

**L'œuvre de réflexion scientifique
et de haute vulgarisation
d'un grand théoricien de la physique :
Olivier Costa de Beauregard**

REMI SAUMONT

9 villa St Georges 92160 Antony France

RESUME. Une Analyse de l'œuvre épistémologique de Costa de Beauregard est effectuée essentiellement à partir des trois livres : «La notion de temps» «Le second principe de la science du temps» et «Le temps déployé» qu'il a consacrés à cette activité de réflexion et qui permettent de bien connaître la pensée de ce théoricien fécond et rigoureux.

Il y a deux siècles il était encore possible pour un esprit éclairé, mais non spécialiste, de prendre connaissance et de pouvoir discuter de bon nombre des écrits scientifiques des maîtres de la physique ou de la chimie. Si la mathématique avait déjà, dès cette époque et dans beaucoup de ses branches, pris un tour abscons pour "l'honnête homme", les sciences dites expérimentales par leur aspect concret lui demeuraient accessibles. Ce n'est que lorsque la nécessité de pénétrer l'intimité de la matière a commencé à prendre corps avec tout d'abord le développement de l'atomistique que les écrits scientifiques des chimistes et plus encore des physiciens sont devenus plus difficilement déchiffrables par le non initié. Il n'est que de relire les comptes-rendus de l'Académie des Sciences et de comparer les notes publiées par exemple à un siècle d'intervalle: celles de la fin du 19ème siècle (de Becquerel ou des Curie par exemple) et celles d'aujourd'hui. A la fin du 19ème siècle, rares encore étaient les notes de physique qui ne pouvaient pas être comprises par un bachelier ès sciences; il en va tout différemment de nos jours, notes qui, pour beaucoup d'entre elles, nécessitent maintenant pour être appréciées une connaissance mathématique du niveau de la licence, ce qui n'est même plus

vrai pour certains travaux de physique théorique qui ne sont utilement accessibles que pour le nombre restreint de spécialistes de la question mise en jeu.

La mathématisation de la physique est vite apparue en effet comme une nécessité et les Laplace, Gauss ou Hamilton pour n'en citer que quelques uns étaient de surcroît de bons mathématiciens et n'est-ce pas à partir de développements essentiellement mathématiques que Maxwell a établi l'existence des ondes électromagnétiques. Leurs successeurs, se devaient eux aussi de faire usage de hautes mathématiques comme Einstein et Minkowski avec le calcul tensoriel ou Heisenberg pour le calcul matriciel. Cependant il apparaît que pour ces derniers, de même que pour Planck ou de Broglie, la mathématique était avant tout considérée comme un outil qu'il convenait d'utiliser comme tel. Aussi, tous ont éprouvé la nécessité d'explicitier leur démarche scientifique en termes de langage commun. Tous, en effet, parallèlement à leurs publications scientifiques ont éprouvé le besoin de publier des livres que l'on peut considérer, comme des oeuvres de philosophie des sciences bien sûr, mais aussi de fait et plus prosaïquement comme des oeuvres de vulgarisation. En la matière, l'exemple le plus caractéristique est celui de Henri Poincaré, mathématicien et physicien de grand renom dont la trilogie (*La science et l'hypothèse*, *La valeur de la science* et *Science et méthode*) publiée chez Flammarion est un modèle du genre. Ces trois ouvrages en effet ne comportent que de rares développements mathématiques, indispensables bien sûr, mais tout à fait élémentaires et compréhensibles par un grand public.

Dès cette époque la complexité croissante des travaux scientifiques a donc mené au développement prolifique d'une vulgarisation qui n'a pas toujours eu la rigueur nécessaire lorsqu'elle a été effectuée par des chroniqueurs spécialisés mais parfois insuffisamment formés. Un seul exemple, parmi tant d'autres, suffira à illustrer cette appréciation, c'est celui de cette affirmation figurant dans les réponses d'un journaliste scientifique à un courrier des lecteurs du plus ancien de nos périodiques de vulgarisation, *Science et vie* (numéro de Février 1991): "comme on le sait la vitesse du flux d'électrons dans les conducteurs est de l'ordre du mètre par seconde". Le calcul d'une telle vitesse est pourtant élémentaire et faire à son propos une erreur dans un rapport de 10000 à 1 est difficilement excusable.

A la vérité, la vulgarisation scientifique dont use et parfois abuse l'épistémologie ne doit pas être considérée comme un genre mineur et doit au contraire faire l'objet de la plus grande attention, il n'en serait pour preuve qu'un extrait d'une conférence faite par Henri Poincaré "Pourquoi l'espace a trois dimensions" dont le texte figure dans le livre publié dans la collection Flammarion après sa mort: *"Dernières pensées"*. On trouve dans le texte en

question la phrase suivante (affirmation reprise par Reichenbach): "toutes les dimensions des objets pourraient être augmentées dans une même proportion, sans que nous puissions le savoir, pourvu que nos instruments de mesure participent à cet agrandissement"

Voilà une affirmation particulièrement caractéristique d'un aphorisme de pure mathématique qui (involontairement ?) néglige les lois les plus élémentaires de la physique, en particulier tout d'abord celles de la résistance des matériaux. Il ne saurait y avoir de similitude physique complète entre un monde donné et celui dont toutes les dimensions seraient dix fois plus grandes. La plupart des objets d'un monde qui verrait ses dimensions multipliées par 10 par exemple s'écrouleraient sur eux-mêmes du fait de leurs poids qui croît comme la puissance 3 de la longueur alors que la résistance mécanique de la matière qui les constitue ne croît que comme la puissance 2 de cette même longueur. Il est vrai que cette éventualité ne serait telle que si la structure intime de la matière était conservée ce qui est probablement sous-entendu dans l'affirmation en question car les lois physiques d'un monde (à supposer qu'il puisse exister) dont les atomes et les particules verraient leurs dimensions soumises elles-mêmes au processus d'agrandissement seraient probablement considérablement modifiées.

Il apparaît donc que toute vulgarisation scientifique utilisée dans un but épistémologique ne saurait se contenter du seul langage commun et des données d'une même discipline, mais devra nécessairement s'appuyer sur un minimum de formalisme mathématique (comme par exemple celui de l'analyse dimensionnelle) et prendre en compte le maximum de données y compris celles faisant appel à des disciplines ou des sujets d'ordre voisin.

Les oeuvres de vulgarisation épistémologique de nombreux scientifiques, y compris les plus renommés, durant les siècles qui viennent de s'écouler, n'ont souvent répondu qu'imparfaitement ou même pas du tout à de tels critères ce qui, comme pour Poincaré ou tant d'autres (Arago, Berthelot etc.) a rendu pour le moins hasardeuse leur valeur d'anticipation.

Un tel reproche, pourtant si souvent justifié, ne saurait être opposé valablement à l'œuvre épistémologique de Costa de Beauregard et ce long préambule a surtout pour but de permettre ensuite de mieux mettre en évidence la valeur et l'originalité de sa démarche.

L'œuvre épistémologique de Costa de Beauregard a tout d'abord concerné la nature de ses propres recherches sur la relativité et les quanta. Ce sont des sujets qui ont fait l'objet des travaux de réflexion de nombreux théoriciens, à commencer par Einstein lui-même ou par Planck ou Heisenberg; mais la plupart de ces théoriciens, à la suite des pionniers, ont disserté soit sur l'un

soit sur l'autre de ces grands sujets alors que peu d'entre eux se sont vraiment souciés de l'utilité d'une démarche épistémologique de synthèse à l'égard de ces deux disciplines jugées difficilement compatibles C'est à cette incompatibilité supposée que s'est tout d'abord attaqué Costa de Beauregard. Il écrit dans l'avertissement de son ouvrage "La notion de temps" publié chez Hermann en 1963 : "L'originalité du nôtre (son livre) est peut-être d'avoir voulu présenter une épistémologie unitaire de ces deux grandes théories, conformément au but que nous avons assigné à nos recherches: en opérer la synthèse"

Ce livre est de prime abord un exposé clair et très documenté historiquement du développement de la physique mathématique et, à vrai dire, un modèle de ce que doit être une vulgarisation de qualité qui sait dégager l'importance relative du rôle des avancées successives en matière de connaissance. Dès les premières pages il sait mettre l'accent sur ce qui, très tôt, présageait les développements ultérieurs qui ont révolutionné la physique du début du vingtième siècle comme par exemple certains aspect du formalisme de la mécanique analytique. Il met aussi l'accent sur le "caractère hétérogène" qu'avait la mécanique rationnelle pour laquelle il n'existait pas de véritable synthèse entre la "dynamique" et le "gravifique", c'est à dire en définitive entre les forces d'inertie et les forces de gravitation, synthèse qui sera réalisée par la relativité générale. De la même manière il passe en revue l'électromagnétisme en rappelant comment grâce à Maxwell cette discipline, relativiste avant le lettre, "annexa" l'optique, puis la thermodynamique et en particulier celle du rayonnement qui mènera aux quanta.

Il est classique en épistémologie moderne de faire état du malaise qui régnait en physique de la fin du 19ème siècle, malaise qui découlait des questions que posaient certains des résultats de l'optique cinématique à propos de l'existence de l'éther et de la notion de repère absolu; on explique ainsi, mais souvent de manière sommaire, pourquoi la relativité restreinte, malgré son caractère révolutionnaire a rapidement été acceptée comme solution des problèmes ainsi soulevés.

Dans son livre Costa de Beauregard, lui, a examiné de manière approfondie les ressorts du malaise en question qu'il fait remonter à Galilée. Son étude ne laisse aucune point de côté en partant des premières mesures astronomiques de Romer qui montra dès 1676 que la lumière se propage avec une vitesse finie mais très élevée, puis en analysant les expériences d'Arago (qui heureusement a fait autre chose que prédire la mort par asphyxie des passagers des trains sous les tunnels) et la formulation de Fresnel d'un entraînement partiel de l'éther par les corps transparents qu'il qualifie de géniale en ce sens qu'elle explicite la négligence de termes du second ordre dont le carac-

tère prendra une telle importance dans la discussion à propos de la deuxième expérience de Michelson et de la formule de Lorentz et Fitzgerald. Il nous dit (d'après Laue) que la formule d'entraînement des ondes de Fresnel n'était rien d'autre qu'une spécification particulière, avant la lettre, de la formule de composition des vitesses de la relativité restreinte.

Les diverses expériences du premier ordre effectuées en grand nombre au cours du 19^{ème} siècle sont passées en revue dont celles de Fizeau qui en 1851 vérifia directement la formule d'entraînement des ondes de Fresnel, puis celles de Michelson-Morley et de Zeeman et enfin celles d'Angström et de Mascart pour lesquelles tout effet Doppler (défini 20 ans plus tard) est éliminé et pour lesquelles le nombre d'onde du premier ordre en β est indépendant de la direction de propagation.

Les résultats négatifs de ces expériences en ce qui concerne le vent d'éther amenaient donc à penser que tout effet de ce supposé vent d'éther se trouve exactement éliminé au premier ordre. Il restait donc à utiliser un interféromètre à deux faisceaux largement séparés se propageant à angle droit permettant la recherche d'un effet de second ordre de ce vent d'éther ce qui fut l'objet de la deuxième série d'expériences de Michelson et Morley effectuée avec un soin expérimental irréprochable. Comme on sait son résultat fut aussi négatif.

C'est ce résultat négatif qui amena Fitzgerald et H. A Lorentz à supposer que le vent d'éther provoque une contraction de toutes les longueurs longitudinales et ceci selon une formule de pure cinématique puisqu'elle ne fait intervenir que la vitesse.

En l'occurrence la critique épistémologique de l'auteur à l'égard de cette interprétation se fait acerbe car en effet selon cette conception le seul rôle du vent d'éther "d'existence purement métaphysique" aurait été d'escamoter ses propres effets observables.

En fait, il y avait réellement une sorte d'effarement devant "l'énormité" des conclusions qui découlaient des résultats en question et c'est peut-être à un tel sentiment induisant un réflexe de prudence scientifique exagérée qu'il faut attribuer le manque d'audace des Voigt, Lorentz et Poincaré pour aller jusqu'au bout de leurs conclusions révolutionnaires.

C'est ce qu'a montré Costa de Beauregard dans sa longue et pénétrante analyse du travail de ces auteurs; il a écrit: "L'on reste aujourd'hui confondu que l'auteur de La science et l'hypothèse et de Science et méthode, après avoir assuré toutes les bases, philosophiques, physiques, mathématiques, de l'imminente théorie de la relativité, n'ait pas fermé lui-même le cercle de son œuvre en affirmant simplement que l'espace et le temps locaux d'un même repère galiléen sont l'espace et le temps perçus et vécus dans ce repère; et qu'il ait continué, comme Lorentz, à se référer en pensée à l'idéal repère dit

absolu, où l'éther est supposé immobile, et l'espace et le temps considérés comme vrais".

Il rappelle que déjà Maxwell, par un scrupule inavoué, n'avait pas osé poser $c = 1$ (donc sans dimension) dans les formules de l'électromagnétisme, c'est à dire de rendre ainsi solidaires les deux étalons de longueur et de temps ce qui aurait été une réduction de base dimensionnelle parfaitement justifiée menant donc à considérer la vitesse de la lumière comme une constante fondamentale. Comme il le fait remarquer, cette attitude aurait permis de résoudre l'irritant problème posé dans le système dimensionnel Giorgi en matière d'électromagnétisme par l'existence de deux constantes "universelles" celle de l'électrostatiques et celle de la magnétostatique pour la prise en considération du pouvoir inducteur spécifique du vide.

Pour résumer, comme le dit l'auteur: "avec Einstein la cinématique se soumettait à la loi de l'optique", en fait donc à la loi de l'électromagnétisme et ce ne sera qu'ensuite, mais 20 ans plus tard, qu'avec le développement de la mécanique ondulatoire de Louis de Broglie, la dynamique fera quelque chose d'analogue avec ce qu'on a pu appeler "les ondes de matière". On voit là le droit fil de la pensée synthétique de Costa de Beauregard qui écrit "Ontologiquement parlant, il serait donc très faux de penser que la constante universelle c est étrangère à la mécanique. Elle lui est au contraire tout aussi connaturelle qu'à l'électromagnétisme et la théorie de la relativité se déduirait tout aussi bien des équations générales de la mécanique ondulatoire que des équations particulières de l'électromagnétisme". En fait, c définissant une équivalence entre le temps et la longueur, n'est que la vitesse limite des corpuscules de masse propre nulle se déplaçant dans un continuum à quatre dimensions tel qu'il a été défini en 1908 par Minkowski et adopté par Einstein car sa prise en compte permet d'éviter des interprétations erronées. Celle de Bergson à propos de la relativité dans son livre "Durée et simultanéité" est un modèle du genre. A la vérité, l'interprétation de Bergson pouvait se comprendre dans la mesure où, raisonnant à partir de considérations cinématiques, il négligeait le caractère absolu de l'accélération de l'un de ses deux mobiles, et, à ce propos, Costa de Beauregard nous rappelle que c'est la relativité générale qui a étendu cette propriété, déjà admise en dynamique classique, à la cinématique menant ainsi au fameux problème du moindre vieillissement du voyageur de Langevin en mouvement curviligne

En ce qui concerne le caractère absolu de l'accélération, il nous indique aussi comment la relativité a résolu une des grandes anomalies de la mécanique newtonnienne concernant le caractère essentiellement relatif qu'avait l'énergie cinétique (égale au demi produit de la masse par le carré de la vitesse) et ceci en contradiction avec le caractère réputé absolu de l'énergie en

général. La transformation du théorème des forces vives en une loi de pure cinématique a résolu la paradoxe.

Tout au long de ses écrits Costa de Beauregard sait toujours mettre le doigt sur les points importants ce qui le mènera selon une audace justifiée, comme nous le verrons, à poser de manière rigoureuse en matière d'anticipation scientifique. les vrais problèmes quelques puissent en être les implications.

C'est donc avec le même bonheur qu'il a analysé l'évolution de la mécanique des quanta en relation avec celle de la relativité. Il rappelle tout d'abord qu'une interaction conforme au principe de relativité ne peut se propager que par ondes. Or en physique des ondes (macroscopique) ce sont les ondes retardées qui sont à prendre en compte selon la classique irréversibilité du rayonnement. Le phénomène d'émission d'ondes se suffit à lui-même alors que le phénomène d'absorption ne peut avoir lieu que du fait d'une émission donnée indépendamment, ce qui pose problème au point de vue conservatif essentiel à la formulation des théorèmes généraux de la mécanique. Il fallait donc séparer les notions de rayonnement et d'interaction qui sera conçue comme un phénomène conservatif et par conséquent symétrique entre passé et futur et pour lequel en théorie des quanta cette interaction sera véhiculée par des corpuscules virtuels qui seront émis et réabsorbés à l'intérieur du système.

C'est pourtant à partir de la première notion (celle de rayonnement thermique) qu'émergera la notion de quantum introduite par Planck en 1900. Puis c'est Einstein qui montra que le postulat de Planck mène à l'idée que ce n'est pas seulement l'énergie de l'oscillateur matériel qui est quantifiée mais aussi celle du rayonnement ce qui mènera à la notion de photon dépourvu de masse propre et surtout permettra d'expliquer l'effet photoélectrique découvert par Hertz peu de temps auparavant

Cependant dans ce que Costa de Beauregard qualifie "d'ancienne théorie des quanta" on continuait à distinguer la quantification des mouvements "matériels" des oscillateurs et celle de la propagation oscillatoire du rayonnement. Ce fut donc l'idée géniale de Louis de Broglie qui établit l'unité du phénomène à savoir que si la quantification du rayonnement se traduit par la réintroduction des "grains de lumière" de Newton à côté des ondes de Fresnel, la quantification du mouvement pouvait consister en l'existence d'une onde de propagation associée à tout élément matériel en déplacement (en fait une "onde de matière") et la vitesse des corpuscules matériels correspondait donc à la vitesse de groupe des ondes matérielles associées toujours inférieure en module à celle de la lumière (car c'est celle du transport d'énergie) alors que la vitesse de phase pouvait lui être supérieure.

Ainsi, d'emblée, nous dit Costa de Beauregard, la mécanique ondulatoire est apparue comme une théorie unitaire de la matière et du rayonnement effectuant une synthèse de la relativité restreinte et des quanta. Comme on sait, la confirmation expérimentale fut effectuée par Davisson et Germer peu de temps après (1927)

En l'état, la théorie conservait certains concepts de la physique classique. C'est alors que se fit jour avec Heisenberg une nouvelle conception de la quantification qui répudiait de manière qui se voulait définitive les représentations traditionnelles. Il chercha donc à remplacer les théories quantiques primitives basées sur l'hypothèse de l'existence de trajectoires corpusculaires, impossible à contrôler expérimentalement, par une nouvelle mécanique quantique qui ne comportait que des relations entre les grandeurs observables et ceci grâce à une redécouverte du calcul matriciel. C'est ce que nous expose Costa de Beauregard en mettant l'accent sur le fait que cette technique introduisait en physique quantique la notion de non-commutativité de certaines relations.

En l'occurrence, cette conception était particulièrement audacieuse car sur le plan dimensionnel elle aboutissait à ne plus conserver aucune unité fondamentale. C'est ce que ne nous dit pas explicitement Costa de Beauregard, mais c'est ce qui cependant se trouve en aparté au début de son livre dans un paragraphe de préliminaires intitulé pudiquement "Un peu d'analyse dimensionnelle". Il nous dit en effet "si on posait par définition les étalons universels de longueur, temps et masse en fonction des seules constantes dimensionnées c (vitesse de la lumière), h (quantum d'action), et G (constante de gravitation) on aboutirait à un système dimensionnel à zéro unités fondamentales", or, c'est ce à quoi aboutissent les théories quantiques.

Il est remarquable que les grandes théories qui ont fait progresser nos connaissances en physique ont résulté de réductions successive de base dimensionnelle; la relativité restreinte répond à une réduction de base à deux unités, la relativité généralisée à une réduction à une seule unité, la longueur (géométrisation) et enfin la mécanique quantique à une réduction totale qui bouleverse encore plus nos habitudes. Ces problèmes de réduction de base dimensionnelle sont délicats à traiter, aussi en épistémologie leur intervention est-elle souvent négligée (voir à ce propos le livre que j'ai publié aux Editions européennes: "Analyse dimensionnelle et Similitudes en Physique fondamentale").

Peu de temps après, Schrödinger établit par une voie différente une mécanique inspirée de celle de Louis de Broglie mais qui cependant aboutissait aux mêmes conclusions que celle d'Heisenberg. L'une et l'autre, comme l'explique avec une remarquable clarté Costa de Beauregard, sont en définitive

des applications spécifiques de la théorie de l'espace fonctionnel de Hilbert, de ses fonctions et de ses opérateurs et elles donnent son statut à ce qui sera appelé la nouvelle théorie des quanta sans toutefois faire appel à la relativité ce qui entraînait à cette époque une certaine dichotomie de la physique théorique (qui sembla même un temps troubler Louis de Broglie).

C'est alors que Heisenberg publia son fameux mémoire sur les relations d'incertitude. A leur sujet, Costa de Beauregard nous dit : "considérées sous la forme spéciale impliquant la position et l'impulsion, les relations d'indétermination de Heisenberg sont conséquences directes, 1°) de la théorie de la diffraction de Fresnel et de l'expression mathématique qu'en donne la transformation de Fourier, 2°) de la relation universelle de Louis de Broglie entre impulsion et fréquence spatiale" et à leur propos, en ce qui concerne la notion de complémentarité, il critique la position de Bohr qui négligeait selon lui, l'aspect relativiste des phénomènes. Il écrit : "Nous inclinons à croire que l'avènement de la mécanique ondulatoire a définitivement banni le corpuscule en tant qu'entité spatio-temporelle. Si le corpuscule n'est rien qu'un nombre arithmétique, il ne peut avoir ni position, ni impulsion, ni moment angulaire. C'est l'onde, et elle seule, (suivant la représentation qu'on adopte) soit dans l'espace-temps, soit dans l'espace de l'impulsion énergie, qui porte les distributions de ces entités. La mécanique ondulatoire prescrit à cette onde d'être obligatoirement excitée à un niveau d'occupation entier, et c'est en cela seulement, que consiste l'aspect corpusculaire des phénomènes".

Ce qu'il reproche à la complémentarité de Bohr c'est d'avoir ignoré et la géométrie spatio-temporelle de Minkowski et ce qu'on a appelé la superquantification avec par exemple la théorie de la particule à spin.

Pour cette "superquantification", la fonction d'onde est transformée en opérateur qui est en réalité une fonction de répartition, un vecteur d'état. C'est Dirac qui a établi ce nouveau formalisme à propos de l'étude des bosons et c'est aussi à Dirac que l'on doit une théorie de l'électron qui sera comme le dit Costa de Beauregard, le premier élément essentiel d'une réconciliation des théories de la relativité restreinte et des Quanta. Cette réconciliation a été laborieuse, car en effet, pour récapituler, il cite un texte ancien de Louis de Broglie qui était le suivant : "la théorie de la relativité constitue le couronnement de l'ancienne physique macroscopique, au contraire la théorie des quanta a surgi de l'étude du monde corpusculaire et atomique. Etant si différentes d'origine, il n'est pas surprenant que leur conciliation exige un sérieux effort et il est naturel que cette conciliation ne soit pas encore faite de manière tout à fait satisfaisante" (Matière et lumière 1937).

La théorie quantique des champs d'expression explicitement relativiste sous la forme que lui donna Tomonaga, suivi par Schwinger, Dyson et sur-

tout Feynman fut un pas important dans une telle direction. Les problèmes posés n'en furent pas moins nombreux et en particulier celui des intégrales divergentes qui apparaissaient dans les calculs longs et ardues et qui peuvent faire l'objet de ce que l'on a appelé une "renormalisation". Une théorie des "modèles renormalisables" a même été proposée par Dyson puis Salam, mais qui selon l'auteur s'apparente quelque peu à un tour de passe-passe.

Et la physique théorique a poursuivi son essor avec par exemple le développement de l'électrodynamique quantique et, en allant encore plus avant dans la connaissance de la structure du noyau atomique, avec l'avènement de la chromodynamique. La question de la compatibilité entre relativité restreinte et quanta s'est estompée le grand problème demeurant celui du champ unitaire.

Un premier pas a été fait dans la voie de l'unification avec la théorie électrofaible et le développement du modèle standard, mais le problème posé par l'extension de la théorie à la gravitation-inertie conduit toujours à des difficultés majeures malgré les progrès réalisés en matière de symétries unitaires. La définition et surtout la mise en évidence d'un hypothétique graviton, qui devrait avoir un spin double de celui du photon, n'est toujours pas effectuée.

C'est dans le droit fil d'une telle question que Costa de Beauregard a développé, à partir d'éléments de sa thèse puis dans le courant des années 1960, une formulation aboutissant à la définition de ce que l'on a appelé "l'effet inertial de spin".

On sait depuis l'énoncé par Einstein de la relativité générale qu'il existe une équivalence entre inertie et gravitation. Bien sûr, il s'agit d'une équivalence seulement locale ainsi que l'a si bien exposé Marie-Antoinette Tonnelat (entre deux grandeurs qui n'ont pas même équation dimensionnelle intrinsèque, rappelons le). A l'échelle locale donc, toute manifestation inertielle revêt ipso facto un caractère gravitationnel. Il s'ensuit que les systèmes d'équations développés par Costa de Beauregard rendent compte d'un authentique effet gravitationnel. Mais ce qui en fait surtout la valeur, c'est que ces équations ont pu faire l'objet d'une vérification expérimentale particulièrement démonstrative montrant que, dans une substance ferromagnétique aimantée, il peut effectivement apparaître macroscopiquement une densité de spin dont le tenseur inertial a des propriétés de symétrie inattendues. Autrement dit, dans les conditions de ces expériences, et contrairement aux lois classiques de la mécanique, un corps initialement au repos peut se mettre en mouvement sans l'intervention d'une force de propulsion extérieure. Il s'agit là d'un fait scientifique d'une portée considérable dont l'importance n'a pas jusqu'ici été suffisamment appréciée par les milieux scientifiques. Ce fut pourtant le résultat du remarquable travail de Goillot qui a mis au point un appareillage très

sensible avec lequel il a pu apporter cette confirmation. L'exposé des travaux concernant cette question figurent dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences des années 1964 à 1967.

On sait que les équations du champ gravifique, contrairement à celles du champ électromagnétique, sont des équations non linéaires et que la structure du champ dépend de celle de ses sources; mais Costa de Beauregard nous fait remarquer, à propos du problème posé par la quantification des masses propres des particules élémentaires que la différence essentielle entre le champ gravitationnel et le champ électromagnétique est que, en raison de l'absence de masses négatives, le potentiel gravitationnel ne s'annule en aucun point de l'espace physique de telle sorte qu'en accord avec le principe de Mach, ce potentiel est responsable du caractère universel de l'inertie. Il nous précise que si l'interaction gravitationnelle apparaît si faible à courte distance, ce n'est pas nécessairement du fait qu'elle est intrinsèquement faible, mais du fait que sa constante est obligatoirement divisée par le potentiel global du cosmos ce qui conduit notre auteur à envisager la possibilité de modifications de la valeur de cette constante de gravitation définie au niveau quantique (voir à ce sujet les Comptes Rendus de 1958 et 1959: séance du 15 Février par exemple)

On voit là toute l'audace du théoricien qui systématiquement par ailleurs a remis en cause nombre des données de l'électro et la magnéto dynamique et en particulier en ce qui concerne le rôle joué par le temps dans les diverses interactions.

Dans le livre dont il vient d'être question donc, l'auteur admettait l'énoncé d'un premier principe de causalité: celui de la connexion ou de la non-connexion de deux événements suivant que l'intervalle spatio-temporel est entre eux du genre temps ou du genre espace selon une des formes du principe de relativité d'Einstein.

Dans un second livre "Le second principe de la science du temps" publié en 1963 au Seuil, Costa de Beauregard se livre à une critique de la formulation du principe de causalité physique effectuée sous une autre forme qui, elle, est en relation avec ce que l'on a appelé "la flèche du temps", c'est à dire la loi macroscopique des "actions retardées" mais ceci en montrant qu'elle est de nature statistique. Il développe une argumentation à connotation thermodynamique dont il constate la parenté avec les thèses de Bergson et de Ruyer. Pour lui, l'information apparaît alors comme une "néguentropie potentielle". Il écrit: "la mécanique rationnelle s'est constituée comme un dialogue toujours rebondissant de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle; grâce à la découverte de son premier principe, la thermodynamique se présente elle aussi, comme un dialogue très vivant des deux entités travail et chaleur. Nous

pensons que la découverte cybernétique d'une équivalence entre la néguentropie et l'information est grosse d'un brillant avenir: celui d'un dialogue très animé entre situations et représentations".

Mais il n'en oublie pas pour autant la particulière interprétation du temps qu'imposait la relativité: "dans un cadre de pensée covariant au sens minowskien il est non seulement recommandé, mais nécessaire de concevoir l'univers comme réellement déployé d'un seul coup dans son épaisseur temporelle aussi bien que dans ses trois dimensions spatiales." En cela donc Costa de Beauregard préfigurait la matière d'un troisième livre "Le temps déployé" qu'il a publié aux éditions du Rocher en 1988.

D'emblée, dans l'introduction de ce livre, il nous rappelle que "le paradigme d'un temps déployé en acte s'honore d'une ascendance bien antérieure à 1905. Fermat vers 1626, Euler vers 1736, Maupertuis vers 1744 ont proposé des principes variationnels dont l'algorithme est une intégrale portant sur un temps étalé entre un temps initial t_1 et un temps final t_2 ". Et il poursuit: "ce n'est pas seulement l'extension du temps en acte mais aussi sa réversibilité, la symétrie passé-futur qui est inscrite dans les formules de Fermat et de Maupertuis, dans la mécanique analytique de Lagrange et de Hamilton et dans la théorie de la relativité", et il continue plus loin "tout est écrit, certes dans une description relativiste y compris les résultats des préparations et des mesures reliés entre eux par une probabilité de transition qui est équivalamment une probabilité conditionnelle". C'est en fait la formulation relativiste qu'a utilisé Feynmann, d'un "calcul ondulatoire des probabilités" dont Born et Jordan firent les promoteurs en 1926 et qui définissait une probabilité de transition adaptée au dualisme onde-corpuscule avec pour conséquence algébrique la "non-séparabilité" et pour conséquence géométrique spatiotemporelle la non-localité.

Costa de Beauregard rappelle alors qu'il a lui-même pu montrer que l'algèbre d'une telle formulation, celle de Dirac et de Feynmann donc, est parallèle à l'algèbre des probabilités proposée par Laplace en 1774 (qu'il suffit de modifier légèrement) et n'en diffère surtout qu'au niveau de l'interprétation qu'on est conduit à en faire car elle formalise une série de phénomènes aussi surprenants que vérifiables expérimentalement.

Il définit ainsi la proposition essentielle de l'essai que constitue son livre: "identifier purement et simplement le concept de la causalité physique à celui de la probabilité conditionnelle".

Force est de constater qu'il y parvient avec brio et il applique alors la causalité conçue sous cette forme à la discussion de divers problèmes classiques et surtout quantiques et en particulier, par exemple, aux "paradoxaes corrélations d'Einstein-Podolsky-Rosen".

Son livre fourmille d'exemples et de remarques judicieuses et parfois humoristiques mais surtout le formalisme rigoureux qu'il développe le conduit de manière inexorable à la nécessité de soumettre à une critique scientifique ouverte ce qu'on désignait souvent avec un certain mépris incrédule par faits "paranormaux" comme la psychokinèse par exemple dont il fait remonter l'étude à Descartes et dont il explique la rareté des manifestations par la petitesse des valeurs des constantes k et h de Boltzman et de Planck. Pour ce faire, dans les chapitres 14 et 15, il se livre à une analyse renouvelée des notions de causalité et d'irréversibilité qui ne manque pas de bousculer avec force et évidence nombre de nos préjugés scientifiques.

C'est donc là le couronnement de l'œuvre d'un brillant esprit de grande culture, d'une imagination pétillante mais surtout d'une rigueur implacable et par là même iconoclaste comme le fut celle de quelques uns de ses prédécesseurs parmi les plus illustres.

Manuscrit reçu le 6 janvier 2003.