



Approches théorique et empirique de la causalité

John OGBORN

Department of Science Education
Institute of Education
University of London
20 Bedford Way
London WC1H 0AL

Résumé

La causalité est discutée de deux points de vue complémentaires : théorique et empirique. Dans la discussion théorique, nous nous élevons contre la position adoptée par Hume selon laquelle il n'existerait pas de causalité, et reprenons des idées issues des travaux de Piaget et des sciences cognitives pour développer une analyse de la causalité. Ce point de vue est appuyé par des arguments de nature linguistique. Nous décrivons ensuite plusieurs études empiriques du raisonnement causal intéressant l'enseignement des sciences. L'une teste une théorie causale des idées quotidiennes de force et de mouvement ; les autres explorent l'ontologie attribuée par des sujets à des entités quotidiennes ou scientifiques. Nous proposons enfin quelques dimensions ontologiques fondamentales.

Abstract

Causality is discussed from two complementary points of view : theoretical and empirical. The theoretical discussion attacks the position adopted by Hume that there is no such thing as causality. It takes ideas from Piaget and from Cognitive Science to present an analysis of causality in which action and

concrete models are important. This view is supported by arguments from linguistics. Several empirical studies of causal reasoning relevant to science education are described. One tests a causal theory of everyday ideas about force and motion. The others explore the ontology attribute by subjects to a number of entities, including everyday entities and others of interest in science. Some fundamental ontological dimensions are proposed.

1. L'EXPLICATION CAUSALE : PERSPECTIVES THÉORIQUES

Pour penser le raisonnement causal, on peut faire appel à différentes perspectives théoriques : perspectives philosophiques, point de vue piagétien sur la construction de l'intelligence, et quelques idées issues des sciences cognitives et de l'intelligence artificielle. On peut trouver également un appui dans la linguistique.

1.1. La perspective philosophique

Dans la pensée du sens commun, nous attribuons fréquemment aux personnes et aux objets un pouvoir causal par rapport aux événements. Depuis les travaux de David Hume, les philosophes sont fortement influencés par la critique bien connue de ce point de vue, critique qui réduit la causalité à la concomitance systématique des événements. Parmi les rares philosophes moins influencés par la critique humienne (on peut y inclure Bunge, Wartowski et Bhaskar), se trouve en particulier Harré :

“Pouvons nous réellement nier que nous percevons parfois vraiment que les vagues rongent la côte, que la hache fend le bois et que l'avalanche ravage le paysage ? Ronger, fendre et ravager sont clairement des concepts causaux. Un philosophe humien considère pourtant comme impossible la perception de l'action d'un pouvoir causal.”

(Harré & Madden, 1975 ; voir également Harré, 1986)

Bhaskar (1978) désigne très clairement les erreurs fatales de l'argumentation humienne.

Tout d'abord, elle repose sur une ontologie anthropocentrique dans laquelle l'expérience humaine, et non la matière, est la composante essentielle de la réalité. Pour Bhaskar, l'expérience ne constitue pas le bon type de matériau pour construire des objets matériels. Le monde existait et évoluait bien avant que les humains en aient l'expérience.

Par ailleurs, la concomitance systématique des événements n'est pas du tout usuelle dans l'expérience ; elle doit en général être laborieusement créée lors d'expérimentations soigneusement contrôlées. Les exemples que l'on donne habituellement, tels que le fait que le soleil se lève tous les jours

sans exception, sont pris parmi les cas particuliers d'objets interagissant faiblement avec d'autres.

Dans la plupart des cas, et justement à cause de la diversité des propriétés causales que possèdent les objets, un effet recherché est bloqué ou dissimulé par une autre action. Bacon avait raison de dire que la Nature révèle mieux ses secrets lorsqu'on la torture de façon ingénieuse par l'expérimentation. Si Hume avait raison, la logique de l'expérimentation deviendrait circulaire, créant des concomitances systématiques afin d'y croire.

De ces réflexions, nous pouvons conclure qu'il est parfaitement raisonnable d'accepter au moins l'intuition du sens commun pour laquelle personnes et objets ont la propriété de causer des événements, et par suite d'explorer les conséquences de cette assertion. Cet article présente quelques tentatives de suivre cette voie, de différentes manières.

Pour ce faire, il nous faut prendre l'ontologie beaucoup plus au sérieux qu'on ne le fait habituellement. Les philosophes des sciences ont été beaucoup plus préoccupés par les fondements de la vérité (l'épistémologie) que par la nature fondamentale des choses telle que la science la pense (l'ontologie). Mais si nous revenons à un monde constitué d'objets et à une science constituée de descriptions d'objets, par opposition à un monde construit par l'expérience directe, et une science faite de propositions concernant des expériences, nous devons prêter attention à ce que sont ces objets. Nous sommes conduits à rejeter les fameuses propositions ouvrant le *Tractatus* de Wittgenstein :

"Le monde est tout ce qu'il advient.

Le monde est la totalité des faits, non des choses."

et à réaffirmer le sens commun qu'il récuse :

"Le monde est tout ce qui est.

Le monde est la totalité des choses, non des faits."

1. 2. La perspective piagétienne

Dans son dernier travail, Piaget tentait de construire une logique des significations (Piaget & Garcia, 1987 ; voir également Piaget, 1971), en montrant comment une logique de la signification des objets et des actions est développée et sous-tend les développements cognitifs ultérieurs, incluant la logique.

Pour Piaget, les actions de l'enfant sont les matériaux essentiels pour la construction des significations. La signification attribuée à un objet a trois origines non indépendantes :

- ce qu'on peut lui faire,
- ce qu'il peut faire,
- ce dont il est fait (parties, constituants, relations).

Ces trois origines sont liées à l'action. "Ce qu'on peut lui faire" établit une relation entre la nature de l'objet et les actions que l'on peut exercer sur lui. "Ce qu'il peut faire" établit une relation entre l'objet et les actions qui peuvent lui être attribuées. "Ce dont il est fait" concerne les objets (Piaget & Garcia, 1987 ; voir également Ricco, 1990 ; Byrnes, 1992). Que pousser une balle la fasse rouler constitue une partie de la signification de "pousser" ; qu'une balle qui roule ait été poussée constitue une partie de la signification de "rouler". La balle elle-même a le sens de "quelque chose qui peut rouler et être poussé". "Pousser" implique "rouler" en ce qu'ils tirent une signification de ce qu'ils peuvent provoquer : le déplacement d'une balle. "L'implication significative" opère sur les significations des actions et des objets en les incluant l'une et l'autre comme des composantes essentielles. Ce que l'on peut prévoir est une conséquence naturelle de la manière dont on conçoit la nature des choses. Et la manière dont les choses agissent fait partie de leur conceptualisation.

La figure 1 illustre la structure de la conception piagétienne. Les actions et le mouvement sont essentiels. Des actions dérivent les objets, invariants dans l'action, et les causes, actions exercées sur les objets ; du mouvement dérivent l'espace, cadre invariant dans lequel s'effectuent les mouvements, et le temps, déroulement du changement.

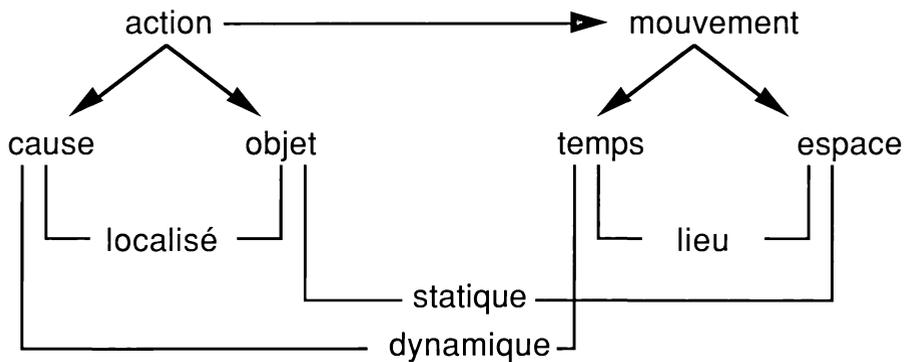


Figure 1 : Relations entre l'action et le mouvement et les catégories fondamentales de la pensée sur la réalité.

L'objet et l'espace reflètent les principaux aspects statiques du monde. Le temps et la cause reflètent les aspects dynamiques, changeants. Comme l'action, la cause et l'objet sont localisés, alors que le temps et l'espace sont les "lieux" dans lesquels les actions et les objets prennent place.

Ainsi, ce que nous pouvons retenir de Piaget est une explication d'une possible structure de base du raisonnement ontologique sur les objets et les

causes, et une manière de penser qui cherche les racines de l'explication causale dans les conceptions de la nature des choses : ce que l'on peut leur faire, ce qu'elles peuvent faire, et ce dont elles sont faites.

1.3. Points de vue issus des sciences cognitives

Les chercheurs cognitivistes n'ont pas eu beaucoup de complexes à attribuer une pensée causale aux personnes et à tenter de trouver des moyens de construire des systèmes artificiels qui utilisent de telles formes de pensée. Leurs efforts sont assez variés dans leur forme et leur but ; cependant nous pouvons en extraire quelques points de vue intéressants.

1.3.1. La tradition des modèles mentaux

Dans leurs explications de la vie quotidienne, les gens semblent être d'un irrémédiable réalisme naïf. Ils supposent que le monde est constitué d'objets physiques réels et d'événements se produisant vraiment, parmi lesquels ils se comptent eux-mêmes. Ils considèrent comme important qu'un événement se produise réellement ou non, ou qu'un objet existe réellement ou non.

Voilà le point de vue largement développé dans la tradition des modèles mentaux, où les aspects importants de la pensée sont considérés comme la manipulation mentale d'objets de pensée, par opposition aux processus symboliques ou logiques, suivant par exemple Johnson-Laird (1983, 1991) et Gentner & Stevens (1983) :

"... le raisonnement quotidien ne recourt pas à une logique comportant des règles formelles d'inférence. [...] Au contraire, les personnes raisonnent en élaborant une représentation des événements décrits par les prémisses." (Johnson-Laird, 1983)

Le travail sur les modèles mentaux consiste principalement à décrire comment les personnes conçoivent les objets et les événements, et à en étudier les conséquences sur leur compréhension du monde. Ce que sont ces conceptions peut avoir des conséquences radicales sur la recherche des causes. Par exemple, Wiser et Carey (1983) montrent comment les premiers chercheurs en thermodynamique furent naturellement conduits à rechercher les différents effets du "froid" suivant que ce froid provenait d'une source ou d'une autre. L'ontologie considérait le chaud et le froid, qui ne faisaient jadis qu'un avec la température, comme des propriétés spécifiques des objets particuliers ; aux sources de chaud et de froid étaient attribués des rôles causaux.

1.3.2. Imaginer (Envisioning)

De Kleer et Brown (1983, 1984) posent la question de ce qui est nécessaire à un système cognitif pour découvrir comment peut fonctionner un

système physique, par exemple une pompe. Ils voient quatre étapes dans ce processus :

- la représentation du système,
- l'imagination (envisioning) des types de fonctionnement possible,
- la simulation mentale d'un type de fonctionnement,
- la confrontation avec la réalité.

Ils supposent que le système cognitif (dans leur cas un programme informatique) possède un engagement ontologique de base : **tout événement a une cause**. Ils modélisent le raisonnement plutôt en termes de causalité que de **légalité**. Leur système peut même inventer des causes mythiques, élaborées pour maintenir une **cohérence ontologique**.

Le raisonnement causal repose selon eux sur deux principes fondamentaux :

- un principe de **localité** : la cause est structurellement proche de l'effet,
- un principe d'**asymétrie** : la cause précède l'effet.

Prenant appui sur les travaux de Bunge (1959), Gutierrez et Ogborn (1992), dans un article récent, y ajoutent :

- **la productivité** : s'il y a un effet, il y a une cause ;
- **la constance** : s'il y a une cause, il y aura un effet ;
- **l'unicité** : la même cause produit le même effet.

Hayes (1978, 1985) et Forbus (1983, 1985) offrent d'autres façons de penser dans la même direction. Schank (1986) offre un menu copieux, sinon digeste, de manières de voir comment les explications, y compris les explications causales peuvent être construites de façon créative par modification de l'ontologie affectée aux objets et aux événements.

1.4. Les apports de l'étude du langage

Les linguistes, particulièrement ceux qui étudient l'analogie et la métaphore, ont beaucoup à proposer quant aux besoins d'interprétation de la causalité et de l'explication causale. Lakoff et Johnson (1980) par exemple décrivent ce qu'ils nomment "*la Gestalt expérientielle de la causalité*", un schéma "prototypique" de relation causale directe qui a l'ensemble des caractéristiques suivantes :

- il y a un agent du changement,
- il y a un patient sur lequel l'agent agit,
- l'agent a pour but un certain changement du patient,
- l'agent possède un plan pour provoquer le changement,
- le plan exige une action motrice effectuée par l'agent,
- l'agent contrôle cette action motrice,
- l'agent dirige l'"énergie" vers le patient,

- l'agent touche le patient, directement ou à l'aide d'un instrument,
- le changement subi par le patient est perceptible,
- il y a un seul agent spécifique et un seul patient spécifique.

La ressemblance entre cette manière de voir et le schéma de De Klee et Brown (voir ci-dessus) est frappante. Andersson (1986) a tenté de développer la Gestalt expérientielle de la causalité pour obtenir une description unifiée de la diversité des représentations spontanées du changement physique.

La caractérisation par Rozier (1988) du raisonnement linéaire causal constitue une autre tentative utile d'analyse générale des schémas de raisonnement causal ; elle semble pouvoir être mise en relation avec le point de vue de Lakoff et Johnson, particulièrement en ce qui concerne le dernier item de la liste de caractéristiques précitées ci-dessus.

La notion de "prototype", issue des travaux de Rosch (1977) et développée par Lakoff (1987), est particulièrement féconde. Nous retrouvons la même idée dans la notion de "*primitives phénoménologiques*" développée par Di Sessa (1988) à propos de la causalité et des schémas de changement ; "*une pression crée un flux qui s'oppose à une résistance*" en est un exemple.

1.5. Vue d'ensemble théorique

On peut résumer les directions de compréhension de la causalité développées dans les perspectives théoriques précisées ci-dessus de la manière suivante.

1. Nous devons analyser la manière dont les gens conceptualisent les objets et les événements, en admettant que les pouvoirs causaux puissent être des propriétés intrinsèques d'un objet ou d'un événement.

2. Cette analyse doit être ontologique (plutôt qu'épistémologique). La conceptualisation des objets et des événements peut être approchée en posant les questions suivantes au sujet d'un événement :

- Que peut-il faire ?
- Que peut-on lui faire ?
- De quoi est-il fait ?

3. Nous devons nous attendre à ce que l'action humaine soit un modèle de référence pour les relations causales.

4. Des exemples spécifiques de relations causales peuvent seulement être comparés à un niveau assez profond et abstrait, qui a trait aux composantes essentielles de la pensée sur le monde physique.

5. La causalité n'est pas une catégorie (au sens où elle posséderait des critères de définition nécessaires et suffisantes) mais un prototype présentant un ensemble complexe de caractéristiques connectées par une compréhension élémentaire de la nature des choses.

2. ÉTUDES EMPIRIQUES

Cette partie décrit brièvement un certain nombre d'études empiriques récemment menées dans notre groupe de recherche et reprenant dans les grandes lignes le cadre théorique précisé ci-dessus. Ces études présentent une certaine diversité, dans leur but et leur nature ; toutes impliquent cependant, de différentes manières, des aspects de causalité.

2.1. Force et mouvement

Whitelock (1990, 1991) a mis à l'épreuve une théorie (Ogborn, 1985) des structures naïves de base de la compréhension des causes du mouvement. Cette théorie est fondée sur l'analyse des structures causales possibles, essentiellement :

- absence de cause
 - pas d'effet
 - l'événement se produit naturellement.
- présence d'une cause
 - la cause est un empêchement
 - elle empêche le changement
 - elle échoue à empêcher le changement
 - la cause provoque le changement
 - elle agit naturellement
 - elle agit "violemment"
 - elle est exercée par un agent extérieur / par l'entité sur elle-même
 - elle contrôle / elle initie
 - de "l'énergie" est consommée / n'est pas consommée.

L'analyse a été centrée sur la description de deux caractéristiques essentielles des causes du mouvement, à savoir "l'effort" et "le support". Ainsi "tomber" peut être décrit comme la conséquence d'une absence de support (qui empêche la chute) qui est la cause de ce qui se produit. "Marcher" peut être décrit comme dû à un effort interne de la chose qui se déplace, également supportée par le sol. Des exemples de neuf prototypes de mouvement, tels que marcher, voler, être poussé et être porté, ont été élaborés et représentés dans des bandes dessinées. Whitelock a demandé à des enfants de 7 à 16 ans d'indiquer sur une échelle à quatre degrés si les causes du mouvement étaient semblables ou différentes dans ces images prises deux à deux. Il a utilisé, avant l'expérimentation avec les élèves, le cadre théorique précisé ci-dessus pour évaluer chaque paire de prototypes, en les classant comme semblables ou différents suivant les caractéristiques indiquées. Ces classements théoriques, lorsqu'ils incluent le caractère vivant ou inanimé des objets,

permet de prévoir de façon assez satisfaisante les classements des enfants (taux de corrélation d'environ 0,8 entre les deux séries de classements).

Des études complémentaires par entretien (Bliss, Ogborn & Whitelock, 1989) ont contribué à établir que les termes "d'effort" et de "support", utilisés de façon cohérente avec le schème ci-dessus, permettent une interprétation raisonnable des manières dont les élèves, qu'ils aient suivi un enseignement de physique ou non, peuvent décrire les mouvements qui leur étaient présentés sous forme de bandes dessinées.

Ces idées ont, depuis, été reprises dans une perspective développementale de l'origine des notions de cause du mouvement dans la petite enfance (Bliss & Ogborn, 1990, 1992).

Law (1990) a étudié les idées des élèves concernant les causes du mouvement en leur faisant programmer (en PROLOG) des "systèmes-experts" simples qui décrivent le mouvement comme ils le voient. Les programmes ont pu être analysés du point de vue de la structure de base qu'ils présentaient. Une structure courante est le couple "agent - patient", comprenant deux objets : l'un fournit une substance qui assure la médiation de la cause (force) et l'autre qui en subit l'influence, ce qui entraîne son mouvement. Les propriétés de l'objet influencé modifient l'effet de la force sur l'objet. Law a également mis en évidence des formes de pensée prototypiques, dans lesquelles les mouvements et leurs causes sont souvent distingués par des ensembles de caractéristiques ; par exemple le mouvement est causé par le vent si le mouvement de l'objet est instable, si l'objet est léger et se déplace dans l'air au-dessus du sol.

Gutierrez et Ogborn (1992) ont utilisé explicitement les rubriques proposées par De Kleer et Brown (voir ci-dessus 1.3.2.) pour analyser les réponses d'élèves espagnols âgés de 13-14 ans d'une part, de 17-18 ans d'autre part, auxquels on avait demandé de décrire et d'expliquer des mouvements, présentés ici aussi sous forme de bandes dessinées. Nous avons trouvé des formes de raisonnement qui peuvent être interprétées dans les termes de De Kleer et Brown, et d'autres qui, bien que tendant initialement à s'accorder avec le schème du raisonnement linéaire causal de Rozier (1988), ont ensuite tendance à se complexifier en impliquant des formes de causalité circulaires et des causes indépendantes entrant en compétition. Nous avons essayé tout particulièrement de décrire les évolutions du raisonnement, plutôt que de caractériser différentes formes de raisonnement. Un type d'évolution particulier est l'invention de causes mythiques pour expliquer les contradictions dans une interprétation. Par ailleurs, les élèves ont tendance à examiner d'abord les agents causaux dynamiques, et seulement plus tard les causes structurelles (c'est-à-dire les contraintes).

2.2. Les études ontologiques

Dans une série d'études en cours, Mariani et Ogborn (1990, 1991, 1993) ont étudié quelques aspects fondamentaux du raisonnement à propos des objets physiques et des événements, en s'appuyant sur le point de vue piagétien rappelé au paragraphe 1.2.

Une première étude exploratoire (Mariani & Ogborn, 1990) a consisté à étudier la conservation en relation avec l'action. On a demandé à des élèves italiens de 14-15 ans et de 16-17 ans, à propos de trente-six entités, dont certaines, comme une horloge ou une rivière, étaient concrètes et quotidiennes, d'autres comme le système solaire ou une étoile, plus lointaines ; d'autres encore, comme un atome ou un électron, microscopiques ; d'autres encore, comme la lumière ou la chaleur, immatérielles ; d'autres enfin, comme la force ou l'énergie, conceptuelles ; si ces entités :

- pouvaient être en mouvement permanent,
- pouvaient fonctionner indéfiniment,
- ne pouvaient pas être créées ou détruites,
- ne pouvaient pas s'arrêter d'elles-mêmes,
- pouvaient produire quelque chose sans aide extérieure.

On a aussi demandé aux élèves de choisir pour chacune des caractéristiques ci-dessus l'entité qui représentait au mieux chacune des caractéristiques, et de justifier leurs choix en quelques mots.

Deux facteurs peuvent rendre compte des corrélations entre relations entités-caractéristiques :

- conservé / non conservé,
- source de changement / non source de changement.

Le soleil, une personne par exemple, apparaissent comme des sources de changement non conservées. Les objets quotidiens sont en général non conservés et ne sont pas des causes de changement. L'énergie est la principale entité à la fois conservée et source de changement. Les réponses écrites donnent un aperçu de la base de tels jugements. Ils reposent sur la possibilité d'une action causale. Des entités telles que l'espace, le temps, l'atome, sont considérées comme hors d'atteinte et donc conservés. Cette inaccessibilité à l'action peut apparaître pour deux raisons : par principe comme pour l'espace et le temps, et en pratique, comme pour l'atome (trop petit pour qu'on puisse agir sur lui) ou une étoile (trop lointaine pour qu'on puisse agir sur elle).

Ceci suggère que nous ne pouvons pas comprendre la causalité sans en même temps prêter attention aux aspects invariants du monde considérés comme inamovibles en général parce que les causes ne peuvent ni les atteindre, ni les toucher. L'action est impliquée dans la conservation aussi bien que dans la causalité.

Deux études ultérieures (Mariani & Ogborn, 1991, 1993 ; Mariani, 1992) ont utilisé une nouvelle méthodologie, développée pour mettre à l'épreuve

notre conviction qu'il est important d'étudier les ontologies fondamentales. Au lieu de demander aux élèves, comme on le fait habituellement, à propos d'une entité ou d'un concept X : "Que pensez-vous de X ? Qu'est-ce que c'est que X pour vous ?", nous avons élaboré une liste des questions ontologiques très élémentaires, comme :

- Pouvez-vous le toucher ?
- Pouvez-vous le voir ?
- Pouvez-vous le détruire ?
- Pouvez-vous l'arrêter ?
- Peut-il agir par lui-même ?
- Peut-il se déplacer ?
- Peut-il provoquer des changements ?
- Existe-t-il sans rien faire ?
- Est-il réel ?
- Est-il seulement dans l'esprit ?
- Peut-on le trouver dans des lieux particuliers ?
- Est-il partout ?

Dans Mariani & Ogborn (1991) et Mariani (1992), nous avons développé une liste de soixante questions de ce genre (avec pour certaines quelques variations) groupées sous les trois rubriques mentionnées précédemment : Que peut-on lui faire ? Que peut-il faire ? De quoi est-il fait ? A quoi ressemble-t-il ? Ces questions ont d'abord été posées à des élèves brésiliens de 16 à 18 ans à propos de neuf entités conceptuelles importantes en science : matière, énergie, temps, espace, mouvement, chaleur, lumière, son, force.

Plus tard (Mariani, 1992), le nombre d'entités a été étendu et les groupes d'âge des sujets interrogés élargis pour aller d'élèves de 8-10 ans jusqu'à des étudiants en licence de physique.

Les résultats sont cohérents d'un âge à l'autre et malgré des variations sur les entités avec quatre facteurs qui peuvent être interprétés comme :

- statique / dynamique
- lieu / localisation
- cause / effet
- discret / continu.

En utilisant les scores factoriels ou les coordonnées multi-dimensionnelles, nous pouvons placer les questions et les entités dans "l'espace ontologique" à quatre dimensions comme le montre la figure 2.

Nous pouvons remarquer, premièrement, que la causalité apparaît comme une dimension fondamentale de l'ontologie. Ceci est présent dans la pensée des élèves et est utilisé pour distinguer les entités. Nous pouvons noter, deuxièmement, qu'elle est construite de manière très particulière. C'est seulement dans la région dynamique, localisée, de l'espace (le coin en bas à gauche de la figure 2) que la distinction cause / effet opère. Seules les entités

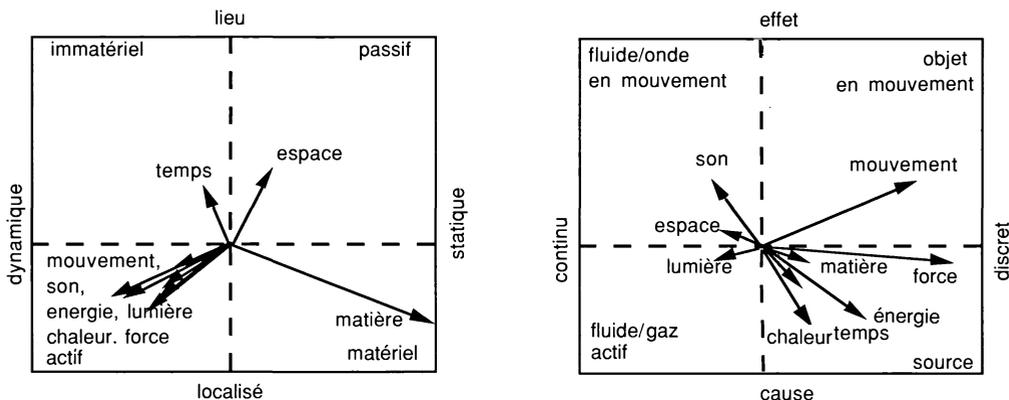


Figure 2 : Les entités dans l'espace ontologique

se trouvant dans ce coin sont distinguées sur les deux dernières dimensions indiquées ci-dessus. Ainsi la cause et l'effet sont tous deux considérés comme dynamiques et localisés, par opposition par exemple à la matière et aux objets matériels (statiques et localisés), l'espace (statique et comme un lieu), ou le temps (dynamique et comme un lieu).

Les causes varient également suivant leur caractère discret ou continu. Energie et force sont considérées comme des causes discrètes, mais la lumière est considérée comme cause mais aussi comme étendue et comme fluide. Le son est considéré aussi comme fluide mais davantage comme un effet que comme une cause.

Il ne faudrait pas considérer que ces catégories ontologiques sont rigides et immuables. Elles fonctionnent non pas tant comme des catégories déterminées dans lesquelles les entités restent, que comme l'argile conceptuelle avec laquelle on peut se former une idée d'une entité. Ainsi, pour certains étudiants, l'énergie change de place dans l'espace ontologique, en étant considérée, ainsi que la lumière, comme une substance fluide répartie. De façon analogue, les élèves peuvent envisager des dimensions superposées, par exemple, en imaginant l'espace comme matériel.

Dans un travail récent (Mariani & Ogborn, 1993), nous avons commencé à étudier l'ontologie des événements plutôt que celle des objets. Dans une étude préliminaire, nous avons posé à nouveau une large palette de questions ontologiques élémentaires, modifiées pour s'adapter aux événements mais choisies essentiellement comme décrit ci-dessus. Les principales modifications concernent les buts et les finalités. Environ soixante questions ont été posées sur trente événements comprenant des événements de la vie quoti-

dienne (comme un objet qui se casse), des événements scientifiques (comme une réaction chimique), des événements permanents (comme la rotation de la Lune autour de la Terre ou l'été) et des événements abstraits comme le fait de penser. Deux groupes ont été utilisés : des professeurs de l'école primaire et des élèves de 15-16 ans, l'un et l'autre en Grande-Bretagne.

En l'occurrence, nous avons mis en évidence quatre dimensions claires et interprétables, la causalité jouant même un plus grand rôle ¹. Dans l'ordre d'importance, nous avons trouvé dans cette analyse les facteurs suivants :

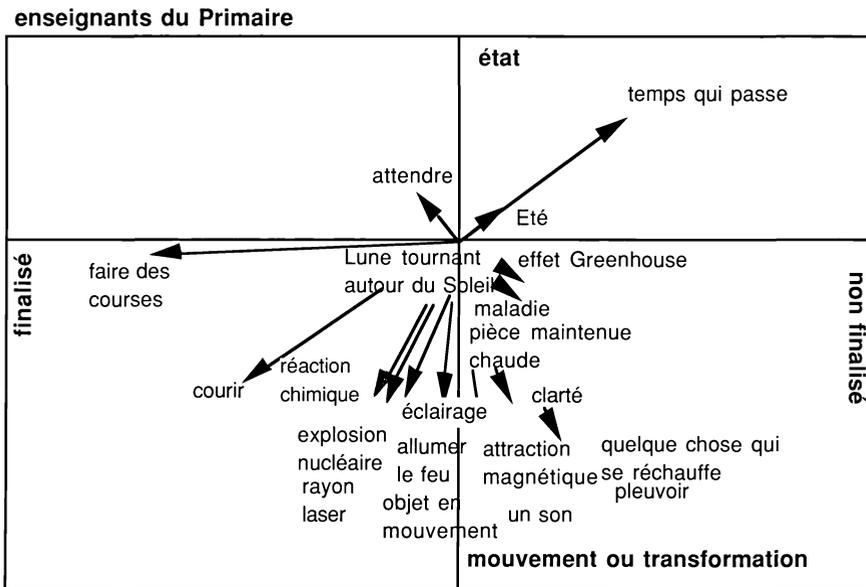
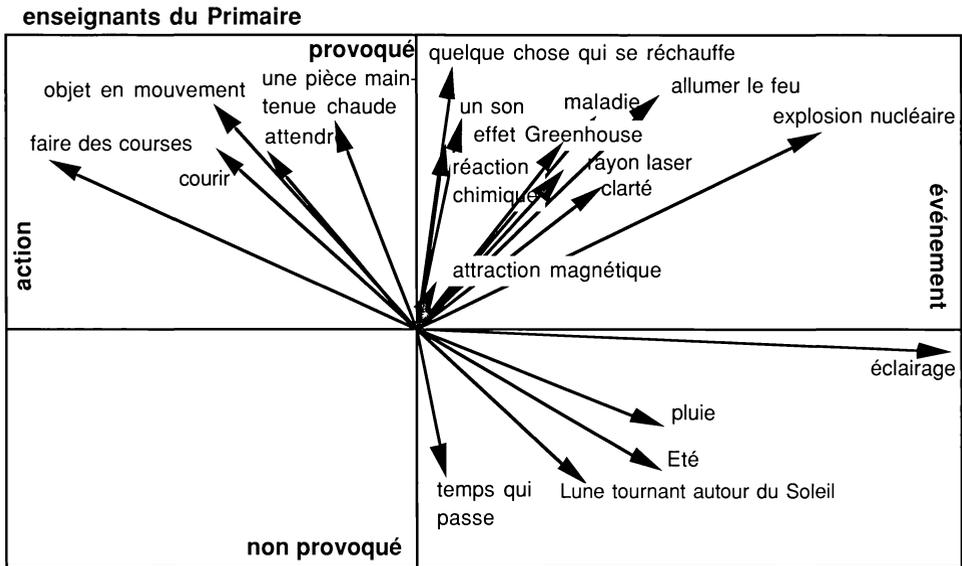
- provoqué / non provoqué
- événement / action
- état / transformation
- finalisé / non finalisé.

Les figures 3a et 3b montrent la place des événements dans cet espace ontologique commun pour chacun des groupes étudiés. Tous les événements n'ont pas été proposés aux deux groupes mais nous voyons que lorsque les mêmes événements leur ont été présentés, leurs positions dans l'espace sont en général assez semblables. On voit quelques différences mineures intéressantes. Par exemple, le temps qui passe est considéré par chacun des groupes comme un événement sans cause, mais davantage comme une action par les élèves plus jeunes et plutôt comme un événement par les enseignants. Les enseignants le considèrent aussi plus fortement que ne le font les élèves plus jeunes comme un état sans but.

Trois des quatre dimensions sont très semblables en nature à celles des objets. La dimension cause-effet des objets se divise en deux : provoqué / non provoqué et action (cause) / événement (effet). Ceci paraît refléter la double possibilité pour un événement d'être un initiateur ou un résultat (ou les deux). Ainsi un événement peut ne pas avoir de cause lui-même, mais être la cause d'un autre événement. Une telle ontologie s'accorde bien avec l'élaboration de chaînes causales, en "crochetant" d'autres événements aux deux extrémités d'un maillon d'une chaîne.

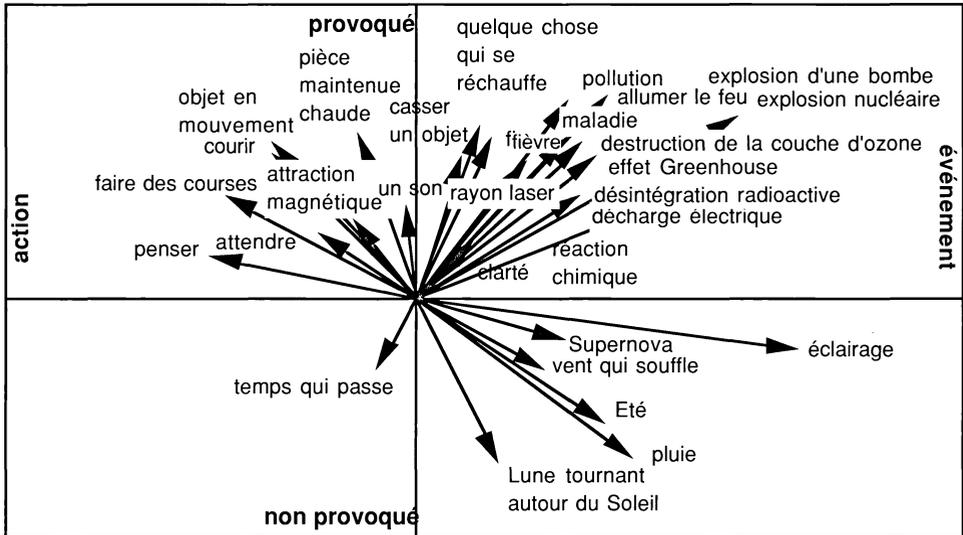
La dimension état / transformation pour les événements est analogue à la dimension lieu / localisé pour les objets. Un événement qui est plutôt statique et persistant, comme le temps qui passe ou l'été, ou qui est cyclique et persistant, comme la Lune tournant autour de la Terre, est considéré d'une certaine façon comme un événement au sein duquel on se trouve. Au contraire, les événements tels que le déplacement d'un objet sont considérés comme un changement d'une entité localisée.

1. Une réanalyse récente modifie légèrement ces résultats, sans en changer l'essentiel.

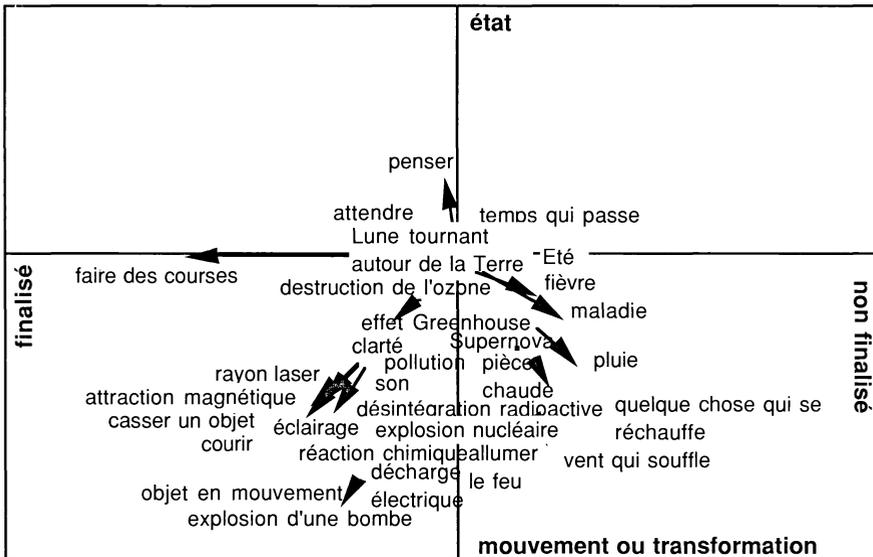


Figures 3a : L'espace ontologique des événements (enseignants du Primaire)

élèves de 14-16 ans



élèves de 14-16 ans



Figures 3b : L'espace ontologique des événements (élèves du Secondaire)

2.3. Énergie et action causale

Nicholls et Ogborn (1993) ont réalisé une petite étude de l'ontologie spécifique de l'énergie. Cela vaut la peine de l'évoquer ici brièvement, ainsi qu'une étude ultérieure non publiée. L'une et l'autre montrent que l'énergie est considérée suivant une dimension source / consommateur, ce qui peut être compris comme la même idée que celle exprimée dans la Gestalt expérimentelle de la causalité de Lakoff et Johnson (voir paragraphe 1.4).

La seconde étude (non publiée) pose spécifiquement la question de savoir si certains événements ont une cause en demandant en même temps comment ils impliquent l'énergie. L'existence d'une cause s'avère fortement associée avec l'idée de la nécessité de l'énergie dans un événement. Des groupes allant d'élèves de l'école primaire à des adultes scientifiquement informés donnent des profils de réponses semblables de ce point de vue, mais différant par exemple en ce qu'ils considèrent ou non l'énergie comme consommée.

3. CONCLUSIONS

On doit admettre que le travail théorique et empirique décrit ici est de nature tout-à-fait exploratoire, et qu'il est prématuré de présenter des conclusions fermes ou claires. Ce qu'il nous semble suggérer est que les études de l'ontologie des choses, de la manière dont elle est comprise par les gens et dont elle est utilisée dans leur raisonnement, et où la causalité joue un rôle important et parfois dominant, peut au moins suggérer des voies de compréhension de ce raisonnement.

Une telle compréhension fonctionne à un niveau quelque peu abstrait, et il n'est pas du tout évident que les gens soient conscients des catégories ou prototypes qu'ils utilisent (bien que Mariani (1992) ait pu montrer que lorsqu'on leur demande explicitement de situer les entités selon les dimensions qui ont émergé de l'analyse statistique, les gens font essentiellement les mêmes choses que celles que l'analyse a livrées).

Ce qui semble émerger de façon consistante est :

1. l'importance de l'action, comme modèle de relation causale et comme mise à l'épreuve de la conservation ;
2. l'importance du mouvement comme modèle de changement ;
3. l'importance d'une dimension du type objet / espace, qui considère le monde comme des entités localisées dans des lieux, mais où le "lieu" est généralisé de façon à inclure des événements et le temps aussi bien que l'espace. La cause est fondamentalement localisée ;

4. le caractère fondamental de l'action causale comme élément de raisonnement non détaché des objets et des événements, mais considérée comme une partie essentielle de leur signification.

Dans la suite de ces idées, une nouvelle tâche intéressante consisterait à étudier leur utilisation dans le raisonnement analogique (voir par exemple Vosniadou & Ortony, 1989). Une autre serait d'analyser comment les changements ontologiques dans la science elle-même peuvent éclairer l'histoire des sciences et être également source de difficultés pour les étudiants. Un exemple serait Newton, qui détruisit fondamentalement l'ontologie antérieure du mouvement en annonçant qu'il n'avait pas de cause, alors que le mouvement était le paradigme de l'effet d'une cause. Un autre exemple est Copernic, qui fit voyager la Terre dans l'espace ontologique, en la faisant passer d'un lieu statique dans lequel nous vivons à un objet dynamique, localisé, voyageant comme n'importe quel caillou. A ce point de l'histoire des sciences nous voyons les physiciens travailler dans l'ontologie quotidienne, mais en même temps lui donner de nouvelles significations. Et c'est ainsi, après tout, que Piaget voyait fonctionner notre esprit.

BIBLIOGRAPHIE

ANDERSSON B. (1986). The experiential Gestalt of causation : a common core to pupil's preconceptions in science. *European Journal of Science Education*. 8, 3, pp. 155-171.

BHASKAR R. (1978). *A realist view of science*. New Jersey, Hassocks.

BLISS J., OGBORN J. & WHITELOCK D.M. (1989). Secondary school pupils' commonsense theories of motion. *International Journal of Science Education*. 11, 3, pp. 261-272.

BLISS J. & OGBORN J. (1990). *A psycho-logic of motion*. *European Journal of Psychology of Education*. V, 4, pp. 379-390.

BLISS J. & OGBORN J. (1992). Steps towards the formalisation of a psychology of motion. In Tiberghien A. & Mandl H. (Eds), *Intelligent Learning Environments and Knowledge Acquisition in Physics*. Berlin, NATO ASI Series, Springer Verlag.

BUNGE M. (1959). *Causality : the place of the causal principle in modern science*. Cambridge MA, Harvard University Press.

BYRNES J. (1992). Meaningful logic : Developmental perspectives. In Beilin H., Pufall P. (Eds), *Piaget's theory : prospects and possibilities*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.

DE KLEER J. & BROWN J.S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In Gentner & Stevens (Eds), *Mental models*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.

DE KLEER J. & BROWN J.S. (1985). A qualitative physics based on confluences. In Hobbs & Moore (Eds), *Formal theories of the commonsense world*. New York, Ablex.

DI SESSA A. (1988). Knowledge in pieces. In Forman G. & Pufall P. (Eds), *Constructivism in the computer age*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.

FORBUS K. (1983). Qualitative reasoning about space and motion. In Gentner & Stevens (Eds), *Mental models*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.

FORBUS K. (1985). The role of qualitative dynamics in naive physics. In Hobbs & Moore (Eds), *Formal theories of the commonsense world*. New York, Ablex.

GENTNER D. & STEVENS A.L. (Eds) (1983). *Mental models*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.

GUTIERREZ R. & OGBORN J. (1992). A causal framework for analysing alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 14, 2, pp. 201-220.

HARRE R. (1986). *Varieties of realism*. Oxford, Blackwell.

HARRE R. & MADDEN E.H. (1975). *Causal Powers : a theory of natural necessity*. Oxford, Blackwell.

HAYES P. (1978). The naive physics manifesto. In Michie D. (Ed), *Expert systems in the micro-electronic age*. Edinburgh, University of Edinburgh Press.

HAYES P. (1985). The second naive physics manifesto. In Hobbs & Moore (Eds), *Formal theories of the commonsense world*. New York, Ablex.

JOHNSON-LAIRD P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge University Press.

JOHNSON-LAIRD P.N. & BYRNE M.J. (1991). *Deduction*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.

LAKOFF G. & JOHNSON M. (1981). *Metaphors we live by*. Chicago, University of Chicago Press.

LAKOFF G. (1987). *Women, fire and dangerous things : what categories reveal about the mind*. Chicago, University of Chicago Press.

LAW N. (1990). *Eliciting and understanding commonsense reasoning about motion*. PhD Thesis, University of London.

MARIANI M-C. & OGBORN J. (1990). Commonsense reasoning about conservation : the role of action. *International Journal of Science Education*, 12, 1, pp. 51-66.

MARIANI M-C. & OGBORN J. (1991). Towards an ontology of commonsense reasoning. *International Journal of Science Education*, 13, 1, pp. 69-85.

MARIANI M-C. (1992). *Some dimensions of commonsense reasoning about the physical world : an empirical study of the structure of students' conceptualisations*. PhD Thesis, University of London.

MARIANI M-C. & OGBORN J. (1993). *Actions and the understanding of events*. Project Report to The Leverhulme Trust (unpublished).

NICHOLLS G. & OGBORN J. (1993). Dimensions of children's conceptions of energy. *International Journal of Science Education*, 15, 1, pp. 73-81.

OGBORN J. (1985). Understanding students' understandings : an example from dynamics. *European Journal of Science Education*, 7, 2, pp. 141-150.

PIAGET J. (1971). *Les explications causales*. Paris, Presses Universitaires de France.

PIAGET J. & GARCIA R. (1987). *Vers une logique des significations*. Genève, Murionde.

RICCO R. B. (1990). Necessity and the logic of entailment. In Overton W. F. (Ed), *Reasoning, necessity and logic : developmental perspectives*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.

ROSCH E. (1977). Human categorisation. In Warren N. (Ed), *Advances in cross-cultural psychology*, 1. New York, Academic Press.

ROZIER S. (1988). *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique élémentaire*. Thèse Université Paris VII.

SCHANK R. (1986). *Explanation patterns*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.

VOSNIADOU S. & ORTONY A. (1989). *Similarity and analogical reasoning*. Cambridge University Press.

WHITELOCK D.M. (1990). *Commonsense understanding of causes of motion*. PhD Thesis, University of London.

WHITELOCK D. M. (1991). Investigating a commonsense model of causes of motion with 7 to 16 year old pupils. *International Journal of Science Education*, 13, 3, pp. 321-340.

WISER M. & CAREY S. (1983). When heat and temperature were one. In Gentner & Stevens (Eds), *Mental models*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.