Mathématiques et sciences humaines

Rapport sur les applications des mathématiques aux sciences de l'homme, aux sciences de la société et à la linguistique

Mathématiques et sciences humaines, tome 86 (1984), p. 5-58

<http://www.numdam.org/item?id=MSH_1984__86__5_0>

RAPPORT

SUR LES APPLICATIONS DES MATHEMATIQUES

AUX SCIENCES DE L'HOMME, AUX SCIENCES DE LA SOCIETE

ET A LA LINGUISTIQUE

Math. Sci. hum. (*22*^{e} année, n°86, *1984*)

Note liminaire

En novembre 1982, un groupe de travail présidé par C. Houzel a esquissé les grandes lignes d'un rapport de prospective en Mathématiques. Il a été établi la liste des grands thèmes qui devraient être couverts par le rapport et a pressenti pour chacun de ces thèmes un ou plusieurs responsables chargés de préparer la partie correspondante du rapport de prospective. C'est dans ces conditions qu'a été confiée à A. Lentin la responsabilité du thème "Applications des Mathématiques aux Sciences de l'homme, aux Sciences de la Société et à la Linguistique".

L'objectif du rapport de prospective est double. D'une part, il s'agit de faire le point sur l'état actuel des recherches dans tous les domaines des Mathématiques pures et appliquées en France et d'analyser comment ces travaux s'inscrivent dans le contexte international. Par ailleurs, partant de cette analyse du présent, le rapport doit s'efforcer de dégager les évolutions probables ou souhaitables de ces recherches au cours des prochaines années. Un tel rapport s'avérera sans doute être un document précieux qui permettra à de nombreux chercheurs, en particulier aux plus jeunes, de se situer par rapport aux grands axes de recherche dans le domaine des Mathématiques et de leurs applications.

*   *
*

Il a paru à certains mathématiciens travaillant dans les applications des Mathématiques aux Sciences Humaines que cette initiative du C.N.R.S. créait une occasion unique *d'élaborer un document qui puisse aider notre communauté à réfléchir sur elle-même, sur son travail , sur ses méthodes, sur sa* *mission et sur l'image que les autres se font d'elle.*

C'est à ce document que **Mathématiques et Sciences humaines** *consacre le présent numéro spécial. Il a été rédigé à partir d'importantes contributions écrites dues à MM. M. Barbut, A. Degenne, J.P. Declès, M. Gonzalez, J.L. Guigues, B. Monjardet, J. Petitot; H. Rouanet.*

Les critiques et remarques écrites faites par MM. V. Duquenne, M. Eytan, R. Grunig à une première version du texte ont permis de l'améliorer. Le travail a également bénéficié des observations présentées oralement, lors de réunions, par des personnes que l'on remercie mais que l'on ne saurait toutes citer car elles sont trop nombreuses.

La synthèse est l'oeuvre de A. Lentin.

* *
*

Il va de soi que le texte que publie **Mathématiques et Sciences humaines** *excède par son ampleur la contribution demandée en vue du* **Rapport Général de Prospective** *que publiera le C.N.R.S.. Il convenait donc d'en extraire un résumé aux dimensions requises, et c'est D. Bresson qui a bien voulu se charger de cette tâche. Le résumé sera inclus dans le rapport de conjoncture sur la recherche en mathématique que le C.N.R.S. publiera prochainement.*

Math. Sci. hum. (22^{e} année, n°86, *1984*)

INTRODUCTION

I.1. LES SCIENCES HUMAINES

I.1.1. A l'heure actuelle, les locutions qui tendent à prévaloir dans l'usage sont "Sciences de l'homme" et "Sciences de la société" - et la dichotomie présente sans doute quelque utilité. Cependant, pour faire court, nous nous permettrons de regrouper les sciences ainsi désignées, et aussi la linguistique, sous le terme plus général de "Sciences humaines" (en abrégé SH). C'était le terme consacré à l'époque des *Facultés des Lettres et Sciences humaines ;* pas trop obsolète, croyons-nous, il dit encore bien ce qu'il veut dire.

I.1.2. On considère généralement que les Sciences humaines comprennent

(1) la linguistique
(2) la psychologie
(3) la sociologie
(4) la politologie
(5) l'anthropologie (et l'ethnologie)
(6) la démographie
(7) l'écologie
(8) la géographie humaine
(9) l'Histoire (et les disciplines qui lui sont liées).

Les "Sciences de l'homme" seraient, plus particulièrement, la linguistique et la psychologie, tandis que les "Sciences de la société", ou "Sciences sociales", seraient plus particulièrement la sociologie, la politologie, l'anthropologie, la démographie et l'écologie. Sociolinguistique, psychologie sociale et autres disciplines charnières (qui apparaîtraient dans une classification plus fine que celle esquissée ci-dessus) témoignent de l'absence d'une coupure nette entre les deux groupes.

Science humaine, à coup sûr, la géographie humaine peut à certains égards être rapprochée des Sciences sociales.

Et pourquoi abandonnerait-on l'Histoire ?

I.1.3. L'homme, considéré dans la série animale, peut aussi être étudié du point de vue biologique. On notera à ce propos que c'est aux *Sciences de la vie* que le C.N.R.S. rattache la psychologie. Nous aurions pu arguer de ce fait pour considérer que les applications des mathématiques à la psychologie relevaient *entièrement* d'un autre secteur de ce *Rapport de Conjoncture* dont l'initiative, précisément, revient au C.N.R.S.. Nous ne l'avons pas fait, estimant que c'eût été contraire au bon sens : il existe manifestement des psychologues que leurs préoccupations rapprochent au moins autant des Sciences humaines que des Sciences de la vie.

I.1.4. Nous considérons que la "Sciences des Organisations" (Management), ainsi que la Recherche Opérationnelle, sont rattachées aux Sciences économiques, lesquelles font l'objet d'une autre partie du *Rapport de Conjoncture.*

I.2. "MATHEMATIQUES ET SCIENCES HUMAINES" ou "INFORMATIQUE ET SCIENCES HUMAINES ?

I.2.1. La dernière décennie a connu un développement considérable de l'utilisation des ordinateurs par les Sciences humaines. Au début de cette période, la confusion était souvent faire entre *mathématisation* d'une discipline et *"emploi" des machines à calculer*. L'expérience a vite montré que, si ces instruments puissants rendaient aux chercheurs de précieux services, leur usage pouvait avoir aussi des effets négatifs, le principal étant l'absence de réflexion préalable sur les questions à se poser quant à l'analyse des données étudiées, absence liée au manque de manipulation personnelle du corpus ; cette utilisation de l'informatique a ainsi, paradoxalement, entraîné une régression dans la mathématisation des Sciences humaines.

Journées d'études, stages, Ecoles d'été, colloques et actions diverses menées avec l'appui du C.N.R.S. ou de la D.G.R.S.T. ont contribué à donner au milieu des Sciences humaines une vue plus claire et plus saine de l'informatique. L'idée qu'en amont de l'ordinateur doit se trouver, fût-il pauvre - voire rudimentaire - un *modèle mathématique*, cette idée commence à faire son chemin.

I.2.2. Aujourd'hui, mathématisation et informatisation des Sciences humaines marchent de front, sans trop de heurts. Certaines branches des mathématiques *passent par l'informatique* pour trouver leurs applications en SH. Semblables applications peuvent légitimement apparaître de ce fait comme étant des APPLICATIONS DE L'INFORMATIQUE.

Comment trancher ?

La question se complique du fait qu'il n'existe pas de coupure entre les mathématiques et l'informatique : l'une et l'autre ont par exemple d'excellentes raisons de revendiquer l'ALGORITHMIQUE.

Dans tel cas, on n'hésite pas ; en voici un exemple extrême. Grâce aux signaux émis par des satellites artificiels, la Géographie humaine peut suivre au jour le jour les modifications que notre espèce fait subir à la planète : tout le monde s'accordera pour attribuer à l'informatique le mérite de décoder et traiter ces signaux.

En d'autres circonstances, on reste perplexe. Un cas typique est celui des applications de caractère *linguistique*. Ici, la difficulté de trancher tient à ce que les outils et concepts mathématiques qu'emprunte, mais aussi développe et perfectionne, l'informatique fondamentale, sont pour une bonne part ceux dont a besoin une certaine linguistique.

I.2.3. Dans la présente partie du *Rapport de Conjoncture*, on s'efforcera de présenter les choses du point de vue des mathématiques "pures", renvoyant pour les autres points de vue à la partie qui traite des "Applications de l'informatique et de l'Intelligence Artificielle".

Pour fixer les idées, c'est dans cette partie qu'il conviendra de rechercher, entre autres, les applications à

La démographie historique (reconstitution de familles)
L'analyse et l'exploitation de données électorales
L'exploitation de la télédétection en géographie et ailleurs
l'archéologie

La difficulté d'arbitrer entre mathématiques et informatique, s'agissant de leur attribuer telle application, redouble dans le cas de la statistique.

I.3. STATISTIQUE ET SCIENCES HUMAINES

I.3.1. Les applications du calcul des probabilités et de la statistique aux SH sont nombreuses, diverses, importantes. L'idée répandue selon laquelle les Sciences sociales seraient "grandes consommatrices de 'statistiques' " contient une part de vérité.

Le secteur "Probabilités et statistique" du *Rapport de Conjoncture* présente plusieurs aspects pertinents pour les SH. (Nous y renvoyons en particulier pour tout ce qui concerne la DEMOGRAPHIE, ainsi que pour la statistique bayésienne.

En conséquence, on a pris le parti, pour la présente tranche du *Rapport*, de ne pas y traiter *systématiquement* de la STATISTIQUE, mais d'insister sur les seuls points qui paraissent appeler de notre part des remarques importantes.

I.3.2. C'est dans son acception la plus large que nous prenons ici le terme de STATISTIQUE, considérant qu'il inclut par exemple la théorie des sondages et aussi toutes les "Analyses de données" de type "classique" (*), dont l'usage est si répandu aujourd'hui dans les SH.

En matière d'analyse de données, le point sur lequel nous mettrons l'accent est l'existence d'analyses "non classiques" -et l'intérêt qu'il y aurait à les développer davantage.

I.4. SUR LE PLAN QUI SERA SUIVI

I.4.1. Deux possibilités s'offrent *a priori* pour traiter des applications des mathématiques aux SH.

. On peut partir d'une classification des mathématiques et, pour chaque branche, recenser les applications qu'elle trouve dans les diverses SH.

. On peut, à l'inverse, partir des SH.

Adoptée par un certain nombre de livres et manuels d'enseignement supérieur, la première façon de faire peut paraître la plus naturelle, s'agissant de s'adresser à des mathématiciens.

Mais les SH sont certainement moins familières aux mathématiciens (dans leur grande majorité) que les Sciences physiques, par exemple. Alors, mieux vaut peut-être procéder, non pas en fonction de ce que tel ou tel mathématicien possède au départ dans son bagage, mais plutôt de ce qui l'attend (ou l'attendrait) au bout du chemin.

(*) Pour ce type d'analyse, nous renvoyons donc au secteur "Probabilités et Statistique", qui intègre une contribution de L. Lebart.

La solution de compromis que nous adopterons est la suivante ayant au préalable classé les SH et regroupé celles qui présentent des "besoins mathématiques apparentés", nous PARTIRONS DES PROBLEMATIQUES propres aux SH, problématiques que nous présenterons sur des cas exemplaires (sans viser à une impossible exhaustivité).

A partir de là, nous examinerons les mathématiques qu'elles utilisent, ou pourraient utiliser. Le cas échéant, nous tenterons de caractériser les branches des mathématiques dont les SH suscitent ou, pour le moint, stimulent la croissance.

I.4.2. La section II traite des applications des mathématiques à certaines Sciences sociales et à la psychologie.

La section III traite des applications à la linguistique.

La section IV présente quelques réflexions sur l'avenir des Mathématiques appliquées aux Sciences humaines.

Divers documents sont donnés en Annexes.

SCIENCES SOCIALES, PSYCHOLOGIE

II.1. UN PREMIER APERÇU

II.1.1. Pour commencer, insistons sur le fait qu'en Sciences sociales comme en psychologie, les données sont souvent de nature "qualitative" : relations, ordres de préférence ou de classement, réponses à quelque questionnaire, etc. Ici, "qualitative" s'oppose à "numérique", mais n'est nullement incompatible avec "ordinale", au sens d'un ordre généralement partiel (mais éventuellement total). Les traitements mathématiques ou statistiques auxquels peuvent être soumis ces données appellent, au moins dans une première phase, les tâches suivantes :

(a) - Classer
(b) - Ordonner
(c) - Résumer (ou agréger)
(d) - Mesurer

II.1.2. (a,b) - Les termes mêmes de "classer" et "ordonner" évoquent déjà le substrat mathématique le plus profond sur lequel on opère : treillis des partitions, treillis de Galois, etc.

Mais, d'après quels critères classer ? Et comment classer ? Ces questions se compliquent du fait que les corpus de données que l'on traite en Sciences sociales et en psychologie atteignent couramment des tailles considérables, exigeant l'emploi de l'ordinateur. Les SH ne détiennent certes aucun monopole, mais elles ont fortement incité au développement, parfois même à la création, de méthodes originales d'analyse de données, classification, classification automatique. Elles continueront à pousser au progrès car, outre le "prêt-à-porter" qui leur est toujours utile, il leur faut souvent du "sur-mesures".

(c) - "Résumer", au sens du statisticien, c'est représenter par une "valeur centrale" un ensemble de données observées. Il convient donc de pouvoir et de savoir élargir au cas des données ordinales et, plus généralement des *données relationnelles* (réseaux etc.) des notions importantes dont celle de *médiane* est peut-être la plus fondamentale.

Formellement, "résumer" ne se distingue alors plus de "rechercher une agrégation de préférences, ou de critères", pour parler comme l'Economiste ou le Politologue.

(d) - Vouloir "mesurer" certains paramètres, c'est poser la question du passage du "qualitatif" au "quantitatif" : à partir des opérations mêmes qui permettent de comparer ou d'agréger certaines données ordinales, est-il possible de définir une mesure numérique de celles-ci ? Si oui, comment le faire au mieux ? Si non, peut-on au moins aboutir à des approximations raisonnables ?

II.1.3. Les sections suivantes illustrent et précisent ces généralités à partir d'exemples importants dans la pratique. Elles voudraient donner une idée concrète de la façon dont les Sciences sociales et la psychologie font appel aux mathématiques.

II.2. SOCIOMETRIE. RELATIONS SOCIALES

II.2.1. Soit à approfondir l'étude d'une relation sociale observée empiriquement. Dans la tradition de la sociométrie, la première ébauche du modèle est un graphe, valué ou non, supposé représenter l'état de la relation. Comment en faire apparaître des propriétés caractéristiques ?

La problématique classique est la suivante :

. Reconnaître des classes, ou, plus généralement,des ensembles significatifs d'un certain point de vue et formant un recouvrement.

. Reconnaître une structure hiérarchique.

. Mettre en évidence des éléments ayant un rôle particulier de par leur place dans la structure.

Le développement de la théorie des graphes - lui-même favorisé par ce genre d'applications - a fourni les outils combinatoires et les algorithmes couramment utilisés et enseignés aujourd'hui : recherche de cliques (un mot emprunté à la sociologie !), de composantes connexes, de points ou ensembles d'articulation, etc.

D'autre part, les méthodes statistiques peuvent se développer quasi à l'infini mais n'entraînent pas toujours la conviction des chercheurs, car les résultats obtenus ne sont pas toujours en prise sur des concepts de la sociologie ou de la psychologie sociale.

Au sujet de la statistique, et d'un point de vue fondamental, on peut d'ailleurs noter ce qui suit. L'Espérance des variables aléatoires numériques étant une forme linéaire positive et normée sur l'Espace vectoriel des variables aléatoires ayant même ensemble d'éventualités, il en résulte que le Calcul des Probabilités, ses règles et ses axiomes, peuvent être resitués dans le cadre de l'Algèbre (cas fini) et de l'Analyse (cas infini) linéaires.
Or les variables que rencontre la sociométrie quand elle traite de réseaux sociaux ne sont pas numériques (ou vectorielles).

Quoi qu'il en soit, on atteint assez vite les limites de la démarche "classique" que l'on vient d'évoquer : un renouvellement s'impose.

Aux Etats-Unis, l' "Ecole de Harvard" propose les modèles dits "block-models", analyse typologique : les algorithmes (souvent statistiques) et l'interprétation alternent.

En France (Centre d'Analyse et de Mathématique Sociales, Degenne, Flament et al.). on considère comme particulièrement important le problème de la partition des tableaux en 0-1 (donc des graphes en particulier) en *blocs réguliers*. Il s'agit de trouver une partition de lignes et une partition de colonnes (pour un graphe elles peuvent coïncider) telles que les blocs obtenus, ou bien ne contiennent que des 0, ou bien contiennent au moins un 1 dans chaque ligne et dans chaque colonne. Aussi bien du point de vue mathématique que du point de vue algorithmique, les problèmes sont largement ouverts.

II.2.2. Une autre voie qui s'ouvre à la recherche part de l'idée que les relations sociales ne s'analysent pas *d'abord* comme des relations binaires, mais que l'objet premier doit être le groupe social - les relations interindividuelles en découlant alors. C'est dire qu'il faut passer des graphes aux hypergraphes ; la problématique classique se transpose à ce niveau.

II.2.3. Cependant, même de ces points de vue partiellement renouvelés, les réseaux sociaux sont vus comme des structures *figées*, alors qu'il faudrait étudier la *dynamique* des relations. Les mathématiques à utiliser et à développer sont celles qui permettent d'étudier les transformations d'un graphe (ou d'un hypergraphe) dans le temps. Comment faire des chroniques qui ne concernent pas seulement des indicateurs statistiques globaux mais aussi des caractéristiques qualitatives ?

Pour créer et nourrir la problématique correspondant à ces questions, il faut ouvrir un dialogue entre chercheurs en SH et mathématiciens, avec la volonté de le poursuivre patiemment aussi longtemps que nécessaire. D'un premier côté, impatients de faire progresser concrètement leurs disciplines, les chercheurs en SH attendent à court ou moyen terme des méthodes opératoires, et relevant de mathématiques qui leur restent familières. De leur côté, les mathématiciens - certains d'entre eux du moins - ont à rappeler que les *topos* offrent précisément la possibilité de construire une théorie des ensembles qui soit vraiment *dynamique* et ainsi de "dynamiser" telle notion qui, sous son aspect habituel, se présente comme statique.

L'exemple en cours nous aura donc permis de soulever la question du rôle que pourrait, ou devrait, jouer en SH la théorie des catégories.

II.2.4. Les études de relations sociales ont presque toujours été conduites par des psychosociologues sur de *petits* groupes et supposent connues toutes les données empiriques élémentaires. On voudrait pouvoir passer à des populations de *grande* taille, ce qui oblige à procéder par sondages. Dans ces conditions, comment se faire, à partir d'un échantillon, une opinion sur des caractéristiques de structure et de forme d'un réseau ?

Tel est, énoncé en termes très généraux, le grand thème que soulèvent certaines applications des mathématiques aux SH. Il est remarquable que ce thème ait rapidement suscité des travaux venant de combinatoriciens de haute stature, comme Erdös, ou de statisticiens, comme Ove Franck (Lund) et que près de 250 articles lui aient été consacrés (d'après une revue récente du *Journal of Graph Theory*). Pour la France, il faut citer des contributions récentes de A. Guénoche et F. de la Vega.

Mais, pour arriver à des résultats mathématiques précis, il faut avoir au préalable tiré du thème général l'une des nombreuses formulations mathématiques précises auxquelles il peut conduire. On constate alors que, à mesure qu'une théorie mathématique se fait plus raffinée, des résultats qui pourraient se montrer utiles dans les applications ont tendance à devenir de moins en moins accessibles aux utilisateurs potentiels, de moins en moins connus d'eux.

II.3. MATHEMATIQUES DES PREFERENCES

II.3.1. Introduction

L'étude des préférences individuelles ou collectives est au carrefour de plusieurs disciplines : économie, gestion, psychologie, sociologie, docimologie, politologie, et même philosophie, et y a souvent donné lieu à l'utilisation de modèles ou méthodes mathématiques. Certes, chacune de ces disciplines a sa problématique propre : par exemple, celle du psychologue cherchant à rendre compte des différences entre préférences individuelles observées n'est pas la même que celle de l'économiste cherchant à construire à partir de ces mêmes préférences un choix collectif "satisfaisant". Mais ce domaine des préférences est justement un bon exemple où la formalisation mathématique éclaire ce qui peut être commun à des problématiques variées. Ainsi l'on voit apparaître partout les mêmes objets mathématiques pour modéliser les préférences sur un ensemble - structuré ou non - d'options de nature variée (candidats, opinions, objets, loteries, ...).

Il s'agit

. de relations (généralement binaires, mais éventuellement n-aires ou-et -valuées).

. de fonctions numériques (notes, graduations, utilités,...)

. de familles de lois de probabilités (associées à toute partie de l'ensemble d'options et modélisant une préférence "stochastique").

Dans les paragraphes suivants, nous développons les trois aspects principaux de l'étude mathématique des préférences, sans nous interdire d'éventuels recoupements avec les parties du rapport d'ensemble consacrées à l'économie mathématique ou à l'analyse des données.

II.3.2. Modèles mathématiques de la préférence individuelle

Les premières expressions mathématiques de la préférence individuelle ont pris la forme d'une fonction numérique dite d'*utilité* (Bernoulli), et dans les nombreux développements contemporains de modèles de préférences, le problème de l'utilité, c'est-à-dire celui des représentations numériques des préférences a été central (faisons brièvement allusion, car nous n'y reviendrons pas, aux théories axiomatiques de Von Neumann et Savage, pour la préférence sur des décisions aux conséquences aléatoires ou incertaines).

Il faut noter ici que ce problème de représentation numérique fait rentrer une bonne part de ces travaux dans le cadre de ce qu'on peut appeler la théorie du mesurage, i.e. des homomorphismes de systèmes relationnels dans des systèmes numériques, développée actuellement par des auteurs comme Falmagne, Krantz, Luce, Roberts, Suppes, Tversky, etc. ("Measurement theory").

Une conséquence immédiate du modèle d'utilité est que la préférence est un préordre total sur l'ensemble des options, donc que les relations de préférence stricte et d'indifférence sont transitives, et que toutes les options sont comparables. C'est ce modèle de préordre total que Pareto mettra à la base de sa conception de l'utilité "ordinale", non sans s'attirer déjà les critiques de ceux qui constatent que l'indifférence n'est pas nécessairement transitive (ceci à cause d'un phénomène de seuil de discrimination bien connu des psychophysiciens et de Poincaré !). Mais il faudra attendre les travaux d'Halphen et Luce (1955-56) pour voir apparaître un modèle où il n'y a préférence stricte entre deux options que si leur différence d'utilité dépasse un certain seuil ; c'est le "quasi-ordre" (semiorder) ; si dans ce modèle, l'indifférence n'est plus nécessairement transitive, les deux autres conditions (parfois tout aussi peu réalistes) sont conservées. De nombreux travaux récents autour des "quasi-ordres partiels" ou des "familles homogènes de semiordres" tendent à s'affranchir de ces conditions, tout en conservant des propriétés de représentabilité ; on peut y noter une importante contribution franco-belge (Cogis, Doignon, Flament, Jacquet-Lagrèze, Monjardet, Olivier, Roubens, Roy, Vincke).

Dans le domaine de la "préférence stochastique" (i.e. celui où le choix préférentiel individuel est incertain), la notion d'utilité a servi de cadre aux modèles élaborés par des psychologues. Ainsi, pour les modèles d'utilité aléatoire (Thurstone, 1927), l'utilité d'une option est une variable aléatoire, la probabilité du choix entre deux options se ramenant à la probabilité d'une différence positive de leurs utilités. Pour les modèles d'utilité constante (tel celui de Luce, 1959, qui l'obtient à partir d'axiomes "raisonnables" sur la préférence stochastique), la probabilité de choix d'une option est une fonction des utilités-constantes - des options comparées. Dans des travaux récents, on examine les conditions d'équivalence de ces deux types de modèles.

D'autre part, on retrouve dans les contributions actuelles aux modèles de préférence stochastique la même évolution que pour les modèles de préférence certaine i.e. la remise en question de propriétés initialement admises (comme la "transitivité stochastique") au profit d'hypothèses plus réalistes. On peut citer à cet égard les travaux (notamment, en France, par Gonzalez) autour des modèles de "différences additives" et d' "élimination par aspects"(Tversky) qui tous deux dérivent les propriétés observées de la préférence stochastique d'une théorie du processus préférentiel.

Finalement, on ne peut quitter ce sujet des modèles individuels de préférence, sans remarquer que ceux-ci restent toujours des idéalisations des préférences observées, et qu'il se pose donc des problèmes *d'ajustement* de tels modèles aux données de préférences recueillies par telle ou telle méthode (cf., par exemple, le problème classique d'ajustement d'un ordre total à une relation de tournoi, obtenue par une méthode de comparaison par paires). Les travaux dans cette direction rejoignent des problèmes d'optimisation en agrégation des préférences évoqués en II.3.4.

II.3.3. Analyse des données préférentielles

La question posée ici est celle de la description d'un ensemble de préférences exprimées sur les mêmes options. Si l'on se borne à vouloir un "résumé" (au sens statistique) de ces préférences on se trouve ramené à des problèmes d'agrégation des préférences étudiés au paragraphe suivant. Si par contre, l'on s'intéresse à la diversité des préférences et à leur comparaison, on débouche sur les analyses de données préférentielles. A un premier niveau, on définit des coefficients d'accord entre deux ou plusieurs préférences (Kendall, etc.) dont on a montré ultérieurement qu'ils pouvaient s'obtenir comme distances ou inerties normées dans des espaces euclidiens où sont codées les préférences (cf., notamment, Degenne 1973). Pour ces représentations géométriques des préférences, il faut mentionner en particulier les travaux menés en France autour de la notion de "permutoèdre", *i.e.* des représentations polyédriques des ordres ou préordres totaux (Guilbaud, Rosenstiehl, Kreweras, Benzécri, Jacquet-Lagrèze, Feldman, Hogasen, ...). A un second niveau, un courant actuellement très actif, dont on peut faire remonter l'origine à des travaux de Coombs dans les années cinquante, développe des méthodes visant à représenter les préférences et les options sur lesquelles elles portent dans des espaces euclidiens (ce qui conduit à une utilité multidimensionnelle). Ce problème de représentation conjointe est résolu par diverses techniques type "analyse de correspondance" ou "multidimensional scaling", pour lesquelles nous renvoyons au rapport sur l'analyse de données. On se contentera ici de signaler les recherches en cours sur d'autres types de représentations, non euclidiennes, comme celle dans l'espace métrique associé à un arbre (Tversky) ou le codage dans des produits directs d'ordres totaux (problème de la "dimension" d'un ordre).

II.3.4. Théorie mathématique du choix collectif et agrégation des préférences

Le problème du choix collectif apparaît dans de multiples domaines : l'élection de candidats par une assemblée, où il a donné lieu aux premières découvertes de paradoxes et travaux mathématiques par Borda et Condorcet (1786) ; la recherche par des économistes comme Bergson ou Hicks de fonctions de bien-être social satisfaisantes ("welfare economics") qui a motivé les travaux d'Arrow, etc.

Dans la formalisation arrowienne, on travaille avec des fonctions ("social choice function") dont l'entrée est un "profil de préférences" (constitué par la donnée pour chaque individu de "l'assemblée" de sa préférence sur les "candidats") et la sortie un classement unique, appelé préférence collective ; de plus les préférences individuelles ou collectives sont modélisées par des préordres totaux. Enfin, et surtout, pour qu'une telle fonction représente une procédure "loyale", "équitable", "démocratique", d'agrégation des préférences, on lui impose des conditions supplémentaires. Le théorème bien connu d'Arrow (1951) établit alors qu'un ensemble de telles conditions "raisonnables" pour une telle procédure est contradictoire. Il est équivalent de dire qu'on obtient une caractérisation axiomatique des projections (le "dictateur") d'un certain produit direct.

Ce résultat a suscité une multitude de travaux, particulièrement d'économistes mathématiciens (tels Fishburn, Pattanaik ou Sen) dont la grande masse a montré que le caractère "négatif" du théorème d'Arrow était très "robuste" pour de nombreuses variations des axiomes ou des domaines d'arrivée ou de départ des fonctions d'agrégation considérées (cf., en France, les travaux de Barthélémy, Batteau, Bordes, Leclerc, Monjardet ou Salles).

Toutefois, une autre direction de recherches plus positive s'est développée récemment, notamment en France ; elle a pour but de définir, caractériser, comparer des procédures effectives d'agrégation satisfaisant certaines "bonnes" propriétés. Il s'agit, en particulier, de procédures qui peuvent ne conduire qu'à sélectionner une partie des candidats, mais qui distribuent de manière assez équitable entre les votants le pouvoir d'influer sur le résultant et contrôlent les possibilités de manipulation stratégique de la procédure (le bien connu "vote utile" opposé au "vote sincère"). Dans cette direction marquée notamment par les travaux récents de Moulin et Peleg sur des procédures associées à des généralisations des jeux simples de Von Neumann et Morgenstern (cf, en particulier, la théorie du veto proportionnel de Moulin), l'interpénétration avec les concepts de la théorie des jeux a été très profitable. Une autre direction étudie des procédures définies par des contraintes d'optimisation, telles que "la préférence collective est "à distance minimum" des préférences individuelles" et en particulier la procédure "médiane" (Barbut, Barthélémy, Kemeny, Monjardet, Young, etc.). Ce type de méthodes métriques est clairement valable pour des relations de nature variée et peut donc répondre au problème du résumé de données relationnelles (cf. II.4.3.). Dans ce contexte, et comme l'avait souligné magistralement Guilbaud (1952), la théorie mathématique du choix collectif doit être rapprochée du problème général du "bon résumé", où son approche axiomatique peut préciser les conditions d'utilisation de telle méthode. (Ce point de vue devrait être important en docimologie, qui l'ignore encore presque complètement). Enfin, c'est dans ce cadre qu'apparaît clairement l'intérêt d'une approche plus abstraite, où par exemple, l'on agrège des n-uples d'éléments d'une structure ordonnée (cf., notamment, la théorie de la médiane et des fonctions "majoritaires" dans certaines structures latticielles développée par Barbut, Bandelt, Barthélémy et Mojardet), approche qui devrait amener à une réelle compréhension des théorèmes "arrowiens".

II.3.5. Conclusion

1. Les différentes disciplines utilisant des outils mathématiques pour l'étude des préférences nous semblent en train d'édifier un domaine interdisciplinaire où la mathématique commence à devenir "constitutive" des questions et des réponses. Alors que ces disciplines - qui s'ignorent souvent - n'en ont guère conscience, le rôle du mathématicien peut être important pour favoriser cette évolution - exceptionnelle en Sciences humaines.
2. Le domaine fournit de nombreux problèmes mathématiques originaux ou renouvelant des préoccupations de mathématiques "pures". On peut, par exemple, citer dans le champ des mathématiques discrètes, et pour le premier point : la notion de quasi-ordre et ses généralisations, pour le second : les relations de Ferrers (Riguet, 1950) ou les demi-treillis à médianes (Scholander, 1954). On pourrait faire des constatations analogues pour les problèmes algorithmiques (et informatiques) rencontrés dans ce cadre.

II.4. PSYCHOLOGIE, SCIENCES SOCIALES ET MATHEMATIQUES DISCRETES. ANALYSE COMBINATOIRE DES DONNEES.

II.4.1. Ce qui précède visait à introduire à partir du concret l'idée importante du point de vue méthodologique, voire épistémologique, que les Sciences sociales comme la psychologie font un large appel - et ce depuis la formalisation "naturelle" des données qu'elles recueillent jusqu'à l'élaboration de leurs modèles - à *certaines structures finies non numériques :* graphes, graphes values, hypergraphes, systèmes relationnels, structures ordonnées, treillis ... L'anthropologie (ethnologie) aurait introduit entre autres les groupes et les monoïdes. (Ici, le travail fondateur est celui d'A. Weil qui a ramené le système des mariages Murngin aux propriétés d'un certain groupe présenté par générateurs et relations.) Certaines des structures en jeu sont volontiers classées comme *combinatoires* et d'autres comme *algébriques*, sans qu'il soit possible de déceler une coupure nette dans cette classification.

Un accord général semble s'établir pour appeler *Mathématiques discrètes* la branche des mathématiques qui s'occupe de ces structures, de leurs propriétés, de leurs problèmes extrémaux (optimisation combinatoire), de l'algorithmique les concernant, de leurs morphismes, voire des catégories ayant pour objets telles ou telles de ces structures.

Par le passé, les Mathématiques discrètes ont parfois été appréhendées empiriquement comme un magma de problèmes et de résultats mal reliés et il est arrivé que des critiques leur fassent grief d'un aspect jugé trop hétéroclite ... Il importe de faire savoir qu'une telle image est caricaturale. L'expansion rapide des mathématiques discrètes depuis quelque quinze ans ne s'est pas faite de façon anarchique : certains traités et collections qui leur ont été consacrés s'efforcent de les organiser autour de concepts et outils unificateurs qui apportent pour le moins les linéaments de théories générales. Un indice de la maturité du champ - faut-il ajouter "un garant de sa respectabilité" ?- est fourni par la possibilité d'en faire apparaître des aspects fonctoriels (Joyal).

Parmi les outils évoqués plus haut, certains, tels les matroïdes et les fonctions de Möbius, sont intimement liés aux ensembles ordonnés ; et c'est précisément dans ce cadre que se situe un autre fait d'expérience, à savoir que, souvent, une classe d'objets combinatoires, *qui ne sont pas eux-mêmes des ensembles ordonnés*, peut néanmoins être munie d'une structure d'ordre dont les propriétés s'avèrent utiles, non seulement pour l'énumération, mais aussi pour la description et même la *structuration* des objets en cause.

Il en résulte pratiquement que, même si une donnée ou un modèle discret d'un certain type ne sont pas ordonnés, il faut pourtant rechercher s'il existe au niveau classe un ordre, qui sera dès lors pertinent pour certaines analyses.

II.4.2. Considérant que certaines méthodes classiques d'analyse des données ont été examinées dans d'autres parties du *Rapport*, nous nous préoccuperons ici des méthodes relevant des Mathématiques discrètes. Ce qui va être dit intéresse, outre la psychologie et les Sciences sociales, plusieurs autres disciplines dont, par exemple, l'archéologie. Et d'abord, deux "principes" :

(1) Lorsque les données sont discrètes et non numériques, et que la théorie du mesurage ne peut garantir la pertinence de codages numériques, il n'est pas méthodologiquement légitime de soumettre ces données à quelque traitement statistique "classique" peut-être, mais non fait pour elles.
(2) Il convient d'utiliser des traitements compatibles avec la nature des données, et de rechercher d'abord s'il existe un ordre pertinent pour les données de ce type.

C'est dans le respect de ces principes que se développe au sein des Mathématiques discrètes une *Analyse combinatoire des données*.

II.4.3. Signalons quelques unes des directions de recherche les plus prometteuses qui s'ouvrent devant l'Analyse combinatoire des données.

(a) Méthodes spécifiques : analyse booléenne ou galoisienne d'une correspondance, méthodes de théorie des graphes en taxinomie ou en sériation, etc.

(b) Comparaison d' "objets complexes" : certains travaux semblent apporter les linéaments d'une théorie d'indicateurs de ressemblance entre des objets de nature combinatoire.

(c) Résumés d'objets complexes : (la question a déjà été évoquée en II.3.) là aussi, on progresse vers une "théorie de l'agrégation". A noter que la problématique arrowienne dans la théorie du choix social a été transposée en analyse des données (notamment par Mirkin en Union Soviétique, McMoms aux Etats-Unis, et en France par des chercheurs du C.A.M.S. et du S.M.A.C.).

La problématique présente deux faces en interaction, l'une tournée vers les mathématiques pures, l'autre vers l'informatique - et, pour éviter les conflits, nous situerons les aspects algorithmiques dans l'interaction.

Au delà des applications aux SH, ces questions concernent tous les combinatoriciens" dans une perspective de MAO (Mathématiques Assistées par Ordinateur), puisqu'elles poussent à l'élaboration de programmes et de logiciels adaptés à leurs recherches.

II.4.4. Le besoin et l'intérêt d'une analyse combinatoire des données et/ou d'une analyse des données combinatoires, ainsi que les rapports qu'elles entretiennent avec les mathématiques discrètes (et l'algorithmique) se sont fortement manifestés au plan international ces dernières années. On peut citer comme particulièrement significatifs les travaux (déjà évoqués) autour des réseaux sociaux (Holland, Leinhardt, White, Cartwright, Harary etc. aux Etats-Unis), ceux qui portent sur les méthodes de classification, sériation et localisation (L. Hubert et al., McMoms et al., aux Etats-Unis ; Schader et Wille, en Allemagne ; Hansen, Roubens et al. en Belgique ; Mirkin et al. en Union Soviétique).

En France, la recherche mathématique est relativement bien développée, notamment au sein du groupe "Ensemble ordonnés et Sciences sociales", groupe qui participe d'ailleurs à la RCP 698 "Les ensembles ordonnés et leurs applications". Parmi les nombreux thèmes abordés par cette équipe on peut citer celui de l'*arbre minimum*, dont elle a élargi la problématique, montrant que la notion est loin d'être épuisée par son seul aspect classificatoire et qu'elle s'introduit entre autres dans la comparaison des ultra-métriques.

La recherche en algorithmique et informatique est également bien représentée en France. (On peut citer, à des titres variés, Abdi et Luong, Université de Besançon ; Arditti, CNET ; Brussier, Rennes-II ; Chandon, IA Aix ; Diday, INRIA ; Duquenne, CNRS ; Guénoche, LISH-Marseille ; Gondran et Minoux, EDF ; Jacquet-Lagrèze, Dauphine ; Lemaire, IUT Nice ; Lerman, Rennes-I ; Marcotorchino et Michaud, IBM ; ...). Mais il convient de noter que cette recherche devrait être mieux coordonnée, et encouragée.

II.5. RECHERCHE EXPERIMENTALE EN SH ET ANALYSE DES DONNES STRUCTUREES

II.5.1. Il est de tradition en psychologie expérimentale d'utiliser des *plans d'expérience* de nature plus ou moins complexe. Les données qu'ils permettent de recueillir ont un statut qui les distingue des données "de simple observation" : ce sont, au sens plein du mot, des données "expérimentales". D'un tel plan, on attend d'abord qu'il facilite l'analyse des données elles-mêmes, et qu'il permette ensuite de discuter ce que l'on peut inférer à partir des résultats de l'expérience.

En accord avec les tendances générales qui ont conduit à créer l'analyse combinatoire des données, le groupe "Mathématiques et Psychologie" (*) se propose entre autres objectifs celui de renouveler, d'élargir la problématique des plans d'expérience et de constituer plus généralement une *analyse des données structurées*. Les structures dont cette analyse entend privilégier l'étude sont donc celles qui sont sous-jacentes aux méthodologies expérimentales et aux procédures de calcul.

II.5.2. La spécificité de l'analyse des données structurées par rapport à l'analyse combinatoire des données ne tient pas (pour le moment du moins) à la nature des structures algébrico-combinatoires qu'elle rencontre : elle retrouve celles dont nous avons parlé à propos des mathématiques discrètes. (Par exemple D. Lépine a étudié des treillis de finesse relatifs à des plans d'expérience, V. Duquenne et J.L. Guigues, les treillis de Galois et les implications dans un contexte.) La spécificité de l'analyse des données structurées tient d'abord à celle de son objet et aussi à sa préoccupation d'envisager de manière consubstantielle méthodes d'analyse et méthodes inférentielles.

La spécificité de l'objet conduit par exemple à "l'algèbre (et système relationnel) des facteurs d'un plan" : monoïde attaché à la composition, relations autres que celles, classiques, de croisement et emboîtement. Pour des plans d'expérience complexes, l'étude, du point de vue de la grammaire formelle, du langage de description des facteurs et du langage de demande d'analyse, sont à envisager.

L'analyse des données structurées retrouve dans son cadre propre des problèmes de pertinence du genre de ceux évoqués en II.4.2. : par exemple B. Le Roux et H. Rouanet mettent en cause les emplois abusifs de $\mathbb{R}^n$ en tant

---

(*) Université de Paris-V, UER de Mathématiques. Ce groupe est animé par H. Rouanet que substrat de la représentation des phénomènes multidimensionnels. D'une manière générale, l'analyse des données structurées vise à trouver les substrats intrinsèquement justifiés et les représentations "naturelles" (des divers points de vue possibles, le métrique - éventuellement - entre autres).

Le travail accompli jusqu'à présent pourrait justifier l'intitulé plus précis mais plus restrictif d'"analyse *algébrique* des données structurées", mais l'équipe se réserve la possibilité d'introduire par la suite des concepts et outils topologiques.

II.5.3. Les préoccupations inférentielles auxquelles il a été fait allusion consistent pour une grande part en recherches systématiques menées sur l'extension bayésienne de l'analyse de la variance.

Le point de vue bayésien se trouve naturellement privilégié en psychologie expérimentale, discipline où les conclusions d'une recherche - dans la plupart des cas - culminent sur un *jugement probabiliste* portant sur l'*importance* d'un effet.

II.6. MODELES MORPHODYNAMIQUES EN SCIENCES HUMAINES

II.6.1. Outre des données numériques ou ordinales, les Sciences humaines rencontrent, comme la plupart des autres sciences, foule de *phénomènes morphologiques et dynamiques* de différenciation, de structuration, d'(auto)organisation, de régulation, de conflit, de développement, de changement, de transition brusque d'état interne, de stabilisation, de déstabilisation, d'évolution, etc. Tous les *concepts* "morphodynamiques" et organisationnels, génétiques et structuralistes, qui servent à les décrire sont communs à de nombreuses disciplines, par exemple à la biologie structurale, à l'économie, à la sémiotique narrative, aux linguistiques casuelles, à la politologie, à l'urbanisme, à la préhistoire, sans parler de la sociologie, de la psychologie et de l'histoire. La question est donc de savoir dans quelle mesure leur contenu, indispensable à la compréhension des phénomènes et dont la valeur empirique est incontestable, est *adéquatement* mathématisable, à la fois d'une façon assez générale pour déboucher sur des méthodes mathématiques significatives et d'une façon assez spécifique pour être confrontable à l'expérience. Pendant longtemps cela a été préjugé impossible pour des raisons de fond bien entrevues par des esprits aussi pénétrants que *Leibnitz, Buffon, Kant, Maxwell, Riemann, Poincaré ou Husserl*. Ce n'est qu'à une date récente que cette situation s'est trouvée drastiquement transformée, avec l'émergence de divers modèles mathématiques morphodynamiques et en particulier de ceux qui se regroupent sous l'appellation un peu provocante de "théorie des catastrophes".

II.6.2. Quels que soient les mérites que l'on puisse accorder à la théorie générale des systèmes (*), on est en droit d'estimer qu'elle laisse très largement ouvert le problème d'une mathématisation adéquate des concepts morphodynamiques. La difficulté de ce problème est double. D'abord, contrairement à ce qui se passe en physique où le niveau morphologique et organisationnel, fonctionnel et structural peut, lorsqu'il existe, être causalement dérivé, du moins en principe, du niveau microphysique de base et de ses lois (cf. par exemple la théorie thermodynamique des transitions de phases), dans les sciences biologiques, linguistiques et humaines, on ne dispose d'aucun principe permettant d'accéder à la structure interne "physique" des systèmes. D'où le conflit récurrent des points de vue respectivement réductionniste et holistique. Il faut donc disposer de modèles mathématiques d'un type très particulier qui soient *qualitatifs, phénoménologiques et structuraux,* largement indépendants de la physique des substrats.

La seconde difficulté rencontrée par une mathématisation adéquate des concepts morphodynamiques vient du fait que celle-ci exige *a priori* d'autres outils que ceux des mathématiques discrètes et de l'analyse combinatoire évoqués plus haut.
En effet, comme le montre l'analyse de nombreux exemples, ce dont il s'agit en général dans les processus de morphogénèse, d'organisation et de régulation est d'abord de *phénomènes critiques structurellement stables*. Or ceux-ci relèvent d'un concept spécifique de *discontinu* correspondant mathématiquement à l'existence de singularités faisant obstruction à la résolution des équations différentielles considérées (cf. par exemple les caustiques en optique ondulatoire, i.e. les enveloppes des rayons de l'optique géométrique, dont la théorie exige de convenablement géométriser la notion de solution de l'équation des ondes : variétés lagrangiennes et intégrales oscillantes). Les notions mathématiques fondamentales de singularité, de bifurcation, d'ensemble catastrophique, de stratification, de déploiement universel, de stabilité structurelle, etc. permettent d'analyser de façon fine et approfondie une médiation entre le continu et le discret qui, fondée sur le discontinu, est fort différente de celle traitée par la théorie du mesurage. Il n'y s'agit pas de passage au numérique par traduction en termes d'échelle, mais de différenciation d'espaces en domaines de stabilité (comme il en va des diagrammes de phases en thermodynamique). Or l'analyse mathématique montre qu'il existe, si l'on impose *a priori* la propriété de stabilité struturelle, des *contraintes* sur ces différenciations, contraintes qui deviennent impossibles à formuler dès que l'on cherche à substituer des formalismes discrets aux formalismes de la géométrie différentielle.

(*) Née dans les années cinquante sur la lancée de la cybernétique ; on se rappelle par exemple les travaux de Gregory Bateson et de l'Ecole de Palo Alto en anthropologie et en psychopathologie.

II.6.3. Première théorie mathématique des phénomènes critiques en général, la *théorie des catastrophes* de René Thom et Christopher Zeeman se propose d'appliquer aux sciences biologiques, économiques et humaines, les modèles morphodynamiques issus des progrès décisifs de la théorie des singularités et de leur déploiement, de la théorie de Morse, de la stabilité structurelle, de l'analyse des systèmes dynamiques (global analysis) et de leur bifurcation. Citons en économie les travaux de S. Smale, G. Ribeill, Y. Balasko et D.A. Rand sur les conflits d'équilibre pouvant apparaître dans le modèle classique de Walras-Pareto lorsque l'on suspend les hypothèses de convexité ; en embryologie et en sémio-linguistique les modèles de Thom (cf. plus bas) ; en théorie du comportement (agression, conflits, révoltes), en théorie de la décision et en politologie ceux de C. Zeeman, C.A. Isnard, R.T. Holt, J.G. Smith, et M. Thompson ; en psychopathologie (anorexie nerveuse) ceux de C. Zeeman et J. Callahan ; en psychologie de la perception visuelle ou phonétique, et en psychogénèse ceux d'A. Battro, C. Bruter, C. Zeeman, T. Poston, I. Stewart et J. Petitot ; en archéologie et en préhistoire, ceux de C. Renfrew ; en dynamique urbaine (évolution des métropoles et structuration des tissus urbains) ceux de J.L. Deneubourg, A. de Palma, J.C. Amson, D.S. Dendrinos et A.G. Wilson ; en statistique bayésienne et sur les équations différentielles stochastiques ceux de L. Cobb et J.G. Smith.

II.6.4. Un des principaux intérêts des modèles catastrophistes est de permettre de dépasser le conflit classique entre réductionnisme et structuralisme. Cette synthèse dialectique qui s'impose dans la plupart des sciences humaines s'était pourtant heurtée jusqu'ici à un insurmontable obstacle épistémologique. Pour ne prendre qu'un exemple, on sait qu'en phonétique, il s'agit de comprendre et de maitriser le rapport existant entre, d'une part l'organisation psychophysique du flux acoustique et, d'autre part, la structure des systèmes phonologiques telle qu'elle est décrite depuis les travaux du cercle de Rague en termes d'articulation et de combinatoire discrète de traits distinctifs. Entre, d'un côté, le traitement neurologique de l'information acoustique et, d'un autre côté, la constitution de la *valeur* des phonèmes dans les paradigmes phonologiques, entre le réductionnisme psychologique et le structuralisme formaliste, il y avait jusqu'ici solution de continuité et donc conflit. Ce conflit a pu être résolu sur le plan *empirique* par la découverte du caractère *catégoriel* de la perception phonétique qui, contrairement à une perception continue comme celle des couleurs, possède la propriété de catégoriser spontanément, et donc de discrétiser, les continua audio-acoustiques. Sur le plan *théorique*, ainsi que l'a montré J. Petitot, les phénomènes de perception catégorielle correspondent à des cas psychophysiques typiques de phénomènes critiques et sont modélisables par la théorie des catastrophes.

II.6.5. Encore relativement peu développés en France mais en pleine expansion en Angleterre et aux Etats-Unis, les modèles catastrophistes ont suscité une vive polémique. La première raison en est qu'ils font apparaitre des analogies formelles entre des phénomènes considérés comme ontologiquement hétérogènes, par exemple entre les processus thermodynamiques de transitions de phases, ceux, biologiques, de différenciation embryologique et ceux, linguistiques, de formation de structures actantielles. La seconde raison en est que, locaux, qualitatifs, non prédictifs et phénoménologiques, ils ne satisfont pas aux critères devenus standard (capacité de prédiction, accord numérique avec les données expérimentales, etc.). Structuralistes et heuristiques bien que mathématiques, "herménentiques" comme aime à le dire Thom, ils représentent un type original d'implication des mathématiques pures dans la réalité empirique qui s'oppose sur bien des points à ce qu'il est devenu convenu d'appeler les mathématiques appliquées. A ce titre, ils ont suscité une réflexion épistémologique et philosophique développée ces dernières années par R. Thom, C. Bruter, P. Delattre et J. Petitot. Cette ouverture résolue vers la philosophie des sciences et la théorie de la connaissance est un des aspects importants de la théorie des catastrophes, actuellement en pleine expansion. Citons les travaux de K.Pomian, G. Giorello et de T. Tonietti sur la philosophie thomienne, la critique acérée de l'empirisme logique et du positivisme (cercle de Vienne, Wittgenstein, Popper, Carnap, Quine, etc.) entreprise sur cette base par J. Largeault, ainsi que la remise en cause structuraliste du néodarwinisme développée par l'embryologiste B. Goodwin.

LINGUISTIQUE ET DISCIPLINES INTERESSEES PAR LES LANGUES ET LE LANGAGE

III.1. UN PREMIER APERÇU

III.1.1. La langue française ayant sur beaucoup d'autres l'avantage de disposer des deux termes "langue" et "langage" (l'anglais, par exemple, n'a que le seul mot *language*), il est commode de les spécialiser. Suivant un usage assez attesté chez les linguistes, nous dirons que l'espèce humaine possède la *faculté de Langage* et que la *fonction Langage* d'un être humain s'exerce dans le cadre d'une (éventuellement deux ou plusieurs) langue(s) : anglais, arabe, basque, breton, etc. (Nous écrivons Langage avec une majuscule, parce que l'usage des logiciens et des informaticiens nous obligera à employer les locutions de "langages formels" et "langages de programmation".)

La linguistique contemporaine étudie les langues et le Langage selon les problématiques diverses propres à une multitude d'Ecoles concurrentes. Certains linguistes sont plutôt attirés par l'étude "empirique" des langues, d'autres le sont plutôt par l'étude "spéculative" du Langage.

III.1.2. Mais la linguistique n'est pas la seule discipline ayant à connaître des langues et du Langage.

Au sein des Sciences humaines, les psychologues et les sociologues ont respectivement poussé à la création d'une psycholinguistique et d'une sociolinguistique. Dans le secteur des Sciences biologiques et médicales, les neurophysiologues s'intéressent à la fonction Langage (et à sa pathologie), ce Langage que, par de toutes autres voies, abordent aussi les psychanalystes. L'attraction de ces disciplines provoque sur la sphère linguistique de puissantes marées.

III.1.3. Du côté des Sciences appliquées, les ingénieurs des télécommunications et les informaticiens (pour la communication homme-machine) peuvent être concernés par les langues - les langues *naturelles*, disent-ils, pour insister sur l'absence de codage liée à leur utilisation. C'est au traitement des langues naturelles que l'Intelligence Artificielle (I.A.) consacre l'une de ses branches les plus vigoureuses : compréhension automatique de textes et de récits, analyse et synthèse de la parole, etc. Cette branche de l'I.A. entretient des rapports étroits avec une discipline en plein essor que la littérature de langue anglaise appelle "Computational Linguistics"(*).

En conséquence, les applications à caractères linguistique auxquelles se prêtent les mathématiques débordent largement celles qui sont le fait de linguistes *stricto sensu*, ou académiquement reconnus tels. Aujourd'hui, des spécialistes en nombre croissant maîtrisent les données linguistiques et les outils mathématiques ce sont eux qui construisent les modèles mathématico-informatiques destinés à court ou moyen terme aux applications pratiques.

Pour ces raisons (et pour d'autres qui n'intéressent pas directement le mathématicien) on doit s'accorder à reconnaître l'existence, à côté de la linguistique pure, d'une *Linguistique appliquée* (LA) (**). Cette locution figure d'ailleurs dans l'appellation ou le titre de diverses associations ou revues. Empressons nous de dire que certains linguistes purs font aussi de la LA.

III.1.4. Dans les années 1960, à l'époque où prédominaient les études syntaxiques menées dans une perspective très formalisante, le milieu des linguistes purs portait aux mathématiques un intérêt certain.

En retour, les concepts algébriques et combinatoires élaborés en linguistique au cours de ces années (rappelons entre autres le travail fondateur de Chamsky et Schützenberger sur les automates à pile et les langages context-free) se trouvent pour une bonne part aux origines des théories mathématiques des automates et des grammaires formelles - théories

(*) L'usage français hésite entre "linguistique algorithmique","linguistique calculatoire","informatique linguistique",... Les vieux mots FRANCAIS de *comput*, *computation*, très anciennement spécialisés pour désigner les calculs nécessaires à l'établissement du calendrier liturgique romain (date de Pâques) paraissent aujourd'hui disponibles pour de nouveaux usages. Alors, pourquoi pas "Linguistique computationnelle" ?

(**) Le domaine de la LA comprend essentiellement deux grandes parties : l'une vouée au traitement automatique des langues et du Langage (donc, en gros, la Linguistique computationnelle), l'autre aux applications de la linguistique à l'enseignement des langues (en tant que maternelles ou en tant qu'étrangères). Ces deux parties ont en commun ce qui touche à l'EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur) pour les langues.

qui se sont développées rapidement et continuent de se développer selon leur dynamique propre, trouvant dans l'informatique un domaine d'application privilégié.

Depuis ces années 1960, la linguistique (pure) a considérablement évolué, mettant l'accent sur la sémantique, puis sur la pragmatique - domaines où la formalisation est beaucoup plus difficile et beaucoup moins avancée qu'en syntaxe. Corrélativement, il en est résulté une sorte de polarisation du milieu des linguistes. Certains, les plus tentés par l'utilisation des formalismes algébrico-combinatoires ont "fait alliance" avec l'I.A. et les sciences cognitives. (C'est aux Etats-Unis que le phénomène est le plus sensible). Les autres, dans la mesure où ils n'ont pas cessé de porter quelque intérêt aux mathématiques, l'ont déplacé vers les logiques non classiques : modales, temporelles, intensionnelle - dont ils espèrent tirer contribution à la résolution de problèmes sémantiques.

Les informaticiens et les spécialistes de l'I.A. qui s'occupent de compréhension automatique de textes écrits ou de paroles prononcées en langue naturelle sont aussi, cela va de soi, confrontés aux problèmes de la sémantique et de la pragmatique. Mais ils ne peuvent pas attendre que les linguistes purs les aient tous résolus. Chargés des applications techniques, ils abordent les difficultés en gens astreints à respecter un cahier des charges et à livrer des dispositifs qui fonctionnent.

L'activité des chercheurs en LA (on a déjà dit que certains sont aussi des linguistes purs) a favorisé le développement de modèles autres que ces modèles *globaux* sur lesquels la réflexion épistémologique avait tendance à se porter de manière trop exclusive. Ce développement gagne aussi la linguistique pure. "Globaux" ? Nous qualifions ainsi les modèles par lesquels on mathématise une "grande théorie" linguistique déjà très élaborée.

(a) S'agissant d'un problème posé par une application, en I.A. par exemple, on peut avoir à "découper et isoler" une *partie* significative de la réalité et à en rendre compte par un modèle, éventuellement à plusieurs composantes. D'où la notion de modèle *partiel*. (Après décantation, dans un avenir plus ou moins proche, divers mécanismes issus de cette activité modélisante donneront peut-être lieu à d'intéressantes recherches de mathématiques pures.)

(b) En linguistique pure, la diversité même des conceptions d'ensemble que proposent les nombreuses Ecoles invite à la prudence méthodologique. Il peut paraître plus prometteur de mathématiser *localement* certaines "régions conceptuelles" en espérant faire émerger de la variété des observations immédiates (au sens épistémologique du terme) des opérations et des structures invariantes. D'où la notion de modèle *local*.

Modèles partiels. Modèles locaux. Bien que les notions diffèrent manifestement, certaines raisons inviteraient à les rapprocher : celles en particulier qui tiennent à la problématique de "prolongement" et de "recollement" qu'elles posent pour remonter vers le global. Quoi qu'il en soit, l'une et l'autre reflètent le quotidien d'une linguistique en train de se construire et/ou de se confronter à d'autres disciplines.

III.1.5. Tout ce qui précède aura montré que c'est par la médiation de l'informatique et de l'Intelligence Artificielle que les mathématiques rencontrent la *Linguistique appliquée*. Vu la part prépondérante qu'y prennent l'informatique et les informaticiens (*) il paraît à la fois plus judicieux et plus équitable de classer les *applications des mathématiques à la linguistique appliquée* sous la rubrique "Applications de l'informatique". Nous renvoyons donc pour ces questions à la partie correspondante du *Rapport*.

Dans la présente partie, nous traiterons les aspects complémentaires, en nous plaçant donc plutôt du point de vue de la linguistique pure.

Mais, "ne pas prendre en charge les applications de caractère "informatisé" " ne signifie pas rompre avec l'informatique. Les raisons de garder le contact sont multiples.

Une première en est que, de même qu'il existe maintenant des *Mathématiques expérimentales* ou *Mathématiques assistées par ordinateur*, il se développe une *Linguistique (pure) assistée par ordinateur*. (On peut, par exemple, engendrer conformément à un modèle un corpus de séquences candidates au titre de *phrase* pour une certaine langue, et les soumettre ensuite au jugement et aux commentaires d'une personne dont la dite langue est la maternelle.)

Une seconde en est que les méthodes et théories mathématiques et logiques que l'informatique fondamentale met en oeuvre pour décrire et formaliser la syntaxe et la sémantique des langages de programmation se retrouvent souvent dans la linguistique des langues naturelles. Elles s'y retrouvent

---

(*) Du fait qu'en France informaticiens et spécialistes de l'I.A. sont pratiquement les seuls scientifiques qui s'intéressent à leurs travaux, nous faisons entrer dans le milieu informatique les spécialistes de l'Europe de l'Est en linguistique computationnelle (soviétiques et autres) - bien que plusieurs d'entre eux "viennent des mathématiques". Citons les noms de Arsent'eva, Axmanova, Gladkij, Kulagina, Marcus (en Roumanie), Iordanskaja, Mel'čuk (aujourd'hui au Canada), Padučeva, Revzin, Ružička, Sgall (à Prague), Suhotin, Uspenskij, Filiatov, Frumkina, Jaglom et Jaglom.

et parfois même (on l'a déjà signalé) elles en proviennent : l'exemple le plus récent est l'emploi que l'on fait des logiques temporelles en programmation parallèle.

La troisième raison est la plus profonde, la seconde d'ailleurs en procède en partie. L'un des multiples aspects du langage est son aptitude à véhiculer une *information*.

Quand la linguistique privilégie l'étude de cet aspect, elle a quelque chance de se rencontrer au sein du domaine des *Sciences cognitives* avec cette *Sciences du traitement de l'information* qu'est aussi (sinon avant tout), l'informatique théorique.

III.2. AUTOUT DES MODELES GLOBAUX

III.2.1. Nous commencerons par examiner ce qu'il en est présentement quant à la modélisation de deux théories linguistiques célèbres. Nous verrons ensuite ce que l'on pourrait appeler une théorie "avec modèle concomitant".

III.2.2. Au cours de sa longue carrière, le linguiste américain Zellig S. Harris a toujours travaillé et travaille encore à dégager la (ou une) part mathématisable de la linguistique, le Langage étant appréhendé pour l'essentiel en tant que véhicule de l'information objective (cf. *Report and paraphrase*, un texte significatif). Partant d'une masse d'observations contrôlées, utilisant des procédures réitérables et systématiques, il met progressivement en place une algèbre partielle d'opérateurs de diverses sortes (ou types), ayant pour domaines certaines classes d'équivalence (liées à la "vraisemblance" d'apparition en divers contextes). Chaque opérateur est immédiatement interprétable car son "histoire empirique", si longue soit-elle, reste parfaitement transparente.

Paru en 1982, un gros ouvrage du Maître porte le titre évocateur de *Une grammaire de l'anglais fondée sur des principes mathématiques*. La première partie expose en termes généraux l'état le plus récent de la méthodologie harrissienne ; les suivantes traitent dans le détail le cas de la langue anglaise.

Mais, peut-on à ce sujet parler de THEORIE ? Nous avons fait allusion à la multiplicité des Ecoles concurrentes. D'après certains linguistes, Harris ne ferait que proposer un agencement de faits empiriques, ayant une valeur *descriptive*, mais nullement EXPLICATIVE. Agencement auquel ils refusent le nom de "théorie".

Nous aurons l'occasion de revenir sur ce débat, au demeurant classique, relatif à l'importance et à la dignité comparée du *comment* (auquel s'attache le linguiste "empirique") et du *pourquoi* (que voudrait comprendre le linguiste "philosophe").

Quoi qu'il en soit, le mathématicien, en ce qui le concerne, voudrait savoir :

. si le système d'opérateurs et d'opérandes ainsi formalisé au niveau linguistique se prête à une construction mathématique intéressante ;
.. et si le fonctionnement du modèle permet au mathématicien de relancer le linguiste par des commentaires propres à faire progresser la théorie linguistique.

Il se trouve que c'est en France que ces questions ont été le plus étudiées, J.P. Desclès [1975] ayant ouvert la voie.

(A) La contribution de M. Eytan [1976, 1980, 1983] à la formalisation de la linguistique harrissienne est à situer dans un cadre plus vaste : celui de la recherche d'un langage formel qui devrait trouver des applications dans des domaines aussi divers que l'informatique fondamentale, les Sciences humaines et la biologie. Eytan fait grand usage des catégories dites "déductives" dans la terminologie de Bénabou. De telles catégories, qu'Eytan préfère appeler *sémantiques doctrinales* - pour souligner qu'il s'agit d'une sémantique généralisant celle, bien connue, à valeurs dans les ensembles - peuvent se décrire intégralement à l'aide d'un système de séquents qui ressemble beaucoup à celui dont use Gentzen pour formaliser les logiques de premier ordre.

En contrepartie à la grammaire de Harris relative à l'anglais , Eytan propose d'associer une catégorie C et un foncteur F de C vers la catégorie des ensembles préordonnés, de façon que le couple (C,F) forme une sémantique doctrinale. Sans la pousser jusqu'au bout, Eytan montre la possibilité de transcrire effectivement le formalisme catégorique dans un tel système de séquents.

Dans la mesure où la théorie grammaticale de Harris s'étend à d'autres langues, la construction permet d'associer à la traduction d'une langue vers une autre un morphisme de sémantiques doctrinales.

(B) A. Daladier [1981, 1982 et travaux en cours] exploite les structures applicatives de la grammaire harrissienne en les contrôlant par un λ-calcul typé. Elle constate que l'intuition linguistique de Harris ne le met pas toujours à l'abri de l'à-peu-près quand il attribue des types à ses opérateurs. La tentative d'une typification systématique oblige à affiner les analyses linguistiques. Du point de vue logico-mathématique, il y faut tout l'arsenal du λ-calcul "moderne" à la D.Scott.

III.2.3. Le linguiste Noam Chomsky, qui fut à Philadelphie l'élève de Harris, développe dans un cadre général de grammaires transformationnelles une *théorie* en permanente évolution (c'est, par excellence, "a work in progress"), théorie liée à toute une philosophie du langage et qui vise à l'édification d'une Grammaire Universelle.

Les grammaires transformationnelles ont été abondamment étudiées du point de vue mathématique. J. Roubaud les a reliées aux algèbres non associatives, ce qui lui a permis de situer le niveau de complexité algébrique auquel peuvent monter les modèles linguistiques de Chomsky. Une autre direction de recherche, familière à l'informaticien "fondamentaliste" qui la suit poussé par ses propres besoins, conduit à prendre pour matière première les arbres syntaxiques, les "bons" domaines étant des ensembles d'arbres fermés pour certaines opérations. Dans l'esprit de l'Algèbre Universelle, on peut alors considérer certaines algèbres partielles opérant sur les domaines, tandis que, dans l'esprit des catégories, les arbres peuvent être vus comme des flèches.

Mais les résultats qui ont eu l'influence la plus forte et la plus directe sur l'activité de l' "Ecole du M.I.T." sont les théorèmes (d'indécidabilité) de Peters et Ritchie relatifs à la puissance des modèles transformationnels, car ils sont venus "se mettre en travers" des projets initiaux (tels qu'on les trouve, par exemple, dans l'ouvrage de 1965, *Aspects*). Le problème essentiel que devait désormais affronter l'Ecole, problème qu'elle attaque et réattaque sans cesse, est celui que pose la nécessité de limiter l'excessif pouvoir générateur des formalismes mis en oeuvre. Pour ce faire, Chomsky et ses disciples cherchent à trouver de *"bons" principes pour organiser les règles"*. Dans la phase la plus récente (1983), la problématique se présente dans une perspective de "gouvernement et liage" (government and binding). L'activité de l'Ecole se fonde sur certaines intuitions, ou idées *a priori* concernant la fonction Langage.

Le mathématicien pourrait-il apporter sa contribution à l'entreprise par exemple pour essayer d'exprimer dans un cadre formel ces fameux "liens" ? Pourquoi pas ? Quoiqu'il en soit, l'Ecole ne semble pas vouloir faire appel à lui.

III.2.4. Dès 1965, le linguiste soviétique Sebastian Konstantinovitch Shaumyan (aujourd'hui à Yale, U.S.A.) se faisait remarquer par la *nature* des critiques qu'il adressait à la grammaire générative de Chomsky. Il proposait un autre modèle dit "applicationnel", en raison du rôle qu'y jouent la logique combinatoire et l'application au sens de M. Schönfinkel (1924) et de H.B. Curry (notion issue des idées fondamentales exprimées dès 1893 par G. Frege dans *Les lois de l'Arithmétique*). Continuant dans la voie qu'il ouvrait alors, il cherche à exprimer les invariants sémiotiques des langues en les coulant dans un langage "génotype", langage artificiel construit par des procédés mathématiques, et relié aux observables par l'intermédiaire des langues "phénotypes". Il y a là une opposition pour le moins parallèle à l'opposition *Langage/langues*.

Dans une certaine mesure, on peut parler de théorie avec "modèle concomitant" puisque le langage génotype se représente dans le formalisme de la logique combinatoire avec types. A partir de là, Shaumyan développe des formalismes qui lui permettent d'étudier des problèmes linguistiques tels que *paraphrase, voix, constructions syntaxiques* (passive, causative, impersonnelle,..) Sa démarche paraît propre à fournir à terme le cadre théorique le plus synthétisant pour certaines recherches, sur le problème de la typologie des langues par exemple, commencées avec d'autres formalismes.

En France, J.P. Desclès collabore directement avec Shaumyan. Sa collaboration s'étend des analyses linguistiques de certains problèmes (passif, réflexif) jusqu'aux recherches sur les fondements mathématiques de la grammaire applicative. Il existe en effet des travaux (J. Lambek) qui ont établi des liens significatifs entre la théorie des catégories (en particulier les catégories cartésiennes fermées) et la logique combinatoire avec types : il convient donc d'explorer cette voie et d'évaluer la pertinence des résultats mathématiques en linguistique.

Il existe d'autre part des relations conceptuelles entre la grammaire applicative et les langages applicatifs préconisés par J. Backus (sous le nom de "langages fonctionnels"). Les liens entrevus doivent être renforcés par une analyse linguistique de ces langages et par une présentation mathématique de la construction du langage génotype (lequel, notons-le, n'utilise pas comme notion primitive celle d'ensemble mais celle d'application).

III.2.5. Dans cette section consacrée aux modèles globaux, il convient de citer la tentative faite par B.N. Grunig d'une théorie axiomatique en un sens correspondant à la pratique des mathématiciens : il y a mise en place d'un système algébrique fort complexe, régi par un certain nombre d'axiomes qui représentent des propriétés fondamentales de la langue. Les théorèmes obtenus sont alors de nouvelles propriétés déduites, par des calculs algébriques, des propriétés élémentaires choisies comme axiomes.

L'un des théorèmes obtenus est en parfaite correspondance avec la "contrainte de sous-jacence" que Chomsky considère comme innée. Le fait est peut-être à verser au dossier de la question posée à la fin de III.2.2. Un autre théorème concerne l'instabilité (moyennant certains axiomes spécifiques) d'une structure de dépendance. Un autre encore concerne la solidarité des deux faces du signe saussurien.

III.3. AUTOUR DES LOGIQUES NON CLASSIQUES

III.3.1. Nous avons signalé l'intérêt porté par les linguistes sémanticiens aux logiques dites non classiques, et principalement aux logiques *modales*, auxquelles ils empruntent des outils pour essayer de résoudre leurs propres problèmes relatifs aux *modaux* et à la *modalité*.

III.3.2. Un exemple extrême est fourni par l'Ecole qui a pris pour textes fondateurs les écrits du logicien américain R. Montague (décédé en 1970.).

Une règle communément admise et qu'a respectée notre présentation, règle en vertu de laquelle *on ne formalise pas une langue naturelle* MAIS *une théorie* portant sur une classe de langues, voire sur le langage, cette règle donc n'en est pas une pour Montague. Dans le célèbre article *English as a Formal Language*, il développe au contraire la thèse qu'il n'existe aucune différence essentielle entre les langues naturelles comme l'anglais et les langages artificiels des logiciens. Il est selon lui possible d'englober la syntaxe et la sémantique des unes et des autres dans une théorie unifiée.

Partagée par d'autres chercheurs, cette conviction est à l'origine du programma de la *Grammaire Universelle* (et ici, cette locution déjà rencontrée doit prendre un autre sens, l'adjectif ayant celui qu'on lui donne en mathématiques). L'exécution de ce programme fait le plus large appel aux logiques non classiques : logiques modales, temporelles en particulier, logique intensionnelle - ainsi qu'aux concepts qu'elles mettent en oeuvre : sémantique des mondes possibles, modèles de Kripke, sémantiques indexicales etc.

Plusieurs équipes ont travaillé et travaillent encore sur ce programme qui a pu se poser en rival de celui de Chomsky. Citons B.H. Partee à Amherst (Massachussetts), M. Bennet, R.H. Thomason à Pittsburg (Pennsylvania), D. Dowty, Ohio State University, pour les U.S.A. ; M.J. Crewswell à Wellington (Nouvelle-Zélande) ; F. Guenthner et Ch. Rohrer à Stuttgart (R.F.A.).

En France, les idées de Montague ont suscité des réactions qui vont de l'hostilité déclarée à l'intérêt bienveillant (surtout chez les philosophes, par ex. F. Jacques) mais non, semble-t-il, à l'adhésion sans réserve et l'engagement militant.

III.3.3. Il va de soi que l'intérêt porté aux logiques non classiques, considérées comme outils pour la sémantique, n'implique aucune adhésion à quelques forme, même atténuée, du "montagueisme".

S'agissant de la logique du temps et des logiques temporelles, on peut citer en France les travaux de F. Nef et ceux du linguiste "logicisant" R. Martin.

R. Grunig a donné une importante étude critique sur la sémantique des mondes possibles, et sur les limites de ses applications envisageables à la linguistique. Pour trouver des voies plus largement ouvertes, il convient, pense-t-il, de réviser la problématique du côté linguistique.

D. Lacombe s'intéresse également à ces questions.

III.3.4. Pour terminer ces considérations tournant autour du couple "logique, linguistique", on peut s'interroger sur la possibilité de développer une branche de la logique dont l'objet serait *l'étude du raisonnement linguistique,* étude conduite d'abord en vue de contrôler la validité de ce raisonnement (cf. par exemple les emplois corrects ou non de l'abduction), mais surtout en vue de mettre au point l'écriture conceptuelle, la "Begriffsschrift" dont le raisonnement linguiste manque peut être.

Ce genre de recherche ne peut se poursuivre que dans une étroite coopération entre mathématiciens, logiciens et linguistes.

III.4. MODELES LOCAUX. MATHEMATISATION DE CONCEPTS LINGUISTIQUES

III.4.1. Nous avons évoqué la possibilité de mathématiser *localement* certaines "régions conceptuelles" qui relèvent du *Langage* en ce sens qu'elles ont été reconnues au cours de la recherche, ou créées, à l'occasion de la comparaison de plusieurs langues.

III.4.2. Un domaine important, et vaste, est celui des CATEGORIES GRAMMATICALES : la catégorie de *l'aspect et du temps*, les catégories *spatiales* verbalisées par les langues (déictiques spatiaux, préposition, verbes de position et de mouvement),et bien d'autres ...

Le linguiste a accumulé les observations empiriques ; il les a analysées selon des procédés qui comportent une part d'intuition intransmissible ; il les a organisées et sytématisées en posant des définitions qui risquent d'être plurivoques.

Les mathématiques peuvent aider à assurer l'univocité, la transmissibilité et, par dessus tout, à raisonner abstraitement sur des définitions et propositions *manipulables*. On peut alors espérer faire émerger des *invariants grammaticaux* qui seraient restés inaccessibles à la seule observation empirique. (Et puisque l'on assiste actuellement à un renouveau d'intérêt pour la typologie - Comrie et Keenan en Californie, Hrakovskij à Léningrad, Sailer à Cologne - il convient de souligner que la claire formulation d'invariants grammaticaux s'avère indispensable à tout essai de classification typologique.)

A propos des catégories citées en exemple plus haut, on pense aux ressources qu'offre la topologie générale : intervalles, coupures, espaces séparés, densité, voisinage, intérieur etc.

III.4.3. Mais le domaine des "notions primordiales" pourrait sans doute être lui aussi décrit en faisant appel à des concepts mathématiques plus puissamment organisateurs tels que "description locale", "recollement", "recouvrement".

Faisceaux, fibres, prétopologie et topologie de Grothendieck peuvent fournir des outils adéquats. On a des raisons de penser que le langage des topoi, en particulier, permettra d'appréhender certains concepts sémantiques essentiels. Notons à ce sujet qu'en France C. Houzel s'intéresse à une "reformalisation" des idées de Chomsky touchant au problème syntaxe/sémantique et fait usage de la théorie des topoi.

Pour les topoi on retrouve la logique (Benabou, Lawvere) mais sous une face nouvelle.

En France, J.P. Desclès et les chercheurs qu'il a réunis travaillent dans l'esprit que l'on vient d'essayer de faire saisir. Citons son étude des *systèmes de repérage fondamentaux* ; le point de départ en avait été la mathématisation de la théorie des opérateurs métalinguistiques duaux, $\in$ et $\ni$, à l'aide desquels A. Culioli rend compte du fonctionnement d'une "copule" attestée sous diverses formes dans un grand nombre de langues (en français : le *est*). De Desclès, citons encore les travaux sur l'aspect.

III.4.4. Tout au début, nous attirions l'attention sur la multiplicité des faces par lesquelles peut être appréhendé le Langage. Jusqu'ici, notre enquête a surtout porté sur la possibilité de mathématiser (au moins partiellement) certaines descriptions fines de l'activité langagière, ainsi que l'outillage intellectuel qu'elles mettent en oeuvre.

Mais, l'unique objet de la linguistique est-il de produire de telles descriptions ? Le passage par ces descriptions est-il sa seule voie d'accès au Langage ?

La neurophysiologie, et dans une certaine mesure la neuropsychologie, donnent l'exemple de disciplines qui, avec leurs techniques propres, traitent de la fonction Langage quant à ses bases biologiques. On peut alors se demander s'il n'existe pas entre la linguistique (communément pratiquée) et elles, un chaînon essentiel.

R. Thom et les chercheurs qu'il réunit autour de lui estiment qu'il peut et doit exister une linguistique qui, traitant de l'activité langagière, en étudierait non plus l'organisation fine - *mais les conditions de possibilité.*

L'ontogénèse de cette activité, son enracinement dans la perception sont donc pour eux les thèmes majeurs de cette linguistique, à quoi ils ajoutent les contraintes qu'exerce sur l'activité langagière le monde objectif. On voit que, dans l'opposition plus haut présentée :

linguistes "empiriques"	/	linguistes "philosophes"
langues	/	Langage

Thom et ses disciples se placent résolument côté "philosophie".

Quant aux mathématiques jugées adéquates à l'entreprise, ce sont - nous l'avons déjà noté en II.6.3. - la théorie des singularités, la géométrie différentielle et la théorie des systèmes dynamiques. Elles offrent la possibilité de construire des modèles locaux de type QUALITATIF.

C'est ainsi que la théorie des catastrophes élémentaires est interprétée dans le champ de la linguistique comme une typologie universelle des principaux procès linguistiques. L'étude de la morphogénèse propose un langage de description qualitative du processus même de la production d'énoncés en relation avec les processus de perception. Ce langage peut donc être utilisé pour une expression mathématique de la *Grammaire Universelle.* Attention ! la locution s'entend au sens *linguistique*, nous sommes aux antipodes de Montague !

Grammaire universelle, vue comme une sorte de "grammaire pure" faite de formes géométriques composables entre elles et propre à satisfaire les exigences Kantiennes de "raison pure".

En France, le principal disciple de R. Thom est J. Petitot qui a consacré de nombreux travaux aux applications linguistiques de la Théorie des Catastrophes.

A l'étranger, W.F. Wildgen (R.F.A.) vient de donner une synthèse de ses travaux sous la forme d'un livre intitulé *Catastrophe Theoretical Semantics - Elaboration and Application of René Thom's Theory.*

Dans l'optique catastrophiste, la syntaxe et la sémantique sont inséparables *dans les modèles eux-mêmes* puisque la syntaxe est conçue comme un processus de morphogénèse sur un substrat sémantique. Plus précisément, la sémantique est assimilée à la topologie des attracteurs de dynamiques internes complexes (dynamiques que l'on peut, avec C. Zeeman, interpréter comme les processus neurophysiologiques de la performance) et les arbres de la grammaire générative sont interprétés comme des cascades de bifurcations de ces attracteurs. Comme l'*a priori* de la stabilité structurelle impose des contraintes aux schémas élémentaires de bifurcation, l'on peut espérer ainsi *limiter* l'excessif pouvoir générateur des formalismes algébriques dont nous parlions en III.2.2. comme du problème essentiel des conceptions formalistes de type chomskien.

Ainsi que l'a montre J. Petitot, la linguistique "catastrophiste" est actantielle et casuelle. Elle formalise le structuralisme de Tesnière et sa version moderne qu'est la "théorie des scènes" de C. Fillmore. Elle donne un statut mathématique à la classique hypothèse *localiste* selon laquelle les relations spatio-temporelles *de position* possibles entre actants ont servi de matrice aux relations grammaticales abstraites. En tant que théorie dynamique de la performance, elle est complémentaire de l'algébrisation des automatismes de la compétence. L'alliance qu'elle vise n'est pas entre linguistique et informatique fondamentale, mais entre linguistique et biologie.

III.4.5. Les structures actantielles ne se rencontrent pas qu'au niveau phrastique. Elles existent également, ainsi que C. Levi-Strauss et A.J. Greimas l'ont montré à la suite de V. Propp, au niveau *narratif*. Il est donc naturel qu'une théorie actantielle ait des répercussions notables sur la théorie *des structures sémio-narratives*. C'est effectivement ce qu'a montré J. Petitot en formalisant la théorie d'A.G. Greimas à partir des modèles de la théorie des catastrophes.

III.5. APPLICATIONS DE LA STATISTIQUE

III.5.1. C'était en philologie classique une longue tradition que celle de recourir à des considérations et à des calculs d'ordre statistique à des fins telles que l'établissement de la chronologie des oeuvres d'un auteur, la recherche d'une "paternité" littéraire, l'analyse en composantes d'un texte ou corpus composite etc.

Cette tradition statistique n'a pas connu d'éclipse lors du passage progressif de la philologie classique aux modernes études linguistiques et textuelles, qui emploient de plus en plus l'ordinateur. Il règne dans ce domaine une activité internationale intense, où la France ne fait pas mauvaise figure, activité dont témoigne par exemple la revue *Computer and the Humanities* (titre un peu trop restrictif).

Le mathématicien doit pourtant constater que cette activité, si profitable soit-elle par les résultats qu'elle apporte, se fonde presque exclusivement sur l'emploi répétitif de méthodes connues (*) (dont la valeur n'a pas à être mise en cause) - mais qu'elle ne manifeste guère d'innovation en ce qui concerne la statistique.

En contraste avec cette tendance générale, il existe çà et là quelques travaux faits d'un point de vue novateur. Pour la France, il convient de citer certaines études qui se poursuivent dans le cadre de l'"Unité de Recherche "Lexicologie et Textes Politiques" " à Saint Cloud (Lafon).

III.5.2. On sait qu'une percée remarquable avait été faite jadis en statistique et probabilités à partir de l'étude d'une question d'ordre linguistique.

En effet, c'est en étudiant la succession des graphèmes dans un chant d'*Eugène Onéguine* que Markov a été conduit à définir les célèbres *chaînes* qui portent aujourd'hui son nom. Notons à ce sujet que les articles fondateurs que l'on se contentait de citer sans pouvoir les lire, sont maintenant disponibles grâce au livre très documenté où Madame Petruszewycz les commente et les situe dans le contexte de leur époque. Ces textes conservent une actualité certaine et Madame Petruszewycz, conseillée par G.Th. Guilbaud, a entrepris, dans le prolongement de la problématique de Markov, des travaux portant sur diverses langues. Ces études fournissent, au niveau de description correspondant, des critères typologiques.

(*) En France par exemple, la méthode dont on fait l'usage le plus intensif est l'Analyse factorielle des correspondances de J.P. Benzécri ; la conception en remonte aux années soixante.

Peut-on espérer revoir la linguistique susciter un progrès de la statistique ?

III.5.3. De l'avis de certains linguistes et de mathématiciens ouverts aux préoccupations linguistiques, l'application de méthodes statistiques à l'étude des langues ne se développe pas avec la vigueur nécessaire, alors que le domaine est prometteur et les outils informatiques disponibles.

C'est ainsi que l'absence de travaux est à peu près complète sur les LEXIQUES, alors que les banques de données qui se construisent pourraient et devraient donner lieu à des études statistiques nombreuses sur la *structure morphophonémique des lexiques.*

Vu les quantitéz sans cesse croissantes de textes disponibles sur support magnétique, tant pour les langues anciennes que pour les langues modernes, de *nouvelles méthodes statistiques* devraient vraisemblablement être élaborées en vue d'étudier les fréquences pour des événements dont l'instabilité provenait de l'insuffisance des quantités de textes dépouillés (par exemple, fréquence de mots de vocabulaire même courant).

ELEMENTS POUR UNE REFLEXION SUR L'AVENIR DES MATHEMATIQUES APPLIQUEES AUX S.H.

IV.1. Jusqu'à une date relativement récente, la recherche dans le domaine des *Mathématiques Appliquées aux Sciences Humaines* (M.A.S.H.) n'était guère institutionalisée : quelques individus isolés lui consacraient une part plus ou moins grande de leur temps en marge de leurs occupations principales.

Le développement même des Sciences humaines a fait que cette époque est désormais révolue. Aujourd'hui, dans de nombreux pays, les futurs chercheurs en M.A.S.H. ont la possibilité de recevoir une formation universitaire appropriée, et il n'est plus inconcevable de faire carrière dans ce domaine.

IV.2. En France, les années 1960 ont été marquées par la mise en place dans quelques Facultés des Lettres et Sciences humaines d'un enseignement de la Statistique, enseignement rénové, adapté et au public et aux disciplines concernées. A partir de 1970, des U.E.R. à vocation M.A.S.H. se sont constituées dans plusieurs Universités et elles ont obtenu par la suite la création de divers cursus spécialisés (dont on trouvera la liste en annexe). Il serait injuste de ne pas mentionner le rôle de moteur et de pionnier qu'a joué au cours de cette période de profonde mutation le *Centre de Mathématique Sociale* rattaché autrefois à la VI^{e} section de l'E.P.H.E. et aujourd'hui à l'E.H.E.S.S. (où il est devenu le *Centre d'Analyse et de Mathématique Sociales*).

Par un jeu complexe d'interactions, les efforts consentis en matière d'enseignement ont bénéficié à la recherche. Aujourd'hui, on se préoccupe de M.A.S.H. dans plusieurs séminaires, dans des groupes "informels" mais aussi dans des équipes ou laboratoires de recherches, éventuellement soutenus par le C.N.R.S. (On trouvera en annexe une liste de ces équipes et laboratoires). La position de la France dans le contexte international est bonne.

En attestent les publications des chercheurs français. En atteste tout particulièrement la collection de la revue trimestrielle *Mathématiques et Sciences humaines* qui, paraissant régulièrement depuis 1962, a joué un rôle carrefour. (On trouvera dans le numéro 81 l'index des articles parus au cours de ces vingt ans.)

C'est dire que la situation des M.A.S.H. en France présente incontestablement des aspects positifs, aspects dont il convenait de commencer par parler.

IV.3. Mais cette situation ne vas pas sans présenter aussi des aspects négatifs. Il faut en analyser les causes et leur chercher des remèdes.

Les M.A.S.H. n'ayant pas derrière elles la longue tradition qu'ont par exemple les applications aux Sciences physiques, les personnes aptes à en juger sainement, donc *sans préjugés*, ne sont pas encore si nombreuses. De ce fait, l'activité du chercheur en M.A.S.H.

. risque d'être mal perçue par le milieu des mathématiciens (purs ou appliqués aux Sciences "dures") ;
.. se heurte à des problèmes de communication et de compréhension avec le milieu des Sciences humaines.

Qu'elle vienne d'un côté ou de l'autre, l'incompréhension peut avoir des conséquences néfastes et pour le développement de la recherche et pour la carrière des chercheurs.

IV.4.1. Le mathématicien de "type classique", habitué à considérer que les mathématiques s'autoalimentent en problèmes, et que cela suffit à les faire vivre - ce mathématicien ne sait pas nécessairement et n'est pas prédisposé à comprendre que l'activité du chercheur en M.A.S.H. s'exerce sur le plan méthodologique *avant* de pouvoir s'exercer sur le plan mathématique. Le problème précis, le phénomène à modéliser ne se proposent pas d'eux-mêmes : il faut les avoir extraits d'un contexte souvent très flou, en séparant l'essentiel de l'accessoire. Cette opération préalable consomme du temps, elle nécessite des connaissances étendues dans le domaine empirique concerné, et des qualités intellectuelles qu'on ne doit pas sous-estimer. D'autre part, une fois dégagés, ce problème, ou ce phénomène, sont à prendre tels qu'ils sont, et non comme on aimerait peut-être qu'ils fussent. Ils appellent des moyens mathématiques appropriés : pas moins, mais PAS PLUS.

La pertinence et la qualité d'une modélisation ne peuvent donc pas être jugées en prenant pour critère (encore moins comme *unique* critère) le degré de sophistication de la mathématique mise en oeuvre. C'est pourtant, hélas, ce qu'ont tendance à faire les personnes qui n'ont pas réfléchi sur ces questions.

Si l'on ne remet pas en cause un certain nombre d'idées préconçues et si l'on ne voit que ce que l'on a envie de voir, on peut en arriver à considérer la recherche en M.A.S.H. comme un bricolage fait à l'aide de mathématiques "qui ne vont pas très loin".

IV.4.2. Les relations avec le milieu des Sciences humaines rencontrent des difficultés en quelque sorte symétriques des précédentes.

Le premier devoir du chercheur en M.A.S.H. vis à vis de ses collègues de S.H. est d'utiliser des méthodes mathématiques aussi transparentes que possible, ainsi que des outils et des concepts qui n'introduisent aucune hypothèse non justifiée, aucune hypothèse parasite par rapport à la nature des faits étudiés. Ces exigences n'impliquent pas nécessairement que les mathématiques mises en oeuvre voudront bien rester "simples". Celles-ci atteindront, le cas échéant, un très haut degré de sophistication, propre peut-être à rassurer le mathématicien pur quant aux capacités intellectuelles de son collègue appliqué, mais propre aussi à détourner d'elles l'utilisateur potentiel.

Or, qui juge en dernier ressort ? Dans le milieu des S.H., le mathématicien est souvent considéré comme un technicien utile, sans doute, mais qui se tient en marge de leur communauté, et qui doit donc s'abstenir de "juger plus haut que la chaussure".

Que faire alors si les travaux du chercheur en M.A.S.H. *du seul fait de leur haute technicité mathématique*, sont jugés "trop abstraits", "trop théoriques", "purement spéculatifs" - donc *sans intérêt pour les applications ?*

Faut-il que le mathématicien s'incline, qu'il sacrifie ses idées et ses exigences théoriques afin de sauvegarder un contact laborieusement établi ? Faut-il qu'il accentue le côté "prestations de service" de ses activités, au risque de ternir irrémédiablement son image aux yeux des purs ?
Telles sont les principales difficultés auxquelles se heurte, de ce côté-là, le chercheur en M.A.S.H.

IV.5. Qu'elles viennent de l'un ou de l'autre côté, les difficultés procèdent *fondamentalement* d'une même cause à savoir que les mathématiques n'ont pas encore pénétré dans les Sciences humaines d'une manière suffisamment profonde pour que le rôle qu'elles peuvent y jouer apparaisse dans sa plénitude, d'une manière indiscutable, convaincante, mobilisatrice. Ce que ces difficultés appellent sont donc avant tout *des remèdes de fond* propres à agir à long - ou peut-être moyen - terme, en accélérant la maturation du domaine. Alors les mentalités changeront ...

Agir en profondeur sur la *cause* ne dispense certes pas (et n'est pas contradictoire avec le fait) de prendre immédiatement les mesures qui s'imposent pour corriger à court terme certains effets.

Remèdes de fond ? On peut en particulier considérer tels tous ceux qui peuvent aider l'interdisciplinarité, la pluridisciplinarité etc. etc. à passer du plan de la logomachie au plan de la réalité quotidienne, qu'il s'agisse des structures d'enseignement - recherche (c'est indissociable) ou des structures administratives.

Il n'y a d'ailleurs pas lieu d'attendre que viennent de l'extérieur des remèdes miracles. Il revient en premier lieu au milieu des chercheurs en M.A.S.H. d'imaginer lui-même les formes d'action propres à le faire connaître et à mieux faire comprendre par la communauté scientifique ses problèmes spécifiques. Sachant fermement ce qu'il est prêt à faire, il pourra se tourner vers les institutions et réclamer leur appui.

IV.6. En matière d'enseignement-recherche, on peut envisager entre autres

a) A l'usage des chercheurs, mathématiciens de formation :

. La création d'enseignements originaux de haut niveau, enseignements portant sur la problématique de certaines Sciences humaines et sur leur possible mathématisation.
Diverses formes sont possibles : Ecoles d'été, séminaires de formation,etc.

.. Le financement d'ouvrages où passerait la matière de tels cours et exposés de séminaires.

b) A l'usage des chercheurs en Sciences humaines, comme prolongement aux efforts faits actuellement (au C.N.R.S. notamment) en vue de leur offrir une formation permanente en mathématiques (et informatique) : aide à la rédaction et à la diffusion de "manuels" débouchant sur la recherche en cours.

Concrètement, une telle aide peut signifier des facilités accordées aux auteurs (détachement, période sabbatique) ainsi qu'une prise en charge de l'édition.

IV.7. Du point de vue administratif, on peut envisager entre autres

a) Pour les thèses d'Etat (ou ce qui les remplacera), la possibilité d'admettre la direction conjointe d'un mathématicien et d'un spécialiste d'une Science humaine.

b) La création au C.N.R.S. de Commissions interdisciplinaires auxquelles seraient attribués quelques postes et quelques crédits (cf. supra : financement, aides à des séminaires, des équipes, des rencontres).

c) Au moins dans une phase transitoire, création au C.S.U. d'une section transversale M.A.S.H. dotée de réels pouvoirs en matière de gestion de postes, afin que soit assurée aux mathématiciens ayant le profil spécifique la possibilité de trouver dans l'Université une place correspondant à leurs mérites scientifiques.

* *
*

Pour terminer, soulignons que, si les mathématiques que l'on met en oeuvre à propos d'applications aux Sciences humaines ne sont pas des mathématiques de seconde zone, ce ne sont pas non plus des mathématiques "en exil". Elles sont traversées et influencées par les grands courants - parfois antagonistes- qui traversent toute la MATHEMATIQUE : "catégorisation" de nombreux domaines, émergence d'un "constructivisme" algorithmique en liaison avec l'informatique, ... pour ne citer que ceux-là.

En dernière analyse, c'est de l'avenir global des mathématiques que l'avenir des "mathématiques appliquées aux Sciences humaines" dépend le plus fondamentalement.

ANNEXE I

Laboratoires spécialisés en Mathématiques Appliquées
aux Sciences Humaines

Université des Sciences Sociales de Grenoble (Grenoble-II) - UER d'informatique et Mathématiques en Sciences Sociales - CETA.- B.P. 53 - 38041 Grenoble Cedex.

Université Paul Valéry (Montpellier-III) - UER de Mathématiques appliquées aux Sciences Humaines - B.P.5043 - 34032 Montpellier Cedex.

Université de Paris-Sorbonne (PARIS-IV)- Département de Mathématiques et Informatique appliquées aux Sciences Humaines - 96 boulevard Raspail - 75006 Paris.

Université René Descartes (Paris-V) - UER de Mathématiques, Logique Formelle et Informatique - 12 rue Cujas - 75005 Paris :
- Groupe Psychologie et Mathématiques.
- Laboratoire d'Etude des Méthodes de l'Analyse Sociologique (LEMTAS).

Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS) - Centre d'Analyse et de Mathématique Sociales (CAMS), Laboratoire mixte du CNRS - 54 boulevard Raspail - 75006 Paris et Hospice de la Vieille Charité - 13002 Marseille.

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) :
- Laboratoire d'Informatique pour les Sciences de l'Homme (LISH) - 54 boulevard Raspail - 75006 Paris et 31 chemin Joseph Aiguier - 13274 Marseille Cedex 2.
- Unité de Recherche Lexicologie et Textes Politiques - Groupe Mathématique et Langue - Ecole Normale Supérieure - 2 avenue du Palais - 92211 Saint-Cloud.

ANNEXE II

Universités ayant des formations en
Mathématiques Appliquées et Sciences Sociales

PREMIER ET DEUXIEME CYCLE

AIX-MARSEILLE III
ANGERS
LYON I ET II
PAU
STRASBOURG I
PARIS I
PARIS V
PARIS VII
PARIS IX
PARIS X

PREMIER CYCLE

AIX-MARSEILLE I
AIX-MARSEILLE II
BESANCON
BORDEAUX II
GRENOBLE II
LILLE III
LYON III
MONTPELLIER III
NICE
RENNES I
RENNES II
TOULOUSE II
PARIS VIII

TROISIEME CYCLE

GRENOBLE II
PARIS V et Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales
PARIS IX et Ecole des Mines de Paris et Ecole Nationale de la Statistique et de l'Administration Economique

BIBLIOGRAPHIE

Nous présentons ci-dessous une liste non exhaustive de publications ayant trait aux Mathématiques et aux Sciences humaines. Nous serions heureux de pouvoir la compléter avec l'aide des lecteurs.

I. Revues de Mathématiques et Sciences humaines "en général"

. *Mathématiques et Sciences humaines*

. *Mathematical Social Sciences*

North-Holland Publishing Company
P.O. Box 211 - 1000 AE Amsterdam (Pays-Bas)
52 Vanderbilt Avenue, New York . NY 10017 (U.S.A.)

. Mentionnons, bien que plus spécifiquement "informatique" :

Informatique et Sciences humaines

publié par : Institut des Sciences Humaines Appliquées (I.S.H.A.)
(Université Paris-Sorbonne)
96 bd Raspail 75006 Paris

II. Publications reliant les mathématiques et une discipline précise :

1°) Economie

. *Econometrica*

publié par "The Econometric Society"

par : The University of Chicago Press
Journals Department
11030 South Langley Avenue
Chicago, Illinois 60672. (U.S.A.)

. *Journal of Economic Theory*

Academic Press Inc.,
111 Fifth Avenue, New York, NY 10003 (U.S.A.)

. *Journal of Mathematical Economics*

(une publication de North-Holland), W. Hildenbrand, éditeur
Department of Economics G + W II
University of Bonn
Adenauerallee 24-26, 53 Bonn (R.F.A.)

. *Social Choice and Welfare*

publié par : Springer-Verlag
P.O. Box 105280
D-6900 Heidelberg (R.F.A.)

2°) Linguistique

. *American Journal of Computational linguistics*

publié par "The Association for Computational linguistics"

c/o Dr Donald E. Walker Sec.-Treas.
SRI International
333 Ravenswood Ave,
Menlo Park CA 94025 (U.S.A.)

. *T.A. Informations*

publié par l'ATALA (Association pour le Traitement Automatique des Langues et du Langage)

Editions Kincksieck
11 rue de Lille
75006 Paris

3°) Psychologie

. *Behavioral Science*
Journal of the Society for general Systems Research

P.O. Box 64025 Baltimore Maryland 21264 (U.S.A.)

. *Journal of Mathematical Psychology*

publié par : Academic Press Inc
111 Fifth Avenue
New York NY 10003 (U.S.A.)

. *Psychometrika*

adresse : College of William and Mary
c/o Cynthia Null
Department of Psychology
Williamsburg, VA 23185 (U.S.A.)

4°) Sociologie

. *Journal of Mathematical Sociology*

Ralph Ginsberg, éditeur

publié par Gordon and Breach Science Publishers Ltd
7-9 rue Emile Dubois
75014 Paris

. *Social Networks*
An international journal of structural analysis

L.C. Freeman, éditeur

publié par : Elsevier Sequoia S.A.
P.O. Box 851
CH-1001 Lausanne 1 (Suisse)

III. Publications de mathématiques ou de statistiques appliquées mais dont le champ ne se limite pas aux Sciences humaines.

1°) Mathématiques

. *Discrete Applied Mathematics*

North-Holland Publishing Company, Amsterdam (Pays-Bas)

. *Networks*

publié par : John Wiley & Sons, Inc.
605 Third Avenue
New York NY 10158 (U.S.A.)

. *SIAM journal on Algebraic and discrete methods*

publié par "Society for Industrial and Applied Mathematics",
1405 Architects Building,
117 South 17th Street
Philadelphia, Pennsylvania 19103 (U.S.A.)

2°) Statistiques et Analyse des données

. *Les Cahiers de l'Analyse des Données*

Dunod, Paris.

. *Computational Statistics and Data Analysis*

North-Holland Publishing Company, Amsterdam (Pays-bas)

. *Journal of Classification*

Springer-Verlag
175 Fifth Avenue New York NY 10010 (U.S.A.)

. *Revue de Statistique Appliquée*

10 rue Bertin-Poirée
75001 Paris

. *Statistique et analyse des données*
Bulletin de l'Association des Statisticiens Universitaires.

c/o J.M. Bouroche
4 rue Georges Millandy 92360 Meudon la Forêt

IV. Publications à visées plus proprement méthodologiques

. *BMS, Bulletin de Méthodologie Sociologique*

publié par le LISH
54 bd Raspail
75270 Paris Cedex 06

. *Quality and Quantity*
European-American Journal of methodology

publié par Elsevier Sciences publishers B.V.
P.O. Box 330
1000 AH Amsterdam (Pays-Bas)

. *Theory and Decision*
An international Journal for Philosophy and Methodology of the Social Sciences

publié par : D. Reidel Publishing Company
P.O. Box 17
3300 AA Dordrecht (Pays-Bas)