



HAL
open science

Dessin et discours : construction de la représentation de la causalité du monde physique

Frank Jamet, Denis Legros, Béatrice Pudelko

► To cite this version:

Frank Jamet, Denis Legros, Béatrice Pudelko. Dessin et discours : construction de la représentation de la causalité du monde physique. *Intellectica - La revue de l'Association pour la Recherche sur les sciences de la Cognition (ARCo)*, 2004, 38, pp.103 - 137. 10.3406/intel.2004.1710 . hal-04085937

HAL Id: hal-04085937

<https://hal.science/hal-04085937>

Submitted on 27 May 2023

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.

Dessin et discours : construction de la représentation de la causalité du monde physique¹

Frank Jamet*, Denis Legros*, Béatrice Pudelko[◇]

Résumé : Nous étudions dans cette recherche les relations entre les représentations mentales d'un artefact et leurs représentations symboliques sous forme dessinée et sous forme langagière. Notre but est d'analyser le développement du raisonnement causal qui est à la base de ces différents types de représentations. Les études conduites sur le raisonnement causal ont accordé peu d'importance aux productions langagières. Nous proposons un cadre théorique qui intègre d'une part les travaux sur le rôle de la causalité du monde physique et de la causalité intentionnelle dans la construction des connaissances et, d'autre part les recherches sur le développement des compétences langagières sur la causalité. Ce cadre théorique se fonde sur une analyse des travaux piagétiens sur la construction des relations causales dans la représentation des dispositifs mécaniques. Les premières données expérimentales mettent en évidence l'intérêt de la mise en cohérence de ces paradigmes pour la recherche et les développements.

Mots clés : causalité, causalité intentionnelle, causalité du monde physique, raisonnement causal, représentations symboliques de la causalité

Abstract: **Physical causality psychological causality.** In the present article, we study the relationships between mental representation of an artefact and its symbolic representation in drawing and in linguistic form. Our aim is to analyse the development of causal reasoning on the basis of these different types of representation. Previous studies of causal reasoning do not usually accord any great importance to the verbal nature of the reply. We propose a theoretical framework which combines, on

* M.C.F. IUFM Académie de Rouen, (équipe CoDitexte), Cognition, Raisonnement & Didactique EA 2035, Université de Paris VIII

• Pr. IUFM Académie de Créteil, (équipe CoDitexte), Laboratoire FRE CNRS 2627 Usages et Cognition, Université de Paris VIII, legros.denis@chello.fr

◇ Doctorante, (équipe CoDitexte, IUFM Créteil), Laboratoire FRE CNRS 2627 Usages et Cognition, Université de Paris VIII, Assistante de recherche, Licef, Télé-université de Montréal

¹ Cette recherche s'inscrit dans le cadre du projet cognitif N°38 « Etude des systèmes et des outils multimédias sur la lecture, la compréhension, la production de textes et la construction des connaissances. Implications sur l'apprentissage et l'enseignement »

one hand, the research into the role of causality in the physical world and intentional causality in the construction of knowledge and, on the other hand, the research into the development of linguistic skills in the field of causality. This theoretical framework is based on an analysis of Piaget's work on the construction of causality relations in the representation of mechanical systems. The results highlight the importance of organising a certain consistency in these paradigms for future research into their development.

Key words: causality, intentional causality, causality of the physical world, causal reasoning, symbolic representation of causality.

INTRODUCTION

Quelles sont les relations entre les représentations mentales d'un artefact et leurs représentations symboliques sous forme dessinée et sous forme langagière ? Comment ces différents types de représentation qui s'appuient sur le raisonnement causal se mettent en place et évoluent en fonction du développement de l'enfant ?

Pour engager la réflexion, il nous a semblé intéressant de lier deux domaines de la recherche : le développement du raisonnement causal et la sémantique cognitive et, plus particulièrement, l'analyse en systèmes. En effet, l'examen des études conduites sur le raisonnement causal montre que peu d'importance est accordée aux productions langagières. L'analyse en système fournit un cadre qui permet de prendre en compte les deux domaines. Notre chapitre s'organise comme suit : (1) nous proposons une revue des travaux conduits sur le rôle de la causalité du monde physique et (2) de la causalité intentionnelle dans la construction des connaissances. Nous présentons ensuite (3) une synthèse des recherches sur le développement des compétences langagières sur la causalité et (4) une analyse des travaux conduits depuis Piaget sur la construction des relations de causalité dans la représentation des dispositifs mécaniques (5). Nous proposons quelques premières données expérimentales qui permettent de souligner l'intérêt de la mise en cohérence de ces travaux pour la recherche et les développements.

Depuis les travaux des pionniers de l'étude psychologique de la causalité, Piaget (1924 ; 1927), Heider et Simmel (1944), Michotte (1954), de nombreux chercheurs ont tenté d'analyser ce « ciment cognitif » (Mackie, 1974) de la connaissance à travers l'étude des mécanismes cognitifs qui permettent à l'être humain de se représenter les régularités causales de son environnement. Ces recherches ont soulevé de nombreuses questions sur la nature des processus de raisonnement et de compréhension impliqués dans le traitement cognitif des relations de la causalité du monde physique. En effet, notre compréhension du monde et, plus particulièrement, des transformations qui lui sont intrinsèques, consiste, pour une large

part, dans notre aptitude à regrouper les occurrences des événements successifs dans des unités cohérentes. Pour découper de cette façon le monde et ses objets, nous nous basons essentiellement sur notre tendance à percevoir et à inférer les relations de cause à effet. Cette tendance cognitive forte semble dominer nos activités de traitement des informations sur le monde physique. Elle nous permet d'apprendre non seulement comment les choses fonctionnent, mais aussi comment utiliser nos connaissances sur leur fonctionnement de façon à prédire, influencer et expliquer le bon déroulement et les perturbations du « cours habituel des choses ». Dans cette intention, nous apprenons, dès notre enfance, à quelles conditions quelles actions peuvent être appliquées sur quels objets, i.e. comment produire les effets désirables et éviter les effets indésirables de ces actions.

Dans cet article, nous tentons de répondre à trois questions : être capable de produire un dessin représentant un dispositif mécanique ainsi que ses composantes et les relations entre ses composantes signifie-t-il que l'on dispose d'une représentation mentale cohérente qui permette de produire un texte décrivant le fonctionnement de ce dispositif ? Quels sont les liens entre les activités de raisonnement sur un système physique et les activités de production d'un dessin et/ou d'un texte décrivant ce même phénomène ? Comment ces activités évoluent-elles en fonction de l'âge ?

1. LE DÉVELOPPEMENT DE LA CAUSALITÉ PHYSIQUE

1.1 Piaget et la pensée précausale

Les premières recherches de Piaget sur la causalité (1926, 1927) ont porté sur les conceptions des enfants des différents phénomènes naturels (vent, astres, nuages, courants d'eau, pesanteur) et des mécanismes (bicyclette, moteur à vapeur). Contrairement à la thèse associationniste et empiriste de Hume, Piaget conçoit la connaissance causale comme une construction active, basée sur les expériences internes et les expériences externes dont le statut différent évolue durant le développement de l'enfant. En effet, selon Piaget (1927, 1971), les impressions perceptives seraient inexplicables, si elles ne faisaient pas appel à des opérations de construction permettant de lier les indices visuels, les perceptions tactilo-kinesthésiques et l'action sensori-motrice. Le noyau de la connaissance causale est constitué par l'activité propre du sujet, et son développement consiste en une différenciation progressive entre la causalité physique (mécanique et rationnelle) et la causalité intentionnelle. La

conception piagétienne se rapproche de celle de Maine de Biran² selon laquelle nous aurions une expérience directe de notre propre causalité de laquelle dériveraient toutes les idées de force ou de cause. Mais, selon la conception piagétienne, le monde de l'enfant est d'abord indifférencié, et la frontière entre le moi et le non moi est floue « Tout se passe comme si l'enfant commençait par prêter des forces à tous les corps et comme s'il finissait seulement par découvrir en lui le moi qui est la cause de sa propre force » (Piaget, 1927, p. 142).

Selon l'hypothèse piagétienne, l'élaboration de la causalité s'effectue en interaction continue avec le développement des opérations : « La causalité consiste en un système de transformations non directement observables, rendant compte des variations par un processus déductif analogue à la construction opératoire, mais aboutissant à la construction d'un modèle attribué aux objets » (Piaget, 1971, p. 20). Pour Piaget (1971), cette interaction est la condition sine qua non de l'adéquation des constructions logico-mathématiques du sujet au réel, autrement dit, la garantie de la correspondance des structures de l'intelligence du sujet et des structures du monde. Ainsi, le développement de la pensée causale progresse en interaction avec le développement général de l'intelligence et suit le mouvement général de stades. L'ensemble de ses travaux sur le développement de la pensée causale lui a permis de proposer une loi d'évolution de la pensée causale, qui décrit le passage progressif des structures primitives de la pensée « pré-causale » (qui présente une parenté certaine avec la pensée pré-logique de Lévy-Bruhl) vers des structures de représentation supérieures, et dont le degré ultime de développement correspond à la pensée logique conforme aux principes de causalité scientifique. Cette complexification croissante de la représentation de la causalité physique reposerait, selon Piaget, sur trois processus fondamentaux.

Le premier processus est caractérisé par une imprégnation d'éléments subjectifs dans les explications causales : « il y a indifférenciation entre la motivation et la causalité physique ou entre l'activité musculaire et manuelle et l'action mécanique » (Piaget, 1927, p. 302). Le deuxième processus consiste en la constitution de séries dans le temps, le temps étant la marque spécifique de la structure causale de l'objet. Le troisième processus se caractérise par l'établissement progressif de structures opératoires du sujet qui sont des « transformations opératoires comparables aux transformations causales, mais consistant en constructions formelles et non pas en

² Maine de Biran: la vie intérieure. Textes choisis et présentés par B. Bégout. Paris, Payot & Rivages, « Petite bibliothèque Payot: classique », 1995, 307 pp.

effets matériels. En ce sens, elles sont plus pauvres que les structures causales des objets, puisque tout ce qui dépend du temps est éliminé. Mais elles sont par ailleurs enrichies d'autant, puisque l'élimination de la cinématique et de la dynamique temporelles est ipso facto une ouverture sur le monde infini des possibles » (Piaget et Garcia, 1971, p. 126).

Selon Piaget (1927), la pensée précausale (3-11 ans) recouvre différents types d'explications causales (il en dénombre 17), qui commencent avec la « causalité phénoméniste », « de « ressemblance », « magique », ou « morale » et qui consistent à relier deux éléments, quels qu'ils soient, dès qu'ils sont contigus dans l'espace et dans le temps et dès que l'enfant en éprouve la nécessité. Le phénoménisme, par exemple, consiste à établir un lien de causalité entre les phénomènes contigus dans l'espace ou dans le temps, ou entre des faits qui possèdent, aux yeux du sujet, une ressemblance ou une parenté quelconque (ainsi la couleur d'un objet en explique la flottaison). Plus tard, les justifications formulées par les individus sont de type « artificialiste », « finaliste », « animiste » et « dynamique ». Elles sont fondées sur l'attribution d'un but prédéfini aux phénomènes naturels ou basées sur l'activité humaine « fabricatrice ». Au cours de cette période, la réalité se (re)présente comme un ensemble organisé suivant des plans pré-définis et presque toujours centrés sur l'activité humaine. Chaque objet est doté d'attributs fonctionnels, qui, à eux seuls, fournissent une motivation pour son existence et ses propriétés (ainsi, le bateau flotte pour transporter les gens d'un pays à l'autre).

L'approche piagétienne de la causalité a fait l'objet de nombreuses critiques qui portent en particulier sur la pertinence de la description des différentes formes de la pensée précausale (Stern, 1928). Johnson et Josey (1932) ne retrouvent ni animisme, ni finalisme, ni artificialisme, ni égocentrisme chez les enfants de 6 ans. Askar (1932) ne découvre que quelques rares exemples de pensée animiste. Isaacs (1930), à partir de simples observations, constate que la précausalité est tout à fait exceptionnelle chez l'enfant. Par ailleurs, les différentes formes de pensée causale s'avèrent fortement dépendantes des domaines de connaissances (Dennis, 1953 ; Deutsche, 1937 ; Huang, 1930, 1943), et de l'ordre de leur construction (Bühler, 1930). L'ensemble de ces critiques a conduit les chercheurs à abandonner progressivement la distinction entre la pensée pré-causale typique de l'enfant et la pensée causale typique de l'adulte et à émettre l'hypothèse d'une différence de l'explication causale provenant d'une différence des connaissances sur le domaine et des processus de raisonnement mis en jeu (Hazlitt, 1930 ; Huang 1943).

Cependant, abandonner la distinction entre la pensée pré-causale de l'enfant et la pensée causale de l'adulte n'a constitué qu'une étape dans la recherche sur ce qui semble constituer le véritable problème

de la causalité, et qui est celui de la différenciation entre causalité intentionnelle et la causalité physique.

1.2. Michotte et la causalité phénoménale (perçue)

Selon Michotte, l'expérience du monde phénoménal n'est pas une simple juxtaposition de « pièces détachées », mais « un ensemble de choses qui agissent les unes sur les autres ou les unes par rapport aux autres » (Michotte, 1954, p. 1). Nous pouvons avoir une impression spécifique et directe de la causalité, à savoir que l'on peut voir un objet « agir » sur un autre objet, ou encore y « produire » certains changements.

Les recherches expérimentales de Michotte ont consisté à projeter sur un écran des images d'objets en mouvements, en faisant varier la couleur, la forme et la grandeur des objets ; la vitesse et la direction des mouvements, l'amplitude des trajectoires, l'intervalle temporel. Il demandait aux sujets adultes de décrire verbalement ce qu'ils voyaient. Il a constaté que, dans leurs réponses, ils utilisaient les verbes exprimant des relations causales : lancer, tirer, pousser... Il constate ainsi que les deux situations expérimentales, le Lancement (l'objet A entre en collision avec l'objet B, B se met en mouvement alors que A s'arrête) et l'Entraînement (l'objet A entre en collision avec l'objet B, et les deux se meuvent sur des trajectoires parallèles), conduisent typiquement les sujets à faire part d'une impression causale, considérée par Michotte comme « un donné phénoménal comme tel, qui possédait dans des conditions expérimentales appropriées, un caractère spécifique justifiant l'emploi de désignations causales » (Michotte, 1954, préface). Michotte en conclut que les deux mouvements ne constituent pas deux événements séparés, mais deux phases d'un même événement global qui se développe progressivement. Par conséquent, la causalité fait partie intrinsèque de la perception de l'événement en question. Cette impression causale forme la base à partir de laquelle s'édifie la notion clairement définie de la causalité.

Suivant la perspective phénoménologique de Michotte, les réponses des sujets, malgré leur caractère verbal, ne renvoient pas à une représentation symbolique, fruit d'une inférence ou d'une signification ajoutée à une perception de mouvement, mais bien à une donnée phénoménale directe : une saisie directe de la structure causale de l'événement perçu. Cependant, Michotte reconnaît que cette impression de l'immédiateté de la causalité n'apparaît aux sujets qu'après plusieurs présentations successives. Selon les auteurs qui ont répliqué certaines expériences de Michotte (Gruber, Fonk & Damn, 1957 ; Gemelli & Cappellini, 1958 ; Powesland, 1959), seulement la moitié des sujets perçoivent la causalité immédiatement, et, par conséquent, la perception de la causalité dépendrait à la fois du dispositif expérimental et des connaissances mises en jeu par les sujets.

2. CAUSALITÉ PHYSIQUE ET CAUSALITÉ INTENTIONNELLE

Plus récemment, plusieurs chercheurs se sont intéressés aux connaissances sur la causalité telles qu'elles se manifestent chez des nourrissons et de très jeunes enfants. Grâce à des dispositifs expérimentaux ingénieux permettant de mettre à contribution l'habitué visuelle et les mesures de discrimination ou de préférences estimées à l'aide de la durée du regard ou du taux de succion. Ces chercheurs ont pu étudier les connaissances sur la causalité, manifestées par de nourrissons et très jeunes enfants en réaction à des stimuli visuels, à un âge où l'enfant ne peut encore ni agir ni verbaliser.

Ces recherches semblent indiquer que les inférences causales reposent sur des principes innés, manifestés très tôt par les enfants (les nourrissons de 3 mois), et constituant une sorte de théorie « naïve » de la causalité. Cette théorie « naïve » se développerait en relation étroite avec les domaines ontologiques et permettrait la catégorisation des objets de l'environnement. Les hypothèses des chercheurs sur le nombre et le développement des domaines ontologiques divergent. Cependant, ils s'accordent généralement sur l'existence des deux domaines conceptuels principaux, distingués précocement par les enfants : le domaine des objets inanimés et le domaine des objets animés, se caractérisant par des principes de causalité différents. Le premier mettrait en œuvre la causalité physique et le deuxième la causalité intentionnelle. Ces principes de causalité intrinsèques aux domaines permettent l'assimilation et la structuration de l'expérience et semblent jouer un rôle crucial dans le développement des représentations plus tardives et partiellement explicites des domaines, comme la théorie des objets physiques (Spelke, 1990 ; 1994 ; Wellman & Gelman, 1992), la biologie (Keil, 1986) ou les processus mentaux (Wellman, 1990).

Plusieurs hypothèses sur la nature des mécanismes cognitifs mis en jeu dans les inférences causales dans ces deux domaines ont été proposées.

2.1. La causalité et le principe de mouvement

Pour Premack (1990), la distinction entre objets animés et non animés provient de l'application d'un principe construit sur la perception du mouvement des objets, qui permet aux enfants de distinguer entre les objets qui peuvent bouger « seuls » et les objets inertes, qui ne le peuvent pas. Ce principe ontologique est, selon lui, aussi fondamental que la notion d'objet. Il conduit l'enfant à élaborer différents types d'explication causale du comportement des objets : mécanique (objets), fonctionnelle (êtres vivants), intentionnelle (personnes). Ces recherches sont appuyées par celles de Spelke (Spelke, 1990 ; Spelke, Breinlinger, Jacobson, & Phillips, 1993 ; Spelke, Phillips & Woodward, 1995) qui montrent que c'est le mouvement et non la forme qui organise le champ perceptif du nouveau-né.

2.2. La causalité et le principe de la force

Selon Leslie (1982 ; 1984), notre idée si parfaite de la cause et de l'effet dans le mouvement de lancement, provient du fait que celui-ci exemplifie une interaction mécanique avec la transmission de la force. La force constituerait un principe conceptuel primitif qui ne doit pas être identifié avec la notion scientifique de force ou d'énergie ; elle serait le résultat de l'adaptation évolutive. Ce principe consiste à attribuer aux objets en mouvement une force qui peut être transmise ou non (résistance), lors d'un contact entre deux objets. Sur la base d'expérimentations similaires à celle de la balle de billard (Hume) ou à celles de Michotte, Leslie & Keeble. (1987) montrent que lorsque la séquence de lancement est présentée « à rebours », les nourrissons de 6 mois réagissent au mouvement « inversé », davantage lors de la séquence causale (une balle touche l'autre) que lors de la séquence non causale (dans laquelle un délai de 0.5 s existe entre l'impact de la balle A et la mise en mouvement de la balle B). Ce résultat s'observe bien que les changements spatio-temporels et les propriétés de contingence soient équivalents dans les deux conditions. Leslie explique ce résultat par le principe mécanique de la force qui se traduit par l'attribution aux deux objets de rôles différents. Le premier objet est un transmetteur de la force (celui qui pousse), le deuxième est un receveur de la force (celui qui est poussé). Lorsque la séquence causale est inversée, les rôles des objets sont inversés également. En revanche, dans la séquence non causale, il n'y a pas de telles relations mécaniques entre les objets, et, par conséquent, il n'y a pas de renversement des rôles.

Ces résultats indiquent que la direction causale est conceptuellement distincte de la direction spatio-temporelle. La "theory of body" des nourrissons consiste donc dans le principe qui veut que la force soit transmise d'un objet à un autre dans une direction particulière, qui n'est pas équivalente à la direction du mouvement. Selon la perspective de Leslie, le principe « mécanique » de la force ne permet pas aux enfants de traiter comme « Agents » les objets physiques qui possèdent une source interne et renouvelable de la force. Puisque les objets se meuvent comme le résultat de la force, et puisque les agents ont une source interne de la force, ils sont capables de se mouvoir d'eux-mêmes ou d'être la source de la force. Pour construire les connaissances sur les Agents, les enfants disposeraient d'un système représentationnel sur le comportement des agents ("theory of mind mechanism") qui décrit les propriétés intentionnelles et cognitives des Agents. Un agent agit en fonction d'un but, réagit à l'environnement distant grâce aux sens et deux ou plusieurs agents interagissent lorsque leurs buts se rencontrent d'une quelconque façon.

Un point de vue similaire a été développé par Gelman (1990) dont les recherches indiquent que le traitement différent des objets

animés et inanimés par les enfants ne s'effectue pas sur la base du mouvement seul. Les recherches de Gelman indiquent que les enfants interprètent le même mouvement différemment, selon que celui-ci est généré par un objet animé ou inanimé. Gelman en conclut que l'information spatio-temporelle est ambiguë, et ne peut suffire à classer correctement un objet comme animé ou inanimé. De même, les recherches menées avec les adultes montrent que l'interprétation des mouvements est une combinaison de la perception et de l'interprétation causalement acceptable. Selon que les sujets ont des consignes leur présentant les objets comme animés ou inanimés, ils vont juger le mouvement différemment.

Dans cette perspective, l'inférence causale est guidée par un principe conceptuel fondamental qui permet de déterminer la source de l'énergie qui rend possible le mouvement des objets. Ce principe permet à l'enfant d'interpréter à la fois la composition de l'objet et son mouvement. L'inférence sur le mouvement autonome (auto-propulsé) d'un objet se fonde sur l'attribution à l'objet d'une source d'énergie interne reliée à sa composition. L'inférence sur le mouvement non autonome d'un objet se fonde sur le principe d'une source d'énergie externe, également reliée à sa composition. Comme le souligne Gelman (1995)³, il n'est cependant pas question d'attribuer aux enfants la notion moderne de l'énergie, ni quelque autre « théorie » de l'énergie. Il est intéressant ici de remarquer que selon les recherches de Gelman, les machines constituent une catégorie particulièrement intéressante, puisque les données expérimentales indiquent qu'elles ne peuvent être classées comme appartenant au domaine animé ou inanimé. “Such considerations let us to expect that children and adults would create a new hybrid category for representing machines” (Gelman, Durgin, & Kaufman, 1995 p. 182).

3. LE DÉVELOPPEMENT DES CONNAISSANCES VERBALES (LANGAGIÈRES) SUR LA CAUSALITÉ

Ces résultats indiquent que les enfants manifestent très précocement des connaissances sur la causalité fondées en partie sur la perception de la contiguïté spatio-temporelle des objets en mouvement et, en partie, sur des principes opératoires qui s'appliquent aux mouvements des objets en fonction de leur catégorie ontologique. L'une des caractéristiques principales des objets est la distinction entre les objets doués ou non d'une source de mouvement interne (qui peut

³ “Processing mechanisms that are constrained by the innards principle process objects and events as if certain natural objects have something inside that enables their own motion and change. The principle is neutral with respect to the nature of what a child might think about the “inside” of self-propellable objects.” (Gelman, Durgin, & Kaufman, 1995, p. 152).

être assimilée à l'intentionnalité). Dans ce cas, les dispositifs mécaniques semblent se situer à la frontière des deux domaines. Comme la plupart des situations expérimentales ont été conçues de façon à capter les processus cognitifs de la compréhension de la causalité du monde physique manifestés par les enfants à l'âge pré-verbal, ces recherches laissent en suspens la question de savoir si ce type de connaissances causales peut être appréhendé par le biais du langage, dont le développement propre risque de masquer les possibilités logiques réelles de la pensée de l'enfant. En effet, les recherches qui ont eu recours au langage dans le recueil des connaissances causales semblent poser des difficultés particulières.

Ainsi Piaget, suite à ses premières recherches sur la causalité physique, décide de réformer sa méthode clinique afin de la rendre plus apte à cerner les opérations de pensée à l'œuvre : « au lieu d'analyser d'abord les opérations symboliques de la pensée, nous partirons d'opérations effectives et concrètes, de l'action elle-même. Nous ne nous priverons pas du langage, mais ne le ferons intervenir, chez les petits, qu'en fonction de l'action entière, et la plus spontanée possible » (Piaget, 1924, p. 7). Il avoue dans la préface du livre de Laurendeau et Pinard (1962), que « si l'on m'avait consulté, j'aurais peut-être déconseillé ce retour à la précausalité, non pas que je n'y croie plus, mais parce que la pensée verbale me paraît aujourd'hui en marge de la pensée réelle, qui quoique verbalisée, demeure, jusque vers 11-12 ans, centrée sur l'action. (...), la pensée exclusivement verbale ne paraît donc plus suffire pour l'exploration de la pensée de l'enfant : elle fournit un ensemble d'indices instructifs, mais à rattacher aux résultats obtenus par ailleurs grâce aux épreuves proprement opératoires ».

Cette difficulté méthodologique liée à la verbalisation des connaissances causales semble particulièrement marquée dans le cas des dispositifs mécaniques. C'est pourquoi Laurendeau et Pinard décident d'éliminer a priori de leur vaste étude sur la pensée précausale les épreuves concernant l'explication des mouvements mécaniques qui « sont sujettes, de l'aveu même de Piaget, à des aléas circonstanciels qui rendent improbable l'utilité de tels problèmes dans une étude qui veut être, entre autres choses, normative. En particulier, il semble exister une différence très nette entre les filles et les garçons dans l'intérêt manifesté pour ces questions, et, par voie de conséquence, dans le niveau d'explications fournies. » (Laurendeau et Pinard, 1962, p. 43).

En effet, la méthode de l'investigation de la pensée causale qui procède de manière à obliger l'enfant à verbaliser ses connaissances a été fréquemment critiquée. De l'avis de Deutsche (1937), les questions posées constituent un biais expérimental puisqu'elles peuvent déterminer le sens des réponses de l'enfant. Selon Isaacs (1930), les enfants qui s'efforcent de satisfaire aux demandes insistantes de

l'expérimentateur ont recours à une stratégie qui consiste à produire des réponses relevant davantage de la fantaisie de l'enfant que de ses ressources intellectuelles. Cependant, il est important ici de souligner le fait que cette méthode correspondait étroitement à la volonté de Piaget de saisir les processus de pensée dans leur aspect dynamique et fonctionnel. En effet, même si, pour Piaget, la pensée précède le langage, celui-ci « permet de la transformer profondément en l'aidant à atteindre ses formes d'équilibre par une schématisation plus poussée et une abstraction plus mobile » (Piaget, 1964, p. 124), dont la réalisation ultime est constituée par la pensée hypothético-déductive. Mais, comme le souligne Piaget, il ne suffit pas d'admettre que le langage joue un rôle majeur dans la formation de la pensée abstraite, il s'agit de se demander s'il en est en même temps « la condition suffisante, c'est-à-dire si le langage ou la pensée verbale, parvenus à un niveau suffisant de développement, font surgir ces opérations *ex nihilo*, ou si, au contraire, ils se bornent à permettre l'achèvement d'une structuration qui tire ses origines des systèmes d'opérations concrètes et, par conséquent, à travers ces dernières, des structures de l'action elle-même. » (Piaget, 1964, p. 129).

De nombreuses recherches ont montré en effet que l'enfant sait souvent faire concrètement ce qu'il ne sait pas dire ou résoudre verbalement. Ainsi, les explications verbales fournies par les enfants ne semblent pas refléter le même niveau du raisonnement causal que celui qu'ils appliquent dans leurs jugements ou prédictions sur la base des activités concrètes (Bullock, Gelman, & Baillargeon, 1982). De plus, les travaux sur la représentation verbale de la causalité intentionnelle par les enfants, c'est-à-dire sur la représentation du lien causal entre une intention et le déclenchement d'une action, recensés par Baudet et Cordier (1992) et Cordier (1993) permettent de conclure à une antériorité de la compréhension de la causalité intentionnelle sur celle de la causalité du monde physique. Par exemple, McCabe et Peterson (1985), qui ont demandé à des enfants entre 3 et 9 ans de relater des événements de leur vie personnelle en utilisant le connecteur "because", ont constaté que 81 % des productions verbales sont basées sur la causalité intentionnelle. Les travaux de Slackman, Hudson et Fivush (1986) indiquent que plus les enfants sont jeunes, plus ils sont tributaires de la structure causale des phrases.

C'est pourquoi, de l'avis de certains chercheurs, il semble désormais nécessaire de poursuivre et d'approfondir l'étude de la causalité en portant l'attention sur le phénomène du décalage existant entre les performances observables dans l'action et les performances manifestées dans les activités verbales (Bullock, Gelman & Baillargeon, 1982 ; Goswami, 1998 ; Krist, Fieberg & Wilkening, 1993).

4. LE DÉVELOPPEMENT DES CONNAISSANCES SUR LA CAUSALITÉ DES DISPOSITIFS MÉCANIQUES

L'objectif de notre travail est d'étudier dans une approche développementale large (enfants, adolescents, adultes, déficients) les rapports entre deux types de représentations symboliques (le dessin et la production d'écrit) d'un phénomène mettant en jeu des relations de causalité. Les questions qui sont à l'origine de ce travail sont les suivantes : ces deux média, le dessin et l'écrit sont-ils congruents ou non ? Lorsque j'apprécie la qualité du raisonnement causal dans un dessin, m'est-il possible d'inférer la qualité de la production verbale ? Un sujet qui dessine parfaitement une bicyclette, c'est-à-dire qui pose l'ensemble des composants pertinents de l'objet et les liens causaux entre ses composants est-il capable de produire un texte du même niveau de cohérence ? Comment se développent, en fonction de l'âge, ces deux modes de représentation (dessin, production d'écrit) ?

Pour répondre à ces questions, il nous a semblé intéressant, de recourir à la fois à l'analyse en systèmes pour étudier la production d'écrit et au cadre post-piagétien pour saisir la dynamique d'accroissement des connaissances. Après avoir exposé les principaux fondements théoriques de la sémantique cognitive et de l'analyse en systèmes, nous présenterons les travaux de Piaget (1927) relatifs au fonctionnement des machines, puis nous proposerons d'appliquer l'analyse en systèmes à la bicyclette. La dernière partie sera consacrée à la présentation de quelques données expérimentales collectées.

4.1. Les fondements théoriques de la sémantique cognitive et de l'analyse en systèmes

4.1.1. Sémantique cognitive

La sémantique cognitive se donne pour objet d'étude la problématique des rapports existant entre les représentations mentales des objets du monde (ou des mondes possibles) et les représentations langagières, avec pour objectif de proposer une théorie permettant de satisfaire à la fois aux contraintes de traitement du système linguistique et à celles du système cognitif. Pour ce faire, les chercheurs qui se réclament de ce champ théorique ont fait appel à la philosophie de l'action (Mackie, 1974 ; Searle, 1983 ; von Wright, 1967), à la sémantique psychologique et à la linguistique cognitive (François et Denhière, 1997 ; Gender & Golding-Meadow, 2003 ; Jackendoff, 1983 ; 1995 ; 1997 ; 2002 ; Le Ny, 1979 ; 1989 ; Talmy, 1988), et aux théories des modèles mentaux ou modèles de situation (Johnson-Laird, 1983 ; van Dijk & Kintsch, 1983). Ils proposent de reconsidérer les données expérimentales sur les invariances structurelles des productions verbales comme déterminées, non pas par un noyau inné

des invariants linguistiques, mais par les invariants du système cognitif, qui organisent notre interprétation du réel en des représentations mentales structurées, dont la cohérence détermine, à son tour, celle des représentations langagières (Goldman, Graesser, & Van den Broek, 1999).

Il est important ici de souligner que, contrairement à des approches de la catégorisation, comme la théorie des prototypes de Rosch (1978), du point de vue de la sémantique cognitive, ces super-catégories « ne se réduisent pas à des relations hiérarchiques d'inclusion. Elles comprennent aussi des liens causaux ou explicatifs sur lesquels la théorie des prototypes reste muette » (Pacherie, 1997, p. 178), ce qui veut dire qu'elles ne constituent pas simplement des sommes de propriétés. De même qu'un objet naturel tel qu'un oiseau n'est pas une résultante de l'addition des propriétés (plumes + ailes + bec), de même un objet artificiel tel qu'un vélo, n'est pas simplement un assemblage de roues, de pignons et de pédales.

Ce point de vue conduit à privilégier l'étude de la causalité et des conditions du développement de la cohérence causale des représentations mentales. Dans l'optique de la modélisation en systèmes, développée par Baudet et Denhière (Baudet et Denhière, 1991 ; Denhière & Baudet, 1992 ; Legros & Baudet, 1996), « le langage utilise certaines catégories sémantiques fondamentales pour établir et organiser la signification. Les catégories envisagées (...) sont celles d'objet (ou individu), d'état, d'événement, d'action et de relations (causales, temporelles, topologiques, méréologiques, etc.) » (Denhière & Baudet, 1992, p. 163).

Cette modélisation prend en compte un trait manifeste du mode d'existence des objets de notre monde : leur tendance à « devenir différent », cette tendance pouvant être conçue soit comme intrinsèque à un état de choses, soit comme causale. Ainsi, pour construire la représentation mentale d'un état ou objet du monde, l'individu utilise les catégories des états, événements et actions ainsi que les relations entre ces états, événements et actions. Ces relations peuvent être décrites à différents niveaux de profondeur, en fonction du développement, avec l'âge et/ou l'expertise, des composants du modèle mental qu'elles organisent.

4.1.2. *La conceptualisation de la causalité physique*

À la suite de Mackie (1974), et des tenants de l'approche de la modélisation en systèmes, le concept « naïf » de causalité est celui qui est activé par l'occurrence d'une relation causale dans le langage ou dans le monde. Ce concept peut être décrit⁴ comme suit :

⁴ Toute cette description s'appuie sur le chapitre IV : « La sémantique cognitive : catégories conceptuelles fondamentales » de l'ouvrage de Denhière et Baudet (1992).

X cause Y : l'occurrence de X est une condition nécessaire, dans les circonstances, pour l'occurrence de Y. Le schéma causal prend alors la forme prédicative suivante :

CAUSE (S, S') : un événement caractérisé par l'assertion S cause un événement caractérisé par l'assertion S' si :

- (i) SE PRODUIRE (S)
- (ii) SE PRODUIRE (S')
- (iii) AVANT ((i), (ii))
- (iv) NON POSSIBLE (non S et S')

Le prédicat conceptuel d'événement SE PRODUIRE comprend le concept de MODIFICATION ou de CHANGEMENT. Celui-ci est essentiel pour la construction de la représentation des états du monde, puisque cette représentation (le modèle mental) ne retient comme changement au moment t que celui qui affecte le cours naturel des choses. Or, il est raisonnable de considérer cette notion de changement comme une primitive du système cognitif dans la mesure où elle renvoie à un invariant du système perceptif : les seuls événements qui existent pour le système perceptif sont ceux qui sont identifiés comme se produisant à un certain endroit durant une brève période de temps. Cependant, l'extension spatiale ou temporelle de l'événement ou du processus n'est pas de nature perceptive mais conceptuelle.

Ce point est important pour notre propos parce qu'il est constitutif de la notion même du modèle mental. En effet, les caractéristiques structurelles (relations spatiales, temporelles ou causales) de celui-ci sont déterminées par le monde « expérimenté » ou « projeté » (Jackendoff, 1983), c'est-à-dire les unités du réel retenues par le sujet épistémique.

Du point de vue de la sémantique cognitive le schème de la causalité constitue une catégorie conceptuelle fondamentale, car il permet de faire la différence entre les représentations schématiques de l'événement et de l'action. Ainsi, le schéma sémantique de l'événement comporte nécessairement l'invariant MODIFIER (événement, modèle mental), alors qu'une séquence d'événements s'organise selon le schème de CAUSALITÉ. En revanche, la représentation schématique de l'action associe aux invariants cognitifs de l'événement la présence d'un agent animé d'intentions, c'est-à-dire ayant des connaissances et des croyances sur la causalité de l'action. La notion d'intention est ainsi un trait intrinsèque du schème d'action qui inclut l'existence d'un état intentionnel, i.e. de la représentation du monde sous un mode psychologique, ce qui reflète la capacité biologique fondamentale de l'esprit de mettre l'organisme en rapport avec le monde. C'est pourquoi, la représentation de l'action peut être décrite par un chemin causal qui relie une intention

préalable à un résultat voulu, le but de l'action : L'existence d'une intention préalable Δ action Δ événement 1, év. 2, év. 3... Δ év. n (But).

Selon le postulat de la sémantique cognitive, ces quatre schémas de représentation : événement, action, causalité et intentionnalité s'expriment matériellement dans le discours, en fondant les invariants textuels tels que diverses structures prédicatives, à savoir : les prédications d'état, de processus, de causation, d'action causatrice, d'état dynamique, d'état agentif, d'activité.

C'est pourquoi la sémantique cognitive propose de mettre à l'épreuve l'hypothèse selon laquelle il est possible de repérer, dans la structure même du texte, des indices matériels des caractéristiques structurelles des modèles mentaux sous-jacents (François & Denhière, 1997 ; Legros, 1991 ; Legros, Baudet & Denhière, 1994).

4.2. Les principes de l'analyse en système

Les travaux sur le texte narratif et sur l'acquisition des connaissances sur les objets techniques complexes ont conduit Denhière et Baudet (1992) à proposer une formalisation de ces connaissances en réseaux complexes d'unités sémantiques en interrelation. Dans ce dessein, ils ont adopté une représentation de la structure du modèle mental construit par l'individu en unités de haut niveau, appelés systèmes. Les systèmes sont des unités complexes basées sur les catégories fondamentales d'état, d'événement, d'action, d'intention et de causalité, dont les différentes interrelations conduisent à distinguer les systèmes relationnels, transformationnels et téléologiques.

Le système d'état relationnel représente les situations statives complexes. Il décrit un état du monde comme l'occurrence dans un intervalle de temps non borné (mais bornable) d'une collection d'individus caractérisés par la valeur persistante prise par leurs attributs⁵, et la description de la complexité hiérarchique de la structure parties-tout dépend fortement du niveau des connaissances sur le système.

Le système transformationnel représente les événements complexes définis comme des séquences de modifications des situations statives. Ces séquences peuvent être déterminées causalement, dans quel cas elles sont décrites par un chemin causal. Elles peuvent être aussi organisées uniquement par des relations temporelles, dans quel cas elles sont décrites sous la forme d'un graphe temporel. (Nef & François, 1987). Habituellement, les systèmes transformationnels sont des hybrides des deux modes d'organisation des événements. Le

⁵ Pour une taxonomie des relations méréologiques voir Winston, Chaffin et Hermann (1987).

niveau de profondeur hiérarchique adoptée par l'individu pour décrire sa représentation mentale d'un système transformationnel dépend :

- Du niveau d'analyse du réel auquel se place le descripteur. Ce niveau est fonction de l'information dont il dispose sur les états du système ;
- De son projet de description déterminé par le but de la description et du destinataire ;
- Des moyens linguistiques dont il dispose et qui reflètent souvent les moyens conventionnels existant dans la langue.

Le système téléologique représente les structures d'ensembles reliant les unités fonctionnelles organisées en vue d'atteindre un but. Ces systèmes peuvent décrire aussi bien des organismes vivants dotés d'intentionnalité, dans quel cas ils constituent des systèmes intentionnels, que des dispositifs techniques, basés sur les relations de causalité du monde physique, et constituant alors des systèmes fonctionnels. La différence entre les systèmes intentionnels et fonctionnels est de taille puisque les premiers engendrent (gènèrent) leurs transformations en fonction du but qu'ils se fixent eux-mêmes, alors que les seconds sont conçus pour réaliser le but fixé au système par le concepteur... Néanmoins, la description de leur fonctionnement est fondamentalement la même : elle consiste à expliquer la cause par l'effet.

Nous décrirons ci-dessous de façon plus détaillée le système fonctionnel comme étant celui qui nous concerne directement.

Le système fonctionnel

Un système fonctionnel possède trois caractéristiques principales : c'est un système :

- relationnel, (il est doté d'une structure hiérarchique mérologique) ;
- transformationnel (ses composants sont soumis à des modifications) ;
- téléologique (ces modifications ont pour fonction d'atteindre le but fixé au système).

C'est pourquoi, la description privilégiée des modifications des états du système fonctionnel est basée sur la relation de causalité : chaque occurrence d'une relation causale modifie les circonstances pour l'occurrence de la modification suivante. À l'issue de chaque paire de modifications, interprétée de manière causale, l'individu qui veut expliquer le fonctionnement du système doit construire une représentation d'un nouvel état du système.

Cette (re)construction peut être interprétée comme une mise à jour de son modèle mental et la création d'un nouveau terrain causal par rapport auquel la modification suivante sera interprétée.

Les relations causales entre les événements du système fonctionnel appartiennent essentiellement au domaine de la causalité du monde physique. Comme pour d'autres systèmes, la description d'un système fonctionnel dépend de la complexité du système, mais surtout du niveau d'analyse du réel adopté par le descripteur. Ce niveau est fonction :

- De l'unité définie comme individu du système, c'est-à-dire de l'objet matériel produit du découpage de l'objet ou phénomène physique retenu ;
- Du nombre d'événements reliés de manière causale que le descripteur identifie dans sa description.

L'analyse en système fonctionnel d'un objet technique permet ainsi d'analyser, à partir des traces verbales ou graphiques, la structure de la représentation mentale sous-jacente à cette description (Legros, 1998 ; Mayer & Anderson, 1991).

4.3. Les travaux de Piaget

Depuis les recherches de Piaget (1927), les études portant sur la compréhension du mécanisme des machines, comme le moteur à vapeur ou la bicyclette, ont été rares (Ben Hamida, Legros & Jamet, 2003 ; Jamet, Legros & Déret, 2000 ; Jamet, Legros & Es-Saïdi, soumis ; Salvan, Darty, Legros, Pudelko, Jamet, 2002 ; Salvan, Jamet & Legros, 2003). En effet, si certains chercheurs en didactique de la physique se sont intéressés à ce domaine, leurs études ont porté sur la compréhension des phénomènes physiques comme la dynamique de la roue ou la stabilité de la bicyclette (Proffitt, Kaiser & Whelan, 1990), et non sur la compréhension du fonctionnement du mécanisme lui-même.

Dans son ouvrage : *La causalité chez l'enfant*, Piaget (1927) consacre 3 chapitres au fonctionnement des machines. L'idée sous-jacente de Piaget (1927) est que le fonctionnement cognitif de *l'homo sapiens* peut être appréhendé grâce à l'étude du fonctionnement de *l'homo faber*. Un chapitre entier est dédié à l'étude du mécanisme de la bicyclette. L'intérêt de ce dispositif est d'une part, qu'il est connu de tous et, d'autre part, que l'ensemble des pièces qui concourent à son fonctionnement est visible. Pour étudier le fonctionnement de la bicyclette, Piaget demande à l'enfant d'en faire une représentation dessinée, puis il l'interroge sur son fonctionnement : « Comment ça marche ? ». Au terme de l'examen clinique, l'expérimentateur désigne les différentes pièces dessinées en demandant à l'enfant leur fonction. Pour les enfants les plus jeunes, Piaget préconise qu'on leur montre une véritable bicyclette.

Que Piaget (1927) nous apprend-il sur le mécanisme de compréhension du fonctionnement de la bicyclette ?

Piaget (1927) observe quatre stades. Au stade I, les enfants remarquent bien les différentes pièces comme le pédalier (plateau, manivelles et pédales), la chaîne, le pignon. Mais ces éléments ne sont pas conçus comme des éléments indispensables pour le déplacement du vélo. Certains enfants de ce stade estiment que ces pièces sont inutiles. D'autres pensent que la fonction du plateau et de la chaîne est de soutenir les pédales. À ce stade, Piaget propose trois explications 1) La bicyclette fonctionne par *déterminisme moral* « il faut que ça marche ». 2) la bicyclette se déplace sans contact spatial. C'est l'action des pieds ou des pédales qui entraîne celle des roues. 3) La bicyclette se meut grâce à des « courants », des « forces » qui existent dans les pneus ou dans la lumière. Le dessin caractéristique de ce stade se réduit à deux roues entre lesquelles l'enfant place un autre élément du vélo (pédales, selle, etc....).

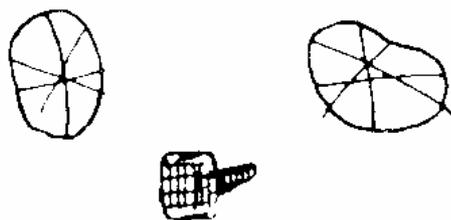


Figure 1 : dessin de la bicyclette au stade I (âge moyen 4-5 ans)⁶

Le stade II se caractérise par l'apparition, dans les dessins, de pièces spécifiques comme la chaîne, le pédalier, le pignon. Dans l'entretien, l'enfant les évoque et indique qu'elles sont nécessaires. Pour l'enfant, si elles n'étaient pas là, la bicyclette ne pourrait pas fonctionner. Cependant, ces pièces n'ont pas de liens causaux entre elles. Elles peuvent avoir une fonction de soutien comme de moteur. Pour l'enfant de 5-6 ans (âge moyen), le mouvement des pédales entraîne directement le déplacement de la bicyclette. Les mouvements de ces différentes pièces que sont le pédalier, la chaîne, le pignon sont aussi bien effet que cause du mouvement des roues. La chaîne fait aussi bien tourner le pédalier que l'inverse. La roue arrière peut également faire tourner la chaîne. Ces éléments ne sont pas liés dans le temps. Selon Piaget (1927) « le cycliste, qui donne de l'élan à la bicyclette avant de sauter dessus, pousse, une fois assis, le guidon, [...] ce qui accélère l'élan » (p 236). La bicyclette est en

⁶ Piaget, 1927, p. 236.

mouvement grâce au mouvement initial qu'elle prend. Le déplacement du vélo résulte encore d'un mouvement global. Le dessin se caractérise par une juxtaposition de pièces. La figure 2 illustre le dessin du stade II.

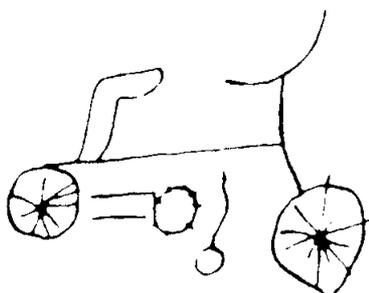


Figure 2 : Dessin de la bicyclette au stade II (âge moyen 5-6 ans)⁷

Au stade III, l'enfant abandonne l'explication globale et cherche, dans les actions des pièces, l'explication des relations de cause à effet. L'enfant tente de mettre en contact, et donc en rapport, les différents composants que sont les pédales, la chaîne et le mouvement des roues. Sur le dessin, la chaîne est attachée à la roue. C'est en moyenne vers 7-8 ans que l'enfant entre dans le stade III. L'auteur ajoute que ce stade n'est pas durable et qu'il se caractérise par une grande variabilité inter-sujets. C'est vers 8 ans en moyenne que les garçons de Paris ou de Genève proposent une explication complète de ce mécanisme, avec un dessin spontané.

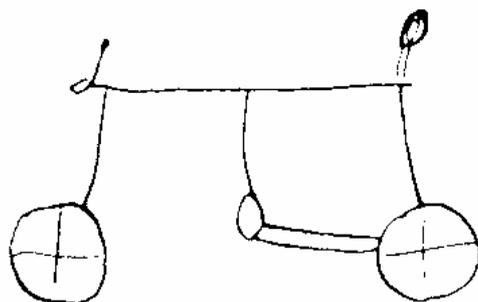


Figure 3 : Dessin de la bicyclette au stade III (âge moyen 7-8 ans)⁸

⁷ Reproduction selon Piaget, 1927, p. 234.

La figure 4 indique le type de production que l'on peut attendre. C'est seulement vers 10-11 ans que les filles fournissent une réponse de cette nature. L'auteur explique ce décalage par le moindre intérêt de ces dernières pour la question. On remarquera que les explications correctes sur les machines apparaissent plus précocement que celles sur les phénomènes naturels.

Au stade 4, vers 8 ans en moyenne, les garçons de Paris ou de Genève donnent une explication complète et purement mécanique de la bicyclette en produisant un dessin spontané.

En revanche, il faut attendre l'âge de 10-11 ans pour que les filles produisent un dessin de cette nature. Piaget se borne à constater ce décalage et l'explique par le moindre intérêt des filles pour les objets mécaniques. La figure 4 indique le type de production auquel on peut s'attendre à ce stade de développement.

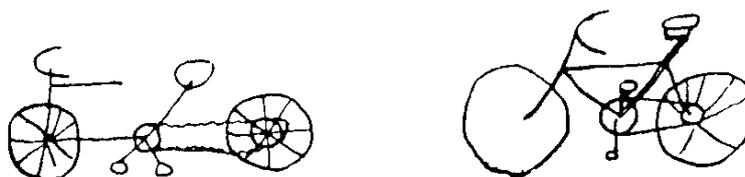


Figure 4 : Dessins de la bicyclette au stade IV (garçons, moyenne d'âge 8 ans)⁹

4.4. L'approche de l'analyse en systèmes

L'analyse en systèmes permet de représenter de façon systémique le fonctionnement d'un dispositif mécanique tel que le vélo. Dans cette optique, le vélo est conçu comme un système fonctionnel, qui remplit les trois critères de tout système fonctionnel : il est relationnel, transformationnel et téléologique.

Ainsi, le vélo est un système relationnel, puisqu'il est composé des objets (individus), tels que les roues, le guidon, le frein, la chaîne, etc. Les relations entre ces objets sont méréologiques, du type « composant-objet » pouvant se prêter à plusieurs niveaux de découpage. Ainsi le pédalier est une partie de vélo, mais il est à son tour composée de parties : le plateau, les manivelles, les pédales. Mais les relations sont aussi du type « composition-objet ». Par exemple, le cadre est en aluminium, les pneus sont en caoutchouc. Les relations entre les éléments du système peuvent être conçues

⁸ Reproduction selon Piaget, 1927, p. 239.

⁹ Reproduction selon Piaget, 1927, p. 225.

comme des relations statives, c'est-à-dire des occurrences des états du système, dont les valeurs sont persistantes dans un intervalle de temps donné.

Le vélo est aussi un système transformationnel, puisque les différents états du système sont sujets à des modifications reliées de manière causale. Le vélo peut alors être représenté comme un système dans lequel les différents événements se succèdent dans le temps de façon à réaliser le but fixé au système, c'est-à-dire rouler.

Ainsi, on peut représenter un chemin causal entre les différents événements du système fonctionnel du vélo de façon suivante :

Événement 1 : Le mouvement des pédales entraîne la mise en rotation du plateau.

Événement 2 : La mise en rotation du plateau entraîne la mise en mouvement de la chaîne.

Événement 3 : Le mouvement de la chaîne entraîne la rotation du pignon.

Événement 4 : La rotation du pignon entraîne le mouvement de la roue.

Événement 5 : la mise en mouvement de la roue arrière provoque le déplacement du vélo.

Nous pouvons constater qu'une telle description des modifications des états du système « vélo » est effectivement basée sur la relation de causalité : chaque occurrence d'une relation causale modifie les circonstances pour l'occurrence de la modification suivante.

Le vélo est également un système téléologique, puisque ses modifications ont pour fonction d'atteindre le but fixé au système. Ainsi, le dernier événement du chemin causal représenté ci-dessus constitue en même temps l'état-but du système. C'est pourquoi il peut également être décrit comme un système mis à la disposition d'un utilisateur désireux de se déplacer. Cet utilisateur est un agent intentionnel, et sa représentation de l'utilisation d'un dispositif technique tel que le vélo est une représentation intentionnelle, qui peut être restreinte aux contenus de sa représentation du système vélo qui font uniquement référence aux actions nécessaires pour satisfaire son intention de se déplacer. Par conséquent, la représentation du vélo peut être fondée d'abord sur cet aspect téléologique du système et décrite en tant qu'un arbre des actions permettant à l'agent de réaliser son intention.

C'est pourquoi, nous pouvons supposer qu'une des difficultés majeures de la représentation du système vélo lorsque le descripteur doit satisfaire à la demande de l'expérimentateur d'expliquer le fonctionnement du vélo, peut provenir de cette interaction entre les deux modèles mentaux : le modèle d'un système fonctionnel envisagé sous son aspect transformationnel, c'est-à-dire basé sur les rela-

tions de causalité physique et le modèle du système fonctionnel envisagé sous son aspect téléologique. En effet, nous sommes enclins à avancer que c'est bien la dimension téléologique d'un système fonctionnel qui pose problème lors de la description de son fonctionnement, puisqu'elle prête à confusion entre ce qui relève de la causalité physique et ce qui relève de la causalité intentionnelle.

En ce qui concerne la représentation du fonctionnement du vélo, il est important de remarquer que lorsqu'on demande à un enfant de dessiner un vélo de façon à en faire comprendre le fonctionnement, le format graphique de la production n'autorise qu'une représentation des différents états du système, c'est-à-dire des « composants » du système qui peuvent ou non être reliés, et lorsqu'ils le sont, ces liens peuvent être corrects ou incorrects.

En fait, la seule manière de représenter des modifications du système « vélo » qui lui permettent de réaliser son but (rouler) est de représenter de façon correcte les liens entre les différents éléments du système. Or, ces liens ne peuvent être représentés que sous forme des objets dessinés, le dessin de l'enfant traduit donc sa représentation de la pertinence des différents éléments du vélo et leur statut d'objets nécessaires et suffisants pour l'explication causale du système.

En revanche, l'explication verbale du fonctionnement du vélo permet à l'enfant d'exprimer également sa représentation du point de vue téléologique, en utilisant des syntagmes décrivant des actions et basés sur la relation entre un agent et un élément du système (« on appuie sur les pédales ») ou le système en totalité (« je fais marcher le vélo »).

L'explication verbale possède donc un statut particulier, puisqu'elle permet de rendre compte de façon plus explicite que le dessin de l'interaction entre les deux conceptions de causalité, physique et intentionnelle, pouvant sous-tendre le modèle mental du système fonctionnel « vélo ».

5. EXPÉRIMENTATION, PRINCIPAUX RÉSULTATS ET DISCUSSION

5. 1. Les objectifs

Pour répondre aux questions relatives aux rapports entre ces deux média (dessin versus production d'écrit) et les représentations causales et ainsi comprendre la dynamique développementale dans une approche *life span* (enfant, adolescent, adulte, déficient), nous avons conduit une série de recherches. La première s'est intéressée à 500 enfants de 5 à 11 ans (Jamet, Legros & Déret, 2000). La seconde a porté sur 92 adolescents et de jeunes adultes (Salvan, Darty, Legros, Pudelko, Jamet, 2002). Avec la troisième recherche, nous nous avons étudié chez de jeunes adultes ($n = 30$) le statut de la langue maternelle sur la qualité des représentations causales (Ben Hamida, Legros

& Jamet, à paraître). Les deux dernières études ont porté sur les sujets déficients intellectuels légers ($n = 80$) dont l'étiologie est indéterminée (Jamet, Legros & Es-saïdi à paraître ; Salvan, Jamet & Legros, à paraître).

5.2 Méthode et procédure

Deux tâches sont proposées aux sujets. La première consiste à dessiner sur une feuille de format A4 une bicyclette de manière à ce que l'on comprenne « comment fonctionne un vélo ». La consigne est donnée oralement. Dans la seconde tâche, on demande aux sujets d'expliquer par écrit comment fonctionne un vélo. La durée des deux tâches n'excède pas les 20 minutes. Pour les sujets dont les compétences dans le domaine de la production d'écrit sont réduites, l'expérimentateur prend sous dictée les explications.

Une classification en quatre niveaux a été élaborée pour rendre compte des performances (N-I, N-II, N-III et N-IV) aux deux tâches (dessin et production d'écrit). Chaque niveau comprend : 1) des éléments et 2) une ou deux relations. Les éléments sont les pièces essentielles qui concourent au fonctionnement d'une bicyclette. Ils sont au nombre de six : les roues, le cadre, le plateau, les pédales, la chaîne, le pignon. Deux relations sont nécessaires : la relation « cadre » et la relation « chaîne ». La relation « cadre » se traduit par le fait que les roues sont en contact avec le cadre. La relation « chaîne » s'observe par la mise en relation des pédales avec le plateau qui lui-même est relié par la chaîne au pignon. Ce dernier étant lui-même au centre de la roue arrière.

Un dessin de niveau IV comporte les six éléments et les deux relations. A ce niveau, le raisonnement causal est le suivant : l'action sur les pédales engendre la mise en rotation du plateau qui lui-même met en mouvement la chaîne qui elle-même induit la rotation du pignon. Ce dernier, solidaire de la roue arrière, fait tourner la roue arrière.

Le niveau III se compose des six éléments et d'une seule relation, la relation « cadre » (voir annexe). Le raisonnement causal est le suivant : l'action sur les pédales engendre la mise en rotation du plateau qui lui-même met en mouvement la chaîne. C'est de cette manière, que la bicyclette fonctionne.

Le niveau II se définit par la présence de la relation « cadre » et d'au moins trois éléments dont un est obligatoire : les pédales. Le sujet raisonne de la façon suivante : c'est l'action sur les pédales qui fait avancer la bicyclette. Le niveau I comprend au moins deux éléments : les roues et le cadre. Pour le sujet de ce niveau, la bicyclette avance par l'intermédiaire des pieds.

Les niveaux I et II peuvent avoir différents profils allant de trois éléments à six. Ces quatre niveaux sont comparables aux quatre stades piagétien.

5. 3. Principaux résultats

De l'ensemble de nos recherches, il se dégage que :

Les quatre niveaux postulés permettent de rendre compte des performances de toutes les populations étudiées (enfants, adolescents, adultes, déficients intellectuels légers de 10-11 ans) pour la tâche de dessin comme pour la tâche de production d'écrit, exception faite des déficients intellectuels légers pour cette dernière tâche.

Contrairement aux résultats de Piaget (1927), seuls 9,5 % des enfants de 8 ans dessinent une bicyclette de niveau IV. A 10-11 ans, ils ne sont que 30,7 %.

Tableau III. Distribution des quatre niveaux en fonction de l'âge (n = 500)

Âges (année)	Niveau I	Niveau II	Niveau III	Niveau IV
10-11 (n = 140)	0,7 %	55 %	13,6 %	30,7 %
9 (n = 140)	7 %	74,5 %	8,5 %	10 %
7-8 (n = 140)	8,5 %	76 %	6 %	9,5 %
5-6 (n = 80)	57,5 %	42,5 %	0 %	0 %

On constate que l'indice de pertinence des productions des enfants de 7-8 ans est supérieur à celui des sujets 5-6 ans. Il en va de même lorsque l'on compare les indices des enfants de 7-8 ans à celui des enfants de 9 ans. On retrouve le même phénomène avec la comparaison de l'indice de pertinence des enfants de 9 ans et des enfants de 10-11 ans (0,517 versus 0,423). Les jeunes adultes réussissent mieux que les adolescents (0,47 versus 0,36).

Les garçons obtiennent de meilleures performances que les filles aux deux tâches et ce, pour les enfants de 5 à 11 ans, comme pour les adolescents et les adultes.

Nous avons conduit chez les adolescents et les jeunes adultes un examen du nombre de propositions produites. Les résultats montrent : un effet de l'âge. On remarque également, que les sujets adolescents comme adultes produisent plus de propositions décrivant des actions (syntagmes reliant un agent et un objet pertinent) que de propositions décrivant des événements (syntagme reliant deux composants pertinents du vélo).

Des travaux exploratoires réalisés avec une population de jeunes adultes dont la langue maternelle d'origine est l'arabe, le créole ou l'éwé (Cordier, Khalis, Legros, Noyau (2003) ne fournissent pas de résultats probants. D'autres recherches sont nécessaires.

5.4. Discussion

Comment expliquer le décalage entre l'âge auquel nos sujets sont en mesure de dessiner une bicyclette où l'ensemble des relations causales qui concourent à son fonctionnement sont présentes et les données de Piaget (1927) ? Il est important d'avoir toujours présent à l'esprit lorsqu'on lit Piaget, que les âges mentionnés le sont toujours à titre indicatif. L'idée de base était que les protocoles venaient illustrer la théorie. Ce qui importe, c'est la succession des stades. Nos résultats vont tout à fait dans ce sens. Ils montrent que les quatre niveaux postulés, niveaux proches des stades de Piaget (1927), permettent de rendre compte des performances de l'enfant de 5-11 ans et des déficients intellectuels de 10-11 ans comme de celles des adolescents ou des adultes.

Comme Piaget (1927) le mentionne, les sujets du niveau III sont peu nombreux et ce, quel que soit l'âge (enfants, adolescents, jeunes adultes de langue maternelle française ou non). La majorité des sujets se distribue entre les niveaux II et IV. Le niveau II se caractérise par (i) une explication finaliste et globale du mouvement du vélo, par le mouvement du cycliste, et (ii) une juxtaposition de parties de vélo sans liens causaux entre elles. Nos résultats indiquent que sur le plan des productions verbales, ce stade est caractérisé par davantage d'actions et davantage d'énoncés non pertinents.

L'analyse développée dans le cadre de la sémantique cognitive et, plus particulièrement, de l'analyse en systèmes peut permettre de fournir une explication plausible. Nos résultats indiquent que c'est bien la dimension téléologique d'un système fonctionnel qui pose problème lors de la description de son fonctionnement, puisqu'elle prête à confondre ce qui relève de la causalité physique et ce qui relève de la causalité intentionnelle. Il y aurait conflit entre les deux types de modèles mentaux : celui de causalité du monde physique et celui de la causalité intentionnelle, comme nous l'observons dans les prescriptions d'ordre utilitaire et dans les textes de procédure. Le sujet indique : « quand le vélo démarre, il faut tenir le manche (le guidon) », « un vélo fonctionne quand on appuie sur les pédales » ; « un vélo ça sert à aller vite » « un vélo ça marche avec deux roues, un guidon et aussi une selle. Si tu veux aller à droite tu mets le guidon à droite, si tu veux aller à gauche tu mets le guidon à gauche ».

Selon Talmy (1988), la causalité se manifeste dans la langue en termes « d'isolation décausatrice » qui consiste dans la possibilité qu'un événement (portion conceptualisée d'un continuum d'occurrences) puisse être représenté comme existant hors de la causalité, sans causes, ni effets. Une telle réduction schématique de la représentation sémantique de la causalité est due au fait que les constructions linguistiques représentent la causation en une structure de trois éléments : un état initial statique, une transition discrète

d'état et un état subséquent statique. De plus, si la séquence commence par un agent qui a l'intention de voir se produire l'occurrence d'un événement physique (le conducteur de la bicyclette), celui-ci est nécessairement inclus comme initiant une séquence causale conduisant à cet événement. Il doit nécessairement commencer par un acte volontaire de l'agent de mouvoir certaines parties de son corps, acte qui conduit à l'événement souhaité directement ou par une chaîne causale. Or, pour représenter une séquence de la sorte, de nombreuses langues permettent l'expression de l'agentivité et de l'événement final (voir « agentivité », « télélicité », François, 1997) ce qui rend les autres éléments de la séquence causale entière implicites.

Cette hypothèse semble d'autant plus plausible que nos résultats indiquent le rôle important joué par l'expression verbale de l'intentionnalité. En effet, dans l'ensemble des textes, les propositions décrivant des actions sont produites en nombre plus important que les propositions décrivant des événements.

Comment expliquer la différence entre garçons et filles ? Nos résultats et ce, pour l'ensemble des populations étudiées : enfants, adolescents, adultes, déficients intellectuels légers indiquent un décalage de performance au profit des garçons. Deux hypothèses interprétatives sont à explorer : 1) la différence de performances observée est-elle liée au contenu, au domaine ? La mécanique, la dynamique sont-elles des disciplines dans lesquelles les filles éprouvent plus de difficultés que les garçons ? Ou 2) cette différence résulte-t-elle d'une spécificité interne ?

L'examen de la littérature dans le domaine de la mécanique montre - qu'il s'agisse de la cinématique (Crépault, 2003, Jamet 1999) ou de la dynamique (Piaget, 1972) - que les performances ne varient pas en fonction du sexe. Les données de la littérature indiquent cependant qu'il existe des différences significatives de performance entre garçons et filles, lorsque l'on mobilise des compétences spatiales. Les données d'Halpern (1992) et de Feinglod (1996) révèlent que les hommes ont tendance à obtenir de meilleures performances que les femmes dans certaines tâches spatiales, comme les rotations mentales où dans les tâches qui consistent à retrouver une forme simple parmi une ou plusieurs formes complexes (tests des figures enchevêtrées). Notre tâche, à priori, n'implique pas de rotations mentales. En revanche, la représentation du fonctionnement de la bicyclette nécessite que le sujet identifie simultanément, dans un même plan une série de rotations : rotations asymétriques des pédales, rotation du plateau, rotation du pignon, rotation de la roue et une transformation d'un mouvement linéaire en une rotation. La difficulté spatiale se trouve peut-être dans la coordination des multiples rotations et de la transformation d'un mouvement linéaire en un mouvement circulaire ? Cependant, en fonction de notre cadre théorique, il sera essentiel d'interroger aussi les rapports entre représen-

tations de l'espace et langage (Munnich et Landau, 2003 ; Boroditsky, Schmidt, & Philips, 2003).

CONCLUSION

La causalité semble donc constituer une notion centrale qui permet de lier entre elles les éventualités (événements, états, etc.) et de prévoir les conséquences de l'action et des événements du monde. « Ciment » de l'univers mental, elle est aussi le « ciment » de la connaissance (Mackie, 1974) **qui permet à l'enfant de comprendre le monde et d'intégrer peu à peu le monde de l'adulte**¹⁰. La causalité permet de donner de la cohérence dans les systèmes symboliques et fournit les moyens d'explicitier et d'analyser la représentation de cette cohérence. Elle devient ainsi un puissant outils d'aide à la construction des connaissances (Gopnik, & Sobel, 2000 ; Gopnik, Sobel, Schulz, & Glymour, 2001), ce qui suppose une analyse des représentations. D'où l'intérêt de l'analyse en systèmes élaborée par Denhière et ses collaborateurs (Denhière, & Baudet, 1989 ; Denhière, Legros, & Tapiero, 1993).

Dans leur ensemble, et conformément à nos données antérieures (Legros, Mervant, Denhière & Salvan, 1998), nos résultats semblent indiquer que le développement des deux types de systèmes téléologiques, fonctionnel et intentionnel, est étroitement lié. Bien d'autres recherches sont nécessaires pour comprendre le développement de la causalité physique et intentionnelle dans la construction des représentations sémantiques du comportement des objets dans les différents domaines ontologiques et leurs relations avec les représentations verbales et imagées.

Ces travaux s'inscrivent dans les perspectives nouvelles de la recherche développementale et différentielle. En effet, ils confirment qu'il est possible de sortir de l'étude des domaines de connaissances pour aborder l'étude de la connaissance des domaines. Ils permettent de reconsidérer les problématiques d'acquisition et ainsi d'ouvrir la voie à des perspectives d'étude et d'analyse plus compatibles avec le domaine des sciences cognitives et des neurosciences (voir Pacherie, 1997).

De plus, il est possible, grâce à l'approche de la sémantique cognitive et, en particulier, à l'analyse en systèmes, non seulement d'analyser conjointement le contenu des représentations mentales et les contenus linguistiques qui les prennent en charge, mais aussi d'analyser leurs déterminations respectives et réciproques. Cette approche ouvre de nouvelles perspectives à la didactique qui peut se concevoir, non plus seulement comme une didactique propre aux disciplines, mais comme une didactique générale de la construction

¹⁰ ... " children grow up to join a community of explainers " (Hood, Fiess, & Aron, 1982).

des connaissances qui s'appuie sur le fonctionnement cognitif de l'individu apprenant.

Les données observées chez les déficients mentaux ouvrent des perspectives à la conception des aides et des remédiations. Si ces sujets sont capables de construire et donc d'activer les relations de causalité intentionnelle, ils semblent éprouver de très grandes difficultés à se décentrer et à construire une représentation de la signification cohérente des objets du monde. On pourrait ainsi comprendre leurs difficultés dans les activités de production verbale (Eigler, Jechle, Merziger & Winter, 1991 ; Jamet, Legros, & Es-Saïdi, sous presse). **Comme les travaux de Moses et ses collaborateurs l'ont montré (Moses, Klein, & Altman, 1990)**, les sujets déficients se caractérisent principalement par une très grande difficulté à construire **les représentations** des relations de causalité entre les composants des objets du monde et à **les exprimer verbalement. C'est la raison pour laquelle, il est important de les engager dans des activités causales**¹¹.

Les premières observations des interactions langagières enregistrées au cours du travail collaboratif semblent compatibles avec l'hypothèse d'un effet pragmatique sur l'effet épistémique. Le travail collaboratif peut ainsi faciliter cette prise en compte du but communicatif et donc faciliter l'activation et la restructuration des connaissances (Gabsi, Legros, & Makhoulf, 2004 ; Salvan, Wagner, Legros, Jamet, & Maître de Pembroke, 2002).

Ces nouvelles perspectives interrogent la recherche culturelle dans les domaines de la linguistique cognitive et de la sémantique linguistique (Dirven & Verspoor, 1998 ; Moeschler, 1998 ; Talmy, 1995), mais aussi dans les domaines de la catégorisation (Coley, 2000 ; Dubois, 2001) et de la construction des représentations des connaissances (Beaver, Martinez, Clark & Kaufman, 2002 ; Strauss & Quinn, 2001). La prise en compte de la causalité confère à ces travaux une dimension fondamentale dans la réflexion sur la connaissance qui se situe actuellement au carrefour des sciences de la cognition (Davidson, 1993 ; Dickinson, & Shanks, 1995 ; Sperber, Premack, & Premack, 1995).

¹¹ " It would be beneficial to work on causal understanding in contexts that provide the most accessible support for the development of causal understanding (i.e. contexts in which concrete materials are being manipulated to achieve tangible goals set by students themselves, (...), the Piagetian approach has important implications for disabilities beyond facilitating causal reasoning and causal language ", p. 225

Références bibliographiques

- Askar, R.M. (1932). *Animism and the child conception of the world: an experimental criticism and verification of Professor Piaget's inquiries into child animism*. Unpublished M.A. thesis lodged in the University library, Birmingham, England.
- Baudet, S. & Cordier, F. (1992). Representation of complex actions: a developmental study. *Cahiers de Psychologie Cognitive. European Bulletin of Cognitive Psychology*, 12(2), 141-171.
- Baudet, S. & Denhière, G. (1991). Mental models and acquisition of knowledge from text: Representation and acquisition of functional systems. In G. Denhière & J.-P. Rossi (Eds), *Text and Text Processing* (pp. 155-187). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Beaver, D.I., Martinez, L.D.C., Clark, B.Z., & Kaufman, S. (2002). *The construction of meaning*. Standford: CSLI Publications
- Bell, C. R. (1954). Additional data on animistic thinking. *Sc. Mont.*, 79, 67-69.
- Ben Hamida, N., Legros, D. & Jamet, F. (à paraître). Langue maternelle et raisonnement causale. *Cognition, Raisonnement & Didactique*.
- Boroditsky, L., Schmidt, L.A. & Philips, W. (2003). Sex, syntax, and semantics. In D. Gender, & S. Golding-Meadow, (Eds.), *Language in mind*. (pp. 61-80), Cambridge, Massachusetts. The MIT Press.
- Bühler, K. (1930). *The mental development of the child*. London: Kegan.
- Bullock, M., Gelman, R. & Baillargeon, R. (1982). The development of causal reasoning. In W. Friedman (Ed.) *The developmental psychology of time* (pp. 209-254). New York: Academic Press.
- Coley, J. D. (2000). On the importance of comparative research: The case of folkbiology. *Child Development Special Issue: Future Directions in Child Development Research*, 71 (1), 82-90.
- Cordier, F. (1993). *Les représentations cognitives privilégiées*. Lille : Presses Universitaires de Lille.
- Cordier, M. Khalis, A. Legros, D. Noyau, C. (2003). Contexte linguistique et acquisition des connaissances. Rôle de la langue (L1 vs L2 en situation de diglossie) et du type de questionnaire sur l'activation des connaissances dans une tâche de production en L2. Le cas des élèves du Togo. 36è colloque international de la Société Européenne de Linguistique. *Linguistique et corpus. Types de données et comparaison des langues*. 4-7 septembre 2003 – ENS Lyon
- Crépault, J. (2003). Raisonnement et psychogenèse du temps : de Störing aux paradigmes et modèles du raisonnement temporel. In F. Jamet & D. Déret. *Raisonnement et connaissance : un siècle de travaux* (p.99-211). Paris : L'Harmattan.
- Davidson, D. (1993). *Actions et événements*. Paris: Presses Universitaires de France..
- Denhière, G. & Baudet, S. (1992). *Lecture, compréhension de texte et science cognitive*, Paris : Presses Universitaires de France.

- Denhière, G., & Baudet, S. (1989). Cognitive psychology and text processing: From Text Representation to Text-World. *Semiotica*. Special Issue, P. Ouellet (Ed.) Cognition and Artificial Intelligence, 77, 1/3, 271-293.
- Denhière, G., Legros, D., & Tapiero, I. (1993). A decade of research on representation in memory and acquisition of knowledge from text and picture: Theoretical, methodological and practical outcomes. *Educational Psychology Review*, 5, 3, 311-324.
- Dennis, W. (1953). Animistic thinking among college and university students. *Sc. Mont.*, 76, 247-249.
- Deutsche, J. M. (1937). The development of Children's Concepts of Causal Relations (pp. 53-54). Minneapolis: Univ. Minnesota Press.
- Dickinson, A. & Shanks, D. (1995). Instrumental action and causal representation. In D. Sperber, D. Premack & A.J. Premack (Eds.), *Causal Cognition* (pp.5-25). Oxford: Clarendon Press.
- Dirven, R., & Verspoor, M. (1998). *Cognitive exploration of language and linguistics*. Amsterdam/Philadelphie: John Benjamins.
- Dubois, D. (2001). Catégorisation, langage et identité : représentations individuelles et constructions symboliques partagées. In A.M. Costalat-Fourneau (Ed.), *Identité sociale et langage* (pp. 195-223).
- Eigler, G., Jechle, T., Merziger, G., & Winter, A. (1991). Writing and knowledge: effects and re-effects. *European Journal of Psychology of Education*, 4(2), 225-232.
- Feingold, A. (1996). Cognitive Gender Difference: Where are they and why are they there? *Learning and Individual Differences*, 8, 25-32.
- François, J. (1997). La place de l'aspect et de la participation dans les classements conceptuels des prédications verbales. In J. François, & G. Denhière, (Eds.). *Sémantique linguistique et psychologie cognitive*, (pp. 119-156). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- François, J. & Denhière, G. (1997), (Éds.). *Sémantique linguistique et psychologie cognitive*, Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Gabsi, A., Legros, D., & Makhlof, M., & (2004). Co-construction de connaissances via la réécriture croisée à distance en contexte plurilingue. Colloque international « *Du contact des langues à la didactique du plurilinguisme* ». Alger, 11 au 13 décembre 2004
- Gelman, R. (1990). First principles organize attention to and learning about relevant data: number and the animate-inanimate distinction as examples. *Cognitive Science*, 14, 79-106.
- Gelman, Durgin, F., & Kaufman, L. (1995). Distinguishing between animates and inanimates: not by motion alone. In Sperber, D., Premack, D. & Premack, A. J. *Causal cognition*. (pp. 150-184). Oxford : Clarendon Press.
- Gemelli, A. et Capellini, A. (1958). The influence of subject's attitude in perception. *Acta Psychologica*, 14, 171-179.
- Gender, D., & Golding-Meadow, S. (2003). *Language in mind*. Cambridge, Massachusetts. The MIT Press.

- Goldman, S., Graesser, A.C., & van den Broeck, P. (1999). *Narrative comprehension, causality, and coherence. Essays in honor of Tom Trabasso*. Mahwah, New Jersey : Laurence Erlbaum Associates.
- Gopnik A., & Sobel, D. M. (2000). Detectingblickets: How young children use information about causal powers in categorization and induction. *Child Development*, 71, 1205-1222.
- Gopnik, A., Sobel, D. M., Schulz, L. E., Glymour, C. (2001). Causal learning mechanisms in very young children: Two, three, and four-year-olds infer causal relations from patterns of variation and covariation. *Developmental Psychology*, 37, 620-629
- Goswami, U. (1998). *Cognition in children*. Hove : Psychology Press Ltd Publishers.
- Gruber, H.E., Fink, C.D. et Damm, V. (1957). Effects of expertise on perception of causality. *Journal of Experimental Psychology*, 53, 89-93.
- Kelemen, D. (1999). Why are the rocks pointy? Children preference for teleological explanations of the natural world. *Developmental Psychology*, 35 (6), 1440-1452.
- Halpern, D.F. (1992). *Sex differences in cognitive abilities*. New York: Erlbaum.
- Hazlitt, V. (1930). Children's thinking. *Brit. J. psychol.* 20, 354-361.
- Heider, F. et Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior. *American Journal of Psychology*, 57, 243-259.
- Hood, L., Fiess, K., & Aron, J. (1982). Growing up explained : Vygotskians look at the language of causality. In C.B. Brainerd & M. Pressley (Eds.), *Verbal processes in children* (pp. 266-285), New York : Springer-Verlag.
- Huang, I. (1930). Children's explanations of strange phenomena. *Psychol. Forsch.* 14, 63-182.
- Huang, I. (1943). Children's conception of physical causality : A critical summary. *Journal of Genetic Psychology*, 63, 71-121.
- Hume, D. (1739/1968). (trad.fr. A. Leroy). *Traité de la nature humaine*. Tome 1. Paris : Aubier Éditions Montaigne.
- Isaacs, S. (1930). *Intellectual growth in young children*. New York: Harcourt, Brace.
- Jackendoff, R. (1983). *Semantics and cognition*. Cambridge : MIT Press.
- Jackendoff, R. (1995). *Semantic Structures*. Cambridge, MA: MIT Press
- Jackendoff, R. S. (1997). *The Architecture of Language Faculty*. MIT Press
- Jackendoff, R. S. (2002). *Foundations of Language Brain Meaning Grammar & Evolution*. Oxford : Oxford University Press
- Jamet, F. (1999). *Raisonnement temporel : Étude génétique de l'indécidabilité de l'enfant à l'expert*. Lille : Presses Universitaires du Septentrion.
- Jamet, F., Legros, D. & Déret, D. (2000). Homo faber, homo sapiens : approche développementale du raisonnement causal chez l'enfant de 6 à 11 ans. *Colloque Constructivisme : usages et perspectives en éducation*, (pp 70-78) 4-8 septembre 2000. Genève : Switzerland.

- Jamet, F., Legros, D. & Es-Saïdi. (2003). Raisonnement causal et déficience intellectuelle chez l'enfant de 10 ans : s'il te plaît dessine-moi un vélo. *Handicap, Revue de Sciences humaines et sociales*, 99, 33-44.
- Johnson, E.C., & Josey, C.C. (1932). A note on the development of thought forms of children as described by Piaget. *J. Abn. Soc. Psycholol.*, 26, 338-339.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- Keil, F. C. (1986). On the structure dependent nature of stages in cognitive development. In I. Levin (Ed.), *Stage and structure: Reopening the debate* (pp. 144-163). Norwood, NJ: Ablex
- Krist, H., Fieberg, E. L. & Wilkening, F. (1993). Intuitive physics in action and judgment : The development of knowledge about projectile motion. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, & Cognition*, 19, 952-966.
- Langston, M., & Trabasso, T. (1999). Modeling causal integration and availability of information during comprehension of narrative texts. In H. van Oostendorp, & S. Goldman (Eds.), *The construction of mental representations during reading* (pp. 29-69). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum
- Laurendeau, D. & Pinard, A. (1962). *La pensée causale*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Legros, D. (1991). L'activité de production de texte dirigée par les représentations du monde. *Recherche en Éducation. Théorie et Pratique*, 2/3, 9-17.
- Legros, D. (1998). Acquisition de connaissances techniques. In R. Ghiglione, & J.F. Richard, *Cours de Psychologie, T.3. Champs et théories*, (p. 109-116). Paris: Dunod.
- Legros, D. & Baudet, S. (1996). Le rôle des modalisateurs épistémiques dans l'attribution de la vérité propositionnelle. *International Journal of Psychology*, 31 (6), 235-254.
- Legros, D., Baudet, S. & Denhière, G. (1994). Analyse en systèmes des représentations d'objets techniques complexes et production de textes. In G. Gagné & A. Purves, *Papers in mother tongue Éducation I/ Études en pédagogie de la langue maternelle* (pp. 127-156). Münster/New York : Waxman.
- Legros, D., Mervan, H., Denhière, G. & Salvan, C. (1998). Comment aider les élèves de CE1 à construire la cohérence globale de la signification d'un texte ? *Repères*, 18, 81-96.
- Le Ny, J. F. (1979). *La sémantique psychologique*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Le Ny, J. F. (1989). *Science cognitive et compréhension du langage*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Leslie, A.M. (1982). The perception of causality in infants. *Perception*, 11, 173-186.
- Leslie, A.M. (1984). Spatiotemporal continuity and the perception of causality in infants. *Perception*, 13, 287-305.

- Leslie, A. M. & Keeble, S. (1987). Do six-month-old infants perceive causality? *Cognition*, 25, 265-288.
- Mackie, J. L. (1974). *The cement of universe. A study of causation*. Oxford : Clarendon Press.
- Maine de Biran (1942). *Œuvres choisies, avec introduction et notes*. Paris : Aubier.
- Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1991). Animations need narrations : An experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83 (4), 484-490.
- McCabe, A. & Peterson, C. (1985). A naturalist study of the production of causal connectives by children. *Journal of Child Language*, 12, 145-169.
- Michotte, A. (1954). *La perception de la causalité*. Paris – Bruxelles : Publications Universitaires de Louvain et Éditions Érasme. 2^{ième} éd.
- Moeschler, J. (éds. 1998). *Le temps des événements, pragmatique de la référence temporelle*. Paris : Kimé.
- Moses, N., Klein, H.B., Altman, E. (1990). An approach to accessing and facilitating causal language in adults with learning disabilities based on Piagetian theory. *Journal of Learning Disabilities*, 23, 220-228.
- Munnich, E., & Landau, B. (2003). The effects of spatial language on spatial representation : setting some boundaries. In D. Gender, & S. Golding-Meadow, (Eds.), *Language in mind*. (pp. 113-156), Cambridge, Massachusetts. The MIT Press.
- Nef, F. & François, J. (1987). Qu'apportent les modèles cognitifs à la sémantique du discours ? Reconnaissances des relations temporelles entre événements et constitution d'un univers de savoir à la lecture d'une dépêche de presse. *DRLAV*, 36/37, 199-226.
- Pacherie, E. (1997). Domaines conceptuels et modularité. In V. Rialle & D. Fiset, *Penser l'esprit, de la cognition à une philosophie cognitive* (pp. 175-185). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Piaget, J. (1924). *Le jugement et le raisonnement chez l'enfant*. Neuchâtel-Paris
- Piaget, J. (1926). *La représentation du monde chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux & Nestlé
- Piaget, J. (1927). *La causalité physique chez l'enfant*. Paris : Alcan.
- Piaget, J. (1964). Cognitive development in children: Development and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(2), 176-186.
- Piaget, J. (1971). *Les explications causales*. Etudes d'Epistémologie Génétique, XXVI. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1972). *La transmission des mouvements*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J., & Garcia, R. (1971). *Les explications causales*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piret, R. (1973). *Psychologie différentielle des sexes*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Proffitt, D. R., Kaiser, M. K. & Whelan, S. M. (1990). Understanding wheel dynamics. *Cognitive psychology*, 22, 342-373.

- Powesland, P.F. (1959). The effect of practice upon the perception of causality. *Canadian Journal of Psychology*, 13, 155-168.
- Premack, D. (1990). The infant's theory of self-propelled objects. *Cognition*, 36, 1-16.
- Proffitt, D. R., Kaiser, M. K. and Whelan, S. M. (1990). Understanding wheel dynamics. *Cognitive Psychology* 22:342-373
- Putnam, H. (1975). *Mind, Language and Reality*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Rosch, E. (1978). Principles of categorization, In E. Rosch & B. B. Lloyd, *Cognition and categorization* (pp. 27-48). Hillsdale : Laurence Erlbaum.
- Salvan, C., Jamet, F. & Legros, D. (à paraître) Raisonnement causal, effet du travail collaboratif chez des déficients intellectuels légers. *Cognition, Raisonnement & Didactique*.
- Salvan, C., Darty, M., Legros, D., Pudelko, B., & Jamet, F. (2002). Comparaison entre représentation dessinée et représentation verbale chez les garçons et chez les filles. Expérimentations. Projet Cognitique N°38, *Étude des effets des systèmes et des outils multimédias sur la lecture, la compréhension, la production de texte et la construction des connaissances. Implications sur l'apprentissage et l'enseignement*, Rapport de Recherche, Chapitre 2, pp. 38-54.
- Salvan, C., Wagner, F., Legros, D. Jamet, F., & Maître de Pembroke, E. (2002). Comparaison entre représentation dessinée et représentation verbale chez les enfants de CM2 et chez les enfants de CLIS : Effet du travail collaboratif. Expérimentation. Projet Cognitique N°38, *Étude des effets des systèmes et des outils multimédias sur la lecture, la compréhension, la production de texte et la construction des connaissances. Implications sur l'apprentissage et l'enseignement*, Rapport de Recherche, Chapitre 2, pp. 55-66.
- Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1991). Higher levels of agency for children in knowledge building : A challenge for the design of new knowledge media. *The Journal of Learning Sciences*, 1 (1), 37-68.
- Searle, J. R. (1983). *Intentionality*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Slackman, E. A., Hudson, J. A. & Fivush, R. (1986). Actions, actors, links and goals : the structure of children's events representation. In K. Nelson, *Event knowledge, structure and function in development* (pp. 47-69). Hillsdale, NJ : Laurence Erlbaum.
- Spelke, E. S. (1990). Principles of object segregation. *Cognitive Science*, 14, 29-56.
- Spelke, E. S. (1994). Initial Knowledge : Six suggestions. *Cognition*, 50, 431-445
- Spelke, E. S., Breinlinger, K., Jacobson, K., & Phillips, A. (1993). Gestalt relations and object perception: A developmental study. *Perception*, 22(12), 1483-1501
- Spelke, E. S. Phillips, A. & Woodward, A.L. (1995). Infant's knowledge of object motion and human action. In D. Premack, J. Premack & D.

- Sperber (Eds). *Causal cognition : A multidisciplinary debate*. Oxford : Clarendon.
- Sperber, D., Premack, D. & Premack, A. J. (1995). *Causal cognition*. Oxford : Clarendon Press.
- Stern, W. (1928). *Psychology of Early Childhood* (6th ed) (Trans. by Anna Barwell) (pp. 4-10). London : Allen & Unwin.
- Strauss, C., & Quinn, N. (2001). *A cognitive theory of cultural meaning*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Talmy, L. (1988). Force dynamics in language and cognition. *Cognitive Science*, 12, 49-100. Stern, W. (1928). *Psychology of Early Childhood* (6th ed) (Trans. by Anna Barwell) (pp. 4-10). London : Allen & Unwin.
- Talmy, L. (1995). The Cognitive Culture System. *Monist* 78 (1995): 80-114
- Van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York : Academic Press.
- von Wright, G. H. (1967). The Logic of Action : A sketch. In N. Rescher (Ed.), *The logic of decision and action*. Pittsburgh : University of Pittsburgh Press.
- Wellman, H. (1990). *The child theory of mind*. Cambridge, MA : MIT Press.
- Wellman, H. M. & Gelman, S. A. (1992). Cognitive development : Foundational Theories in core domains. *Annual Review of Psychology*, 43, 337-375.
- Winston, M. E., Chaffin, R., & Hermann, D. J. (1987). `A Taxonomy of Part-Whole Relations. *Cognitive Science* 11: 417-444