

Typologie des représentations en sciences physiques chez des élèves du secondaire

Marcel Thouin

Volume 15, Number 2, 1989

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/900630ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/900630ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Revue des sciences de l'éducation

ISSN

0318-479X (print)

1705-0065 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Thouin, M. (1989). Typologie des représentations en sciences physiques chez des élèves du secondaire. *Revue des sciences de l'éducation*, 15(2), 247–266. <https://doi.org/10.7202/900630ar>

Article abstract

The representations of concepts in physical science among secondary students are numerous and varied. This research demonstrates how a typology comprising of 5 representational types developed on the basis of epistemological obstacles, theoretically defined by Bachelard, can on the basis of factor analysis be described as a single typology with two representations: semi-evolved and evolved.

Typologie des représentations en sciences physiques chez des élèves du secondaire

Marcel Thouin*

Résumé — Chez les élèves du secondaire, les représentations de concepts en sciences physiques des élèves au début du secondaire sont nombreuses et variées. La recherche dont ce texte rend compte montre qu'une typologie comprenant cinq types, élaborée à partir d'obstacles épistémologiques définis de façon théorique par Bachelard, se ramène ultimement, au moyen d'une analyse factorielle, à une typologie comprenant deux types de représentations: des représentations semi-évoluées et des représentations évoluées.

Abstract — The representations of concepts in physical science among secondary students are numerous and varied. This research demonstrates how a typology comprising of 5 representational types developed on the basis of epistemological obstacles, theoretically defined by Bachelard, can on the basis of factor analysis be described as a single typology with two representations: semi-evolved and evolved.

Resumen — Las representaciones de conceptos en ciencias físicas son numerosas y variadas en los alumnos de secundario. El estudio presentado en este texto muestra que la tipología que comprende cinco tipos de representaciones y que fue elaborada a partir de obstáculos epistemológicos definidos en forma teórica por Bachelard, se reduce finalmente, por intermedio de un análisis de factores, a una tipología de dos tipos de representaciones: semi-evolucionadas y evolucionadas.

Zusammenfassung — Bei den Schülern der höheren Schulen sind die Vorstellungen der wissenschaftlichen physikalischen Begriffe zahlreich und verschiedenartig. Die Studie, über die dieser Text berichtet, zeigt auf, dass eine Typologie mit fünf Typen, die von Bachelard ausgehend von epistemologischen Schwierigkeiten theoretisch definiert wurden, sich im letzten - mittels einer faktoriellen Analyse - auf eine aus zwei Vorstellungstypen zusammengesetzte Typologie zurückführen lassen: evolviert und semi-evolviert.

Cet article présente le contexte théorique, le devis et les principaux résultats d'une recherche qui avait pour but d'élaborer et de valider, principalement au moyen de l'analyse factorielle, une typologie des représentations de concepts en sciences physiques chez des élèves au début du secondaire, en Alberta.

Le contexte théorique

La plupart des élèves possèdent un certain nombre de représentations premières ou idées préconçues de la réalité qui les entoure. Or, des recherches

* Marcel Thouin: professeur, Université d'Ottawa.

(Driver, Guesne et Tiberghien, 1985) montrent que si l'on ne tient pas compte des représentations des élèves, celles que l'on tente de leur inculquer ne remplaceront pas nécessairement les anciennes, mais risqueront de s'y ajouter pour former un mélange conceptuel plutôt déroutant. Certains auteurs (Anderson et Karrqvist, 1982; Anderson et Renstrom, 1982) disent que les représentations des élèves peuvent être classées, mais ils ne proposent pas de classification.

Plusieurs critères pourraient servir à classer les représentations premières que les élèves se font du monde physique. On pourrait, par exemple, construire des catégories basées sur la plus ou moins grande ressemblance avec les théories scientifiques actuelles. Il serait possible, aussi, d'utiliser des catégories basées sur l'origine des représentations. On sait en effet que les idées que les élèves se font du monde qui les entoure peuvent provenir de plusieurs sources bien différentes, telles les émissions de télévision, le cinéma, l'école, les livres pour enfants, les affirmations des parents ou des amis, leur propre imagination, etc.

On pourrait aussi s'inspirer des typologies conçues pour le diagnostic pédagogique, comme celle de Markle et Tiemann (1970), qui comporte trois catégories (la surgénéralisation, la sous-généralisation et la confusion). La typologie jugée la plus utile pour notre recherche comprend des catégories inspirées des obstacles épistémologiques tels que définis par Bachelard (1980). D'une part, cette typologie présente l'avantage de se référer à des mécanismes logiques de la pensée, à l'instar des typologies présentées au paragraphe précédent, et, d'autre part, met l'accent sur un ensemble de représentations qui peuvent parfois nuire à la compréhension, aspect dont Champagne et Klopfer (1983) montrent l'importance.

Un obstacle épistémologique peut être défini comme un modèle explicatif qui nuit à la compréhension d'un modèle explicatif plus adéquat. Bachelard en relève dix grands types. Dans une recherche de type clinique portant sur les représentations en sciences physiques de quelques élèves du secondaire, Ruel (1982) fait ressortir l'importance de quatre des dix obstacles épistémologiques définis par Bachelard:

- le type «expérience première» qui consiste à expliquer un phénomène en se fiant aux apparences (exemple: le Soleil tourne autour de la Terre);
- le type «obstacle verbal» qui consiste à expliquer un phénomène en ayant recours à un mot, une expression, une image (exemple: un oeuf qui cuit adhère à une poêle en fonte parce que ses molécules forment «comme une espèce de ventouse»);
- le type «substantialiste» qui consiste à expliquer un phénomène en postulant l'existence d'une substance (exemple: «le froid s'infiltré» par les fenêtres peu étanches);
- le type «connaissance générale» qui consiste à expliquer un phénomène en ayant recours à un concept général de façon abusive (exemple: la glace fond à cause de l' «énergie»);

Dans le cadre de cette recherche, bien que sa fréquence d'apparition puisse être présumée assez rare au début du secondaire, un cinquième type regroupant les explications de nature scientifique, celles qui ne portent pas la trace d'obstacles épistémologiques, est ajouté pour les fins d'élaboration de la typologie.

Cette recherche vise principalement à vérifier si ces cinq types théoriques sont effectivement différents les uns des autres pour les élèves, ou s'il s'agit au contraire d'une typologie dont certains des types se confondent. Ce problème ressemble un peu à celui d'un examinateur qui se demande si certains critères qu'il applique pour corriger des dissertations ne se recouvrent pas. Si c'est le cas, il évalue quelques fois le même aspect de la dissertation sous différents noms. On utilise généralement l'analyse factorielle pour clarifier ce genre de situation.

La revue des écrits sur les représentations de quelques concepts en sciences physiques montre que l'on rencontre plus souvent certains types de représentations dans les explications que les élèves donnent de certains phénomènes physiques. Par exemple, lorsqu'il est question de la relation entre la force et l'accélération (Champagne et Klopfer, 1983; Clément, 1982; Ruel, 1982; Viennot, 1976), presque tous les élèves se butent à l'obstacle de l'expérience première: ce n'est pas entre force constante et accélération constante que s'établit la proportionnalité, mais plutôt entre force constante et vitesse constante. Comme autre exemple, lorsqu'il est question de la transmission de la chaleur (Albert, 1978; Erickson, 1979; Guesne, Tiberghien et Delacote, 1978; Shayer et Wylam, 1981), un grand nombre d'élèves se butent à l'obstacle substantialiste: la chaleur et le froid sont perçus comme des objets qui se déplacent d'un endroit à un autre.

Une des hypothèses de cette recherche, la quatrième, est cependant que dans l'ensemble, pour un assez grand nombre de phénomènes physiques et de sujets, les phénomènes physiques présentés et les types de représentations sont relativement indépendants.

Le devis de la recherche

Cette recherche est de nature descriptive et ne vise pas à établir des liens de cause à effet entre diverses variables. Il s'agit de vérifier si l'on peut réduire à un certain nombre de types les modes d'explications des élèves des phénomènes physiques.

Les hypothèses

Sept hypothèses sont proposées. Les quatre premières peuvent être considérées comme des hypothèses préliminaires, de nature instrumentale, et concernent les réactions de juges et d'élèves à la typologie proposée. Les trois hypothèses suivantes constituent le coeur de la recherche et visent à vérifier l'existence, le nombre et la nature des types de notre typologie.

Hypothèse 1 — *Une version opérationnelle de la typologie.* Les quatre types d'obstacles épistémologiques de Bachelard (1980) considérés comme les plus importants par

Ruel (1982), auxquels est ajouté celui des représentations scientifiques, constituent une typologie de représentations à cinq types à partir de laquelle il est possible de construire une version opérationnelle qui soit acceptée par un comité d'experts.

Hypothèse 2 — *Le fait de privilégier l'un des types.* Une majorité (plus de 50%) d'élèves de notre population privilégie l'un ou l'autre des types de représentations de la typologie.

Hypothèse 3 — *Les types privilégiés selon le sexe des sujets.* Les filles ne privilégient pas les mêmes types de représentations que les garçons.

Hypothèse 4 — *L'indépendance entre la nature des phénomènes et les types de représentations.* La nature des phénomènes physiques présentés et les types de représentations sont indépendants dans l'ensemble de la population des sujets.

Hypothèse 5 — *L'existence de facteurs.* L'analyse des données obtenues à partir des réponses à un ensemble d'items portant sur des phénomènes physiques permet de vérifier que la solution factorielle comporte des facteurs.

Hypothèse 6 — *Le nombre de facteurs.* L'analyse factorielle confirmative des réponses aux mêmes items permet de vérifier que la solution comporte autant de facteurs que notre typologie comporte de types.

Hypothèse 7 — *La nature des facteurs.* L'interprétation de la nature des facteurs permet de montrer qu'il s'agit bien des types de notre typologie.

La méthode

Plusieurs techniques statistiques peuvent être utilisées pour valider une typologie. Dans un premier temps, l'utilisation de statistiques descriptives simples, comme le tracé d'histogrammes, ou le recours aux méthodes de base de la statistique inférentielle, comme le test t , l'analyse de la variance ou le test de χ^2 , peuvent servir à vérifier si l'on est en présence de groupes distincts selon certaines des variables mesurées. Par la suite, il faut généralement recourir à des techniques plus élaborées. Parmi les principales, il faut mentionner l'analyse discriminante (Tatsuoka, 1971), la corrélation canonique (Van der Geer, 1971), l'analyse en grappes (Tyron et Bailey, 1970) et l'analyse factorielle (Harman, 1967). Cette dernière est la technique retenue.

L'analyse factorielle regroupe en fait une famille de méthodes ayant pour objet de déterminer des facteurs à partir des corrélations entre un ensemble de variables. Toutes les techniques d'analyse factorielle sont basées sur l'hypothèse que les corrélations observées sont dues à des facteurs communs sous-jacents aux données. Les techniques peuvent être utilisées de façon exploratoire, pour essayer de déterminer à combien de facteurs et à quels facteurs peuvent être réduites les variables étudiées ou, de façon confirmative, pour vérifier si le nombre et la nature des facteurs extraits des données correspondent à ceux qui avaient été préalable-

ment identifiés. L'emploi de l'analyse factorielle exploratoire suscite certaines controverses, principalement parce que l'interprétation des facteurs est toujours plus ou moins subjective; par contre, l'emploi de l'analyse factorielle confirmative est en général bien accepté (Kim et Mueller, 1978). La réduction des variables en facteurs peut se faire selon plusieurs méthodes, les principales étant la méthode des moindres carrés, l'analyse d'images, l'analyse des correspondances, l'analyse alpha, l'analyse en composantes principales et la méthode du maximum de vraisemblance.

Dans le cas présent, la nature des problèmes de recherche incite à retenir le test de χ^2 pour l'étude des hypothèses préliminaires conduisant à des données de nature non paramétrique (données relatives aux hypothèses 2, 3 et 4) et à retenir l'analyse factorielle confirmative pour vérifier si des facteurs sont présents et si ces facteurs correspondent aux types de la typologie (hypothèses 5, 6 et 7). Pour l'analyse factorielle, la méthode du maximum de vraisemblance est retenue, car elle est généralement considérée comme très robuste sur le plan statistique.

Les deux instruments de mesure

Deux instruments de mesure furent élaborés pour cette recherche. Les deux instruments comportent 90 items portant sur neuf domaines des sciences physiques: l'aérodynamique, l'astronomie, la chimie, la chimie-physique, l'électromagnétisme, la géologie et la météorologie, la mécanique classique, l'optique et l'acoustique, la thermodynamique.

Le premier instrument, d'une nature qui se prête bien à la vérification des hypothèses 1, 2, 3 et 4, présente un choix de cinq réponses pour chacune des 90 questions. Chacune de ces réponses correspond à l'un des cinq types de notre typologie. Voici un exemple d'item du premier instrument; les informations entre parenthèses n'apparaissent pas sur les questionnaires:

Le soleil se déplace dans le ciel au cours de la journée. Pourquoi?

- a) Parce que la Terre tourne sur elle-même (type scientifique).
- b) À cause de la rotation des corps célestes (type connaissance générale).
- c) Parce qu'il est poussé par l'air (type substantialiste).
- d) Parce qu'il subit un déplacement (type obstacle verbal).
- e) Parce qu'il tourne autour de la Terre (type expérience première).

Le deuxième instrument, d'une nature qui se prête bien à la vérification des hypothèses 5, 6 et 7, comporte 90 énoncés au sujet desquels il faut se prononcer à l'aide d'une échelle de type Likert. Chaque énoncé reprend, sous forme affirmative, une des questions du premier instrument, en présentant comme réponse une explication d'un des cinq types. Ce deuxième instrument peut donc être considéré comme un sous-ensemble du premier. Voici un exemple d'item du deuxième instrument (les informations entre parenthèses n'apparaissent pas sur les questionnaires):

Le Soleil se déplace dans le ciel au cours de la journée à cause de la rotation des corps célestes.

accord total	accord	neutre	désaccord	désaccord total
(type connaissance générale)				

Les sujets étant des anglophones, les instruments leur furent présentés en anglais. Pour s'assurer que tous les items étaient clairement rédigés et interprétés de la même façon, un comité de dix juges fut mis à contribution. Il s'agissait d'enseignants du secondaire, tous détenteurs, au minimum, d'un diplôme de premier cycle en enseignement des sciences. Il avait été convenu que les items auxquels tous les juges ne donneraient pas une signification équivalente seraient éliminés d'une liste initiale comportant 150 items pour chacun des deux instruments.

Pour s'assurer aussi de la consistance dans la façon de répondre des sujets, une échelle de vérification (Nabahi, Tétreau et Trahan, 1984) fut incluse dans les versions finales des deux instruments. Dans chaque instrument, six items sont présentés à deux reprises, selon une formulation presque identique, ce qui porte à 96 le nombre «apparent» d'items dans chaque échantillon. Il avait été convenu que les sujets qui répondraient de façon différente à plus de deux des six items répétés seraient remplacés par d'autres sujets choisis au hasard dans la même population.

Les deux échantillons de sujets

Étant donné qu'il s'agit d'élaborer et de valider une typologie des représentations du monde physique telles qu'elles se présentent avant que les élèves n'aient suivi des cours de sciences physiques de niveau secondaire, la population choisie est celle des élèves de septième année, puisqu'en Alberta, le premier cours officiel de sciences physiques de l'ordre secondaire se donne en huitième année.

Deux échantillons probabilistes stratifiés de cent sujets furent construits. Le nombre de 100 sujets est retenu parce qu'il est considéré comme suffisant pour que le test de Bartlett, servant à vérifier si les données permettent l'analyse factorielle, soit applicable (Ajar, 1982). Ces échantillons sont stratifiés en fonction du sexe (filles, 50%; garçons, 50%).

L'analyse et l'interprétation des données

Les données relatives à l'hypothèse 1

L'analyse des données relatives à l'hypothèse 1 consiste à vérifier si les cinq choix de réponses d'une liste préliminaire de 150 questions sont classés par les dix juges selon les types auxquels ces choix doivent, en principe, correspondre, selon la conception des questions.

Suite à cette analyse, 35 questions furent éliminées. Il en restait plus de dix dans chacun des neuf domaines des sciences physiques. Dix questions furent donc choisies au hasard parmi celles qui restaient dans chacun des neuf domaines, ce qui permit de construire les 90 questions et, par la suite, les 90 énoncés qui furent présentés aux élèves (en fait 96, si l'on tient compte des items répétés pour former l'échelle de vérification).

L'hypothèse 1 peut donc être considérée comme corroborée par les résultats: la version opérationnelle de la typologie est acceptée par un comité d'experts.

Les données relatives à l'hypothèse 2

À partir de la compilation des réponses du premier échantillon de sujets, il s'agit de vérifier si une majorité d'élèves (plus de 50%) de notre population privilégie l'un ou l'autre des types de représentations.

Mentionnons que 21 sujets de l'échantillon initial des 100 sujets furent remplacés par d'autres sujets choisis au hasard, soit parce qu'ils avaient répondu de façon différente aux items de plus de deux des six couples d'items quasi identiques de l'échelle de vérification, soit parce qu'ils n'avaient pas répondu à certaines questions.

Pour l'ensemble des items, le critère suivant est appliqué: un élève privilégie un type de représentations s'il choisit ce type de représentations deux fois plus souvent que le type choisi le plus souvent parmi les quatre autres.

La figure 1 présente le nombre d'élèves qui privilégient chacun des types de même que le nombre d'élèves qui n'en privilégient aucun.

Expérience première	* (1)
Obstacle verbal	***** (24)
Obstacle substantialiste	* (1)
Connaissance générale	**** (5)
Explication scientifique	***** (25)
Aucun	***** (44)

Figure 1. Nombre d'élèves qui privilégient chaque type de représentations.

On constate que 56% des élèves privilégient l'un ou l'autre des types de représentations et que, par conséquent, 44% des élèves n'en privilégient aucun.

L'hypothèse 2 peut donc être considérée comme corroborée par ces résultats: une majorité d'élèves (plus de 50%) privilégie l'un ou l'autre des types de représentations.

Les données relatives à l'hypothèse 3

À partir des données recueillies pour l'hypothèse 2, il s'agit de vérifier si les filles privilégient les mêmes types de représentations que les garçons.

La figure 2 présente le nombre de filles qui privilégient chacun des types, de même que le nombre de filles qui n'en privilégient aucun.

Expérience première	*(1)
Obstacle verbal	***** (18)
Obstacle substantialiste	(0)
Connaissance générale	** (2)
Explication scientifique	***** (8)
Aucun	***** (21)

Figure 2. Nombre de filles qui privilégient chaque type de représentations

La figure 3 présente le nombre de garçons qui privilégient chacun des types, de même que le nombre de garçons qui n'en privilégient aucun.

Expérience première	(0)
Obstacle verbal	***** (6)
Obstacle substantialiste	*(1)
Connaissance générale	*** (3)
Explication scientifique	***** (17)
Aucun	***** (23)

Figure 3. Nombre de garçons qui privilégient chaque type de représentations

Le test de χ^2 et le V de Cramer sont utilisés pour l'étude de l'hypothèse 3. Le tableau 1 présente, pour chacun des types de représentations, le nombre de filles et le nombre de garçons qui privilégient ce type. Il présente aussi, entre parenthèses, les fréquences théoriques. Les valeurs du χ^2 et du V de Cramer sont données au bas du tableau 1.

Tableau 1
Répartition des sujets d'après le sexe et d'après le type de représentations privilégiées

Sexe	Expérience première	Obstacle verbal	Obstacle substantialiste	Connaissance générale	Explication scientifique	Total
Filles	1 (0,51)	18 (12,42)	0 (0,51)	2 (2,58)	8 (12,94)	29
Garçons	0 (0,48)	6 (11,57)	1 (0,48)	3 (2,28)	17 (12,05)	27
Total	1	24	1	5	25	56
Valeur du χ^2 : 11,38						
Valeur du V de Cramer : 0,45						

Il faut signaler que les petites fréquences que l'on retrouve dans plusieurs des cases du tableau de contingence ne répondent pas, en toute rigueur, aux conditions d'utilisation du test de χ^2 . La valeur du χ^2 n'est donc calculée qu'à titre indicatif. Lorsque des cases contiennent de petites fréquences, le V de Cramer est un indice plus sûr d'un lien entre les variables étudiées.

Pour ces données, le nombre de degrés de liberté est de quatre. Au seuil $\alpha = 0,05$, une valeur de χ^2 supérieure à 9,48 permet de rejeter l'hypothèse nulle, à savoir que les filles privilégient les mêmes types de représentations que les garçons. La valeur du V de Cramer de 0,45 montre un lien assez étroit entre le sexe des sujets et le type de représentations qu'ils privilégient.

L'hypothèse 3 peut donc être considérée comme corroborée par les résultats: les filles ne privilégient pas les mêmes types de représentations que les garçons.

L'examen des données permet de constater que les filles privilégient les représentations de type «obstacle verbal» et que les garçons privilégient les représentations de type «scientifique». L'étude des données relatives à l'hypothèse 7 montre, plus loin, qu'il ne s'agit que d'une différence apparente et, qu'en fait, les filles et les garçons ne diffèrent pas vraiment dans leur façon de se représenter des phénomènes physiques.

Les données relatives à l'hypothèse 4

À partir de la compilation par sujet et par item des réponses au premier instrument, il s'agit de vérifier si la nature des phénomènes physiques présentés et les types de représentations sont indépendants dans l'ensemble de la population des sujets.

Le test de χ^2 est utilisé à cinq reprises, soit une fois pour chacun des cinq types. Les fréquences des cases de tous les tableaux sont élevées et répondent aux conditions d'utilisation du test de χ^2 .

Le tableau 2 présente les fréquences des réponses de type «expérience première» données par les élèves qui privilégient l'un ou l'autre des types, pour les neuf domaines des sciences physiques auxquels appartiennent les questions. Il présente aussi, entre parenthèses, les fréquences théoriques. La valeur du χ^2 est donnée au bas du tableau.

Le tableau 3 présente les fréquences des réponses de type «obstacle verbal» données par les élèves qui privilégient l'un ou l'autre des types, pour les neuf domaines des sciences physiques auxquels appartiennent les questions. Il présente aussi, entre parenthèses, les fréquences théoriques. La valeur du χ^2 est donnée au bas du tableau.

Tableau 2
Répartition des choix de type «expérience première»,
d'après les neuf domaines, chez les élèves
qui privilégient l'un ou l'autre des types

Aérodynamique	102	(104,44)
Astronomie	114	(104,44)
Chimie	124	(104,44)
Chimie-physique	89	(104,44)
Électromagnétisme	103	(104,44)
Géologie et météorologie	107	(104,44)
Mécanique classique	100	(104,44)
Optique et acoustique	92	(104,44)
Thermodynamique	109	(104,44)
Total	940	
Valeur de χ^2 : 8,83		

Tableau 3
Répartition des choix de type «obstacle verbal»,
d'après les neuf domaines, chez les élèves
qui privilégient l'un ou l'autre des types

Aérodynamique	304	(264,44)
Astronomie	252	(264,44)
Chimie	255	(264,44)
Chimie-physique	258	(264,44)
Électromagnétisme	263	(264,44)
Géologie et météorologie	272	(264,44)
Mécanique classique	237	(264,44)
Optique et acoustique	283	(264,44)
Thermodynamique	256	(264,44)
Total	2380	
Valeur de χ^2 : 11,64		

Le tableau 4 présente les fréquences des réponses de type «obstacle substantialiste» données par les élèves qui privilégient l'un ou l'autre des types, pour les neuf domaines des sciences physiques auxquels appartiennent les questions. Il présente aussi, entre parenthèses, les fréquences théoriques. La valeur du χ^2 est donnée au bas du tableau.

Tableau 4
Répartition des choix de type «obstacle substantialiste»,
d'après les neuf domaines, chez les élèves
qui privilégient l'un ou l'autre des types

Aérodynamique	157	(146,44)
Astronomie	146	(146,44)
Chimie	131	(146,44)
Chimie-physique	157	(146,44)
Électromagnétisme	155	(146,44)
Géologie et météorologie	132	(146,44)
Mécanique classique	141	(146,44)
Optique et acoustique	152	(146,44)
Thermodynamique	147	(146,44)
Total	1318	
Valeur de χ^2 : 5,49		

Le tableau 5 présente les fréquences des réponses de type «connaissance générale» données par les élèves qui privilégient l'un ou l'autre des types, pour les neuf domaines des sciences physiques auxquels appartiennent les questions. Il présente aussi, entre parenthèses, les fréquences théoriques. La valeur du χ^2 est donnée au bas du tableau.

Tableau 5
Répartition des choix de type «connaissance générale»,
d'après les neuf domaines, chez les élèves
qui privilégient l'un ou l'autre des types

Aérodynamique	190	(208,44)
Astronomie	212	(208,44)
Chimie	212	(208,44)
Chimie-physique	218	(208,44)
Électromagnétisme	194	(208,44)
Géologie et météorologie	212	(208,44)
Mécanique classique	229	(208,44)
Optique et acoustique	197	(208,44)
Thermodynamique	212	(208,44)
Total	1876	
Valeur de χ^2 : 5,97		

Le tableau 6 présente les fréquences des réponses de type «scientifique» données par les élèves qui privilégient l'un ou l'autre des types, pour les neuf domaines des sciences physiques auxquels appartiennent les questions. Il présente aussi, entre parenthèses, les fréquences théoriques. La valeur du χ^2 est donnée au bas du tableau.

Tableau 6
Répartition des choix de type «scientifique»,
d'après les neuf domaines, chez les élèves
qui privilégient l'un ou l'autre des types

Aérodynamique	227	(272,78)
Astronomie	278	(272,78)
Chimie	274	(272,78)
Chimie-physique	287	(272,78)
Électromagnétisme	287	(272,78)
Géologie et météorologie	277	(272,78)
Mécanique classique	286	(272,78)
Optique et acoustique	273	(272,78)
Thermodynamique	266	(272,78)
Total	2455	
Valeur de χ^2 : 10,15		

Pour ces données, le nombre de degrés de liberté est de huit. Au seuil $\alpha = 0,05$, les cinq valeurs de χ^2 inférieures à 15,50 permettent de rejeter l'hypothèse nulle, à savoir que la nature des phénomènes physiques présentés et les types de représentations ne sont pas indépendants dans la population des sujets.

L'hypothèse 4 peut donc être considérée comme corroborée par les résultats: la nature des phénomènes physiques présentés et les types de représentations sont indépendants dans l'ensemble de la population des sujets.

Les données relatives à l'hypothèse 5

À partir de la compilation par sujets et par items des réponses du deuxième échantillon de sujets au deuxième instrument, il s'agit de vérifier si la solution factorielle comporte des facteurs.

Mentionnons que 23 sujets de l'échantillon initial de 100 sujets furent remplacés par d'autres sujets choisis au hasard, soit parce qu'ils avaient répondu de façon différente aux items de plus de deux des six couples d'items quasi identiques de l'échelle de vérification, soit parce qu'ils n'avaient pas répondu à certaines questions.

La multinormalité de la distribution des résultats, le test de sphéricité de Bartlett et l'indice de Kayser-Meyer-Olkin de l'adéquation échantillonnale servent de critères pour déterminer si la solution factorielle comporte des facteurs.

La multinormalité de la distribution des résultats est vérifiée en examinant la distribution de fréquence des scores totaux de chaque type. Pour comprendre la signification des scores totaux, il faut savoir qu'il y a 18 items de chacun des cinq types dans le deuxième instrument, et qu'une cote allant de 0 à 4 (totalement en désaccord à totalement en accord) avait été attribuée à chaque réponse. Le score maximum possible pour un type est donc de 4 fois 18, soit 72. Il s'agit donc de juger si les histogrammes des fréquences des scores totaux de chaque type - recodés en neuf catégories pour faciliter l'interprétation - ont une «allure» plus ou moins normale, c'est-à-dire relativement symétrique avec un mode dont les fréquences sont nettement plus élevées que les fréquences des autres catégories. Le recodage a été effectué de la façon suivante: scores totaux inférieurs à 7: 1; entre 8 et 15: 2; entre 16 et 23: 3; entre 24 et 31: 4; entre 32 et 39: 5; entre 40 et 47: 6; entre 48 et 55: 7; entre 56 et 63: 8; entre 63 et 72: 9.

La figure 4 présente l'histogramme des fréquences pour les types «expérience première», «obstacle verbal» et «obstacle substantialiste».

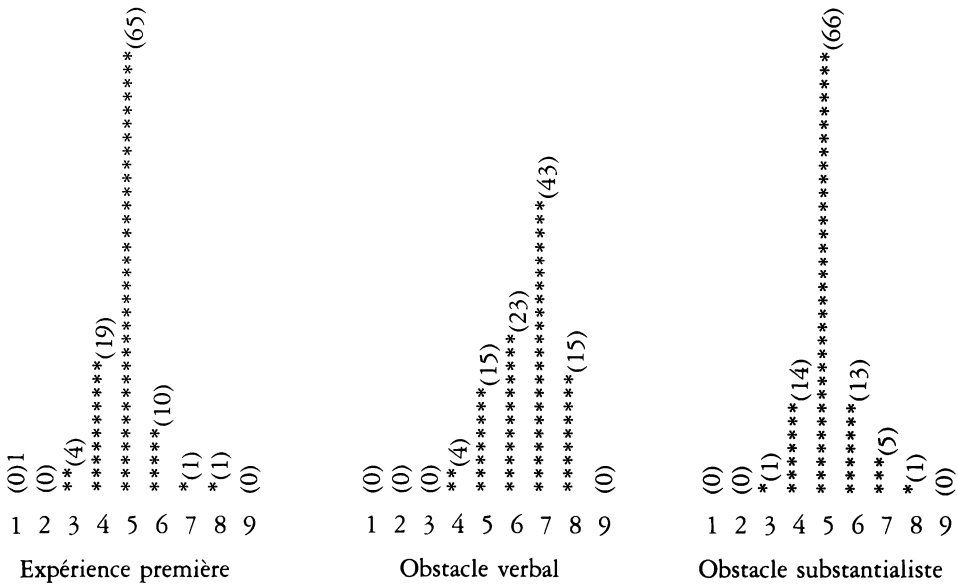


Figure 4. Histogramme des fréquences des scores totaux, recodés en neuf catégories, pour les types «expérience première», «obstacle verbal» et «obstacle substantialiste».

La figure 5 présente l'histogramme des fréquences pour les types «connaissance générale» et «scientifique».

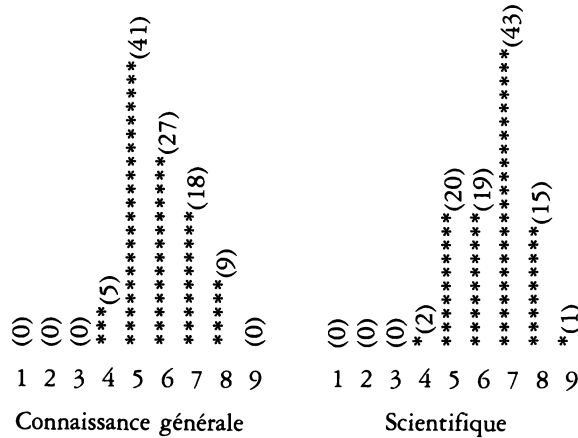


Figure 5. Histogramme des fréquences des scores totaux, recodés en neuf catégories, pour les types «obstacle verbal» et «scientifique».

Le tableau 7 présente la matrice des intercorrélations, qui peut être interprétée comme la matrice des covariances standardisées, entre toutes les paires possibles de scores totaux aux cinq types. La valeur du test de sphéricité de Bartlett et l'indice de Kaiser-Meyer-Olkin sont donnés au bas du tableau.

L'examen des histogrammes permet de constater que la multinormalité de la distribution des résultats est vérifiée, bien que de façon plutôt imparfaite.

Le nombre de degrés de liberté du test de Bartlett est égal à la somme des dimensions de la matrice des covariances. Pour une matrice des covariances de cinq par cinq, il y a dix degrés de liberté. La probabilité d'obtenir une valeur de 47,28 par hasard pour ce test est presque nulle et donc significative à tous les seuils, entre autres au seuil $\alpha = 0,05$.

Une valeur de 0,56 pour l'indice de Kaiser-Meyer-Olkin de l'adéquation échantillonnale est considérée comme suffisante, bien que peu élevée, pour entreprendre une analyse factorielle.

L'hypothèse nulle, à savoir que la solution ne comporte pas de facteurs, doit être rejetée. L'hypothèse 5 peut donc être considérée comme corroborée par les résultats: l'analyse des données obtenues à partir d'un ensemble d'items portant sur des phénomènes physiques permet de vérifier que la solution comporte des facteurs.

Tableau 7
Matrice des intercorrélations entre les paires de scores totaux
aux cinq types

Types	Types	Expérience première	Obstacle verbal	Obstacle substantialiste	Connaissance générale	Explication scientifique
Expérience première		1,0000	-0,0662	0,3986	-0,0685	0,0510
Obstacle verbal		-0,0662	1,0000	-0,1918	-0,3097	0,3534
Obstacle substantialiste		0,3986	-0,1918	1,0000	0,0608	0,1552
Connaissance générale		-0,0685	-0,3097	0,0608	1,0000	-0,2021
Explication scientifique		-0,0510	0,3534	-0,1552	-0,2021	1,0000
Test de Bartlett		: 47,28				
Indice de Kaiser-Meyer-Olkin		: 0,56				

Les données relatives à l'hypothèse 6

À partir des données recueillies pour l'hypothèse 5, il s'agit de vérifier si la solution comporte cinq facteurs. Le critère appliqué est la règle de Kaiser-Guttman.

L'application de la règle de Kaiser-Guttman consiste à compter combien il y a de valeurs propres supérieures à l'unité dans la matrice des intercorrélations. Cette règle est basée sur le principe qu'un facteur doit posséder une variance vraie non négative pour avoir un coefficient de fidélité positif, ce qui se traduit par une valeur propre plus grande que l'unité pour ce facteur.

Le tableau 8 présente la valeur propre correspondant à chacun des types, le pourcentage de la variance et le pourcentage cumulatif de la variance dus à chacun des types.

L'application de la règle de Kaiser-Guttman permet de montrer que deux valeurs propres sont supérieures à l'unité. Celle qui correspond au type «expérience première» et celle qui correspond au type «obstacle verbal».

L'hypothèse 6 n'est donc pas corroborée, du moins pas telle qu'elle avait été formulée. Il faut plutôt conclure que la solution comporte deux facteurs.

Tableau 8

Valeur propre correspondant à chacun des types et variance expliquée par chacun des types

Type	Valeur propre	% de la variance	% cumulé
Expérience première	1,6964	33,9	33,9
Obstacle verbal	1,3405	26,8	60,7
Obstacle substantialiste	0,7987	16,0	76,7
Connaissance générale	0,6221	12,4	89,8
Explication scientifique	0,5421	10,8	100,0

Les données relatives à l'hypothèse 7

À partir des données recueillies pour l'hypothèse 5, la nature des facteurs est étudiée. La méthode du maximum de vraisemblance, d'abord pour une solution orthogonale et, ensuite, pour une solution oblique, est appliquée.

Le tableau 9 présente la saturation des cinq types de la typologie par les deux premiers facteurs de la solution orthogonale. La méthode de rotation VARIMAX est utilisée.

Tableau 9

Saturation des types par les deux premiers facteurs
(solution orthogonale VARIMAX)

Type	Facteur 1	Facteur 2
Expérience première	0,9889	0,1447
Obstacle verbal	-0,1677	0,6886
Obstacle substantialiste	0,4315	-0,1947
Connaissance générale	-0,0062	-0,4311
Explication scientifique	-0,0234	0,5127

La figure 6 présente la position des types dans un système d'axes orthogonaux dont l'abscisse correspond au facteur 1 (F1) et l'ordonnée au facteur 2 (F2).

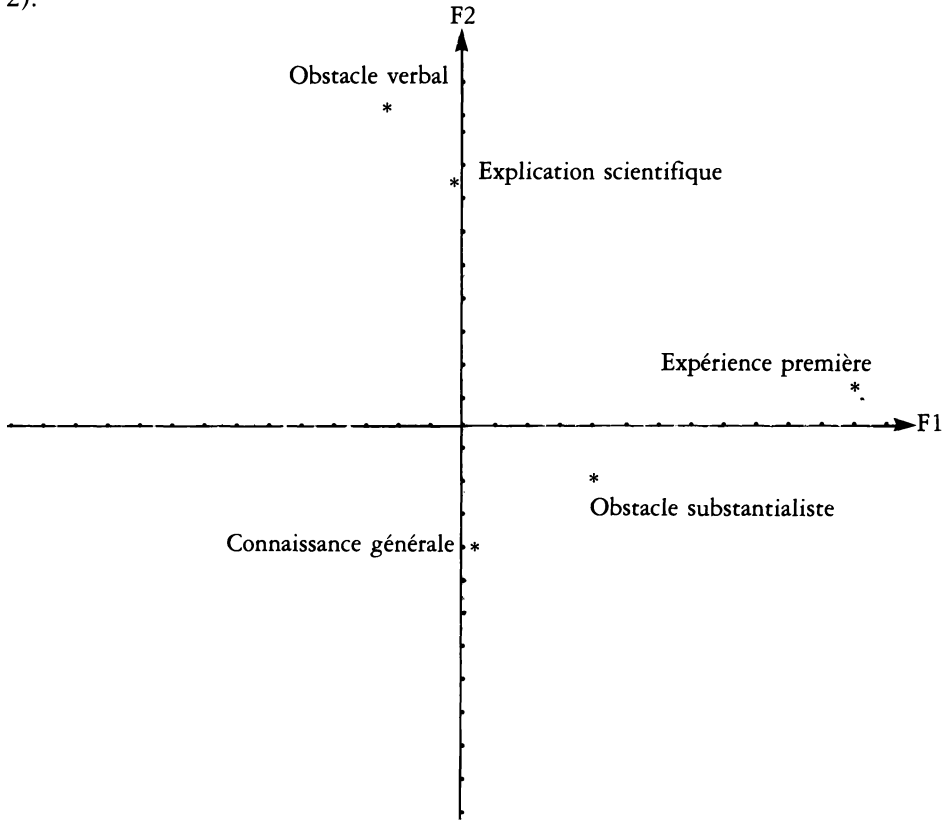


Figure 6. Position des types selon les deux premiers facteurs (solution orthogonale *Varimax*).

Le tableau 10 présente la saturation des cinq types de la typologie par les deux premiers facteurs de la solution oblique. Le critère $\delta = 0$, qui permet une corrélation modérée entre les facteurs, est appliqué. La matrice de corrélation entre les deux premiers facteurs est donnée au bas du tableau.

Tableau 10
Saturation des types par les deux premiers facteurs
(solution oblique avec $\delta = 0$)

Type	Facteur 1	Facteur 2
Expérience première	1,0091	0,2132
Obstacle verbal	-0,1104	0,6836
Obstacle substantialiste	0,4184	-0,1672
Connaissance générale	-0,0429	-0,4355
Explication scientifique	-0,0199	0,5159
Corrélation entre les deux premiers facteurs		
Facteur 1	1,0000	-0,1507
Facteur 2	-0,1507	1,0000

La figure 7 présente la position des types dans un système d'axes non orthogonaux dont l'angle correspond approximativement à la corrélation entre les deux premiers facteurs.

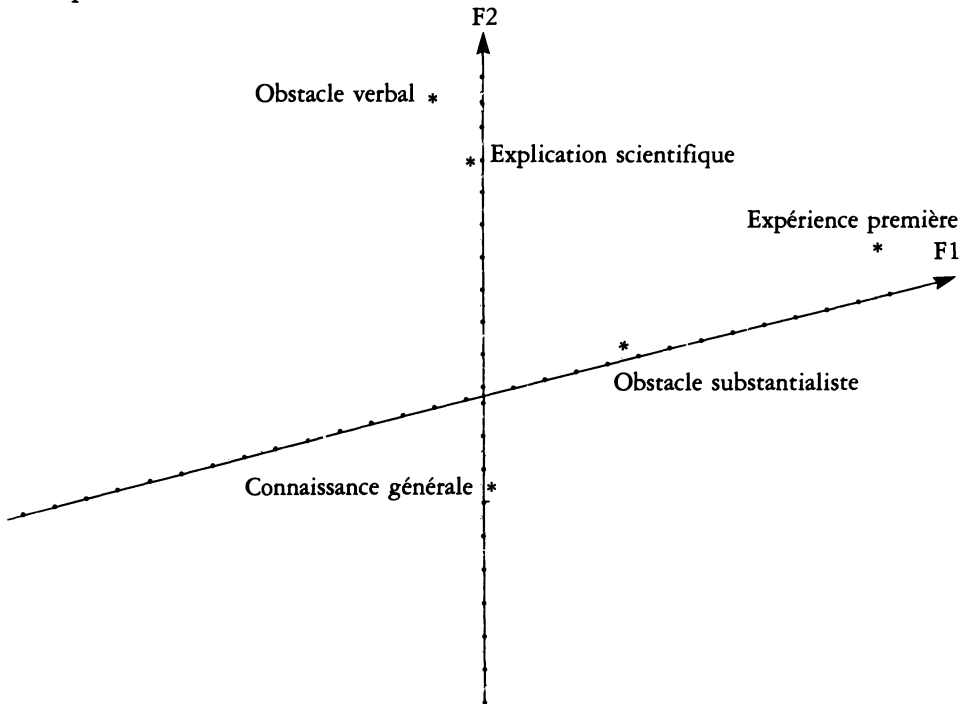


Figure 7. Position des types selon les deux premiers facteurs (solution oblique avec $\delta = 0$).

L'examen de la saturation des types par les deux premiers facteurs et de la position des cinq types dans des systèmes (cartésien ou oblique) dont ces facteurs constituent les deux axes montre clairement que les cinq types peuvent en fait se réduire à deux: un premier, très fortement saturé par le type «expérience première» et un second, fortement saturé par le type «obstacle verbal».

L'ensemble des corrélations entre les cinq types théoriques et les deux facteurs, de même que la position des types dans les systèmes d'axes montrent que, d'une part, le type «expérience première» et le type «obstacle substantialiste» peuvent se réduire à un seul type effectif, qui peut être nommé le type des représentations «semi-évoluées», et que, d'autre part, le type «obstacle verbal», le type «explication scientifique» et le type «connaissance générale» peuvent se réduire à un seul autre type effectif, qui peut être nommé le type des «représentations évoluées».

Il est intéressant de constater que les types «obstacle verbal» et «explication scientifique» sont très voisins l'un de l'autre sur les systèmes d'axes. C'est cette constatation qui avait permis d'affirmer, lors de l'étude des données relatives à l'hypothèse 3, que la différence, à première vue assez frappante, entre les types de représentations privilégiés par les filles et les garçons n'est en fait, dans notre population, qu'une différence apparente. L'analyse factorielle permet de montrer que les élèves de notre population ne perçoivent pas vraiment de différence entre une représentation de type «obstacle verbal» et une représentation de type «explication scientifique». Il semblerait que les élèves de notre population n'ont pas encore atteint le niveau de maturité cognitive leur permettant de faire la distinction entre une explication véritablement scientifique et une explication rédigée au moyen d'une terminologie se référant à une causalité circulaire ou sans véritable signification. En d'autres termes, il semblerait que les élèves jugent d'une façon semblable des explications scientifiques et certaines explications rédigées avec des «mots qui ont l'air savants», qui font généralement obstacle à la connaissance scientifique.

De plus, on peut remarquer aussi que, le long de ce même axe, le type «connaissance générale» est en opposition avec les types «obstacle verbal» et «explication scientifique». On peut interpréter ce résultat en supposant qu'un élève qui privilégie le nouveau type nommé «représentations évoluées», qui correspond à l'axe vertical, perçoit une distinction très nette entre les explications très générales d'une part - le type «connaissance générale» - et les explications qui lui semblent plus nuancées d'autre part - les types «obstacle verbal» et «explication scientifique».

Conclusion

La typologie des représentations premières de concepts en sciences physiques des élèves au début du secondaire comporte donc deux types: le type «représentations semi-évoluées» et le type «représentations évoluées».

Même si le classement des énoncés explicatifs effectué par les dix juges avait permis d'établir la plausibilité de l'existence des cinq types de représentations premières, et même si les choix simples effectués ensuite par un premier échantillon d'élèves parmi ces énoncés avaient montré qu'une majorité d'entre eux arrivaient à ne pas confondre ces cinq types, et donc confirmaient cette plausibilité, l'analyse factorielle appliquée à un deuxième échantillon d'élèves effectuant des choix selon une échelle de type Likert sur un extrait des mêmes énoncés, montre qu'il n'existe, parmi ces cinq types, que deux types statistiquement différents, le semi-évolué et l'évolué.

RÉFÉRENCES

- Ajar, D., Le problème de la détermination du nombre de facteurs en analyse factorielle, *Revue des sciences de l'éducation*, vol. 8, no 1, 1982, p. 45-62.
- Albert, E., Development of the concept of heat in children, *Science Education*, vol. 62, no 3, 1978, p. 389-399.
- Anderson, B. et C. Karrqvist, The Pupils' conceptions of light and its properties, *EKNA*, Rapport no 8, Stockholm, 1982.
- Anderson, B. et L. Renstrom, How Swedish pupils, age 12-15, explain science problems, *EKNA project*, Stockholm, 1982.
- Bachelard, G., *La formation de l'esprit scientifique*, Paris: Vrin, 1980.
- Champagne, A.B. et L.E. Klopfer, *Naive knowledge and science learning*, Document présenté au Congrès annuel de l'Association américaine des enseignants de physique, New York, 1983.
- Clément, J., Student's preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, vol. 50, no 1, 1982, p. 66-71.
- Driver, R., E. Guesne, et A. Tiberghien, *Children's ideas in science*, Philadelphie: Open University Press, 1985.
- Erickson, G. L., Children's conceptions of heat and temperature, *Science Education*, vol. 63, no 2, 1979, p. 221-230.
- Guesne, E., A. Tiberghien et G. Delacote, Méthodes et résultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique, *Revue française de pédagogie*, no 45, 1978, p. 25-32.
- Harman, H.H., *Modern factor analysis*, Chicago: The University of Chicago Press, 1967.
- Kim, J. et C.W. Mueller, *Factor analysis: statistical methods and practical issues*, Series: Quantitative applications in the social science, Beverly Hills: Sage University Paper, 1978.
- Leboutet, L., *L'enseignement de la physique*, Paris: Presses Universitaires de France, 1973.
- Markle, S.M. et P.W. Tiemann, *Really understanding concepts*, Illinois: Stipes Publishing Company, 1970.
- Nabahi, I., B. Tétréau et M. Trahan, *Étude des qualités d'une échelle de vérification*, Rapport présenté à la 7^e session d'études de l'Association des spécialistes de la mesure et de l'évaluation en éducation, Québec, 1984.
- Ruel, F., *Mise en évidence de quelques obstacles épistémologiques chez des élèves de niveau secondaire V*, Mémoire de maîtrise, Université Laval, 1982.
- Shayer, M. et H. Wylam, The development of the concepts of heat and temperature in 10-13 years old, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 18, no 5, 1981, p. 419-434.
- Tatsuoka, M.M., *Multivariate Analysis*, New York: John Wiley, 1971.
- Tyron, C.R. et D.E. Bailey, *Cluster analysis*, New York: McGraw-Hill, 1970.
- Van der Geer, J., *Introduction to multivariate analysis for the social sciences*, San Francisco: Freeman, 1971.
- Viennor, L., Les étudiants et Newton, *La recherche*, vol. 7, no 72, 1976, p. 980-983.