La physique intervient elle dans les Scinces de l'Homme

Joseph SAINT PIERRE

Lundi 20 Novembre 2006

L'origine de cette présentation se trouve dans mes expériences de formation dans le cadre du CIES (Centre d'Initiation à l'Enseignement Supérieur) en 2004 et 2005, après avoir participé à des formations doctorales à l'université du Mirail entre 1998 et 2003. Le public des formations du CIES était composé de doctorants moniteurs issus très majoritairement des disciplines scientifiques, environ les trois quarts, alors que le public des formations doctorales du Mirail était bien évidemment composé de doctorants en sciences humaines ayant besoin d'utiliser des mathématiques et plus précisément des statistiques.

Suite à mes interventions dans le cadre du CIES j'ai écrit des réflexions qui ont été rendues publiques. Afin de donner une introduction à cet exposé je cite un court extrait de ces réflexions qui peuvent éventuellement préciser mon propos.

Dans le cadre de mes interventions au CIES j'ai rencontré un nombre assez important de moniteurs issus des sciences physiques (notamment de l'UFR PCA de l'université Paul Sabatier) et j'ai eu quelques discussions très intéressantes avec certains de ces moniteurs. Je rencontre assez rarement des physiciens dans le cadre de consultations dans mon bureau. En principe les physiciens ont une bonne connaissance des mathématiques appliquées et les statistiques élémentaires sont en général connues et très bien comprises par les physiciens avec souvent une bonne perception concrète de leur utilisation. Il m'arrive assez souvent d'expliquer certains aspects des statistiques en m'appuyant sur des exemples physiques. En raison de cela il est possible que certains moniteurs de sciences physiques aient eu l'impression de perdre leur temps en assistant à mes exposés. Je pense que les liens entre les mathématiques et la physique sont très anciens et profonds, Galilée a même dit que la nature était un livre écrit dans un langage mathématique, dans l'enseignement scientifique classique les mathématiques et la physique sont généralement associées. Il se trouve que les statistiques sont souvent enseignées dans des filières où la physique n'est pas enseignée et souvent fort peu connue, cela est notamment le cas en géographie et même en économie. C'est au cours d'une intervention dans le cadre du CIES que j'ai perçu très nettement la différence de culture par rapport à l'utilisation des mathématiques entre les physiciens (au sens large) et les spécialistes de sciences humaines. Il me semble difficile de développer une approche philosophique, épistémologique, sur la place des mathématiques dans les sciences humaines sans aborder sous le même angle l'articulation entre les mathématiques et la physique. Je ne vois comment aborder une aussi vaste question dans le cadre du CIES et je ne vois pas comment, même à long terme, modifier l'enseignement supérieur. Si j'interviens dans le CIES je donnerais sans doute plus d'éléments sur la physique et sur les liens entre cette

discipline et les statistiques.

J'ai cessé de donner des formations dans le cadre du CIES et je n'y ai pas donc pas présenté d'exposés avec l'orientation vers la physique que j'avais évoquée et je vais donner ici quelques éléments qui auraient pu figurer dans un tel exposé.

L'exposé qui a suscité le plus de discussions concernent le danger des extrapolations, il s'agit d'un exposé conçu en 2002 mais qui a un rapport direct avec ma thèse soutenue en 1983 le le thème des extrapolations figurait dans mon sujet de DEA choisi en 1979. Cet exposé avait été aussi inspiré par le livre de Stephen Jay GOULD intitulé «l'Éventail du Vivant», lequel constitue, à mon avis, une remarquable vulgarisation des statistiques et une excellente sensibilisation aux problèmes des extrapolations et de leur abus.

Afin de fixer les idées sur le sujet je reprends des données concernant l'aire urbaine de Toulouse

Année	Population	Superficie	Densité
1975	585000 habitants	1600 km2	366 habitants/km2
1982	644089 habitants	2100 km2	307 habitants/km2
1990	797000 habitants	3000 km2	266 habitants/km2
1999	956000 habitants	4000 km2	241 habitants/km2

À partir de telles données il est tentant de faire des extrapolations et les politiciens et même les journalistes ne s'en privent pas. C'est en partie sur la base de ces chiffres que l'aire urbaine de Toulouse est supposée avoir entre 330000 et 350000 habitants supplémentaires en 2020. le rythme d'augmentation est évalué à 19000 habitants par an, parfois ces 19000 nouveaux habitants deviennent des migrants en omettant la part importante de l'accroissement naturel, c'est à dire l'excédent des naissances par rapport aux décès. J'ai trouvé plaisant de me livrer à une régression linéaire de la densité sur l'année. On observe que la densité de population baisse si on extrapole de manière linéaire on trouve qu'en 2045 la densité de l'aire urbaine de Toulouse devrait être négative, ce qui est totalement absurde. Cela montre en quoi les extrapolations peuvent être illégitimes. Bien évidemment l'utilisation d'intervalles de confiance montrerait la très grande incertitude associée à une telle estimation mais pour des raisons de contraintes "naturelles" il est souvent aisé de comprendre que certaines variables ne peuvent dépasser, atteindre, ou être inférieures à certaines valeurs.

Le but de cet exposé n'est pas de détailler le problème des extrapolations mais de faire comprendre la différence de perception sur ce ce problème entre les physiciens, au sens large, et les spécialistes des sciences humaines. La prise en compte des contraintes fait partie de la culture scientifique des physiciens mais cela est nettement moins souvent le cas chez les économistes. On attribue à l'économiste américain Kenneth Boulding La phrase suivante ; «Toute personne croyant qu'une croissance exponentielle peut durer indéfiniment dans un monde fini est soit un fou, soit un économiste»

Le deuxième point que je souhaite aborder présente une certaine analogie avec le précédent. Les physiciens savent très bien, en général, ce qu'est une approximation et surtout que les modèles mathématiques décrivant les phénomènes physiques sont "idéaux". L'exemple le plus simple est la différence un objet petit qui sera assimilé à un point, le point mathématique a une surface et un volume nuls alors que les objets physiques les plus petits ne sont pas de mesure nulle. Les calculs explicites se font toujours avec un certain nombre de décimales alors que les calculs abstraits de mathématiques peuvent manipuler des nombres avec une précision extrême. Le point du physicien est assez proche du point informatique, ou pixel, un très grand nombre de pixels arrivent à couvrir une surface alors qu'un très nombre de points mathématiques sera toujours un ensemble de surface nulle. Il est très important d'estimer l'importance des approximations dans un modèle physique. Cela a une importance fondamentale dans les calculs ; les ordinateurs commettent toujours des erreurs d'arrondi, il est certainement impossible d'y remédier. Dans des calculs itératifs les arrondis peuvent devenir catastrophiques, valeur devenant beaucoup trop grande, notamment lorsque que l'on divise par un nombre très proche de zéro sur lequel il y a une erreur d'arrondi. Dans les sciences humaines, en économie ou en géographie les erreurs d'arrondis sont souvent trop négligées, à mon avis.

Je pense que c'est notamment le cas avec ce que l'on nomme des économies d'échelles L'exemple des hypermarchés me semble symbolique, on regroupe sur un même lieu un assez grand choix de produits, en grandes quantités, cela permet de diminuer certains dépenses, gestion, personnels, transport etc. C'est l'appellation même lieu qui peut sembler abusive si l'hypermarché augmente sa taille, en effet le nombre de clients importants nécessite la présence de grands parcs de stationnement pour les véhicules, si la taille d'un véhicule est négligeable quelques milliers de voitures nécessitent une assez grande surface et donc des déplacements, de même la présence de très nombreuses caisses peut permettre de mieux écouler les files d'attente mais les distances entre les caisses extrêmes ne sont pas du tout négligeables. On peut dire que l'avion Airbus A380 a été construit en tenant compte des économies d'échelle mais la construction d'un très gros porteur peut être délicate à mettre au

point... De manière générale la somme de quantités nulles est toujours nulle, la somme de quantités négligeables n'est pas toujours négligeable et peut devenir très important.

Dans l'étude des mouvements d'un solide (cinématique) on néglige souvent la résistance de l'air mais parfois cette résistance est fondamentale comme dans le cas extrême du parachute. La prise en compte du frottement de l'air a donné l'occasion d'une polémique en février 1999 entre le ministre d l'éducation nationale française, d'alors, monsieur Allègre, et le journal satirique le Canard Enchaîné. La chute des corps peut être modélisée par des équations, dans le vide il s'agit d'un mouvement uniformément accéléré, dans l'air le mouvement est modifié par les frottements. La modélisation mathématique de la cinématique est due en grande partie à Galilée, dès la mise au point des équations sur la chute des corps l'effet des frottements était connus mais n'étaient pas pris en compte dans les équations. Les équations sont beaucoup plus complexes mais la principale utilisation des calculs de trajectoires servaient aux artilleurs pour mieux viser leur cibles et l'efficacité des calculs était redoutable. De manière générale la précision des calculs en physique dépend en général de l'usage concret, de la finalité.

De nombreuses méthodes statistiques ont une certaine similitude avec des calculs utiles en physique et plus particulièrement à la mécanique l'analogie existe pour un concept élémentaire en statistique : la moyenne. Le calcul de la moyenne peut être présenté comme un calcul de centre de gravité ou barycentre. La variance est à un facteur d'échelle très proche de l'inertie, une somme de carrés, en raison de cela il est possible d'utiliser des arguments géométriques pour les calculs statistiques et d'utiliser de nombreux éléments d'algèbre linéaires qui sont aussi utilisés en mécanique.

La méthode des moindres carrés, très utilisée en statistique pour les estimations dans les régressions et plus généralement dans le modèle linéaire, mais pas seulement, a un rapport direct avec la distance usuelle, distance euclidienne. Cette distance correspond à la perception physique du monde, elle a fondé la géométrie classique, laquelle a un rapport direct avec la physique. Des méthodes statistiques plus complexes s'appuient sur d'autres distances que celle des moindres carrés mais certaines méthodes statistiques s'appuient sur le calcul différentiel. Le calcul différentiel est aussi très utilisé en physique et dans certains peut avoir une interprétation concrète perceptible, la vitesse par exemple. L'analyse de la variance est fondée sur une décomposition de la variance, assez voisine de la décomposition de l'inertie dans le théorème de Huygens.

Les sciences humaines et notamment la psychologie ont très fortement utilisé les méthodes d'analyses factorielles et notamment de l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Le calcul des composantes principales en

ACP est pratiquement le même calcul que celui des axes principaux d'inertie en mécanique du solide. L'appellation "axe d'inertie" est d'ailleurs parfois employée, l'analogie entre variance et inertie en est renforcée. Les méthodes factorielles et leur usage en sciences humaines ont donné une abondante littérature, je conseille très vivement la lecture de "La Mal-Mesure de l'Homme" de Stephen Jay Gould pour une approche approfondie de cette question. J'ai d'ailleurs consacré un exposé à cet ouvrage, je tiens à souligner ici la proximité entre ces méthodes un domaine très important de la physique.

Pour appréhender les proximités entre les méthodes statistiques, éventuellement utilisées dans les sciences humaines, et la physique il peut être intéressant de jeter un regard sur quelques éléments de l'histoire des sciences.

Une des premières utilisation de la théorie des erreurs se trouve en astronomie, les astronomes collectaient beaucoup de données et nombreux sont ceux qui percevaient les incertitudes, ou erreurs dans leurs observations. On constate que de nombreux astronomes étaient aussi mathématiciens et parmi ceux là certains ont très fortement contribué au développement du calcul des probabilités. Parmi les plus importants, à mon avis, il faut citer Christiaan Huygens (1629-1695) astronome, mécanicien, découvreur de Titan, satellite de Saturne et auteur du premier ouvrage imprimé sur la calcul des probabilités "De Ratiociniis in Ludo Aleae" en 1657. Il me semble impossible de ne pas mentionner Carl Friedrich Gauss (1777-1855) qui fut astronome, physicien, mathématicien, dont le nom est lié entre autre chose à la loi normale souvent dénommée loi gaussienne, à qui on attribue l'invention de la méthode des moindres carrés. L'invention de cette méthode peut légitiment être attribuée à Legendre (1752-1833) mathématicien français. Parmi les autres mathématiciens, astronomes ayant contribué au calcul des probabilités et aux méthodes statistiques on doit aussi citer Pierre-Simon Laplace (1749-1827), Siméon Denis Poisson (1781-1840).

Je pense que l'on peut s'attarder sur scientifique qui me semble avoir une certaine importance dans les rapports entre physique et sciences humaines, le mathématicien, astronome belge Lambert Adolphe Jacques Quetelet (1796-1874). Quetelet était aussi, dessinateur, poète, auteur d'un livret d'opéra et bien d'autres activités mais il fut surtout un des précurseurs de l'utilisation des statistiques et du calcul des probabilités dans les sciences humaines et sociales, en 1835 il publia un livre qui lui assura une notoriété mondiale "Sur l'homme et le développement de ses facultés, essai d'une physique sociale". Pour situer l'importance de Quetelet je recopie quelques lignes trouvées sur le site web du gouvernement belge ;

`http://statbel.fgov.be/info/quetelet_fr.asp#4`

Les études de Quetelet sur la constance numérique des crimes suscitèrent une large discussion entre liberté et déterminisme social. Une grande controverse naquit au sein des sociologues du 19ème siècle autour de la notion "d'homme moyen" qui, d'abord appliquée aux qualités physiques, tendait à être appliquée aux qualités intellectuelles et morales jusqu'à être présentée comme un type idéal. Ainsi cette théorie fut critiquée par Émile Durkheim et Maurice Halbwachs qui s'offusquèrent de cette généralisation. Par contre, la tentative de Quetelet d'établir une "physique sociale" intéressa vivement Karl Marx qui utilisa un grand nombre de ses travaux. Malgré cette polémique, l'apport de Quetelet dans ce domaine est indéniable car il fut le premier à mettre en évidence les potentialités de la statistique comme instrument pour comprendre et mesurer les phénomènes sociaux.

Quetelet est mondialement connu pour son indice connu aussi sous le nom IMC (Indice de Masse Corporelle) en français ou BMI (Body Mass Index) en anglais.

Les critiques légitimes des travaux de Quetelet peuvent peut être expliquer pourquoi l'expression de physique sociale est tombé en désuétude. L'expression sciences humaines ou sciences de l'Homme méritent, à mon avis d'être discutée. Le sujet de philosophie du baccalauréat que j'avais choisi était "Est il possible de tenir un discours scientifique sur l'humain ?" ,je ne me rappelle pas la formulation exacte du sujet...

En 1960 le physicien Eugen Paul Wigner (1902-1995), prix Nobel en 1963 a publié un essai très célèbre : "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences", cela fut traduit par "la déraisonnable efficacité des mathématiques dans les sciences naturelles". L'invocation de cette expression réveiller des fantasmes sur la compréhension du monde à partir des mathématiques en se basant sur les succès de la physique.

Je pense qu'il existe des représentations erronées sur les sciences exactes et sur l'efficacité des mathématiques, les mathématiques sont souvent associées à des calculs pouvant être décrits de manière "analytique", "lisse" avec des fonctions bien identifiées, les mathématiques efficaces sont très complexes et la mise en oeuvre qui en découle pour des applications physiques est très souvent basée sur des calculs itératifs, des approximations et beaucoup de calculs fondés sur l'usage des ordinateurs. Les calculs scientifiques utilisés pour construire une aile d'avion utilisent beaucoup de mathématiques mais sont éloignés, à mon avis, des représentations des mathématiques tant dans le grand public que chez les très nombreux étudiants de science humaines que j'ai rencontrés dans ma carrière.

Une hypothèse pour expliquer la désuétude de l'expression de physique sociale peut se fonder sur l'image de la physique. La désaffection des filières scientifiques a plus tôt et plus fortement touché la physique, la discipline est peut être devenue le symbole d'une société qualifiée de scientiste, du nucléaire aux nanotechnologies la physique représente une forme de danger, en raison peut être même de son efficacité. La physique peut même parfois être perçue comme une discipline impérialiste, les mathématiques pouvant être vues comme une partie de la physique. Il y a beaucoup de discussions dans la communauté mathématiques autour des positions provocatrices de Vladimir Arnold sur les mathématiques allant dans ce sens.

En conclusion je n'arrive pas à trouver une position théorique sur la place de la physique et sa valeur de modèle et j'opte pour une position essentiellement pragmatique. Il y a des éléments dispersés dans la physique qui peuvent aider à comprendre les mathématiques et même à mettre en garde sur les dangers de transpositions analogiques, du genre les groupes sociaux sont comme tel ou tel objet physique ou chimique, un gaz, une molécule, un magma etc...

Soulever la place de la physique dans les sciences humaines permet d'aborder indirectement la place des autres disciplines notamment de la biologie, de la médecine. Je renvoie aux livres déjà cités de Stephen Jay Gould.

Enfin à travers cet exposé j'ai abordé implicitement des questions qui concerne fortement le service dans lequel je suis, le Centre Interuniversitaire de Calcul de Toulouse (CICT). Le CICT est né de l'Institut de Calcul Numérique dont il l'occupe les locaux. L'Institut de Calcul Numérique a été créé par le doyen Émile Durand, lequel était professeur de physique, auteur de nombreux livres. Le bâtiment du CICT porte le nom Émile Durand et le CICT est très fortement utilisé par les laboratoires de sciences physiques, au sens large. Il existe, à mon avis, un fossé très important entre les sciences physiques et les sciences humaines, il serait réducteur de voir les liens entre ces disciplines uniquement à travers l'utilisation des modèles mathématiques de la physique dans les sciences humaines. La question constituant le titre de cet exposé peut avoir de multiples interprétations, la physique peut, et à mon avis doit absolument, intervenir dans les Sciences de l'Homme en tant qu'objet d'étude, il doit exister une histoire de la physique, une philosophie de la physique.