

Méthode d'analyse statistique exploratoire pour une étude comparative sur les représentations de la démarche d'investigation d'enseignants de collège

Magali Coupaud, Jérémy Castéra, Michel Larini, Alice Delserieys

▶ **To cite this version:**

Magali Coupaud, Jérémy Castéra, Michel Larini, Alice Delserieys. Méthode d'analyse statistique exploratoire pour une étude comparative sur les représentations de la démarche d'investigation d'enseignants de collège. Review of science, mathematics and ICT education, 2015. hal-01794680

HAL Id: hal-01794680
https://amu.hal.science/hal-01794680

Submitted on 22 May 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Méthode d'analyse statistique exploratoire pour une étude comparative sur les représentations de la démarche d'investigation d'enseignants de collège

Magali Coupaud, Jeremy Castera, Michel Larini, Alice Delserieys

ENS Lyon
ADEF EA 4671
Aix-Marseille Université
13248 Marseille, France
magalicoupaud@hotmail.fr
jeremy.castera@univ-amu.fr
Michel.LARINI@univ-amu.fr
alice.delserieys@univ-amu.fr

Abstract

The use of statistics, and in particular exploratory data analysis, in educational research present interesting perspectives. However, it is also important to discuss its relevance and the meaning of the results obtained. As such, we propose a methodological discussion based on a study concerning the introduction of a shared teaching method in French curricula of biology-geology, technology and physics-chemistry. We made a survey by questionnaire to collect the representations of teachers from the tree school subjects related to inquiry based science education (IBSE). In this communication, we propose a comparative analysis of different types of exploratory data analysis used in our research in order to highlight the different representations of teachers regarding the use of IBSE depending on their subject. We bring out, in particular, some conditions necessary in the design of a questionnaire that will be processed using principal component analysis and factorial discriminant analysis.

Keywords
Methodology, exploratory data analysis, inquiry based science education, teachers representations

Résumé
L'usage des statistiques, notamment exploratoires, dans le traitement de données de la recherche en éducation offre des perspectives intéressantes. Il convient cependant d'en discuter la pertinence et le sens des résultats ainsi obtenus. Dans cette perspective, nous menons une réflexion méthodologique en nous appuyant sur une étude concernant l'introduction dans les programmes d'enseignement français d'une démarche commune à l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre, de la technologie et des sciences physiques et chimiques. Nous avons réalisé une enquête par questionnaire sur les représentations des enseignants de ces trois disciplines à propos des démarches d'investigation (DI) au collège. Nous proposons dans cette communication une analyse comparative de méthodes d'analyses statistique exploratoires utilisées dans notre recherche pour mettre en évidence les différences de représentations à propos des DI entre les enseignants des trois disciplines. Nous mettons en particulier en évidence certaines conditions nécessaires à l'élaboration d'un questionnaire destiné à être exploité par analyse en composante principale ou analyse factorielle discriminante.

Mots-Clés
Méthodologie, statistiques exploratoires, démarche d'investigation, représentation des enseignants

Introduction

La recherche en éducation se caractérise par la multitude de variables à considérer pour prendre en compte la manière d'un individu ou un groupe d'individu à créer, modifier ou interpréter l'environnement dans lequel ils se trouvent (Cohen, Manion & Morrison, 2013). Les méthodologies associées aux recherches en éducation adoptent donc des méthodologies tout aussi variées avec un débat récurent sur leur pertinence selon qu'elles appartiennent à une approche quantitative ou qualitative. Dans cet article, nous introduisons une approche quantitative et les traitements statistiques des données qui s'en suivent. En effet, lorsque l'échantillon est suffisamment important et selon la nature des données recueillies, il est possible de travailler sur une catégorisation qui permet d'encoder les données pour les soumettre à un traitement statistique multi-varié. Dans ce cas, une analyse globale et simultanée de l'ensemble des variables est possible en utilisant des outils tels que l'analyse en composante principale (ACP)

et l'analyse factorielle discriminante (AFD). Ainsi, en provoquant un changement des variables choisies, l'ACP permet, en particulier, de représenter graphiquement en deux dimensions les réponses des différents individus. L'AFD repose sur les mêmes bases que l'ACP en ce sens qu'elle cherche à simplifier la représentation graphique, mais en travaillant à partir des groupes d'individus de l'échantillon. Ces deux outils d'analyse permettent, ainsi, de révéler des éléments non visibles aux analyses croisées. Cet article ne vise pas à faire une revue complète des approches statistiques, mais cherche à discuter des objectifs, des modes d'utilisation et des interprétations possibles à partir d'un exemple de recherche empirique.

Le cas de l'enseignement des sciences par investigation, introduit relativement récemment dans l'enseignement secondaire en France (MEN, 2008), peut présenter un cas d'école pour des analyses multi-variées, au sens où de nombreux facteurs vont influencer une mise en œuvre en classe. En effet, la question de l'investigation dans l'enseignement scientifique interroge aussi bien des postures épistémologiques en lien avec la construction de la pensée scientifique, des postures en lien avec l'apprentissage et le socio-constructivisme ou avec l'enseignement et le cadre des situations problème ou l'enquête de Dewey. L'introduction, en France, d'une démarche d'investigation commune aux différentes disciplines scientifiques et technologiques (mathématiques, sciences de la vie et de la terre, sciences physiques et technologie) a conduit à de nombreuses études sur l'activité des enseignants (Calmettes, 2012; Boilevin, 2013; Grangeat, 2013). Si ces travaux éclairent la question de l'appropriation par les enseignants de cette prescription, ils concernent des échantillons à faible effectif (inférieurs à 20 sujets) et utilisent des méthodologies proches de la clinique. On peut citer, par ailleurs, l'étude de Monod-Ansaldi & Prieur (2011) qui au contraire, s'appuie sur un très large effectif (environ 2600 sujets) pour extraire d'une analyse croisée des informations quant à la différence de représentation des enseignants de la notion d'hypothèse en fonction de la discipline enseignée. Nous retenons donc qu'il est intéressant d'étudier les représentations que peuvent avoir les enseignants des démarches d'investigation en fonction de leur discipline, que ce genre d'étude demande à traiter plusieurs variables en même temps et que l'analyse statistique multi-variée allant jusqu'à une analyse exploratoire n'a pas été mise en œuvre dans les études citées précédemment. C'est dans ce contexte que nous avons réalisé l'analyse d'un questionnaire emmenant du travail de développement de chercheurs autour de la prescription « démarche d'investigation » (Boilevin, Brandt-Pomares, Givry & Delserieys, 2010).

Dans cet article, nous insistons principalement sur le traitement des données issues du questionnaire en proposant plusieurs niveaux d'analyse possible. Le but est d'explorer l'intérêt et les contraintes de l'usage des statistiques dans le cadre d'un questionnaire portant sur la représentation des enseignants de la démarche d'investigation. En particulier, nous chercherons à identifier quelles sont les limites dans

la nature même du questionnaire. L'objectif final est bien de répondre à la question : qu'est ce qui conditionne la conception de ce type de questionnaires destinés à des analyses multi-variées ?

Questionnaire « Démarche d'Investigation »

Conception du questionnaire

L'étude exploitée dans cet article s'inscrit dans la continuité d'un travail d'un groupe de développement entre enseignants de collège en France et chercheurs autour de la prescription « démarche d'investigation » (DI) dans les curricula français (Boilevin, Brandt-Pomares, Givry & Delserieys, 2010). Le questionnaire, élaboré par Boilevin et al., a été diffusé en ligne en 2010. Il comprend des questions sur l'importance de la situation initiale et sur les documents pédagogiques utilisés pour la mettre en œuvre. Il comporte 23 questions principales en majorité fermées concernant les démarches d'investigation (Coupaud, 2013). Il est structuré pour renseigner cinq axes :

- les caractéristiques de la population (discipline, âge, statut, formation...) ;
- les représentations des démarches d'investigation (plusieurs points sont investigués : l'expérience de mise en œuvre de « Démarche d'Investigation » (DI), les difficultés rencontrées) ;
- la place de la situation initiale d'une DI ;
- les différents types de supports utilisés pour la mise en œuvre de DI ;
- l'expérience du répondant (sa formation).

Certaines questions ouvertes ont été transformées en questions fermées par l'analyse de mots clés employés dans les réponses pour définir des variables relatives aux hypothèses de l'étude : 1) les enseignants de disciplines différentes ne posséderont pas les mêmes représentations des démarches d'investigation, 2) les enseignants de disciplines différentes ne rencontreront pas des difficultés identiques lors de la mise en œuvre de cette nouvelle prescription, 3) les enseignants de disciplines différentes ne proposeront pas le même type de situation de départ dans leur pratique et n'y accorderont pas la même importance (Coupaud, 2013). Les réponses concernant la définition faite par les enseignants des démarches d'investigation ont été construites à partir de plusieurs questions ouvertes dans lesquelles il est demandé de définir cette méthode en quelques mots, de la distinguer des autres méthodes et de préciser son action sur l'apprentissage des élèves. Dans cet article, nous avons retenu uniquement les variables directement exploitables avec les outils statistiques présentés par la suite (Tableau 1).

TABLEAU 1

Questions posées sur l'utilisation de la démarche d'investigation

Variables	Modalités	Question
Disc	PC SVT Technologie	Quelle discipline enseignez-vous ?
Udi	1 : jamais 2 : rarement 3 : occasionnellement 4 : fréquemment	Mettez-vous en œuvre la démarche d'investigation dans votre enseignement ?
Temps	1 : 1 an 2 : entre 1 et 2 ans 3 : entre 2 et 4 ans 4 : + de 4 ans	Vous mettez la démarche d'investigation depuis :
Pb	1 : oui 2 : non	Rencontrez-vous des difficultés dans la mise en œuvre de la démarche d'investigation ?
Chrono	1 : oui 2 : non	La DI est-elle chronophage ?
Modif	1 : oui 2 : non	La mise en œuvre de la démarche d'investigation a-t-elle modifié votre façon d'enseigner ?
Formation	1 : oui 2 : non	Avez vous suivi une ou des formations à propos de la démarche d'investigation ?
Info	1 : oui 2 : non	Utilisez-vous l'informatique dans la mise en œuvre de la démarche d'investigation en classe ?

Modalités de passation

Les réponses déclaratives obtenues par ce questionnaire ne s'articulent pas directement avec l'action de l'enseignant. Cependant, elles ont été produites dans un cadre professionnel, de part la nature du site utilisé pour la diffusion. Le choix d'un questionnaire en ligne présente également l'avantage de permettre l'anonymat des répondants, ce qui le libère de tout jugement direct sur ses réponses (Grawitz, 1993). Ce dernier élément est non négligeable du fait des nombreuses instructions officielles parfois sources de polémiques au sein de la communauté enseignante. Mais, par cet outil de recueil des données, l'échantillon des répondants n'est pas maîtrisé puisqu'aucun échantillonnage ne peut être effectué. Ceci pourrait provoquer qu'il ne soit pas représentatif. A posteriori, après la collecte des réponses, nous devrions comparer cet échantillon aux caractéristiques de la population de référence, c'est à dire l'ensemble des enseignants de collège français des trois disciplines, afin de mesurer la présence ou l'absence d'un biais dans l'étude.

Le même questionnaire en ligne a été proposé à 162 enseignants français de trois disciplines différentes : sciences physiques et chimique (SPC), sciences de la vie et de la Terre (SVT) et technologie. Il convient de garder à l'esprit que les répondants sont probablement ceux qui sont les plus interpellés par cette méthode d'enseignement, ou bien, ceux qui veulent s'exprimer sur leurs difficultés ou leurs critiques envers l'institution. Les enseignants de SPC se sont sentis plus concernés et sont surreprésentés

avec 43% de l'effectif total, contre 29% d'enseignants de technologie et 28% des SVT. La population totale d'enseignants de collèges est pourtant globalement équilibrée entre ces trois disciplines. Néanmoins, l'objectif d'observer les résultats dans chacune des disciplines et de les comparer n'est pas compromis puisque l'effectif de chacun des groupes est suffisant et les modalités de passation sont identiques. La population interrogée enseigne majoritairement en milieu urbain (72%), et depuis plus de cinq ans (76%). Le public de leurs établissements est pour moitié considéré comme favorisé et pour un tiers d'entre eux, défavorisé. Près de la moitié des répondants déclarent avoir suivi une formation au sujet de la prescription « démarche d'investigation ».

Analyse Statistique des Qustionnaires

Analyse uni-variée

Pour réaliser les tests statistiques, nous avons employé le logiciel de traitement et d'analyse R (package ade4). Afin d'obtenir une première vision de la population des enquêtés, nous avons analysé les réponses fermées par de simples statistiques descriptives.

Les enseignants déclarent majoritairement (62%) mettre en œuvre cette démarche d'enseignement depuis plus de 2 ans. 47% considèrent utiliser cette méthode fréquemment. 74% des enseignants déclarent rencontrer des difficultés dans la mise en œuvre de la démarche d'investigation qui seraient indépendantes de la démarche en elle-même (Figure I). L'analyse qualitative des réponses aux questions ouvertes fait ressortir le caractère chronophage des DI comme première difficulté. Il est surprenant de remarquer que 53% des enseignants interrogés précisent que cette nouvelle pratique ne modifie pas leur façon d'enseigner. Ce résultat interroge sur la compréhension de cette nouvelle prescription par les enseignants, sans qu'il y ait de corrélation significative avec le manque de formation institutionnelle. La majorité des enseignants interviewés, toutes disciplines confondues, mentionnent rencontrer des difficultés dans l'application de cette méthode d'enseignement.

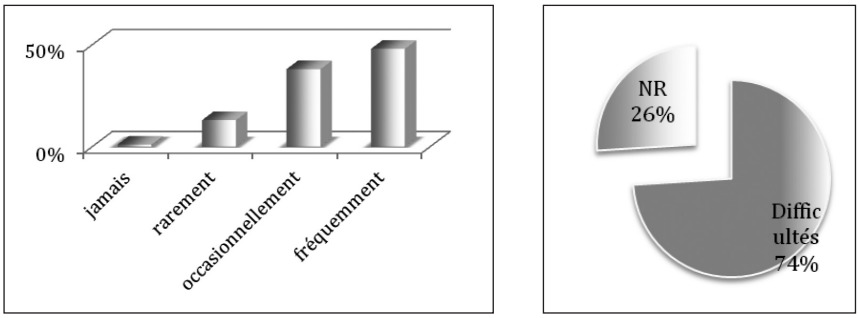
Analyse bi-variée

Nous avons, ensuite, effectué un premier tri croisé avec la discipline enseignée et les différentes questions d'intérêts fermées. La question ouverte relative aux difficultés rencontrées par les enseignants a été transformée en question fermée par l'analyse de mots clés employés dans les réponses. Nous avons ainsi défini la variable 'chrono' qui permet de recenser les individus attribuant un caractère chronophage à l'usage de démarches d'investigation en classe.

Le croisement de la variable « discipline » avec les autres variables a permis de mettre en évidence quelques différences significatives. Les enseignants de SVT tendent

FIGURE 1

Mise en œuvre de la DI et difficultés rencontrées



a *b*

a- Fréquence de mise en œuvre de la DI
b- Difficultés rencontrées par les enseignants dans la mise en œuvre de la DI

à se démarquer des autres disciplines sur certains points (Tableau 2). En effet, ils utilisent la démarche fréquemment alors que ceux de SPC l'utilisent plus rarement, voire plus occasionnellement, et en employant moins l'outil informatique pour la mettre en œuvre. Les enseignants de SVT déclarent ne pas avoir modifié leur manière d'enseigner alors que ceux de technologie affirment significativement le contraire.

De ces corrélations, se détache le groupe des enseignants des SVT des autres disciplines, de par la durée et la fréquence avec laquelle ils utilisent la démarche. Nous

TABLEAU 2

Croisement de différentes variables avec la variable 'discipline enseignée'

Questions		SPC	SVT	Technologie	Test de khi²
Utilisation de la DI	Fréquemment	22% (15)	***89% (41)***	46% (21)	S[1]
	lement	***56% (39)***	11% (5)	39% (18)	S
	Rarement	***22% (15)***	0% (0)	13% (6)	S
	Jamais	0% (0)	0% (0)	2% (1)	NS[2]
Nombre d'années d'utilisation de la DI	1 an	4% (3)	2% (1)	***26% (12)***	S
	Entre 1 et 2 ans	35% (24)	2% (1)	85% (39)	NS
	Entre 2 et 4 ans	***38% (26)***	17% (8)	17% (8)	S
	+ de 4 ans	23% (15)	***79% (36)***	17% (8)	S
Modification de l'enseignement	Oui	51% (35)	20% (9)	***60% (27)***	S
	Non	49% (33)	***80% (35)***	40% (18)	S
Formation sur la DI	Non	46% (31)	***66% (29)***	32% (15)	S
	Oui	44% (37)	34% (15)	***68% (32)***	S
Utilisation de l'outil informatique	Oui	73% (49)	89% (39)	91% (42)	NS
	Non	***27% (18)***	11% (5)	9% (4)	S

Les pourcentages en gras italique sont significativement sur ou sous représentés (au seuil de risque de 5%).
Les effectifs sont notés entre parenthèses.
(1-Test de khi2 significatif au seuil de risque de 5%, 2-Test de khi2 non significatif)

constatons également que ces enseignants sont plus nombreux à avoir participé à une formation sur ce sujet alors que ceux de technologie sont plus nombreux à ne pas avoir été formés, ce qui pourrait expliquer en partie ces différences.

Au regard de ces résultats, nous pouvons penser qu'il existe des différences dans ce que disent les praticiens sur cette démarche selon la discipline qu'ils enseignent. D'un point de vue méthodologique, nous nous sommes demandé si, avec un tel questionnaire, il était possible et intéressant de pousser plus loin le traitement des données. Pour cela, nous avons réalisé, dans un premier temps, une ACP dont les résultats sont présentés dans le prochain paragraphe.

Analyse en composante principale (ACP)

Afin de mettre en relief différents profils d'enseignants selon les représentations qu'ils laisseraient apparaître dans leurs réponses au questionnaire, nous avons réalisé une ACP qui permet une analyse globale et simultanée (multivariée) de l'ensemble des variables supérieures ou égales à 2. Elle repose sur des développements mathématiques que nous ne développerons pas ici. Lorsque le nombre de variable est supérieur à 3, les représentations graphiques du type nuage de points ne sont plus possibles et l'ACP devient alors un outil précieux pour visualiser et classifier l'ensemble des données. Une ACP ne peut être mise en place qu'avec des variables quantitatives ou avec des variables hiérarchisées mesurées, par exemple, à l'aide d'une échelle de Likert. Le principe de l'ACP consiste à réduire le nombre de variables, l'idéal étant de pouvoir le réduire à 2. Les deux nouvelles variables sont appelées « facteurs ». Les facteurs sont les coordonnées associées aux deux axes du plan «le plus proche » (plan factoriel) du nuage de point. Les individus du nuage sont alors projetés orthogonalement sur ce plan et s'il est suffisamment proche du nuage les points projetés gardent une grande partie de l'information contenue dans le nuage initial. Les facteurs sont des fonctions linéaires des variables initiales. Ces fonctions donnent du sens à chaque cadran du plan factoriel et par là même à la position de chaque individu projeté sur le plan. Lorsque le premier plan factoriel n'est pas suffisamment représentatif du nuage de point il arrive que l'on travaille avec un autre plan factoriel (le second plan factoriel), cette situation n'est pas facile à gérer.

Le questionnaire de l'étude présentée n'a pas été conçu au départ pour réaliser une ACP aussi nos données présentent des points critiquables. En particulier les variables (Pb, Chrono, Modif, Formation, Info) n'ont que 2 modalités de réponse (oui/non, codée 1/2). Malgré cela, nous avons admis qu'elles pouvaient être considérées comme des variables quantitatives avec les valeurs hiérarchisées 1 et 2. À ce propos, nous avons fait des simulations qui ont pu montrer que ce défaut bien que très critiquable modifiait les résultats mais pas de façon rédhibitoire.

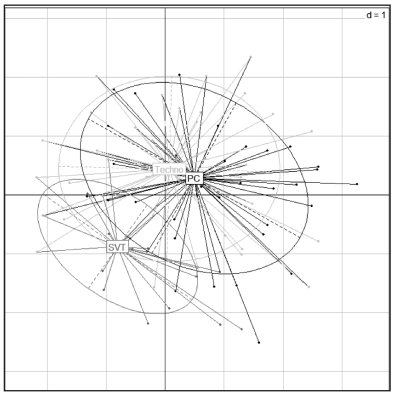
Les résultats rendus par l'ACP sont présentés dans les figures 2a et 2b. Elles

représentent le premier plan factoriel avec les 2 premiers facteurs C1 et C2 en abscisse et en ordonnée. Le « cercle des corrélations » (figure 2b) donne une représentation des variables dans ce plan. L'extrémité des vecteurs, représentant chacune des variables, a pour coordonnées les corrélations entre la variable et chacun des deux facteurs. Il apparaît que les 7 variables ne sont pas bien représentées car leurs extrémités sont éloignées du bord du cercle de corrélation. Les variables ne sont pas corrélées car leurs angles mutuels sont grands et de plus les vecteurs partent dans tous les sens ce qui ne permet pas de donner un sens très net aux différentes zones du plan factoriel. Cette première lecture nous emmène à dire que la représentation par ACP n'est pas satisfaisante. La figure 2a représente les points obtenus par projections orthogonales des individus sur le premier plan factoriel. Également, y sont représentés les 3 centres de gravités des enseignants de SPC, SVT et Technologie. Il apparaît d'abord que le centre de gravité de SVT est situé dans le cadran en bas à gauche, il se distingue de ceux de SPC et de Technologie, voisins et proches de l'origine, dans le cadran en haut à droite. Malgré les critiques formulées plus haut, après examen des relations entre facteurs et variables, il semblerait que les enseignants de SVT soient majoritairement dans une zone caractérisée surtout par une utilisation fréquente (Udi) et ancienne (Temps) des DI. Par contre, les caractéristiques de la zone proche de l'origine où se situent les centres de gravité de SPC et de Technologie sont confuses et ne permettent pas d'interprétation simple. En conclusion, le premier plan factoriel n'est pas suffisamment représentatif, les variables ne sont pas bien représentées et ne sont pas corrélées. Toutefois, les résultats rejoignent ceux de l'analyse bivariée avec la différence SVT/(SPC-Technologie) basée sur les deux variables Udi et Temps. L'ACP ne nous a pas permis d'aller plus loin. De plus, elle jette un doute sur les données que nous avons traitées.

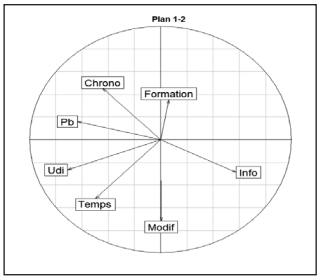
Nous avons donc voulu tester la cohérence du questionnaire et des réponses obtenues. Pour cela nous avons remplacé, pour chacune des variables, les valeurs des données de l'enquête par des valeurs générées par un processus aléatoires. Nous avons constaté que les représentations graphiques étaient globalement comparables à celles obtenues dans notre cas. Une différence est toutefois à noter, dans la version aléatoire les trois centres de gravités sont plus proches l'un de l'autre et tous trois proches de l'origine. Il semble bien qu'il y ait un problème concernant les données de l'étude exploitée car, même s'il existe une certaine différence entre les enseignants de SVT d'une part et ceux de SPC et Technologie d'autre part, elles apparaissent comme, en partie, relevant d'un processus aléatoire. Tout cela interroge sur la structuration initiale du questionnaire, sur la complémentarité des questions posées mais aussi sur le mode d'obtention des réponses, problèmes que nous analyserons dans la suite de cet article.

Figure 2

Représentation graphique dans le premier plan factoriel de l'ACP



a



b

(a) Nuages de points après une ACP. Les individus (162) sont regroupés par discipline enseignée. Chaque point correspond aux conceptions d'une personne interrogée, conceptions définies à partir de l'ensemble de ses réponses ; chaque point est réuni par un trait au centre de gravité du groupe pays. Chaque ellipse inclut les 2/3 des personnes de chacun des trois disciplines. (b) Cercle des corrélations calculées pour 162 individus et 7 variables.

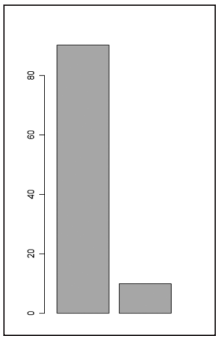
Analyse factorielle discriminante (AFD)

Les résultats fournis par l'ACP posent questions à propos des données obtenues avec le questionnaire. Pour affiner notre analyse nous avons réalisé, en complément de l'ACP, une AFD. Cette dernière a la réputation d'être stable et robuste. Elle est particulièrement conçue pour mettre en évidence les différences entre les groupes d'individus de la population (Toutain, 2009), dans notre cas les enseignants de SVT, SPC et Technologie. L'AFD repose sur les mêmes bases que l'ACP en ce sens qu'elle cherche à diminuer le nombre de variables en en introduisant de nouvelles, appelées facteurs, fonctions linéaires des variables initiales. La différence entre les deux approches vient du fait que dans l'ACP, les axes sont définis pour le plan le plus proche du nuage de points. Par contre, pour Q groupes d'individus (SVT, SPC, Technologie pour l'étude présentée), l'AFD définit le plan dans lequel les centres de gravité de chaque groupe sont le plus discriminés (éloignés) et qui, en même temps, regroupe au mieux les individus d'un groupe autour de leurs centres de gravité respectifs. Pour cela, les valeurs propres et les vecteurs propres d'un opérateur qui maximise les variances inter groupes et minimise les variances intra groupes sont calculés. Si dans l'ACP avec N variables, l'analyse mathématique renvoie N axes classés par ordre de représentativité (dans notre cas, 7 axes), pour l'AFD, elle renvoie uniquement Q-1 axes classés aussi par ordre de représentativité.

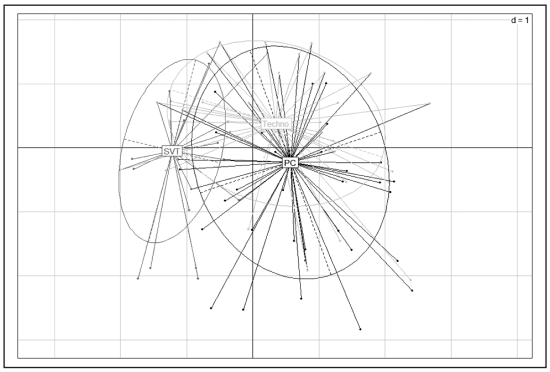
Notre analyse présente donc 2 axes, ce qui est à priori une situation idéale. Ce plan, avec ses nouveaux axes, devrait permettre une visualisation graphique de qualité qui différencie au mieux les centres de gravité relatifs des groupes (SVT, SPC, Technologie) avec des individus regroupés au mieux autour du centre de gravité de leur groupe. Il apparaît que l'axe DI contient 80% de l'information contenus dans le plan et donc l'axe D2 en contient 20% (figure 3a). De ce fait, l'échelle de l'axe D2 est plus dilatée que celle de DI. La répartition des variables dans le plan déterminé par l'AFD est différente de celle de l'ACP puisque le plan défini par les axes DI et D2 est différent de celui de l'ACP. L'angle d'observation a changé. Seules les variables « Udi » et « Temps » semblent relativement bien représentés dans le plan factoriel (DI, D2). Les autres variables sont tout aussi dispersées que pour l'ACP et toujours aussi difficiles à interpréter. La figure 3b révèle une « distance » significative, expliquée principalement par ces deux mêmes variables, entre le groupe SVT, d'une part, et les groupes SPC et Technologie, d'autre part. En effet, le sens des vecteurs de la figure 3c indique que les individus situés à gauche utilisent plus et depuis plus longtemps les DI, c'est le cas du groupe SVT, alors que ceux situés à droite, c'est le cas des groupes SPC et Technologie, sont en moyenne « moins utilisateurs » de DI. Les enseignants de SVT semblent utiliser plus fréquemment et depuis plus longtemps les DI que ceux de SPC et de Techno. Ces derniers sont proches dans cette représentation. Cependant, l'échelle des ordonnées étant plus dilatée que celle des abscisses, cette distance s'en trouve amplifier visuellement. Dans ces conditions, il est difficile d'affirmer qu'il y a un écart avéré entre les groupes SPC et Technologie. De part la mauvaise représentation des variables, il est également difficile de déterminer les causes de cet écart. D'autre part, les ellipses de la figure 3b englobent les 2/3 des individus de chaque groupe. Plus l'ellipse est grande, plus la variance dans le groupe est forte. A l'inverse, plus elle est petite, plus les individus du groupe ont tendance à se ressembler. Dans notre cas, il apparaît que les individus sont tout aussi dispersés autour de leur centre de gravité que dans le cas de l'ACP. Les enseignants de SVT sont mieux regroupés. De plus, nous pouvons appliquer le test de randomisation de Monte Carlo qui permet de savoir si la différence observée entre les groupes est, ou non, significative. La représentation graphique de ce test permet de voir instantanément si l'inertie (la répartition) de notre échantillon représentée par le trait surmonté d'un carré est différente de l'inertie calculée par randomisation (1000 essais) représenté par l'histogramme à gauche sur la figure 3d. L'inertie de l'échantillon est bien différente de l'inertie obtenue par randomisation, les différences entre les disciplines sont significatives avec une p-value < 0,001. Cette différence est pour la plus grande partie due à l'axe DI (figure 3a) qui représente plus de 90% de la variance totale. Le reste de la variance est exprimé par l'autre axe qui forme un bruit de fond. La signification de cet axe est donnée par la figure 3c et le tableau 3.

FIGURE 3

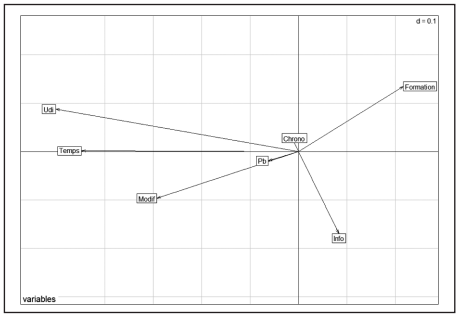
Représentations graphiques de l'AFD



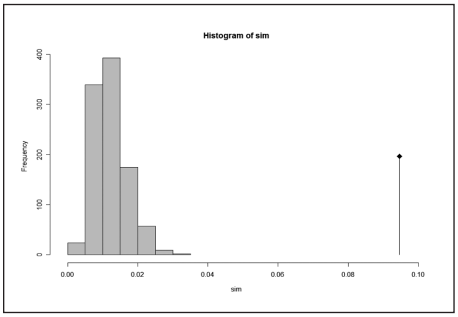
a



b



c



d

(a) Histogramme des valeurs propres des axes C1 et C2. (b) Répartition des groupes en fonction de l'axe B1 et de l'axe B2. (c) Cercle des corrélations correspondant à cette analyse. (d) Test de randomisation de Monte Carlo.

TABLEAU 3

Tableau des coordonnées des principales variables sur les axes C1 et C2, AFD « disciplines enseignées » sur l'ensemble des individus

	Compl	Comp2
Udi	**-0,50228683**	0,08753345
Temps	**-0,44890225**	0,00115878
Modif	-0,29331104	-0,09679933
Pb	-0,06297191	-0,01921327
Chrono	-0,00867416	0,01796284
Info	0,08323137	**-0,16985895**
Formation	0,21666318	0,13467116

Les résultats obtenus par l'AFD sont peut-être plus nettes que ceux obtenus par l'ACP. Cependant, le début d'informations apportées ne nous satisfait pas pleinement. Nous pouvons nous demander pour quelles raisons ces analyses multi variées n'ont pas donné des résultats exploitables, alors que l'AFD est une méthode stable et robuste. Nous devons mettre en cause directement les données issues du questionnaire et donc le questionnaire lui-même avec le mode d'obtention des données. Cette discussion est développée dans le paragraphe suivant.

Retour sur le Questrionnaire et Conclusion

Les résultats obtenus par ACP et AFD présentent des limites alors même que leurs fondements mathématiques les destinent à explorer des données quantitatives dans une perspective exploratoire. Les résultats précédents nous amènent donc à identifier une série de critiques objectives du questionnaire utilisé dans cette étude sur l'appropriation par des enseignants de la prescription « démarche d'investigation » :

- Tout d'abord, l'ensemble des questions n'est pas construit en vue d'un objectif clairement affiché. De part leur sens contrasté, les questions apportent des réponses qui ne conduisent pas à l'existence d'axes factoriels « forts » c'est à dire concentrant un grand nombre d'informations. Ci-après, nous exposons un exemple illustrant une manière de construire un questionnaire cohérent et équilibré guidé par les questions de recherche.
- D'autre part, les questions posées manquent de clarté. Nous faisons l'hypothèse que cette ambiguïté conduit à alimenter le coté quelque peu aléatoire des réponses que nous avons souligné.
- Le codage 1/2 pour oui/non est un défaut mathématique en soi. De plus, le caractère clivant peut provoquer, en absence de nuance, des réponses aléatoires. Il est à remarquer, à ce propos, que les variables les mieux représentées « Udi » et « Temps » sont codées avec une échelle de Likert à 4 modalités hiérarchisées.
- Enfin, l'échantillon n'est pas contrôlé et l'on peut craindre que les répondants aient des motivations particulières non représentatives de l'ensemble de la population.

L'analyse des résultats, et les limites attribuées au questionnaire présenté dans cet article, nous a amené à explorer la littérature pour mettre en regard ces limites avec d'autres études. En particulier, nous avons comparé notre travail avec une autre étude, pour laquelle l'analyse multi variée a apporté des réponses claires (Munoz et al., 2009). Une telle comparaison nous permet d'identifier des écueils à éviter lors de la construction d'un questionnaire destiné à conduire à une analyse multi variée. En effet, les résultats des analyses en composantes principales présentés par Munoz et al. (2009) ont été obtenus à partir d'une étude menée dans 16 pays. Plus de 6000

enseignants ont renseigné un questionnaire portant sur différentes conceptions de l'environnement et de la nature. La nature des questions s'ancre fortement dans une des hypothèses de recherche, les enseignants posséderaient une vision anthropo-centrée (U) ou une vision bio-centrée (P). 7 questions par conception ont été posées. Par exemple, l'adhésion à l'assertion « la fumée issue des cheminées des industries me met en colère » révélerait des personnes ayant une vision bio-centrée alors que un accord avec l'assertion « l'espèce humaine est plus importante que toutes les autres espèces » est plus axée sur une vision anthropo-centrée. Les modalités de réponses sont proposées exclusivement sur une échelle de Likert (cité par Munoz et al., 2009) à 4 degrés allant du « totalement en désaccord » au « totalement d'accord ». La nature des questions permet d'éviter une image binaire du sujet et ainsi de nuancer les différentes positions. Les résultats des ACP et des AFD sont très satisfaisants : un grand nombre de questions sont corrélées, les deux premiers axes représentent un ensemble important d'information et ils renseignent chacun une des deux conceptions (P et U).

La mise en relation des résultats de notre étude avec la recherche de Munoz et al. (2009) permet d'identifier des critères incontournables pour l'élaboration de questionnaires en vue d'analyses en composantes principales ou d'analyses factorielles discriminantes. Il semble important de penser à priori les questionnaires afin de proposer des questions très directement en relation avec les hypothèses de recherche. Il découle de ce premier critère que la formulation des questions doit être testée pour tenter de sortir de toute ambiguïté vis-à-vis des hypothèses de recherche correspondantes. Ainsi, des pré-enquêtes par entretien semblent nécessaire pour ce genre d'études afin de se familiariser avec le discours des sujets interrogés sur leur pratique et ainsi de proposer des questions sans ambiguïté pour la majorité des répondants. Converse (2006) précise que des questions posées par des spécialistes trop éloignées de la réalité de terrain, et dont la terminologie en est éloignée, poussent les interrogés à répondre au hasard ou bien en référence à des concepts loin de ceux des spécialistes. De plus, la formulation des questions ne devrait pas renvoyer à une bonne ou mauvaise réponse.

Il est préférable d'éviter les variables à modalités binaires de type oui/non et d'opter pour des modalités à échelle qui permettent un gradient de réponses. Cela permet de réduire le taux de réponses identiques par les interrogés afin de discriminer au mieux leurs conceptions. Il semblerait également important d'établir un équilibre entre des modalités positives et des modalités négatives pour produire des résultats de meilleure qualité. Les modalités de réponse centristes (échelles de Likert au nombre de modalité impaire, modalité « je ne sais pas ») sont critiquées car elles peuvent servir de refuge pour le répondant. Par ailleurs, pour le recodage des données qualitatives, il semble plus judicieux d'utiliser les valeurs -1/0/1 pour reproduire au mieux une échelle de graduation du non au oui et éviter une représentation binaire. Enfin, si l'échantillon de

cette étude de l'ordre de la centaine, paraît acceptable, il est clair qu'un échantillon plus large permet d'augmenter statistiquement la fiabilité des résultats.

Pour conclure, les précautions d'élaboration de questionnaire décrites précédemment permettront d'obtenir des résultats de meilleures qualités. L'utilisation avisée des ACP et AFD semble avoir un large intérêt pour la recherche en éducation. Divers études (Munoz & Clément, 2007) ont déjà eu recours à ce genre de traitement statistique. Elles permettent de dégager des tendances, de chercher les significations des variations entre les groupes, mais également, de calculer des composantes qui peuvent être interprétées comme des indices des conceptions des personnes interrogées. Ces outils ouvrent de nouvelles perspectives de recherche en éducation pour servir, en particulier, de référence dans l'étude de l'efficacité de situations d'enseignement-apprentissage, en complément d'une approche qualitative.

Remerciements

Nous remercions l'équipe Gestepro du laboratoire ADEF pour l'élaboration du questionnaire et les enseignants qui ont accepté d'y répondre.

Bibliographie

Boilevin, J.-M., Brandt-Pomares, P., Givry, D., & Delserieys, A. (2010). Démarches d'investigation en sciences et en technologie : quelle appropriation par des enseignants de collège ? Communication présentée au *Congrès d'Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation*, Genève, Suisse.

Boilevin, J.-M. (2013). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Regards didactiques*. Bruxelles: De Boeck.

Calmettes, B. (2012). *Didactique des sciences et démarches d'investigation. Références, représentations, pratiques et formation*. Paris: L'Harmattan.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2013). *Research methods in education*. London: Routledge.

Converse, P. E. (2006). The nature of belief systems in mass publics (1964). *Critical Review*, *18*(1-3), 1-74.

Coupaud, M. (2013). *Démarches d'investigation dans l'enseignement de sciences et de technologie: perception et appropriation par les enseignants de collège.* Mémoire de master en sciences de l'éducation, Aix Marseille Université, Marseille.

Grangeat, M. (2013). *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation : Des formations et des pratiques de classe*. Grenoble: PUG.

Grawitz, M. (2000). *Méthodes des sciences sociales*. Paris: Dalloz.

Ministère de l'éducation nationale (2008). *Les programmes du collège*. Bulletins officiels de l'Éducation nationale spécial, n°6 du 28 août 2008.

Monod-Ansaldi R., & Prieur M. (2011). Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie. *Rapport d'enquête de l'Institut Français d'Éducation (IFE)*. Lyon : École Nationale Supérieure.

Munoz, F., & Clément, P. (2007). Des méthodes statistiques originales pour analyser les conceptions d'enseignants de plusieurs pays à partir d'un questionnaire sur des questions vives. In *Actes du Congrès AREF - Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation* (CD), Strasbourg : AREF.

Munoz, F., Bogner, F., Clement, P., & Carvalho, G. S. (2009). Teacher's conceptions of nature and environment in 16 countries. *Journal of Environmental Psychology, 29*, 407-413.

Toutain, S. (2009). *Analyse factorielle simple en sociologie*. Bruxelles: De Boeck.