n'est peut-être pas inutile.

Certains voudraient éviter de faire appel à cette notion, proprement méta-physique, parce qu'il est difficile de la matérialiser, non par ses effets, mais en soi. Tuer le rêve, c'est tuer l'homme : la neurophysiologie nous l'apprend.

## 2.2 *La métaphore mathématique.*

2.2.1 Et le rêve est d'autant plus licite que la Science n'est qu'une sorte de magie décevante pour notre exigence de compréhension profonde, aveuglante dans la mesure où le crédit qu'on lui accorde parfois est beaucoup trop élevé. La Science comporte d'abord une partie descriptive et taxonomique : faire l'inventaire des objets de la Nature, celui des différents types de galaxies, d'espèces, de molécules biochimiques, de particules élémentaires, de variétés algébriques, etc. Elle comprend ensuite une partie explicative qu'on peut diviser en deux branches : la seconde utilise les données de la première pour fournir des schémas d'explication causale des faits d'observation. La première, la seule qui mérite le qualificatif de fondamentale, recherche, par comparaison et abstraction, les observations premières, les lois générales qui, apparemment, ne peuvent être déduites d'un corpus de lois distinctes de ces lois générales. Ceux qui ont trouvé les lois de la gravitation et de la pesanteur, de l'électromagnétisme, de la mécanique ondulatoire, ont fait de la recherche fondamentale. Les progrès en ce domaine sont les plus lents qui soient. La magie se situe au niveau des lois fondamentales, et, par voie de conséquence, tout au long de l'échelle descendante de la Science. C'est de la magie que de faire bouger des paillettes de limaille de fer avec un aimant. Et la pensée magique est l'expression d'une préscience des forces cachées

2.2.2 Nul ne peut prétendre avoir compris le phénomène parce qu'il en aura établi l'équation. Il fait froid : parce qu'il ne fait pas chaud. Il ne fait pas chaud : parce qu'il fait froid. La présence, dans ces phrases, d'un « parce que » ne donnera à personne l'illusion qu'a été trouvé un schéma d'explication causal du fait « il fait froid ». De la même façon, les modèles mathématiques n'expliquent pas le monde, car la Science n'est souvent qu'une vaste tautologie : les logiciens, au moins dans leur discipline, en sont parfaitement conscients. Les modèles décrivent les aspects les plus importants du monde phénoménal, et s'appuient sur les mathématiques : à la fois langage qui s'enrichit sans cesse, et discours inachevé. La sémantique des *traits pertinents* de l'objet est *projetée* sur la sémantique d'un corpus de termes puisés dans le langage mathématique. Mais toute projection entraîne, en général, un appauvrissement du sens ; et certaines phrases du discours peuvent n'avoir, de ce fait, aucun intérêt : le modèle peut devenir alors sans signification.

Il est essentiel d'insister sur les propriétés sémantiques communes, aux termes du langage et aux faits de la Nature, à ses objets. Ces propriétés fondent la valeur analogique des modèles. *Tout modèle est métaphore, tout modèle est analogie, et l'analogie est la méthode fondamentale de la Science.* La taxonomie repose sur l'analogie, la recherche de la cause s'appuie sur l'observation des similitudes des formes, au voisinage des bords, d'objets « conséquents » les uns des autres.

On ne peut concevoir l'*ana-logos* sans l'existence d'un schéma dynamique sous-jacent unique et universel. Or si le travail de la Philosophie, la mère, et de la Science, sa fille, est de trouver, classer et codifier les invariants selon lesquels le monde s'organise, on ne peut se passer de faire appel à la méthode première qui consiste à rechercher les analogies. Pas de Science sans Analogies, car sinon chaque phénomène, chaque état, chaque objet serait unique.

De nature qualitative (dynamiques, morphologiques, structurelles, ...), ces analogies sont plus ou moins visibles. Certaines sont trompeuses : aussi la recherche épistémologique, qui examine le bien-fondé des modèles, mérite-t-elle d'être davantage développée. Certains modèles mathématiques ont un intérêt restreint, quelquefois nul car ils sont mal établis. Disons que, comme les philosophes entretiennent l'âme de la philosophie, même s'ils ne peuvent apporter à cette noble discipline rien de vraiment neuf puisque « toute philosophie est grecque », pareillement, les bâtisseurs de modèles entretiennent le goût pour l'art de construire, transmettent les techniques de construction, forment à leur tour des architectes. L'histoire est là, de toute façon, qui fera le tri entre le bon grain et l'ivraie, entre les modèles de valeur, et les autres pareils à des fleurs éphémères.

Les modèles mathématiques sont comme des phares qui éclairent

les objets sous des lumières nouvelles. Les conclusions qu'en peut tirer l'observateur sont de nature spatio-temporelle : soit qu'on aperçoive des propriétés de l'objet qui, jusqu'à présent avaient échappé à l'attention, soit qu'on déduise le comportement futur des propriétés déjà reconnues de l'objet.

Encore aujourd'hui, de bons esprits ne reconnaissent de valeur à la Science que dans la mesure où celle-ci est capable de prévision. Etant donné que l'une des fonctions de la Science est de permettre à différents groupes sociaux, des plus petits aux plus peuplés, de mieux pouvoir se battre, en donnant aux uns et aux autres des renseignements sur les positions spatio-temporelles des ennemis et des alliés de toute nature, renseignements à partir desquels s'élaborent les conduites à tenir, la valeur de prédiction des travaux scientifiques doit rester, en effet, une de leur vertu première.

Mais cette valeur dépend de la reconnaissance préalable des propriétés pertinentes de l'objet. Cette pertinence peut être variable dans l'espace et dans le temps. Tout un champ nouveau de recherches se dessine, axé sur la découverte des propriétés significatives de l'objet, compte tenu des paramètres évolutifs d'espace et de temps. Les modèles qualitatifs trouvent leur utilité dans cette étude. Car ils suggèrent des voies possibles d'évolution qui, auparavant, n'étaient pas venues à l'esprit des savants, et sur lesquelles la Nature pourrait s'engager. De ce fait, ces modèles renferment une part non négligeable de prédictions.

La reconnaissance des propriétés des objets permet leur classification, et, par suite, l'emploi de classes de modèles déjà mis en œuvre pour étudier ces propriétés, sous des angles différents. Il faut avoir manié des modèles qualitatifs pour constater leur étrange pouvoir d'éveil aux analogies diverses entre objets, appartenant à des familles en apparence très éloignées les unes des autres. Toutes les sciences, avant de prendre forme, ont dû franchir cette première étape où l'intuition joue à plein.

2.2.3 La prise de conscience de l'intérêt des modèles globaux ou qualitatifs est un phénomène encore trop neuf pour que ces modèles retiennent déjà l'attention d'un très grand nombre de chercheurs. Les idées sont de petits êtres biologiques très résistants, et à ce titre n'évoluent que lentement. Il suffit de constater la renaissance de l'idée raciste pour se convaincre de la vigueur de ces petits animaux. Les idées anciennes tiennent à persévérer dans leur état, et se battent contre les idées neuves qui veulent prendre leur place ou diminuer leur rôle. Les luttes sont longues, l'idée nouvelle subit souvent des défaites. En matière scientifique, une génération est parfois nécessaire pour qu'une telle idée s'implante sérieusement dans les esprits. Ce petit

savoir bio-sociologique permet souvent, face aux critiques, de tenir bon.

Ces critiques peuvent être d'autant plus vives aujourd'hui que les esprits occidentaux vivent encore sous le coup de la phase de croissance rapide que leur économie vient de connaître — grâce à une abondance d'énergie. On s'empressait de fabriquer les gadgets les uns à la suite des autres, et l'on s'attendait à voir toute pseudo-découverte appliquée dès le soir même. La mode gadget finissait par tourner la tête des savants eux-mêmes, qui devaient périr s'ils ne publiaient pas, ou étaient incapables de démontrer l'utilité pratique immédiate de leurs travaux avancés. C'était faire fi du savoir biologique qui nous apprend la lente maturation des processus complexes. Chaque jour, le rayon de soleil doit réchauffer le fruit avant que celui-ci ne finisse par éclater en parcelles génératrices. Les théories doivent mûrir, se croiser, avant d'engendrer une progéniture de qualité exceptionnelle.

2.2.4 Parmi les théories jeunes sur lesquelles il faut porter un jugement très prudent, à moins qu'on ne vise à en stimuler le développement par une critique habile, la théorie des catastrophes doit retenir l'attention.

La conception de cette théorie prête le flanc à de nombreuses critiques ; bien sûr. L'inventaire n'en sera pas fait ici. On peut en dresser la liste soi-même. Il suffit pour cela de reprendre point par point l'exposé précis du modèle, et de soumettre à la discussion les différentes hypothèses sur lesquelles il est construit.

Mon propos est plutôt d'essayer d'en montrer, brièvement, les principaux avantages.

a) La théorie des catastrophes est une théorie locale, puisqu'elle considère la dynamique en chaque point de l'objet, par l'intermédiaire d'un espace auxiliaire qui fibre le domaine tridimensionnel de cet objet.

b) C'est une théorie globale dans la mesure où — comme dans la théorie élémentaire — cette dynamique est définie à partir d'une énergie potentielle.

c) C'est une théorie riche :

i) parce qu'elle a permis une première classification des potentiels, et par conséquent d'un grand nombre de dynamiques naturelles et de morphologies ;

ii) parce qu'elle est ouverte à de très nombreux (quoique difficiles) développements mathématiques [215] (comme par exemple la classification des dynamiques plus complexes que les dynamiques de gradient).

iii) parce qu'elle entraîne des développements conceptuels, en relation avec la connaissance des données physiques (recherches sur les propriétés des fonctions d'évolution) ;

iv) enfin parce qu'elle possède un pouvoir élevé de suggérer des analogies nouvelles qui éveillent la sensation de comprendre.

d) Pour les raisons précédentes, l'examen de la théorie peut conduire, dans un futur plus ou moins lointain, à de nouvelles réflexions sur la nature cachée des processus physiques et physico-chimiques. De ce fait, cette théorie a valeur d'aiguillon scientifique.

e) De par la nature de sa conception, elle a une valeur pédagogique profonde. En outre, par la vertu unifiante des ensembles de catastrophes, elle permet de rendre compte d'un grand nombre de morphologies appartenant à des règnes très divers, et ainsi de montrer l'unité indissoluble des phénomènes naturels.

f) Le caractère à la fois platonicien et aristotélien de cette théorie peut devenir source de réflexions nouvelles pour les philosophes de la Nature.

En dépit des faiblesses de la théorie des catastrophes, son intérêt est tel qu'il est probable que la communauté scientifique accordera à quelques-uns de ses membres la liberté de travailler pour mieux faire apparaître les richesses que porte en elle cette théorie.

2.2.5 Curieusement <sup>(1)</sup>, les censeurs sérieux ne se sont guère attachés à l'examen de ses fondements. Ils critiquent davantage son emploi, dont l'origine paraît souvent obscure. Certaines analogies leur paraissent trop osées.

L'analogie est affaire de perception, de sentiment. La part d'erreur peut être grande : certaines résonances peuvent s'établir qui, de proche en proche, conduisent vers des voies fausses ; notre raison, notre intuition, s'égarer sur de mauvais chemins. On aura tendance à rejeter une analogie qui n'ébranle pas les couches les plus profondes de notre sensibilité. Il n'est personne qui ne puisse se tromper, mais il faut quand même accorder du crédit aux analogies qui paraissent mal établies si, sans aucun doute, leurs promoteurs possèdent des qualités de sensibilité affirmées. Percevoir, tel est le maître-mot.

Une fois reconnues les analogies entre objets, on peut, pour décrire ceux-ci, utiliser plusieurs types de modèles, selon que ces objets sont en devenir ou non. Dans ce dernier cas, il est tentant d'établir une correspondance entre leur forme et celle d'un des ensembles de catas-

(1) Pas trop quand même, puisque ces critiques sont anglo-saxons.

trophes décrits dans le chapitre II.14 : on utilise « les résultats figés » de la théorie élémentaire des catastrophes.

Si l'objet est en devenir, on fait appel à « l'aspect dynamique » de cette théorie. On associe à chaque objet un paysage épigénétique défini par un potentiel. Les parties stables de cet objet sont représentées par des creux du potentiel ; les maximums, les bosses du potentiel, correspondent aux parties instables de l'objet ; les seuils, à des états en évolution, vers un destin stable ou non.

Dans tous les cas, le modèle recherché sera, selon le critère d'extrémalité, le plus simple possible. Par ailleurs, je ferai observer que, dans le cas d'un traitement dynamique du problème, le modèle choisi peut avoir une valeur prévisionnelle. Car supposons choisi ce modèle qui associe à l'évolution considérée un paysage épigénétique concordant avec la réalité, connue au temps présent  $t$  ; si l'observateur poursuit sa course dans ce paysage au-delà du temps  $t$ , il pourra rencontrer des morphologies géographiques indiquées par le modèle, laissant présager l'évolution future du phénomène réel.

Soulignons que la théorie élémentaire des catastrophes, dans son aspect déploiement universel, est avant tout une théorie du changement régulier, entrecoupé d'accidents morphologiques qui n'altèrent pas l'uniformité et la poursuite de cette transformation : sans cette régularité de développement, le fondement algébrique de la théorie du déploiement universel n'existerait pas, et cette théorie n'aurait pu être bâtie. Rappelons en effet [36] que seul le caractère rituel d'un processus en permet la formalisation algébrique.

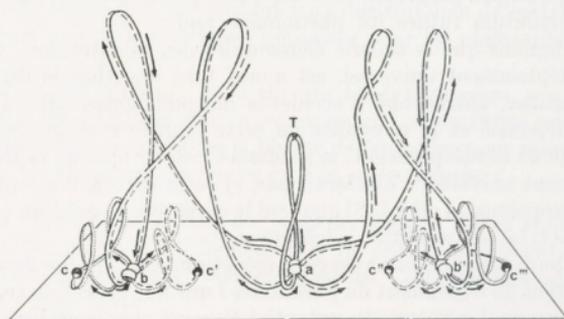
On peut associer au paysage épigénétique une famille de systèmes dynamiques  $\mathcal{D}_t$  dépendant du paramètre  $t$  qui fixe la section temporelle de ce paysage. La valeur du potentiel  $V_t$  peut être considérée comme une fonction de Liapounoff sur  $\mathcal{D}_t$ .  $V_t$  prend ses minimums sur les attracteurs, et ses maximums sur les séparatrices de  $\mathcal{D}_t$ . Le passage de  $V_t$  à  $V_{t'}$  entraîne des destructions à l'intérieur du système dynamique, de nouveaux déploiements, en des valeurs « catastrophiques » du paramètre temporel, qu'on appelle également valeurs de bifurcation.

De manière plus générale, étant donné un objet en devenir, lui sera associé, à l'instant  $t$ , un système dynamique régulier  $\mathcal{D}_t$ , selon la définition donnée dans le tome 1, p. 190-191.

Il faut noter que c'est par le truchement de la notion de bifurcation que s'introduit la nouveauté morphologique. Ce processus de naissance peut rester à l'intérieur de contraintes assez strictes lorsque la variété sous-jacente au processus dynamique n'augmente pas de dimension. Cependant, lorsque deux dynamiques arrivent à se coupler, la variété résultante sur laquelle se déroule la dynamique nouvelle est en général de dimension supérieure aux dimensions respectives de chacune des dynamiques base ; c'est dans ces conditions qu'ap-

paraît la « complexification » d'une évolution, d'une morphologie. Un programme de travail mathématique qu'il faudrait donc suivre serait, en tenant compte de contraintes métriques liées à la présence de frottements, d'inertie..., de faire l'inventaire des dynamiques stables issues de dynamiques couplées, et d'essayer de classer les modes de passage des dynamiques sources à ces dynamiques résultantes.

2.2.6 Il sera fait appel une seule fois dans le corps de ce texte à des notions tout à fait élémentaires de topologie des variétés. Il n'est pas exclu que cette discipline mathématique ne trouve un jour quelque application en neurophysiologie, voire en génétique. Voici, par exemple, sans explication, un schéma dessiné par C. W. Dingman [62] pour représenter l'évolution d'un chromosome circulaire procariote, pendant sa phase de croissance rapide :



C. W. Dingman, *J. Théor. Biol.* (1974), 43

Une telle figure ne manquera pas d'éveiller la curiosité des topologues. La planche hors-texte 2 donne un bel exemple de squelette unidimensionnel. Si l'on fait tourner, osciller dans l'espace les bras périphériques qu'on y observe, on devine la richesse d'« information » que peut contenir une telle molécule. Enfin il est possible que la topologie aide à dénouer l'inextricable entrelacs des trajets suivis par les myriades d'influx nerveux. Si cette hypothèse venait un jour à être confirmée, on ne pourrait s'empêcher d'admirer une fois de plus la Nature, qui nous oblige à créer l'outil avant de nous faire découvrir le matériau qu'il doit travailler.

2.2.7 Insistons ici sur les aspects géométriques et dynamiques de la plupart des métaphores ou modèles auxquels je ferai référence

dans ce texte. De parti pris, tout autre type de modèle a été écarté. C'est que, d'expérience, nous savons bien que les bons modèles reposent sur une assise géométrique solide ; les énoncés les plus profonds sont presque toujours atteints par le biais de la géométrie. Avant l'arithmétique sans doute, la géométrie est la source vivante où prennent forme les êtres mathématiques. Ce n'est qu'au prix d'une géométrisation des problèmes que s'installe une compréhension des phénomènes physiques et mathématiques.

On sera vraisemblablement déçu, après une telle déclaration de principe, de la pauvreté du texte en modèles géométriques très élaborés. Mais la science biologique est beaucoup trop jeune pour qu'on puisse encore concevoir des théories axiomatisées. J'ai été saisi, par le doute le plus profond à l'égard de la valeur de la plupart des modèles dont j'ai pu prendre connaissance. Un sentiment m'a pénétré, celui de notre ignorance encore trop grande de la physiologie nerveuse pour que nous soyons à même de concevoir des modèles conséquents.

J'ai retrouvé le même scepticisme chez le psycho-physiologiste R. Jung, et fais miennes ses conclusions : « En matière de physiologie visuelle, les théories mathématiques et les modèles physiques n'ont encore amené à aucune explication biophysique du traitement central de l'information visuelle qui aurait pu conduire à un concept original...

... Malheureusement, les structures visuelles centrales sont trop complexes pour être simulées par des modèles simples, et aussi longtemps que les détails resteront incertains, des modèles plus complexes auront toute chance d'être également faux. Encombrer la littérature de modèles improbables semble d'une utilité douteuse...

... Pour être utiles, les modèles (...) doivent dériver d'une analyse des organismes vivants, être testés et confirmés par l'expérience physiologique et psycho-physiologique ; de plus, ils doivent conduire l'expérimentateur à élaborer des conceptions nouvelles, à établir des théories et des principes généraux » [122].

J'ajouterai que les modèles doivent aussi induire en nous la sensation de « comprendre la réalité ». Ni Mario Bunge ni René Thom ne me contrediront sur ce point.

### 3. Résultats.

3.1 Revenons d'abord sur les grands traits de la méthodologie que j'ai adoptée. Deux directions de pensée se dégagent : l'une est globaliste, l'autre est analytique.

La première exige de prendre du recul par rapport aux détails des phénomènes. On aperçoit alors des mouvements, des transformations d'un milieu plastique, le vivant. Selon les contraintes qui s'exer-

cent sur lui, il dévalera les pentes d'un paysage épigénétique, ou bien viendra buter contre une paroi, ou bien bifurquera en bras divers, ou encore s'étirera avant de se détacher en « goutelettes » indépendantes. Une grande variété de modèles hydrauliques peuvent être formulés.

On remarquera que tous les processus de maturation (différenciation cellulaire, constitution et organisation du système visuel et, probablement, de la mémoire) suivent le schéma structurel symbolisé par la figure 97 : d'un milieu indifférencié, jaillissent une ou plusieurs arborescences ; l'« information » est ensuite pompée de l'environnement extérieur, et vient se condenser dans les bourgeons et les fruits de l'arborescence — dont chaque niveau constitue une sorte de filtre subtil. Quand quelque choc interne, ébranle les arbres, lorsque une sorte de vent intérieur vient à souffler sur ces forêts, les semences des fruits mûrs se fécondent mutuellement et des arborescences nouvelles font leur apparition.

On peut enfin, à l'aide de ces modèles hydrauliques, mettre en évidence des ondes de choc le long desquelles s'organisent la perception.

Les milieux plastiques possèdent une énergie qui peut apparaître sous plusieurs formes (interne, potentielle, cinétique, ...). Les méthodes variationnelles de résolution des équations aux dérivées partielles font appel à cette notion d'énergie. Dans le cadre de ce travail, on étudie l'évolution de l'énergie de milieux et de tissus cellulaires. Les énergies considérées ont une expression mathématique, du type potentiel de Thom. Sous l'influence d'effets internes ou externes, les paramètres qui fixent les valeurs de ces potentiels se modifient — le problème de la dynamique qui dirige l'évolution de ces paramètres reste parfois posé. Quoi qu'il en soit, cette évolution peut entraîner des variations soudaines du potentiel étudié, variations qui peuvent alors s'accompagner, soit d'une différenciation cellulaire, soit de la mise en œuvre d'une technique ou de la création de mécanismes pour adoucir la chute du potentiel.

Venons-en maintenant à l'approche analytique des problèmes de physiologie nerveuse. Peut-être l'emploi du terme logiciste ou causaliste serait-il plus approprié que celui d'analytique. En effet, lorsqu'on étudie l'organisation du cerveau, on est confronté au problème du rôle fonctionnel de chacun des noyaux rencontrés. On s'aperçoit rapidement qu'une règle de nécessité impose la présence de ces noyaux, et probablement contribue à déterminer leur localisation spatiale.

On conçoit donc qu'on puisse développer un jour une sorte de théorie fructueuse des systèmes vivants, avec axiomes et théorèmes, et dont le moteur serait la *causalité dynamique*, c'est-à-dire fonctionnelle, opératoire, en prolongement des théories mathématiques, où,

me semble-t-il, on fait appel, dans la démonstration, à une causalité beaucoup plus statique. (La découverte des énoncés emploie la causalité dynamique).

3.2 Voici un bref aperçu sur quelques-unes des spéculations exposées dans le corps de l'ouvrage.

J'ai d'abord cherché à décrire la phylogénie des vertébrés en utilisant l'aspect dynamique de la théorie des catastrophes. Phylogénie et ontogénie se décrivent par les mêmes modèles. Ce résultat est évidemment très satisfaisant pour l'esprit.

Au cours de cette étude, j'ai été confronté au problème de la morphologie du système nerveux et des systèmes sensoriels. L'ombilic elliptique joue un rôle fondamental dans la description de ces *formes régulatrices*. Je crois comprendre l'origine des croisements nerveux.

Pour étudier l'organisation interne du système nerveux, je me suis basé sur l'idée bien connue selon laquelle le système nerveux simule l'activité de l'être tout entier. J'ai « projeté » cette remarque sur l'embryologie de l'être. Ce qui permet d'utiliser le paysage épigénétique embryologique pour décrire trois systèmes nerveux (*S, I, M*). Une heureuse rencontre avec un article de Yakovlev précise cette division anatomique.

Un schéma d'étude globale du cerveau facilite l'analyse de certains comportements archétypes.

Un modèle global des cycles d'éveil et de sommeil est proposé, ainsi qu'une explication possible du pouvoir hypnotique.

La perception physiologique est ensuite abordée. J'énonce dix propriétés importantes communes aux systèmes sensoriels.

Puis j'étudie la perception visuelle, en regrettant de ne pouvoir traiter de la perception auditive, qui joue un rôle essentiel dans la formation du langage. J'expose quelques raisons qui pourraient expliquer l'organisation générale du système visuel. Je munis l'espace visuel de la métrique de Helmholtz-Stiles.

J'interprète enfin toutes les illusions visuelles à partir de phénomènes d'inhibition latérale et de processus de régulation.

*Remarques* : 1. Ce texte rassemble, de manière condensée, des données récentes dans la plupart des branches de la neurophysiologie. La perception visuelle y est traitée de manière assez complète. L'ouvrage peut donc rendre des services à tous ceux qui cherchent une information générale sur la neurophysiologie de la perception.

Cependant l'auteur, qui n'est pas biologiste de métier, a très bien pu commettre quelque erreur, ou bien, étant donné le retard apporté à la publication des articles, être insuffisamment informé : j'en appelle

à l'indulgence généreuse des divers spécialistes ; je leur suis à l'avance reconnaissant des remarques qu'il voudront bien me faire.

2. De nombreuses observations critiques montrent que le champ d'investigations offert à ces savants est d'une étendue prodigieuse. Car en définitive, nous ne connaissons encore, et ce terme de connaître est trop fort, que l'enveloppe des phénomènes, le haut de l'iceberg. Je savais en commençant cette étude qu'il me serait facile d'apercevoir les bases physiologiques de la pensée dichotomique. Mais j'espérais toucher du doigt la difficile complexité des mécanismes sous-jacents aux apparences globales, dont la surface de Riemann-Hugoniot offre un bon modèle. J'ai cru, par moments, entr'apercevoir cette complexité, mais l'éloignement est encore trop grand pour pouvoir en tirer des enseignements fructueux. En tout cas, je suis convaincu plus que jamais du caractère simpliste de la pensée dichotomique, de toutes ces analyses dialectiques par simples oppositions, qui masquent de nombreux et infiniment plus subtils phénomènes.

3. Ce n'est qu'au bout d'une longue et pénible marche que la neurophysiologie parviendra, peut-être, à entrer dans le détail de cette connaissance cachée. Mais il faut parler de toutes les craintes que ces travaux suscitent. Les spécialistes vont pouvoir se rendre maîtres du cerveau. Ils sont déjà capables d'asservir à leur volonté les comportements archétypes de l'homme. Il suffirait donc qu'une poignée de neurophysiologistes inqualifiables se mettent au service d'un gouvernement ou d'un mouvement totalitaire pour assurer la déchéance de la société par un esclavage contrôlé.

Car la Science n'a pas seulement pour rôle de défendre et d'accroître le bonheur de tous les hommes. La Science sert aussi à faire la guerre, donc à détruire ou mettre en tutelle d'autres sociétés. Il est possible de faire en sorte que la Science ne profite qu'à quelques-uns, et non à l'espèce.

Aussi paraît-il indispensable que la conscience sociale en soit au plus tôt informée afin de veiller à ce qu'aucune entreprise totalitaire ne vienne à s'emparer du pouvoir scientifique.

Mais il est également nécessaire, urgent, que les savants sousscrivent à des codes de déontologie, susceptibles d'être collectivement révisés en fonction des progrès et de la Science et des qualités des hommes, et adoptés par l'unanimité de leur corporation.

#### **4. Nouvelles observations à valeur générale.**

Ces observations viennent en complément du corps de données premières exposées dans la partie philosophique du tome 1. On trou-

vera des illustrations concrètes à ces remarques de portée générale dans cet ouvrage, ainsi que dans le tome suivant.

OBSERVATION PREMIÈRE 13 bis (OP 13') : *Tout objet possède une fonction d'énergie.*

Cette fonction s'exprime à l'aide d'une intégrale dépendant des forces qui composent l'objet, et prise sur le domaine spatio-temporel  $\Omega$  occupé par cet objet.

$\Omega$  doit être considéré comme le domaine environnant l'objet, et sur lequel celui-ci a prise. On peut concevoir plusieurs  $\Omega$  ; mais la famille des  $\Omega$  ainsi établie comporte certainement une plage optimale à l'intérieur de laquelle se situe ce que Laurence Sterne, par Tristram Shandy interposé, nomme avec pertinence « la sphère d'influence » de l'objet,  $\hat{\Omega}$ .  $\hat{\Omega}$  sert de variété-base au système dynamique-fibre qui représente l'état de l'objet à l'instant  $t$ , compte tenu de cet environnement.

La stabilité de  $\mathcal{D}_t$  est caractérisée par la présence d'une « fonction de Liapounoff »,  $E_t$  sur chaque trajectoire. La valeur  $E(x, t)$  de  $E_t$  en  $(x, t)$  est une mesure de l'énergie <sup>(1)</sup> que possède le point représentatif dans son mouvement sur cette trajectoire. La valeur moyenne de l'énergie de Liapounoff, prise sur les différents attracteurs de  $\mathcal{D}_t$ , caractérise ce que j'appelle l'énergie de l'objet. Du point de vue mathématique,  $E(x, t)$  sera presque toujours la valeur d'une semi-norme définie par une forme bilinéaire, continue et semi-définie positive, sur une variété hilbertienne, l'espace tangent des vitesses. J'indique en note <sup>(2)</sup> quelques exemples classiques. Je supposerai plus tard que dans un voisinage tubulaire des séparatrices et des attracteurs, la valeur de  $E(x, t)$  est donnée par un potentiel de Thom : une variation dans la valeur des paramètres internes ou externes pourra faire basculer le point représentatif dans  $\mathcal{D}_t$ , d'un bassin dans un autre, ou introduire des effets de bifurcation. Naturellement, la puissance opératoire de l'objet, son énergie, auront tendance à croître avec la taille de  $\hat{\Omega}$  ; mais les exceptions à cette règle sont nombreuses.

<sup>(1)</sup> Cf. Aristote [0] : « Le premier principe du mouvement local, c'est aussi l'âme ».

<sup>(2)</sup> Soit  $G$  une matrice symétrique,  $X(x)$  un vecteur de l'espace tangent à une variété  $V$  au point  $x$ . La forme quadratique  $E(x) = \frac{1}{2} X(x) G X(x)$ , appelée un lagrangien homogène, peut avoir les significations suivantes :

$E$	$X$	$G$
énergie cinétique	vitesse	masse d'inertie
énergie cinétique	vitesse angulaire	moment d'inertie
énergie de dissipation	vitesse	coefficient de frottement
énergie cinétique électrique	courant	coefficient de self-induction
énergie de dissipation électrique	courant	résistance

Sous des influences diverses et parfois contradictoires, l'auteur a été amené à entreprendre l'étude des propriétés principales du système nerveux et du système visuel.

Sur le plan des données, l'ouvrage apportera au lecteur un ensemble compact d'informations qui ne sont pas en général réunis dans les ouvrages classiques.

Sur le plan plus fondamental des idées, le lecteur trouvera dans ce texte des conceptions qui, vraies ou inexactes, pourraient contribuer à la construction déjà entreprise par d'autres auteurs, d'une biologie théorique.

Participant d'une démarche de transmission de fictions ou de savoirs rendus difficiles d'accès par le temps, cette édition numérique redonne vie à une œuvre existant jusqu'alors uniquement sur un support imprimé, conformément à la loi n° 2012-287 du 1<sup>er</sup> mars 2012 relative à l'exploitation des Livres Indisponibles du XX<sup>e</sup> siècle.

Cette édition numérique a été réalisée à partir d'un support physique parfois ancien conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal. Elle peut donc reproduire, au-delà du texte lui-même, des éléments propres à l'exemplaire qui a servi à la numérisation.

Cette édition numérique a été fabriquée par la société FeniXX au format PDF.

La couverture reproduit celle du livre original conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal.

\*

La société FeniXX diffuse cette édition numérique en vertu d'une licence confiée par la Sofia – Société Française des Intérêts des Auteurs de l'Écrit – dans le cadre de la loi n° 2012-287 du 1<sup>er</sup> mars 2012.

Avec le soutien du

