

Questionnaire à sélectivité croissante et modèle barycentrique de traitement de données (MBTD) : un cadre méthodologique pour la description des conceptions

Cheikh Tidiane Sall

Volume 30, Number 2, 2007

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1085887ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1085887ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

ADMEE-Canada - Université Laval

ISSN

0823-3993 (print)

2368-2000 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Sall, C. T. (2007). Questionnaire à sélectivité croissante et modèle barycentrique de traitement de données (MBTD) : un cadre méthodologique pour la description des conceptions. *Mesure et évaluation en éducation*, 30(2), 99–122. <https://doi.org/10.7202/1085887ar>

Article abstract

This paper is a contribution to conceptions description methods. The approach considers every conception about a concept, as constituted of a limited number of features or dimensions, previously identified. A “progressive selecting questionnaire” has permitted to collect data which monitoring necessitated the elaboration of a Barycentre Model of Data Treatment (BMDT). The latter allows, for every dimension, the calculation of “a barycentre indication”, used as a criterion of dimensions classification, thus revealing the conceptions structure of a subject or a group. The model has been tested on data about problem solving conceptions, collected from a sample of 179 physics and chemistry secondary school teachers, in Senegal. The outcomes showed that the BMDT is a relevant tool for conceptions description in education field, with transfer possibilities to health, culture, economy, etc.

Questionnaire à sélectivité croissante et modèle barycentrique de traitement de données (MBTD): un cadre méthodologique pour la description des conceptions

Cheikh Tidiane Sall

Université Cheikh Anta Diop de Dakar

MOTS CLÉS: Description de conceptions, questionnaire à sélectivité croissante, modèle barycentrique de traitement de données (MBTD), indice barycentrique

Cet article est une contribution aux méthodes de description des conceptions. L'approche considère toute conception à propos d'un concept, comme étant constituée d'un nombre restreint de facettes ou de dimensions préalablement établies. Un « questionnaire à sélectivité croissante » a permis de recueillir des données dont le traitement a nécessité l'élaboration d'un modèle barycentrique de traitement de données (MBTD). Celui-ci permet de calculer, pour chaque dimension, « un indice barycentrique » pris comme critère de classification des dimensions, révélant ainsi la structure des conceptions d'un individu ou d'un groupe. Le modèle a été testé sur des données relatives aux conceptions à propos de la résolution de problème, recueillies auprès d'un échantillon de 179 professeurs de physique et de chimie, au Sénégal. Les résultats ont montré que le MBTD est un outil pertinent pour la description des conceptions dans le champ de l'éducation avec des possibilités de transfert à la santé, à la culture, à l'économie, etc.

KEY WORDS: Conceptions description, progressive selecting questionnaire, barycentre model of data treatment (BMDT), barycentre indication

This paper is a contribution to conceptions description methods. The approach considers every conception about a concept, as constituted of a limited number of features or dimensions, previously identified. A "progressive selecting questionnaire" has permitted to collect data which monitoring necessitated the elaboration of a Barycentre Model of Data Treatment (BMDT). The latter allows, for every dimension, the calculation of "a barycentre indication", used as a criterion of dimensions classification, thus revealing the conceptions structure of a subject or a group. The model has been tested on data about problem solving conceptions, collected from a sample of 179 physics and chemistry secondary school teachers, in Senegal. The outcomes showed that the BMDT is a relevant tool for conceptions description in education field, with transfer possibilities to health, culture, economy, etc.

PALAVRAS-CHAVE: Descrição de concepções, questionário de selectividade crescente, modelo baricêntrico de tratamento de dados (MBTD), índice baricêntrico

Este artigo é um contributo para os métodos de descrição das concepções. A abordagem considera qualquer concepção a propósito de um conceito, como sendo constituída por um número restrito de facetas ou de dimensões previamente estabelecidas. Um “questionário de selectividade crescente” permitiu a recolha de dados cujo tratamento necessitou da elaboração de um modelo baricêntrico de tratamento de dados (MBTD). Ele permite calcular, para cada dimensão, “um índice baricêntrico” tomado como critério de classificação das dimensões, revelando assim a estrutura das concepções de um indivíduo ou de um grupo. O modelo foi testado sobre os dados relativos às concepções, a propósito da resolução de problemas, recolhidos junto de uma amostra de 179 professores de física e de química, no Senegal. Os resultados mostraram que o MBTD é um utensílio pertinente para a descrição das concepções no campo da educação com possibilidades de replicação na saúde, na cultura, na economia, etc.

Introduction

Les conceptions à propos d'un concept scientifique, d'un phénomène, d'une méthode ou de pratiques professionnelles continuent de préoccuper les chercheurs dans leur souci de comprendre les phénomènes éducatifs et sociaux, en vue de rendre plus efficaces les processus d'enseignement/apprentissage et les formations, ou de prendre des décisions fondées à propos de groupes spécifiques.

Par rapport à l'enseignement/apprentissage, le courant des didactiques des disciplines s'est inscrit résolument dans une perspective constructiviste, ce qui le rend particulièrement sensible au rôle des conceptions. Cet intérêt pose d'emblée la problématique de l'origine des conceptions, de leur nature, de leur description et de leur processus d'évolution.

Le présent article porte essentiellement sur la description des conceptions. L'originalité du travail consiste à chercher une articulation entre la structure de l'outil de recueil de données, ici un questionnaire dit «à sélectivité croissante» ou «en escalier», et le modèle barycentrique de traitement de données (MBTD) qui lui est associé.

Après avoir donné quelques précisions sur les cadres théorique et méthodologique, nous présenterons successivement l'outil de recueil de données, le modèle de traitement et son application à des données recueillies sur un échantillon de 179 professeurs de physique et de chimie du Sénégal, interrogés sur leurs conceptions à propos de la résolution de problème.

Cadre théorique

Le cadre théorique permet de nous positionner par rapport au débat encore en cours entre les termes «conception» et «représentation» et d'explicitier notre approche du concept de «conception».

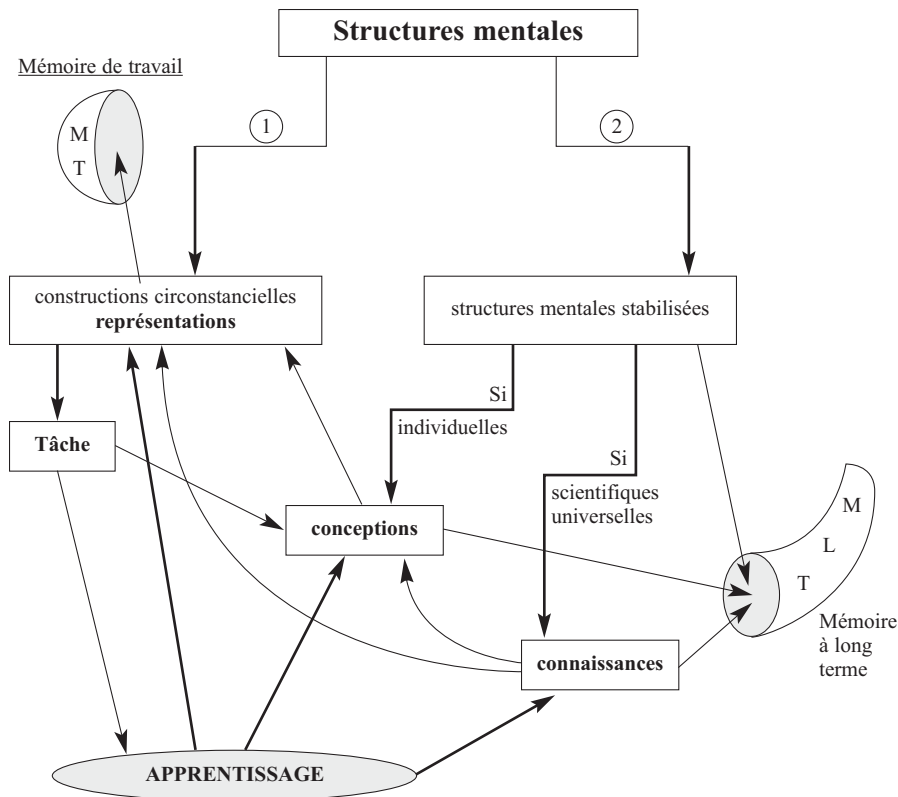
Conception et représentation

Dans la documentation existante, les termes de représentation et de conception sont parfois confondus. Des controverses existent même à leur propos. C'est dans ce contexte que Ridao (1993) défend l'usage du concept de représentation en montrant son utilité dans le cadre de la biologie. Mais dans le même article, l'auteur met en évidence le marquage historique et pluridisciplinaire du concept de représentation : philosophie (Bachelard, 1938), psychologie génétique (Piaget, 1927), psychologie cognitive (Newell & Simon, 1972), psychologie sociale (Doise, 1989 ; Moscovici, 1961, 1976).

Le Ny (1989), considère quant à lui, que les représentations sont essentiellement des interprétations. Il les oppose ainsi aux «représentations types», qui seraient des constructions stables stockées dans la mémoire à long terme. Les représentations types sont réactivées en cas de besoin face à une tâche.

Les idées développées par Le Ny (1989) rejoignent en partie celles des psychologues cognitivistes (Richard, 1990). Ce dernier, dans son ouvrage consacré aux activités cognitives finalisées, fait une différence nette entre représentations et conceptions. Les représentations constituent véritablement, selon lui, les clés qui permettent à l'individu de décoder quantité de situations, de comprendre le monde et d'y agir.

Pour Richard (1990), une représentation est construite en vue de comprendre une tâche à réaliser. L'analyse des relations entre les connaissances, les représentations et les conceptions faite par Richard (1990) peut être interprétée par le schéma suivant (Sall, 2002) :



Graphique 1. *Schéma interprétatif des relations entre représentation, conception, connaissance, tâches, mémoire (adapté de Richard, 1990)*

Ce schéma montre que la réalisation d'une tâche, par exemple dans le cadre d'une résolution de problème, s'appuie essentiellement sur les constructions circonstancielles que sont les représentations au sens de Richard. Celles-ci, qui sont dans la mémoire de travail, sont influencées par les connaissances antérieures dont certaines sont déjà stockées sous formes de schémas, mais aussi par les conceptions du sujet. Le schéma met en relief le caractère stratégique des conceptions, qui influencent à la fois l'apprentissage, le processus de construction d'une représentation face à une tâche, et la réalisation de la tâche.

Ainsi, sur le plan cognitif, le concept de «représentation» revêt deux significations: il désigne le mode de stockage des connaissances dans la mémoire à long terme (MLT), mais aussi les réorganisations circonstancielles de ces connaissances en vue de l'exécution d'une tâche spécifique. Ces deux

formes de représentations sont cependant liées. En effet, dans certains cas, l'organisation circonstancielle n'est que le fruit d'une réactivation orientée de schèmes déjà structurés dans la mémoire à long terme (Rummelhart, 1980). Dans le cadre de la résolution de problème, par exemple, l'expert pourrait être celui qui dispose d'une gamme très variée de schèmes spécifiques ou des modèles de schèmes susceptibles d'être l'objet d'une contextualisation pertinente dans une situation donnée.

Les conceptions au sens de Richard (1990) sont, quant à elles, des réorganisations personnalisées articulées autour de significations spécifiques associées à des connaissances et qui intègrent des dimensions extra-cognitives : histoire personnelle, expérience, jugements de valeur, affectivité.

Il y a donc toujours un écart entre les conceptions et les connaissances scientifiques. Celles-ci sont de l'ordre de l'idéal puisque le processus d'appropriation d'une connaissance comporte toujours une marque personnelle qui est un des éléments constitutifs des conceptions.

Le terme «représentation» se révélant ainsi polysémique, nous lui avons préféré le terme «conception». Cependant, lorsque les conceptions sont caractéristiques de groupes sociaux, elles renvoient au concept de représentation sociale (Moscovici, 1961).

Conceptions et représentations sociales

La théorie des représentations sociales, dont Moscovici (1961) est le pionnier, a eu pour point de départ la comparaison entre la pensée de l'enfant et la pensée de l'adolescent. L'interprétation des résultats par Moscovici (1976) est que ces pensées sont le siège d'une interaction entre deux systèmes cognitifs : un système opératoire et un système de régulation.

[...] nous voyons à l'œuvre deux systèmes cognitifs, l'un qui procède à des associations, inclusions, discriminations, déductions, c'est-à-dire le système opératoire, et l'autre qui contrôle, vérifie, sélectionne à l'aide de règles, logiques ou non ; il s'agit d'une sorte de méta-système qui retravaille la matière produite par le premier (Moscovici, 1976, p. 254).

Abric (1994), montre que la théorie des représentations sociales constitue une remise en cause de la distinction entre le sujet et l'objet, si chère aux behavioristes, entre le stimulus et la réponse : «un objet n'existe pas en lui-même, il existe pour un individu ou un groupe et par rapport à eux» (p. 12). Finie donc la réalité objective.

Abric (1994) précise cette idée comme suit:«[...] toute réalité est représentée, c'est-à-dire appropriée par l'individu ou le groupe, reconstruite dans son système cognitif, intégrée dans son système de valeurs dépendant de son histoire et du contexte social, idéologique qui l'environne» (p. 12).

La recherche sur la structure des conceptions, dans le sillage des travaux de Moscovici sur les représentations sociales (1961, 1976), a abouti à l'hypothèse dite «du noyau central», élaborée par Abric (1994). Selon cette hypothèse, «[...] l'organisation d'une représentation présente une modalité particulière spécifique: non seulement les éléments de la représentation sont hiérarchisés mais, par ailleurs, toute représentation est organisée autour d'un noyau central, constitué d'un ou de plusieurs éléments qui donnent à la représentation sa signification» (p. 19).

L'hypothèse du noyau central a par la suite été complétée par la théorie des schèmes périphériques (Flament, 1986). On aboutit alors à un modèle heuristique construit sur une idée simple: «Les représentations sociales (nous dirons ici les conceptions), sont des ensembles sociocognitifs organisés de manière spécifique et régis par des règles de fonctionnement qui leur sont propres» (Doise, Clemence & Lorenzi-Cioldi, 1992, p. 8).

Cet éclairage sur les conceptions, par le détour des représentations sociales, a des incidences sur la partie méthodologique de notre travail. En effet, l'objectif de déterminer le noyau central des conceptions et d'en hiérarchiser les éléments constitutifs peut fournir des repères aussi bien pour le processus de construction de l'outil de recueil de données, que pour les modèles de traitement de données.

Les conceptions: caractéristiques intrinsèques des sujets ou modèles élaborés par le chercheur pour comprendre?

Deux approches sont prédominantes quant à la nature des conceptions. L'une considère une conception comme une réalité en soi, caractéristique d'un sujet à propos d'un savoir, d'un concept, d'un phénomène. La deuxième approche considère une conception comme une construction du chercheur, un modèle explicatif des processus mentaux mis en œuvre par un sujet confronté à l'acquisition d'un savoir ou à l'exercice d'une activité finalisée, comme la résolution de problème par exemple (Richard, 1990).

Mais ces deux perspectives à propos des conceptions ne sont pas aussi éloignées l'une de l'autre. En effet, l'existence *a priori* de conceptions ne peut être établie de manière directe. Quel que soit l'outil élaboré pour les recueillir,

la conception attribuée à un sujet à propos d'un concept ou d'un phénomène social contient toujours la marque du chercheur. Celui-ci est toujours obligé de donner du sens à un ensemble de données primaires pour émettre des hypothèses sur le fonctionnement cognitif des sujets et inférer ainsi une structure des conceptions. Inversement, la construction par un chercheur d'un modèle pour comprendre le comportement cognitif d'un sujet ne peut se faire qu'à partir de données recueillies sur des sujets, ce qui nous ramène encore à un problème d'interprétation. Les deux approches sont donc plus complémentaires que contradictoires.

Dans le cadre de cette recherche, nous considérons une conception comme une caractéristique d'un sujet ou d'un groupe de sujets, même si l'action de modélisation effectuée par le chercheur reste présente. Cette option faite, il est maintenant possible de préciser le cadre méthodologique.

Cadre méthodologique

Nous allons d'abord présenter une revue sommaire des méthodes adoptées dans les recherches sur les conceptions des apprenants

Méthodes des recherches sur les conceptions des apprenants

Joshua et Dupin (1993) ont fait un inventaire de recherches en didactique des sciences (mathématiques, biologie, sciences physiques), portant sur les conceptions des apprenants. Les conceptions étudiées portent principalement sur des concepts disciplinaires spécifiques. Quelques exemples :

- en mathématiques : Audibert et al., 1989 : les différentielles ; Vergnaud, 1983 : les structures additives ; (Robert, 1982) : la notion de convergence numérique ;
- en biologie : Giordan et de Vecchi, 1987 : la sexualité ; Clément, 1991 : la digestion ;
- en sciences physiques : Séré et Tiberghien, 1989 : les concepts décrivant les états de la matière ; Closset, 1989 ; l'électrocinétique ; Viennot, 1989 : bilan des forces et actions réciproques.

D'autres recherches répertoriées portaient sur des concepts plus généraux. Par exemple Larochelle et Deseautels (1987) ont étudié les conceptions à propos des connaissances scientifiques. Ces auteurs voulaient connaître les réponses apportées par des élèves âgés de 15 à 18 ans, à un ensemble de questions tournant autour des connaissances scientifiques.

Mais les comptes rendus de recherches sur les conceptions présentés par Joshua et Dupin (1993) n'ont pas suffisamment explicité les aspects méthodologiques. En particulier, les outils de recueil de données et les modes de traitement sont parfois passés sous silence.

On peut noter cependant trois outils prépondérants : le questionnaire papier-crayon (Robert, 1982; Alibert et al., 1988), la production d'apprenants confrontés à une tâche (Clément, 1991), l'entretien (Larochelle & Deseautels, 1987). Cependant, même dans les cas où l'outil est précisé (questionnaire surtout), les auteurs fournissent peu d'information sur la structure de l'outil, la forme des questions, les conditions d'administration et les méthodes de traitement.

Comme cela a été souligné dans de nombreuses recherches, le questionnaire est un outil dont la simplicité apparente masque plusieurs difficultés qui lui sont intrinsèques. Celles-ci sont renforcées par le statut didactique des conceptions.

En effet, selon Astolfi et Develay (1989), l'utilisation d'un questionnaire pour recueillir des conceptions (ils lui préférèrent le terme de représentation) à propos d'un phénomène, soulève au moins trois préoccupations :

- une conception est sous-tendue par des stratégies cognitives face à une situation. Il faut donc rapporter l'explicitation des conceptions à leur contexte de production ;
- la réponse fournie à une question par un sujet est d'abord une réponse à l'expérimentateur ;
- le sujet réagit par rapport à des attentes supposées et par rapport à la préservation de l'image de soi ;
- toute description de conceptions intègre les cadres conceptuels de l'expérimentateur. Mettre au point un dispositif de recueil de conceptions, donner du sens à l'expression de celles-ci, ne relèvent donc pas d'un processus neutre.

Moscovici (1976) cité par Astolfi et Develay (1989) dit à ce propos :

Une personne qui répond à un questionnaire ne fait pas que choisir une catégorie de réponses, elle nous transmet un message particulier. Elle cherche l'approbation, ou espère que sa réponse lui apportera une satisfaction d'ordre intellectuel ou personnel. Cette personne est parfaitement consciente de ce qu'en face d'un autre enquêteur, ou dans d'autres circonstances, son message serait différent (p. 36).

Les constats sur les aspects méthodologiques des recherches portant sur les conceptions et les considérations sur les biais introduits par le questionnaire dans le recueil d'information nous ont principalement motivé (Sall, 2002) à construire, pour le recueil de données sur les conceptions, un questionnaire dit «à sélectivité croissante» ou «en escalier», et à lui associer un modèle de traitement que nous avons appelé «modèle barycentrique de traitement de données (MBTD)».

Le questionnaire à sélectivité croissante ou en escalier : un outil qui enrichit le questionnaire comme instrument de recueil de données sur les conceptions

Abric (1994) distingue trois grandes catégories de méthodes pour étudier les conceptions: les méthodes de recueil du contenu des conceptions, les méthodes de repérage de l'organisation et de la structure des conceptions, et les méthodes de contrôle de la centralité du noyau.

Mais, malgré cette distinction analytique assez explicite, les auteurs s'accordent sur l'intérêt de mettre en œuvre des approches qui combinent les différentes méthodes considérées comme des cas limites. En effet, concourant à des objectifs communs, ces méthodes, loin d'être exclusives, peuvent se compléter dans le cadre d'une recherche (Abric, 1994).

C'est dans cette perspective que nous avons opté pour la construction d'un outil qui, dans une approche plurielle, nous permettra de recueillir des données principalement sur les dimensions des conceptions, d'établir une hiérarchie entre ces facettes et de déterminer le noyau central (Abric, 1994). Il s'agit d'un questionnaire dont la structure devrait permettre de fournir des données appropriées.

L'identification de facettes ou dimensions des conceptions

La démarche que nous préconisons pour la description des conceptions sera illustrée à partir du concept de résolution de problème. C'est un concept important en didactique de la physique. En effet, l'évaluation en physique et en chimie dans l'enseignement secondaire et même à l'université se fait encore essentiellement à partir des performances des étudiants en résolution de problème (Goffard, 1994 ; Sall, 2002 ; Sall, Kane & Diouf, 1998).

La construction du questionnaire nécessite un travail préalable de détermination des facettes ou dimensions des conceptions à propos du concept choisi.

Le concept de résolution de problème a été décomposé en sept dimensions. Le choix de ces sept dimensions repose sur les résultats d'une préenquête auprès d'enseignants en formation initiale et de formateurs (Sall, 1997), mais aussi sur l'éclairage théorique fourni par la documentation (Newell & Simon, 1972; Goffard, 1994; Dumas-Carré et Goffard, 1997). Les dimensions suivantes ont été établies :

- Finalité et fonction du problème (Ff)
- Motivation (Mo)
- Énoncé (En)
- Résultats attendus (Ra)
- Connaissances exigées pour résoudre le problème (Cn)
- Processus de résolution (Pr)
- Contexte des activités scolaires de résolution (Ctx)

Nous avons appelé cette description d'ensemble des conceptions, faite à partir des dimensions déterminées, une description macroscopique. Cette dernière cherche uniquement à préciser le contenu général des conceptions et la hiérarchie entre les différentes dimensions. Cette hiérarchie permettra en même temps de délimiter le noyau central des conceptions (Abric, 1994).

Structure du questionnaire

Le questionnaire de recherche est structuré en quatre grandes parties :

- une partie introductive de motivation, la description du profil du répondant : le profil du répondant est décrit à partir des variables de genre (ge), du diplôme professionnel (dp) et de l'ancienneté dans le métier (anc);
- une question à pondération absolue (Question 1) : elle permet au répondant d'affecter des points (de 0 à 100) à chacune des sept dimensions, avec l'échelle suivante :

- 0 = cette dimension n'est pas du tout importante
- 25 = cette dimension est peu importante
- 50 = cette dimension est assez importante
- 75 = cette dimension est importante
- 100 = cette dimension est très importante

- trois questions en escalier ou à sélectivité croissante avec des pondérations relatives (Questions 2, 3, 4): le sujet doit procéder à une élimination progressive de certaines dimensions (qualitatif) tout en affectant des points aux dimensions sélectionnées (quantitatif).

La sélectivité croissante des Questions 1, 2, 3 se fait selon l'algorithme suivant:

- choisir 5 dimensions parmi les 7 dimensions proposées – (Question 2)
- choisir 3 dimensions parmi les 5 choisies au 1) – (Question 3)
- choisir 2 dimensions parmi les 3 choisies au 2) – (Question 4)

La pondération consiste à répartir un total de 100 points entre les dimensions sélectionnées à chaque étape de manière à mettre en évidence leur importance relative. Une dimension éliminée a une pondération égale à 0 (zéro).

Exemple d'illustration : réponses fournies par un sujet

Question 1 : Question à pondération absolue (de 0 à 100)

Dimensions	Ff	Mo	En	Ra	Cn	Pr	Ctx
Pondérations	60	50	95	75	100	70	25

Ce sujet considère que les dimensions Connaissance (Cn) et Énoncé (En) sont les plus importantes.

Question 2 : Choisir 5 dimensions parmi les 7 et leur distribuer les 100 points

Dimensions	Ff	Mo	En	Ra	Cn	Pr	Ctx
Pondérations	10	0	20	15	40	15	0

Les dimensions Motivation (Mo) et Contexte (Ctx) ont été éliminées et sont affectées d'une pondération égale à 0 (zéro). Les cinq dimensions restantes se partagent les 100 points: Ff (10); En (20); Ra (15); Cn (40); Pr (15).

Vérification: $10 + 20 + 15 + 40 + 15 = 100$.

La hiérarchie établie par le sujet sur la base des pondérations effectuées à la Question 1 est toujours respectée pour Cn et En qui sont en tête mais le processus (Pr) est maintenant à égalité avec les résultats attendus (Ra). Tout se passe comme si le sujet opérait des correctifs sur ses pondérations de la Question 1.

Question 3 : Choisir 3 dimensions parmi les 5 choisies à la question 2

Dimensions	Ff	Mo	En	Ra	Cn	Pr	Ctx
Pondérations	0	0	25	0	60	15	0

Il ne reste plus que les dimensions En (25), Cn (60) et Pr (15). On vérifie bien que $25 + 60 + 15 = 100$.

Mais si la dimension connaissance (Cn) est toujours en tête, le sujet semble avoir changé légèrement son point de vue lorsqu'on l'oblige à passer à une sélectivité plus grande. Il a préféré maintenir la dimension processus (Pr) au détriment de la dimension résultats attendus (Ra).

Question 4 : Choisir deux dimensions parmi les trois sélectionnées à la Question 3

Dimensions	Ff	Mo	En	Ra	Cn	Pr	Ctx
Pondérations	0	0	0	0	70	30	0

Finalement le sujet a choisi les dimensions Cn (70) et Pr (30) comme étant les plus importantes par rapport à la résolution de problème en physique et en chimie. La dimension Cn reste toujours en tête, mais la dimension processus (Pr) a fini par «prendre le dessus» sur la dimension énoncé (En).

Remarque : Les choix faits par le sujet aux questions 3 et 4 peuvent paraître en contradiction avec les pondérations de la question 1, avec notamment le changement de position de la dimension processus (Pr). Une autre interprétation est de dire que lorsqu'on pose une question absolue, le sujet peut répondre sans faire beaucoup attention. Mais dès l'instant qu'on le met dans une situation de sélection, il se trouve dans une situation problème où il est plus vigilant: il y a moins de risque de donner des pondérations au hasard.

Notre hypothèse de travail est que c'est là l'avantage d'un questionnaire à sélectivité croissante: il permet de mieux cerner le point de vue d'un sujet soumis à des questions.

La question qui se pose est alors celle-ci: comment traiter l'information fournie dans les quatre réponses du sujet. Notre réponse est donnée par le modèle barycentrique de traitement de données (MBTD).

Le modèle barycentrique de traitement de données (MBTD)

Le problème méthodologique posé par le questionnaire à sélectivité croissante est le suivant : comment transformer les réponses aux quatre questions en une seule information significative ? Il fallait appliquer ou élaborer un modèle qui tienne compte à la fois du niveau de sélectivité de la réponse et des pondérations attribuées.

Le concept mathématique de barycentre nous a semblé être une solution à notre problème. Nous avons opté pour la construction d'un modèle mathématique, que nous avons appelé : Modèle barycentrique de traitement de données (MBTD).

La conception du modèle (MBTD)

Pour résoudre la question méthodologique de transformer de manière pertinente l'information recueillie dans les quatre questions, nous nous sommes inspiré de la mécanique du point matériel.

En effet, lorsque nous avons fait une représentation de notre problème méthodologique au sens de Newell et Simon (1972), nous nous sommes rendu compte que notre tâche était de déterminer le « poids » de chaque dimension de la résolution de problème à partir des pondérations obtenues sur les quatre questions. Et il fallait en même temps tenir compte du fait que les pondérations obtenues d'une question à une autre n'avaient pas la même signification.

Par exemple il est logique de penser que la pondération obtenue à la quatrième question devrait contribuer davantage au « poids global » de la dimension que la pondération obtenue à la deuxième question.

On devrait donc affecter chaque pondération d'un coefficient qui devrait être d'autant plus important que le niveau de sélection est élevé. Dans tous les cas, la valeur trouvée pour chaque dimension devrait représenter un indice caractéristique de la dimension. C'est une grandeur macroscopique que nous avons convenu d'appeler « indice barycentrique », et qui permettait en même temps d'estimer les « distances » entre les dimensions. Le modèle de traitement sera appelé « modèle barycentrique de traitement de données » (MBTD)

C'est un modèle qui se veut une contribution méthodologique à une question souvent rencontrée en sciences de l'éducation : comment traiter un ensemble de données hiérarchisées relatives à un même objet pour en faire une donnée prenant en compte la sélectivité et la pondération relative.

Or, la mécanique du point matériel nous apprend qu'on peut remplacer un système de points M_1, M_2, M_3, M_4 , affectés respectivement des coefficients a, b, c, d , par un seul point G tel que :

$$\mathbf{OG} = (a\mathbf{OM}_1 + b\mathbf{OM}_2 + c\mathbf{OM}_3 + d\mathbf{OM}_4) / (a+b+c+d)$$

Dans cette relation, $\mathbf{OM}_1, \mathbf{OM}_2, \mathbf{OM}_3, \mathbf{OM}_4$, sont des vecteurs. Le point G est appelé barycentre des points M_1, M_2, M_3, M_4 , affectés des coefficients a, b, c, d qui sont des grandeurs scalaires.

Dans le cadre de notre travail, nous avons considéré chacune des quatre questions comme correspondant à un niveau de sélectivité.

On distingue ainsi :

Niveau 1 = première question pour laquelle la pondération est absolue, sans référence explicite aux pondérations attribuées aux autres dimensions.

Niveau 2 = deuxième question : sélection de cinq dimensions sur les sept et pondération relative (distribution de 100 points entre les cinq dimensions)

Niveau 3 = troisième question : sélection de trois dimensions sur les cinq précédentes et pondération relative (distribution de 100 points entre les trois dimensions sélectionnées)

Niveau 4 = quatrième question : sélection de deux dimensions sur les trois précédentes et pondération relative (distribution de 100 points entre les deux dernières dimensions sélectionnées).

Le modèle barycentrique de traitement de données (MBTD) prend en compte l'ensemble des réponses fournies par l'échantillon aux quatre questions du questionnaire. Il s'appuie sur les notations suivantes :

Le répondant ou la répondante est noté(e) **i** ($i = 1, \dots, N$, N = taille de l'échantillon)

Chaque dimension est notée **j** ($j = 1, \dots, 7$)

Le niveau de sélectivité est noté **k** ($k = 1, \dots, 4$)

La pondération affectée à la dimension **j** par un sujet **i** à un niveau **k** sera notée $\alpha_{ik}(j)$. Lorsque, à un niveau donné, une dimension n'a pas été sélectionnée, alors $\alpha_{ik}(j)$ prend la valeur zéro.

La moyenne des pondérations attribuées à une dimension par l'ensemble des sujets pour un niveau **k** donné, peut être considérée comme une mesure de l'importance attribuée à cette dimension par l'échantillon. Nous l'appellerons indice d'importance de la dimension j au niveau k, ou plus simplement, indice de niveau **k** de la dimension **j** et nous le noterons $I_k(j)$.

$I_k(j) = (1/N) \sum \alpha_{ik}(j)$ $i = 1, \dots, N$. N est la taille de l'échantillon

À partir des indices de niveau $I_k(j)$, nous allons définir, pour chaque dimension j , un indice macroscopique global prenant en compte toutes les pondérations relatives à cette dimension dans les différents niveaux de sélection (1,2,3,4). Nous l'appelons «indice barycentrique». L'indice barycentrique de la dimension j sera noté $I_{\text{bar}}(j)$. Il sera naturellement déterminé à partir des indices d'importance de niveau $I_k(j)$.

Par analogie avec le barycentre, pour déterminer l'indice macroscopique $I_{\text{bar}}(j)$, nous allons utiliser les indices d'importance de niveau, tout en les pondérant par des coefficients a_k appropriés pour tenir compte de la sélectivité. L'indice barycentrique d'une dimension j , noté $I_{\text{bar}}(j)$ s'écrirait alors :

$$I_{\text{bar}}(j) = \sum [I_k(j) a_k] / (\sum a_k) \quad j = \text{constante}; k = 1, 2, 3, 4$$

$$\text{Avec } I_k(j) = 1/N [\sum \alpha_{ik}(j)]$$

$$I_{\text{bar}}(j) = [a_1 I_1(j) + a_2 I_2(j) + a_3 I_3(j) + a_4 I_4(j)] / (a_1 + a_2 + a_3 + a_4)$$

L'indice barycentrique est une grandeur macroscopique attachée à une dimension j .

Par exemple l'indice barycentrique de la dimension «processus», (Pr) sera noté $I_{\text{bar}}(\text{Pr})$, celui de la dimension «motivation» (Mo) sera notée $I_{\text{bar}}(\text{Mo})$.

La question finale réside dans le choix des coefficients a_k affectés aux indices d'importance de niveau $I_k(j)$. Pour cela, nous allons tenir compte de la sélectivité qui caractérise les quatre questions. Ainsi, la sélection d'une dimension à la quatrième question par un répondant doit être considérée comme un signal fort de l'importance qu'il lui accorde. La moyenne des pondérations obtenues par une dimension à la quatrième question doit bénéficier d'un coefficient important pour influencer sur le résultat global. Ceci est d'autant plus nécessaire que les trois dernières questions (niveaux 2, 3, 4) s'appuient sur une pondération relative (distribuer 100 points sur 5, 3, 2 dimensions).

Le choix le plus simple est constitué par les quatre premiers nombres entiers

$$1, 2, 3, 4, \text{ c'est-à-dire : } a_1 = 1; a_2 = 2; a_3 = 3; a_4 = 4$$

L'expression de l'indice barycentrique deviendrait alors :

$$I_{\text{bar}}(j) = [I_1(j) + 2 I_2(j) + 3 I_3(j) + 4 I_4(j)] / (1+2+3+4)$$

$$I_{\text{bar}}(j) = [I_1(j) + 2 I_2(j) + 3 I_3(j) + 4 I_4(j)] / 10 \quad M_1$$

Nous appelons cette expression le «Modèle 1», noté M_1

Mais pour discriminer davantage les dimensions en tenant compte des considérations précédentes, on peut aussi, par exemple, affecter à chaque indice d'importance de niveau k , $I_k(j)$ un coefficient $a_k = 2^k$ (avec $k = 1, 2, 3, 4$). En effet, la fonction puissance a un pouvoir d'amplification plus important. On a alors :

$$a_1 = 2^1 = 2; \quad a_2 = 2^2 = 4; \quad a_3 = 2^3 = 8; \quad a_4 = 2^4 = 16$$

L'expression de l'indice barycentrique devient alors :

$$I_{\text{bar}}(j) = [2I_1(j) + 4I_2(j) + 8I_3(j) + 16I_4(j)] / (2 + 4 + 8 + 16)$$

$$I_{\text{bar}}(j) = [2I_1(j) + 4I_2(j) + 8I_3(j) + 16I_4(j)] / (30)$$

En simplifiant par 2 cette équation, on obtient une deuxième expression du modèle barycentrique que nous appelons «Modèle 2», noté M_2 :

$$I_{\text{bar}}(j) = [I_1(j) + 2I_2(j) + 4I_3(j) + 8I_4(j)] / (15) \quad M_2$$

Comparons les modèles M_1 et M_2 .

On peut faire les observations suivantes :

- le modèle M_1 est plus maniable : il est plus facile de diviser par 10 que par 15 ;
- le modèle M_1 pourrait cependant défavoriser les dimensions qui sont sélectionnées aux troisième et quatrième questions et être moins discriminant.

L'application des deux modèles sur un échantillon préexpérimental de données a montré effectivement que le modèle M_2 permet une plus grande discrimination entre les dimensions. Nous avons donc opté pour ce modèle. L'indice barycentrique $I_{\text{bar}}(j)$ de la dimension j sera déterminé par l'expression M_2 .

Notons enfin que, de même qu'on a calculé l'indice barycentrique d'une dimension par rapport à un groupe, on peut faire le même calcul pour un sujet. Les indices d'importance de niveau $I_k(j)$ seront simplement remplacés dans le modèle par les pondérations affectées par le sujet à la dimension j au niveau k , c'est-à-dire $\alpha_{ik}(j)$. L'indice barycentrique d'une dimension j , par rapport à un sujet i que nous allons noter $I_{\text{bar}}(j)_i$ est donné par :

$$I_{\text{bar}}(j)_i = [\alpha_{i1}(j) + 2\alpha_{i2}(j) + 4\alpha_{i3}(j) + 8\alpha_{i4}(j)] / (15)$$

L'indice barycentrique d'une dimension j , pour un groupe de taille N est la moyenne arithmétique des indices barycentriques individuels.

$$I_{\text{bar}}(j) = (1/N) \sum I_{\text{bar}}(j)_i \quad \text{Avec } i = 1, \dots, N.$$

Application du modèle (MBTD)

Le modèle sera appliqué à titre illustratif à des données recueillies sur un échantillon de 179 professeurs sénégalais de physique et de chimie qui ont répondu au questionnaire dit « en escalier ».

Les valeurs des $I_k(j)$ (indice de niveau k), pour notre échantillon de recherche et pour chaque dimension sont données au tableau 1.

Tableau 1
Indices de niveau $I_k(j)$ de l'échantillon de recherche

Dimensions	Ff	Mo	En	Ra	Cn	Pr	Ctx
$I_1(j)$	59, 87	61,25	68,37	59,13	81,68	74,98	45,15
$I_2(j)$	11,01	13,88	16,08	11,33	24,79	18,95	4,52
$I_3(j)$	11,46	13,82	14,17	7,59	29,07	20,50	3,44
$I_4(j)$	11,52	15,30	12,09	6,33	32,36	18,92	3,35

Rappelons encore que les coefficients barycentriques ont été choisis de manière à accorder un poids plus important aux pondérations attribuées aux différentes dimensions, au fur et à mesure que la sélectivité augmente (questions de 1 à 4).

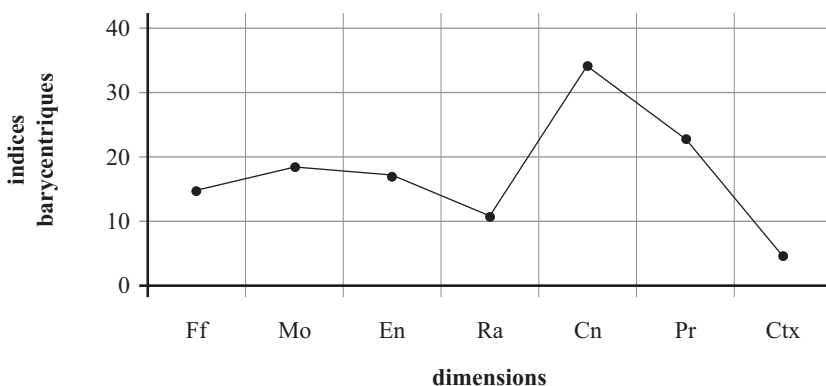
Les indices barycentriques absolus $I_{bar}(j)$ des sept dimensions, calculés sur l'échantillon de recherche à partir des valeurs des indices de niveau, $I_k(j)$, sont donnés au tableau 2.

Tableau 2
Indices barycentriques absolus $I_{bar}(j)$ des sept dimensions dans l'échantillon de recherche

	Ff	Mo	En	Ra	Cn	Pr	Ctx
$I_{bar}(j)$	14, 66	17,78	16,93	10,85	33,76	23,08	6,32

Le graphique suivant permet de mettre en évidence les positions relatives des différentes dimensions de la résolution de problème.

Positions relatives des sept dimensions selon les indices barycentriques



Graphique 2. *Indices barycentriques des sept dimensions de la résolution de problème*

Observations sur les résultats du traitement. Le graphique précédent permet de distinguer quatre séries de dimensions :

- une série de deux dimensions nettement prédominantes, constituées par les « connaissances » (Cn, $I_{\text{bar}}(\text{Cn}) = 33,76$) et le « processus » (Pr, $I_{\text{bar}}(\text{Pr}) = 23,08$). Dans cette série, la dimension « connaissances, Cn », constitue un pôle dominant ;
- une série constituée par ce qu'on pourrait appeler des « dimensions moyennes » : la finalité (Ff), la motivation (Mo) et l'énoncé du problème (En). Dans cette série, la dimension « motivation » se détache légèrement suivie de la dimension « énoncé » ;
- une série très moyenne constituée par la seule dimension « résultats attendus » (Ra) ;
- une série nettement marginale constituée par la dimension contexte (Ctx).

Interprétations des résultats du point de vue empirique. Le présent article a une finalité méthodologique. Il s'agit de présenter à la communauté scientifique le modèle barycentrique de traitement de données et d'en montrer le caractère opérationnel. Cependant, l'application du modèle à un échantillon de 179 professeurs de sciences physiques ne pouvait manquer de fournir des résultats empiriques utiles à une meilleure connaissance des conceptions des enseignants à propos de la résolution de problème.

Ainsi, on observe l'existence d'un noyau central des conceptions constitué par les dimensions connaissance (Cn) et processus (Pr). Les professeurs de sciences physiques de l'enseignement secondaire, dans leurs conceptions sur la résolution de problème, semblent privilégier les connaissances à mobiliser et les processus d'élaboration de la solution.

En plus du noyau central, le traitement révèle l'existence de dimensions périphériques telles que Ff, Mo, En, Ra. Le contexte (Ctx) semble particulièrement marginalisé. Les professeurs semblent très peu sensibles au rôle du contexte dans la résolution de problème.

Ces résultats sont à mettre en relation avec ceux d'une recherche antérieure (Sall, 1997). Un questionnaire plus simple, réduit à une seule question ouverte sur le concept de problème, avait été administré à un échantillon de 157 enseignants en formation initiale tous diplômés de la Faculté des sciences et techniques. Les résultats avaient révélé une marginalisation des dimensions «finalité» et «processus». Même si, dans la présente recherche, la finalité reste encore marginalisée, on note un plus grand intérêt pour le processus de résolution chez les enseignants en exercice. Les pratiques scolaires de résolution de problème développeraient donc chez les enseignants une centration sur les connaissances et le processus.

Cependant, la place occupée par la finalité et le contexte dans les conceptions des enseignants reste une source de préoccupation. En effet, ce sont là deux dimensions permettant une construction de sens qui sont ainsi marginalisées, alors que le sens est au cœur de l'apprentissage.

Cependant les résultats présentés sont basés sur les indices barycentriques calculés sur l'ensemble de l'échantillon. Ce sont donc des données macroscopiques qui masquent les types de conceptions caractérisant les enseignants pris individuellement.

À titre illustratif, le tableau 3 montre trois structures de conceptions très contrastées de trois sujets pris individuellement.

Tableau 3

Indices barycentriques mesurés à partir de réponses de trois sujets avec des conceptions très contrastées : comparaison avec l'échantillon

	Ff	Mo	En	Ra	Cn	Pr	Ctx
Sujet 1	12,49	14,33	15,29	9,58	35,27	21,35	7,15
Sujet 2	10,92	31,25	12,54	9,14	27,56	11,63	3,26
Sujet 3	7,19	9,87	26,36	29,72	18,84	10,38	5,22
Échantillon	14,66	17,78	16,93	10,85	33,76	23,08	6,32

Le **Sujet 1** a une structure de conception très analogue à celle de l'échantillon. On retrouve la même hiérarchie avec un noyau (Cn, Pr), même si la distance entre ces deux dimensions (35,27 – 21,35) est plus importante que pour l'échantillon (33,76 – 23,08).

Le **Sujet 2** a une conception sur la résolution de problème plutôt centrée sur la motivation (Mo: 31,25) et les connaissances (Cn: 27,56). Le processus de résolution (Pr: 11,63) est même devancé par l'énoncé (En: 12,54). Même si le sujet prend en compte l'importance des connaissances dans la résolution de problème, les démarches de résolution ne semblent pas constituer une priorité dans ses pratiques pédagogiques.

Le **Sujet 3** a une structure encore plus contrastée par rapport à l'échantillon. Le noyau central est ici constitué par le binôme (Ra: 29,72; En: 26,72). Les dimensions Cn et Pr viennent respectivement en troisième et quatrième position. La motivation (Mo: 9,87) est ici ramenée presque au même niveau que la finalité (Ff: 7,19).

Ces trois cas singuliers montrent combien les conceptions sur les pratiques pédagogiques peuvent varier d'un enseignant à un autre, pour une même discipline et pour les mêmes activités d'enseignement/apprentissage. Dès lors, une question importante du point de vue de la recherche se pose : quelles sont les variables indépendantes qui influent sur la structure des conceptions des enseignants ?

Le niveau académique de l'enseignant, le diplôme professionnel et l'ancienneté dans la profession constituent des hypothèses que nous nous proposons d'explorer ultérieurement dans d'autres publications. Notre objectif, dans le cadre de cet article, est principalement d'apporter une contribution méthodologique à la description des conceptions.

Interprétations des résultats du point de vue méthodologique. Le questionnaire à sélectivité croissante constitue le premier volet de notre contribution méthodologique. Sa première fonction est de rectifier les limites liées au questionnaire de type classique, en créant au répondant un contexte plus riche sur le plan cognitif du fait de l'obligation de comparer et de discriminer.

Un autre atout de ce type de questionnaire est la possibilité de définir des types de conception définis par le noyau central qui résulte des choix faits à la Question 4 du questionnaire. Ainsi on parlerait, par rapport à la résolution de problème, d'enseignants de types (Cn, Pr), (Mo, Cn), (Ra, En), etc. Il s'agirait alors d'une typologie à deux dimensions. De même, à la Question 3, les trois dimensions retenues pourraient définir une typologie à trois dimensions.

Quant au modèle barycentrique, il a permis de transformer l'ensemble des données recueillies à partir de quatre questions en une seule donnée macroscopique : l'indice barycentrique. L'application du modèle a permis de faire une discrimination très nette entre les dimensions. Les indices ont été l'objet d'une interprétation cohérente et communicable. Malgré ces résultats concluants, l'utilisation du modèle appelle quelques remarques. Il faut souligner ici que le MBTD est un modèle de traitement associé à un outil spécifique de recueil de données : un questionnaire à sélectivité croissante ou questionnaire « en escalier ». Il ne s'applique donc pas aux questionnaires classiques, ouverts ou à choix multiples.

Une des critiques qu'on peut formuler vis à vis du modèle de traitement est le fait de fusionner des pondérations absolues (celles affectées aux dimensions à la Question 1) et des pondérations relatives. Cette objection est recevable, mais il s'agissait pour nous de ne pas perdre l'information fournie à la première question. Le principe de soumettre le répondant à un travail cognitif l'obligeant à être de plus en plus sélectif nous semble être un moyen de limiter les écarts liés aux réponses directes et définitives apportées par les sujets dans le cadre des questionnaires classiques. Les données recueillies à la Question 1 constituent donc un point de repère. Le choix des coefficients du modèle barycentrique ont d'ailleurs permis de limiter l'influence de ces données.

Ce choix peut également paraître arbitraire, malgré la justification par le besoin de discriminer les différentes dimensions des conceptions. À cette critique, nous répondons simplement que d'autres choix sont certainement possibles. Comme tout modèle, le MBTD devra être adapté aux objectifs de la recherche.

Enfin, il faut signaler une contrainte essentielle du modèle présenté : le MBTD est opérationnel lorsqu'on cible un concept ou un phénomène préalablement analysé et structuré en dimensions ou facettes. L'identification de ces facettes peut se faire selon plusieurs modalités : la revue de la documentation à propos du concept, l'avis des experts dans le domaine, l'analyse des discours de la population à interroger.

Ainsi, malgré les limites que nous venons de signaler, les résultats obtenus montrent que le Modèle barycentrique de traitement de données (MBTD) peut être un outil opérationnel au service des recherches sur les conceptions.

Conclusion

Le Modèle barycentrique de traitement de données (MBTD) a été mis au point dans un contexte de recherche sur les conceptions des professeurs de physique et de chimie à propos de la résolution de problème. Comme nous venons de le montrer, il se présente comme un outil pertinent dans le cadre de la recherche en éducation où il a été élaboré.

Il nous semble cependant que cet outil présente des perspectives intéressantes de transfert à des domaines non scolaires. Le MBTD pourrait être adaptable à toute étude portant sur les conceptions de groupes spécifiques à propos des grandes questions qui sont au cœur des dynamiques sociales : la pandémie du SIDA, l'immigration, le racisme, la tolérance, la démocratie, les handicaps sociaux, la paix, les études de marché, la promotion des produits commerciaux...

Le MBTD donnerait alors à la recherche en éducation, souvent critiquée, à tort ou à raison, pour son manque de prégnance sur la vie réelle, un argument pertinent en faveur de son utilité sociale.

RÉFÉRENCES

- Abric, J.-C. (dir.) (1994). *Pratiques sociales et représentations*. Paris : PUF.
- Alibert, D., et al. (1988). Le thème «la différentielle» : un exemple de coopération maths/physique dans la recherche. In G. Vergnaud, G. Brousseau & M. Hulin (éds), *Didactique et acquisition de connaissances scientifiques* (pp. 7-46). Grenoble : La Pensée sauvage.
- Astolfi, J.-P., & Develay, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : PUF.
- Audibert et al., (1989). La perspective cavalière et la représentation de l'espace. In G. Vergnaud, G. Brousseau & M. Hulin (éds). *Didactique et acquisition de connaissances scientifiques* (pp. 109-126). Grenoble : La Pensée sauvage.

- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique* (12^e éd.). Paris : Vrin.
- Clément, P. (1991). Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue digestion-excrétion. *Aster*, 13, 133-156.
- Closset, J.-L. (1989). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'union des physiciens*, 716, 931-950.
- Doise, W. (1989). Cognition et représentations sociales : l'approche génétique. In Jodelet (éd.), *Les représentations sociales* (pp. 341-362). Paris : PUF.
- Doise, W., Clemence, A., & Lorenzi-Cioldi, F. (1992). *Représentations sociales et analyse de données*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Dumas-Carré, A., & Goffard, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problème en physique*. Concepts et démarches. Paris : Armand Collin.
- Flament, C. (1986). L'analyse de similitude : une technique pour les recherches sur les représentations sociales. In W. Doise & A. Palmonari (éds), *L'étude des représentations sociales* (pp. 139-156). Paris : Delachaux et Niestlé.
- Giordan, A., & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Lausanne : Delachaux & Niestlé.
- Goffard, M. (1994). *Le problème de physique et sa pédagogie*. Paris : ADAPT.
- Joshua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.
- Larochelle, M., & Deseautels, J. (1987). *Qu'est-ce qu'une connaissance scientifique? Les modèles spontanés d'adolescent-e-s*. Séminaire sur la représentation, Montréal : CIRADE.
- Le Ny, J.-L. (1989). *Science cognitive et compréhension du langage*. Paris : PUF.
- Moscovici, S. (1961). *La psychologie, son image et son public* (2^e éd.). Paris : PUF.
- Moscovici, S. (1976). L'ère des représentations sociales. In W. Doise & A. Palmonari (éds), *L'étude des représentations sociales*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Newell, A., & Simon, H.A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall.
- Piaget, J. (1927). La causalité physique chez l'enfant. Paris.
- Richard, J.-F. (1990). *Les activités mentales*. Paris : Armand Collin.
- Ridao, C. (1993). Le concept de représentation en didactique de la biologie, un concept central et opératoire dans une didactique du problème. *Les sciences de l'éducation*, 4, 5, 103-130.
- Robert, A. (1982). L'acquisition de la notion de convergence des suites numériques dans l'enseignement supérieur. *Recherches en didactique des mathématiques*, 3(3), 305-342.
- Rummelhart, D.E. (1980). Schemata: The building blocs of cognition. In D.E. Rummelhart (éd.), *Theoretical issues in reading comprehension: perspective from cognitive psychology, linguistics, artificial intelligence and education*. New York : Laurence Erlbaum.
- Sall, C.T. (1997). *La résolution de problème en sciences physiques : conceptions, stratégies et performances dans l'enseignement secondaire*. Mémoire de DEA, Chaire UNESCO en Sciences de l'éducation. École normale supérieure, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Document inédit.

- Sall, C.T. (2002). *Les conceptions des professeurs de sciences physiques en résolution de problème: structure, impact du profil professionnel et processus d'évolution en situation de formation initiale*. Thèse de doctorat, UCL, Louvain-La-Neuve. Document inédit.
- Sall, C.T., Kane, S., & Diouf, S. (1998). Une approche constructiviste de la résolution de problème en chimie. *LIENS, Nouvelle Série, Revue Internationale Francophone*, 1, 40-50.
- Séré, M.-G., & Tiberghien, A. (1989). La formation des concepts décrivant les états de la matière au collège. *Bulletin de l'union des physiciens*, 716, 911-930.
- Viennot, L. (1989). Bilan des forces et lois des actions réciproques. Analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques. *Bulletin de l'union des physiciens*, 716, 951-972.
- Vergnaud, G. (1983). *Quelques problèmes de la didactique à propos d'un exemple: les structures additives*. Premier atelier international de recherche en didactique de la physique à la Londes-les-Marnes, Paris, CNRS, 391-402.