

Chapitre 1

Les connaissances naïves chez l'enfant

Jacques Lautrey¹

Les idées naïves que les enfants expriment parfois sur le monde tel qu'ils se le représentent ont de tous temps fait l'objet d'anecdotes qui ravissent les adultes, mais leur étude systématique, guidée par un questionnement théorique, ne date que de quelques décennies. C'est de cette étude systématique, telle qu'elle a été entreprise par les chercheurs en psychologie du développement qu'il sera question dans ce chapitre².

Par connaissances naïves, nous entendons les croyances ou connaissances que les enfants acquièrent à partir de leur propre expérience dans les situations de la vie quotidienne. Ces connaissances sont en général différentes des connaissances scientifiques et de celles qui sont enseignées dans le système scolaire. L'objectif est de faire le point sur ce que l'on sait actuellement de ces connaissances naïves et de leur développement spontané.

Le terme « spontané » signifie seulement ici, et dans la suite de ce chapitre, que le changement auquel on s'intéresse est celui qui peut être observé en l'absence d'enseignement scolaire des connaissances scientifiques correspondantes. Cela ne signifie pas que ce changement se fait sans contact avec les connaissances scientifiques telles qu'elles ont diffusé dans l'environnement culturel où l'enfant grandit. Le changement conceptuel spontané est donc défini ici comme celui qui résulte à la fois de l'expérience propre de l'enfant dans son environnement matériel et culturel quotidien, incluant les informations qu'il tire de ses discussions avec les adultes, et de la maturation neurobiologique qui accompagne l'avancée en âge. Les caractéristiques du changement conceptuel provoqué par l'instruction, dans le cadre du système scolaire, seront abordées dans les chapitres 2 et 3, où se posera alors la

¹ Professeur émérite de psychologie à l'Université Paris-Descartes.

² Nous remercions Jacqueline Bideaud, Karine Mazens, et les co-auteurs de cet ouvrage d'avoir bien voulu faire une lecture critique d'une version précédente de ce chapitre.

question de la coexistence entre les connaissances naïves et les connaissances scientifiques qui font l'objet de l'enseignement. Dans le présent chapitre, le propos sera par ailleurs restreint au développement des connaissances naïves dans le domaine du vivant et de la matière inanimée (en laissant de côté notamment le domaine de l'esprit).

La première partie de ce chapitre donne un aperçu des travaux pionniers qui ont défini la problématique de la recherche sur les connaissances naïves des enfants et en ont durablement marqué le domaine. La seconde dégage, à partir de l'analyse de ces travaux pionniers, les positions théoriques en présence et les questions qui font débat. La troisième partie enfin détaille deux exemples de recherches qui illustrent de façon concrète deux approches différentes du changement conceptuel spontané.

Les travaux pionniers

Deux ensembles de travaux, séparés par un demi-siècle, ont posé les bases de la recherche sur ce thème. Le premier est constitué par les études que Piaget a effectuées, dans les années vingt, sur la représentation du monde chez l'enfant. Le second est lié au développement des sciences cognitives et au renouvellement des idées qu'il a provoqué, à partir des années soixante-dix, en psychologie du développement. Ces deux phases de la recherche ont été inspirées par des questionnements différents, issus de contextes théoriques différents.

L'approche piagétienne des connaissances naïves chez l'enfant

Les études que Piaget a consacrées aux représentations des enfants font partie de ses travaux de jeunesse. Elles ont été publiées dans deux ouvrages, *La représentation du monde chez l'enfant* (Piaget, 1926) et *La causalité physique chez l'enfant* (Piaget, 1927). A l'époque, qui était celle de la montée en puissance du behaviorisme en psychologie, le moins que l'on puisse dire est que l'étude des représentations n'était pas à la mode.

Pour comprendre ce qui a motivé Piaget à aborder cette question, à contre-courant des idées en vogue en psychologie à l'époque, il faut se souvenir qu'il s'intéressait davantage à l'épistémologie qu'à la psychologie. Sa motivation principale était de comprendre le processus de développement des connaissances, envisagé comme la forme la plus avancée des processus par lesquels un organisme biologique s'adapte à son environnement. C'est la raison pour laquelle il avait été particulièrement intéressé par les travaux de Lévy-Bruhl sur la représentation du monde chez les peuplades que l'on appelait en ce temps là « primitives », en

particulier par l'ouvrage *La mentalité primitive*, publié en 1922. Selon Lévy-Bruhl, du moins au moment de la rédaction de cet ouvrage car ses idées ont évolué par la suite, la pensée primitive n'obéissait pas aux principes d'identité et de non contradiction qui fondent la logique. Il la caractérisait par une forme d'appréhension directe, intuitive – qu'il appelait *participation* – établissant des relations mystiques entre les événements, ne faisant pas de distinction claire entre le soi et le groupe social d'appartenance, entre les ancêtres morts et les vivants, entre le rêve et la réalité. Pas de distinction nette non plus entre le vivant et le non vivant, d'où une pensée animiste.

Il faut aussi se souvenir que faute de pouvoir observer directement la phylogénèse des connaissances, Piaget pensait pouvoir en observer l'ontogénèse chez l'enfant et en tirer des enseignements valables à l'échelle de la phylogénèse. C'est avec cette motivation qu'il s'est tourné vers la psychologie du développement. On peut supposer que les travaux de Lévy-Bruhl ont contribué à faire germer chez lui l'idée de caractériser la spécificité de la pensée enfantine comme Lévy-Bruhl l'avait fait pour la pensée dite primitive. L'une et l'autre offraient en effet une fenêtre – de nature différente certes – sur le point de départ du processus de construction de la connaissance.

Bien que Piaget ait été conscient – il y revient plusieurs fois dans les ouvrages cités plus haut – que dans cette entreprise il convenait, « d'oublier » ce qu'il savait de la mentalité primitive et d'étudier la mentalité de l'enfant pour elle-même, ses investigations ont été en partie orientées par les concepts et les observations de Lévy-Bruhl.

La méthode d'investigation choisie par Piaget est celle qu'il qualifiait de « clinique », un mode de questionnement des enfants qui consiste à concilier au mieux deux exigences contradictoires : d'une part laisser parler l'enfant sans l'influencer, d'autre part avoir à chaque instant quelque hypothèse de travail, juste ou fausse, à contrôler, qui oriente le questionnement.

Les observations recueillies par cette méthode auprès d'enfants dont les âges variaient de 3-4 ans à 11-12 ans ont conduit Piaget à conclure que l'état initial de la pensée des plus jeunes d'entre eux se caractérise par une absence de différenciation entre soi et la réalité extérieure à soi, l'évolution cognitive se faisant alors par un processus de différenciation progressive entre le subjectif et l'objectif, entre le moi et ce qui lui est extérieur, que cet extérieur soit une autre personne ou un objet. L'indifférenciation initiale juste mentionnée expliquerait les principales caractéristiques de la pensée des enfants les plus jeunes : le réalisme, l'animisme, l'artificialisme, la participation et la pensée précausale.

Le réalisme ...consiste à ignorer l'existence du moi, et, dès lors, à prendre la perspective propre comme immédiatement objective et pour absolue. Dans la mesure où la pensée n'a pas pris conscience du moi, elle s'expose en effet à de perpétuelles confusions entre le subjectif et l'objectif (Piaget, 1926, p. 4).

Le réalisme consiste donc à interpréter les phénomènes mentaux comme concrets et physiques, c'est-à-dire comme des objets. C'est ainsi que les enfants de 5-6 ans interrogés par Piaget considèrent que le nom des choses est une propriété de celles-ci, qu'il fait partie d'elles et en émane directement. Il en va de même pour le rêve. Les enfants de 5-6 ans croient que le rêve vient du dehors, qu'il est dans la chambre. Les enfants de 7-8 ans pensent que le rêve vient de la tête, mais qu'il est dans la chambre, devant nous. Cette évolution vers l'intériorisation s'achève chez les enfants de 9-10 ans, pour lesquels le rêve vient de la pensée et se situe dans la tête.

L'animisme est le phénomène réciproque du réalisme : il consiste à considérer comme vivantes et conscientes des entités qui, pour nous, sont inertes. Piaget distingue 4 stades dans l'évolution qui va de l'animisme à la distinction que nous faisons entre le monde du vivant et celui de la matière inerte. Au stade 1 (âge moyen 6-7 ans), la vie est assimilée à l'activité en général. Exemple de dialogue avec Vel. (8 ;6) : «Le soleil est vivant ? – *Oui.* – Pourquoi ? - *Il éclaire.* – Une bougie est vivante ? – *Elle est vivante quand elle éclaire, elle est pas vivante quand elle éclaire pas.* – Une bicyclette est vivante ? – *Non quand elle marche pas elle est pas vivante, quand elle marche elle est vivante.* – Une montagne est vivante ? – *Non.* – Pourquoi ? - *Parce qu'elle fait rien* ». Au stade 2 (âge moyen 7-8 ans), la vie est assimilée plus précisément au mouvement : Zimm (8 ;1) « Un chat, c'est vivant ? – *Oui.* – Un escargot ? – *Oui.* – Une table ? - *Non.* – Pourquoi ? - *Elle bouge pas.* – Une bicyclette ? - *Oui.* – Pourquoi ? – *Elle roule.* – Un nuage est vivant ? – *Oui.* – Pourquoi ? – *Il avance des fois* ». Au stade 3 (9-10 ans), la vie est assimilée au mouvement propre : Sart. (12;6) « Tu sais ce que c'est d'être vivant ? – *Oui.* - Une mouche, c'est vivant ? – *Oui.* – Pourquoi ? - *Parce que si elle était pas vivante, elle pourrait pas voler.* – Une bicyclette, c'est vivant ? – *Non.* – Pourquoi ? - *C'est nous qu'on la fait rouler* ». Au stade 4 enfin (11-12 ans), la vie n'est plus attribuée qu'aux animaux et aux plantes.

L'artificialisme est une notion que Piaget dit emprunter à une étude de Brunshvicg sur Aristote. Elle désigne la croyance selon laquelle les choses de la nature sont le produit de la fabrication humaine. En voici deux exemples : Griar. (5 ;6) « Qu'est-ce que la pluie ? – *C'est de l'eau.* – Elle vient d'où ? – *Du ciel.* – Il y a de l'eau dans le ciel ? – *C'est le Bon Dieu qui la fait descendre.* - Comment ? - *Il verse des seaux d'eau dehors.* – Qui t'a dit ça ? –

Personne. – Où le Bon Dieu prend l'eau ? – *Dans son robinet.* – D'où vient l'eau de son robinet ? - ... (il rit) ». Piaget juge qu'à cet âge, l'invocation du Bon Dieu n'a pas un sens différent de celui qu'a, comme dans l'exemple suivant, l'invocation des hommes en général : Bois. (5 ;6). « Comment se fait la neige ? – *Des messieurs qui la font.* – Comment ? - *Ils la font toute haute.* – Qu'est-ce que ça veut dire ? – *Ils la bâtissent.* – Comment ça se fait qu'elle tombe ? – *Ils font des petits trous.* – Où ? – *Au ciel* ». Piaget situe l'origine de l'artificialisme dans la propension à attribuer des intentions et dans la croyance du très jeune enfant en la toute puissance des parents :

En deux mots, l'enfant conçoit tout objet, y compris les corps de la nature, comme 'fait *pour*'. Par exemple, le soleil est fait pour chauffer, le lac pour aller en bateau, etc., donc tout est 'fait *pour*' l'homme et par conséquent lié à l'homme de très près. Ce serait la raison pour laquelle, lorsqu'on demande à l'enfant – ou lorsqu'il se demande à lui-même - comment ont commencé le soleil, le lac, etc., c'est à l'homme que pense l'enfant et la formule 'le soleil est fait *pour* l'homme' devient 'le soleil est fait *par* l'homme'....Le passage du fait *pour* au fait *par* s'explique, en effet, aisément si l'on se rappelle que l'enfant, dont l'existence entière est organisée par ses parents, considère tout ce qui est fait pour lui comme fait par son père ou sa mère. Derrière la formule artificialiste déclenchée par l'interrogatoire, ce serait donc la participation anthropocentriste qui constituerait le vrai noyau de l'artificialisme (Ibid, p. 376).

Derrière l'artificialisme, comme derrière l'animisme, il y a donc la notion d'intention :

Or, pour mieux dire, l'enfant commence par voir partout des intentions, et, c'est secondairement seulement qu'il s'occupe de les classer en intentions des choses elle-mêmes (animisme) et intentions des fabricateurs des choses (artificialisme). (Ibid).

La notion de participation, invoquée plus haut, est centrale dans la définition de la pensée que Piaget appelle précausale et qui, selon lui, caractérise les enfants les plus jeunes.

Nous appellerons 'participation', conformément à la définition donnée par M. Lévy-Bruhl, la relation que la pensée primitive croit apercevoir entre deux êtres ou deux phénomènes qu'elle considère soit comme partiellement identiques, soit comme ayant une influence directe l'un sur l'autre, bien qu'il n'y ait entre eux ni contact spatial, ni connexion causale intelligible.... Nous appellerons magie l'usage que l'individu croit pouvoir faire des relations de participation en vue de modifier la réalité. (Ibid, p. 117).

Dans les études consacrées à la causalité physique, les enfants participent à une petite expérience dans laquelle l'expérimentateur, en joignant les mains, produit par pression répétée des paumes, un petit courant d'air. Il demande alors à l'enfant d'où vient cet air : Zel. (4a ;6) « Regarde. Tu entends ? Qu'est-ce que c'est ? – *Du vent.* – D'où il vient ? – *De la fenêtre.* – Il y a du vent dans mes mains ? – *Non.* – Et dans la chambre ? – *Non.* – Et maintenant ? (pression des mains) – *Oui.* – D'où il vient ? – *De la fenêtre.* – Et le vent de la fenêtre. – *Du ciel.* – Comment il est venu ? – *Par la fenêtre, puis après, il rentre dans les mains.* – Quand il est venu ? – *Quand on a fait ça* (quand on serre les mains). – *Comment il est venu ?* – Je sais pas. – *Comment ?* – *Entre deux la fenêtre* (la fenêtre est naturellement fermée, Zel. suppose que le vent passe par la fente entre les deux battants de la fenêtre) » (Piaget, 1927, p. 8).

Piaget commente ainsi cet échange :

...il y a du vent dehors, les mains font du vent, et ces deux sortes de vent sont directement et matériellement assimilés l'un à l'autre, sans souci du comment de cette liaison. Tel est le fait que nous désignons sous le nom de participation.» (Piaget, 1927, p. 11).

Dans l'ouvrage sur la causalité physique chez l'enfant, Piaget rapporte aussi quelques études dans lesquelles l'expérimentateur demande à l'enfant de faire une prévision sur l'issue d'une expérience, puis est confronté au résultat, avec demande d'explication de la prévision et du résultat. Un des problèmes soumis aux enfants concerne la flottaison des bateaux sur le lac de Genève. Pour rendre le problème concret, l'interrogation est menée avec une cuvette d'eau et un jeu de bouts de bois, de cailloux, de clous, dont on demande à l'enfant s'ils flotteront ou pas et pourquoi ils flottent ou ne flottent pas. Quatre stades sont distingués dans les réponses des enfants. Durant le premier, qui prend fin vers 5 ans, la flottaison est expliquée par des raisons animistes et morales : Fre (4 ;10) « Est-ce que ce petit bateau (en bois) va rester sur l'eau ou aller au fond ? – *Il va rester sur l'eau, parce qu'ils doivent toujours rester sur l'eau.* – Les grands bateaux, pourquoi ils restent ? – *J'sais pas.* – Cette allumette ? – *Elle reste parce qu'elle doit rester.* – Et une pierre. – *Elle ira au fond.* – Pourquoi ? – *J'sais pas.* – Et un bout de verre ? – *Il ira au fond.* – Pourquoi ? – *Parce que c'est pas permis de mettre du verre sur l'eau.* ». Piaget souligne qu'à cet âge, la nécessité semble rester toute morale : la loi physique se confond encore avec la règle sociale. Durant le second stade (âge moyen 5-6 ans), les enfants donnent des explications de type dynamique, ils estiment que les bateaux flottent parce qu'ils sont lourds, le poids étant ici envisagé comme une force qui permet aux bateaux de se soutenir eux-mêmes : Col. (5 ;9) « *Les barques ça reste sur l'eau parce que ça bouge* – Et les grands bateaux ? – *ça reste sur l'eau parce que c'est lourd* ». Durant le troisième stade

(moyenne 6-8 ans), les enfants disent au contraire qu'ils flottent parce que légers, en invoquant la force de l'eau ou leur élan qui les maintient sur l'eau : Biz. (10 ;3) « Les petites barques, pourquoi elles restent sur l'eau ? – *Parce que le bois est léger, ils peuvent rester sur l'eau.* – Et les grands bateaux ? – *Parce que l'eau est haute, ça soutient le bateau, il y a une grande profondeur.*». Mart (9 ;7) « Pourquoi les grands bateaux restent sur l'eau ? – *Parce qu'ils ont des machines.* – Et quand c'est arrêté ? – *Ils l'attachent. Ils mettent des grosses chaînes.* – Et les petits bateaux ? – *C'est à force de ramer.* – Et si on cesse ? – *C'est l'élan qui les fait tenir.* ». Le quatrième stade est marqué par l'intuition d'une relation entre le poids et le volume : Luc. (11 ;3). « Pourquoi un grand bateau reste sur l'eau ? – *Parce que c'est léger.* – *Qu'est ce qui est le plus léger, un grand bateau ou un caillou ?* – Le caillou. – Le caillou va au fond ? – Oui. – Alors pourquoi le bateau reste sur l'eau et le caillou va au fond ? *Parce que le bateau est plus léger que le caillou.* – Pourquoi le bateau reste sur l'eau ? – *Parce qu'il est vide.* ». Piaget tire de ces observations une loi d'évolution des explications causales qu'il formule ainsi :

...le déterminisme moral des débuts cède le pas à un dynamisme intégral, et le dynamisme cède le pas aux explications mécanistes en faisant intervenir des relations plus que des forces. Du dynamisme au mécanisme, telle pourrait être la formule. (Ibid, p. 180).

Plus généralement, Piaget voit dans l'indifférenciation initiale entre le moi et ce qui lui est extérieur, la caractéristique essentielle de la pensée des enfants les plus jeunes. C'est selon lui la source commune de l'animisme, du réalisme et de l'artificialisme qui caractérisent leur pensée. Il qualifie cette pensée de prélogique, dans la mesure où elle ne lui semble pas contrainte par les principes d'identité et de non contradiction. Il la qualifie aussi de précausale dans la mesure où elle établit des relations directes – par participation – entre les événements, sans souci des distances ni du temps que l'action devrait prendre pour aller de la cause à l'effet, sans souci non plus du comment et des mécanismes intermédiaires. Le premier pas dans l'évolution de cette forme de pensée lui paraît être l'émergence de la distinction entre ce qui relève du moi et ce qui n'en relève pas, entre le subjectif et l'objectif donc, au contact des résistances que la réalité physique et sociale oppose à l'action. Le pas suivant lui paraît être celui qui fait passer l'enfant des notions absolues (le bateau est lourd ou le bateau est léger) centrées sur le point de vue propre, aux notions relatives coordonnant les points de vue (le bateau est léger relativement à l'eau). Comme on sait, Piaget a par la suite attribué ce processus de décentration à la construction des structures opératoires issues de la coordination des actions. A partir de là, son œuvre a été entièrement consacrée à l'étude du processus de

construction de ces structures opératoires en laissant complètement de côté l'étude de la structuration des connaissances qu'il pensait – à tort nous le verrons – subordonnée à celle des structures opératoires.

L'approche cognitiviste des connaissances naïves chez l'enfant

Après cette contribution initiale de Piaget, la question du développement des connaissances est passée au second plan. L'air du temps était à l'étude de la genèse des opérations mentales. Lorsque l'influence des modèles de traitement de l'information a commencé à se faire sentir en psychologie du développement, vers la fin des années soixante, c'est la possibilité d'étudier les processus mentaux sous-jacents aux opérations logiques (sériation, classification, conservation) qui a retenu l'attention dans un premier temps. C'est seulement un peu plus tard, vers la fin des années soixante-dix, donc près d'un demi-siècle après la contribution initiale de Piaget - que s'est manifesté un net regain d'intérêt pour l'étude de l'organisation des connaissances. Pourquoi cette question est-elle revenue à ce moment là sur le devant de la scène ?

A la jonction de la psychologie cognitive et de l'intelligence artificielle, certains chercheurs ont eu un moment l'espoir de modéliser la résolution de problème en appliquant, quel que soit le problème, un algorithme général (cf. le General Problem Solver de Newell, Shaw, et Simon, 1960). L'échec persistant de cette approche a contraint à admettre que, pour devenir efficaces, les programmes d'intelligence artificielle devaient intégrer non seulement des opérations de traitement, mais aussi des connaissances. Ceci a conduit à développer, plutôt que des programmes généralistes, des systèmes experts dédiés à la résolution de problèmes spécifiques d'un domaine (par exemple le jeu d'échecs ou le diagnostic médical), et donc à s'intéresser à la nature et à la structure des connaissances des experts dans le domaine ciblé. La comparaison des experts aux novices est un des thèmes de recherche qui ont contribué à remettre l'étude des connaissances naïves à l'ordre du jour. De quelles connaissances minimales doit être doté un système cognitif – humain ou artificiel - à l'état initial, pour être capable d'acquérir des connaissances nouvelles ? Cette question était au centre du débat entre Piaget et Chomsky (Piattelli-Palmarini, 1975). Chomsky et Fodor soutenaient qu'aucun apprentissage n'est possible sans que certaines structures cognitives initiales – donc innées chez l'humain - limitent le nombre des inférences possibles à partir de l'information contenue dans le stimulus. C'est dans ce contexte théorique que l'étude de la nature et de la structure des connaissances des enfants est revenue dans l'air du temps au début des années quatre-

vingts. Quatre grandes approches peuvent être distinguées dans les travaux qui ont joué un rôle pionnier dans cette seconde phase de la recherche sur les connaissances naïves des enfants en psychologie du développement : la comparaison entre experts et novices, l'étude des théories naïves des enfants, l'étude de leur connaissance ontologique, et les recherches suscitées par l'hypothèse de modularité de l'esprit.

L'enfant comme novice universel

Les études comparant les connaissances d'experts et de novices dans un domaine spécifique ont d'abord été conduites sur des adultes, dans des domaines comme le jeu d'échecs, la physique, ou la résolution de problèmes mathématiques. Une expérience de Chi, Feltovich et Glaser (1981), sur la catégorisation de problèmes de physique, peut en illustrer le principe. Une série de 24 problèmes de mécanique a été soumise par ces auteurs à deux groupes de participants, l'un formé d'étudiants en physique n'ayant eu qu'un semestre d'enseignement de la mécanique (les novices), l'autre formé de doctorants en physique (les experts). Il était simplement demandé aux uns et aux autres de catégoriser ces 24 problèmes du point de vue de leur similarité dans la façon de les résoudre. Les novices et les experts ont catégorisé ces problèmes sans difficulté, en formant à peu près le même nombre de catégories (en moyenne 8,5), à peu près à la même vitesse (en moyenne 40 secondes par problème chez les experts et 37 secondes chez les novices). De ceci, les auteurs ont conclu à l'absence de différences entre les deux groupes quant aux capacités cognitives générales (niveau de différenciation des catégories et vitesse de traitement). La nature des catégories formées par les deux groupes de participants était par contre fort différente, les novices ayant catégorisé les problèmes en fonction de leur similarité du point de vue des caractéristiques de surface (présence de poulies, de ressorts, de plans inclinés, etc.) tandis que les experts avaient catégorisé ces mêmes problèmes en fonctions de leur similarité du point de vue des principes de la physique mis en jeu (loi de conservation de l'énergie, seconde loi de Newton, etc.). Les recherches de ce genre ont mis l'accent sur le fait que les différences de performance entre experts et novices ne tiennent pas à des différences de capacité cognitive générale mais à des différences dans la nature et la structure des connaissances.

Une des hypothèses que ce type d'observation a fait germer en psychologie du développement a été que les différences de performance cognitive observées entre enfants d'âges différents, ou entre enfants et adultes, tiennent peut-être simplement à des différences d'expertise plutôt qu'à des différences dans les capacités générales de traitement de l'information. Les enfants

seraient en somme, pour reprendre l'expression de Brown et DeLoache (1978), des novices universels.

Une expérience réalisée par Michelene Chi (1978) a souvent été citée à l'appui de cette hypothèse. Elle a consisté à comparer l'empan de la mémoire à court terme d'enfants et d'adultes dans une épreuve de répétition de séries de nombres (classiquement utilisée pour évaluer l'empan de la mémoire à court terme) et dans le rappel des positions des pièces disposées sur un jeu d'échec. Les enfants avaient en moyenne dix ans et les adultes étaient des doctorants ou assistants en psychologie. Les uns et les autres savaient jouer aux échecs, mais l'intérêt de cette expérience tient à ce que, dans ce cas, les enfants étaient plus experts que les adultes. L'empan de la mémoire à court terme dans le jeu d'échecs était évalué en utilisant le même paradigme expérimental que celui utilisé par Chase et Simon (1973) pour comparer les capacités de mémorisation des experts et des novices. Un jeu d'échecs comportant 24 pièces positionnées en cours de partie était montré pendant 10 secondes, puis masqué. Les participants devaient alors replacer sur un échiquier vierge, dans leur position exacte, le maximum de pièces de la configuration cachée. Dans l'épreuve de répétition de séries de nombres, l'empan moyen de la mémoire à court terme des enfants était comme de coutume inférieur à celui des adultes (6, 1 contre 7, 8). Dans l'épreuve de mémorisation des pièces situées sur l'échiquier, leur empan moyen était par contre supérieur à celui des adultes (9,3 contre 5,9).

Les expériences de ce genre ont conduit à se demander ce qui, dans la différence de capacité cognitive observée entre les enfants et les adultes, est attribuable au manque d'expertise des enfants dans les domaines spécifiques où leurs capacités générales sont évaluées (car les capacités cognitives générales ne peuvent être évaluées que dans des domaines peu ou prou spécifiques).

Les théories naïves

Une autre thèse, avancée à la même époque, est que les connaissances naïves des enfants sont structurées en systèmes cohérents, qui jouent dans le changement conceptuel un rôle analogue à celui que jouent les théories dans le développement des connaissances scientifiques (Gopnik et Wellman, 1994). Ces théories naïves n'ont évidemment pas le niveau de complexité, d'abstraction et d'explicitation des théories scientifiques, mais elles sont supposées avoir en commun avec ces dernières de fournir des explications causales, d'engendrer des prédictions, et de pouvoir être modifiées lorsque les faits ne confirment pas les prédictions.

Susan Carey a cherché à étayer cette thèse en étudiant les connaissances des enfants sur le monde du vivant (Carey, 1985). Elle contestait l'interprétation que Piaget (1926) avait faite des réponses des enfants les plus jeunes en qualifiant leur pensée d'animiste. Cette interprétation lui paraissait reposer sur le postulat implicite que le mot « vivant », a le même sens pour les enfants que pour nous. Selon elle, la distinction que les plus jeunes d'entre eux font entre vivant et non vivant se ramène en fait à une distinction entre vivant et mort, la notion de mort étant elle-même confondue avec l'absence de mouvement. Par conséquent, est vivant ce qui bouge et n'est pas vivant ce qui est immobile (ce qui n'est au fond pas très différent de ce qu'observait Piaget). Mais Carey voulait souligner par là que la sémantique sous-jacente au mot « vivant » n'a, pour les enfants de 4 ou 5 ans, rien à voir avec une quelconque connaissance des fonctions physiologiques (alimentation, respiration, reproduction, etc.) qui entretiennent le cycle de la vie. Un des objectifs de son étude était donc d'analyser en quoi consiste précisément le contenu des concepts d'animal et de vie chez les enfants et comment ces concepts se développent. Elle s'est pour cela appuyée sur les paradigmes expérimentaux utilisés dans les recherches de psychologie cognitive sur la catégorisation et la formation de concepts (attribution de propriétés, induction de propriétés, erreurs de catégorisation).

L'hypothèse générale qui a guidé ses recherches est qu'entre 4 et 10 ans se produit une véritable restructuration de la théorie naïve dans le cadre de laquelle les enfants interprètent les phénomènes biologiques. A quatre ans, ils ne disposeraient, pour expliquer ces phénomènes, que de la psychologie naïve qu'ils ont élaborée à partir de leur propre expérience et de celle qu'ils ont des comportements des autres personnes. Ils attribueraient alors leurs propres caractéristiques aux autres animaux en fonction de leur degré de similarité globale avec la personne humaine. Cette théorie naïve se restructurerait ensuite au fur et à mesure que commencerait à être comprise la fonction des différents organes dans le maintien de la vie.

Le paradigme d'attribution de propriétés a été utilisé dans une série d'expériences où il était demandé aux participants – des enfants de 4 ans, 7ans, 10 ans, et des adultes – de dire si, à leur avis, telle ou telle entité possède ou non telle ou telle propriété. Dans une de ces expériences, par exemple, les propriétés testées étaient : manger, dormir, avoir des bébés, avoir des os, avoir un cœur, penser. Les trois premières sont universelles dans le règne animal, les trois suivantes sont des formes d'adaptation plus particulières à une fonction universelle (par exemple, chez certains animaux, l'armature du corps est une carapace plutôt qu'un squelette). La propriété « être vivant » a aussi été ajoutée pour permettre la comparaison avec

les résultats de Piaget. Les entités à propos desquelles la question était posée – en montrant une image de l'entité considérée – étaient des animaux (homme, chien, poisson, mouche, ver de terre), des plantes (fleur, arbre), et des objets (soleil, voiture, marteau, table, singe mécanique). La liste des animaux était conçue de telle sorte qu'elle faisait varier leur degré de similarité globale avec l'homme (l'ordre de similarité décroissante, tel qu'il a été évalué par des juges indépendants, est celui suivi dans la liste ci-dessus). La liste des objets, de son côté, était conçue de sorte à faire varier la caractéristique de mouvement.

Les résultats ont montré que, comme dans les expériences de Piaget, les enfants de 4 ans et de 7 ans attribuent souvent la propriété « est vivant » aux objets, toutefois, ils ne leur attribuent pas pour autant les propriétés biologiques (manger, avoir des bébés, etc.). Cette observation confortait l'hypothèse que Carey avait formulée sur la signification particulière que ces enfants donnent au terme « vivant ». Les résultats ont aussi montré que les enfants de 4 à 7 ans attribuent toutes les propriétés biologiques à l'homme mais sous-attribuent ces propriétés aux autres animaux. Plus précisément la fréquence avec laquelle ils les leur attribuent décroît en fonction de leur degré de similarité avec l'homme. Les enfants de 10 ans, par contre, attribuent les propriétés biologiques à tous les animaux. Seuls les adultes toutefois font la distinction entre les propriétés biologiques universelles, qu'ils attribuent à tous les animaux, et les propriétés biologiques plus spécifiques, qu'ils n'attribuent qu'à certaines espèces. Ces résultats suggèrent que chez les enfants les plus jeunes, l'attribution de propriétés biologiques telles que manger, respirer, avoir des os se fait par un processus de projection inductive, dans lequel la personne humaine fonctionne comme le prototype de la catégorie des animaux. Carey a testé cette hypothèse en utilisant le paradigme de projection inductive de Lance Rips. Dans la ligne des recherches menées par Eleanor Rosch, Rips (1975) a en effet montré que la projection inductive des propriétés d'un exemplaire à un autre de la même catégorie, était fonction non seulement de la similarité entre ces exemplaires, mais aussi du degré auquel l'exemplaire source est typique de la catégorie. Plus précisément, la projection des propriétés d'un exemplaire typique de la catégorie sur un exemplaire moins typique est plus fréquente que l'inverse. Dans une des expériences de Rips, les participants apprenaient qu'une des espèces d'oiseaux présentes sur une île avait contracté une maladie. Il leur était alors demandé d'estimer la probabilité qu'une autre espèce d'oiseaux, également présente sur l'île, attrape cette maladie. Lorsque l'une des deux espèces considérées était celle des moineaux (typiques de la catégorie des oiseaux) et l'autre celle des canards (atypiques de cette catégorie), les participants estimaient que lorsque la maladie était attrapée par les moineaux, elle avait en moyenne 30% de chances de se propager aux canards, alors que quand

elle était attrapée par les canards, elle n'avait que 18% de chances de se propager aux moineaux.

Carey a adapté ce paradigme en enseignant à des enfants de 4 ans, 6 ans, 10 ans et à des adultes qu'une catégorie d'animaux (source) avait, à l'intérieur de son corps, un organe appelé « omenta » (dont elle montrait l'emplacement sur un dessin de cet animal). Elle leur demandait ensuite si, selon eux, une autre catégorie d'animaux (cible) a aussi un « omenta ». Les catégories d'animaux jouant, de façon interchangeable selon les essais, le rôle de source ou de cible, étaient l'homme, le chien et l'abeille. Les résultats ont montré que les enfants de 4 ans projetaient sur les autres animaux la nouvelle propriété enseignée lorsque celle-ci avait été apprise à propos de l'homme, mais pas si elle avait été apprise à propos du chien ou de l'abeille. Un certain degré d'asymétrie était encore présent chez les enfants de 6 ans, mais celle-ci avait complètement disparu chez les enfants de 10 ans et les adultes. Cette évolution développementale des patterns de projection est compatible avec l'hypothèse selon laquelle, chez les enfants les plus jeunes, la personne humaine joue le rôle d'un prototype du fonctionnement biologique, dont les propriétés sont projetées sur les autres animaux en fonction de leur similarité globale avec ce prototype.

De l'ensemble des données recueillies dans cette recherche, Carey concluait qu'entre 4 et 10 ans, on assiste à une véritable restructuration de la théorie naïve dans le cadre de laquelle les enfants expliquent les phénomènes biologiques. A quatre ans, ils ne disposeraient pour cela que d'une psychologie naïve. Ils interprèteraient alors les phénomènes biologiques tels que la croissance, la reproduction, la mort, comme des comportements dont l'explication réside dans les intentions. Ils sauraient que certaines propriétés telles que manger, respirer, faire des bébés, caractérisent l'homme et en infèreraient la présence chez d'autres animaux sur la base de leur similarité avec l'homme. Au cours des années suivantes, ils commenceraient à comprendre la fonction des différents organes dans la création ou le maintien de la vie et observeraient que ces fonctions sont partagées avec les autres animaux et les plantes. C'est seulement vers 10 ans qu'ils commenceraient à former, sur cette nouvelle base, une théorie naïve spécifique de l'explication des phénomènes biologiques, distincte de leur psychologie naïve. Carey considérait ce changement conceptuel comme une véritable restructuration des connaissances, comparable, dans le champ des théories naïves, à ce que sont les changements de paradigme décrits par Kuhn (1962) dans le champ des théories scientifiques. Elle rejoignait sur certains points les chercheurs considérant l'enfant comme un novice, notamment en défendant l'idée que la compréhension erronée des phénomènes biologiques chez les enfants de 4 ans n'est pas due à un déficit de capacité cognitive mais au manque de connaissances

pertinentes. Elle s'en écartait cependant en interprétant le changement conceptuel comme une véritable restructuration. Par ailleurs, elle s'opposait aussi aux conclusions de Piaget quant à la généralité du processus de restructuration des connaissances. Elle soulignait que chez Piaget, c'était un même processus général, la prise de conscience de la distinction entre soi et la réalité extérieure qui était censé expliquer l'évolution conceptuelle, aussi bien pour le concept de vie que pour le concept de matière inerte. Elle soutenait au contraire que le développement conceptuel prend une forme différente dans chacun de ces domaines, la raison en étant que les mécanismes de la causalité y sont de nature différente.

Les catégories ontologiques.

L'ontologie a trait aux catégories de l'existence, à l'idée que l'on se fait des différentes sortes de choses qui existent. Le débat sur les catégories ontologiques, sur leur essence, sur la possibilité que certaines s'imposent naturellement à l'esprit humain a longtemps été du domaine de la philosophie. Le mérite de Franck Keil est de l'avoir transporté dans le domaine de la psychologie en imaginant des situations expérimentales susceptibles d'y apporter une réponse empirique. Il a pour cela cherché à identifier les phénomènes psychologiques qui pourraient être considérés comme les manifestations de l'existence de catégories ontologiques (Keil, 1979). Voici un exemple de ces manifestations : certaines phrases apparaissent comme n'étant ni vraies ni fausses, mais comme anormales. Des phrases comme « les vacances sont étroites » ou « une vache dure une heure » sont jugées anormales parce qu'une entité est qualifiée par un attribut qui caractérise normalement des entités d'une autre sorte. Les entités ayant une durée (les processus, les événements) ne peuvent être qualifiées par les attributs d'entités qui ont une étendue spatiale (les objets) sans provoquer une impression d'absurdité. Cette dernière serait la manifestation psychologique de ce que les processus et les objets constituent pour l'esprit humain deux formes d'existence radicalement différentes, et relèvent donc de deux catégories ontologiques différentes.

Si on admet cela, la constitution d'un ensemble de phrases dont on demande aux participants de juger si elles sont vraies, fausses, ou anormales, est un des moyens de tester des hypothèses sur la nature et sur les frontières des catégories ontologiques. En s'appuyant sur des expérimentations de ce genre, conduites avec des participants adultes, Keil (1979) a testé l'existence d'une organisation hiérarchique de la connaissance ontologique, comportant à la racine trois grandes catégories, celle de la matière, celle de l'esprit et celle des processus, chacune se subdivisant ensuite en plusieurs branches, par exemple, celle des êtres vivants et

celle des objets pour la catégorie de la matière, etc. Mais quelle est l'origine de ces catégories ontologiques ? Sont-elles acquises, précoces, innées ?

Pour tenter de répondre à cette question Franck Keil a par la suite entrepris l'étude du développement de la connaissance ontologique chez l'enfant. Ce second ensemble d'expériences a été publié dix ans plus tard dans un ouvrage intitulé « concepts, kinds, and cognitive development » (Keil, 1989). Le paradigme des phrases anormales a été remplacé par des paradigmes expérimentaux plus adaptés aux enfants. Leur principe commun est de placer l'enfant devant un conflit entre les caractéristiques qui contribuent à l'apparence extérieure d'une entité et les propriétés définitoires qui en capturent l'essence. C'est le type de conflit devant lequel les biologistes se sont trouvés lorsqu'il s'est agi de décider quelle sorte d'entité est la baleine. Elle a les caractéristiques apparentes de la catégorie des poissons mais est considérée comme un mammifère dès lors qu'une théorie biologique donne au fait qu'elle allaite ses petits le statut de propriété définitoire.

L'hypothèse générale de Keil était que le changement conceptuel fait appel à deux grandes sortes de processus. L'un est l'évolution ou la restructuration des théories intuitives dans lesquelles les concepts sont intriqués. C'est le processus de changement mis en évidence par les travaux de Carey. Mais, contrairement à Carey, Keil ne pensait pas que les connaissances naïves puissent être construites sur une base qui soit uniquement théorique. Comme Quine (1977), il pensait qu'intervient également un autre processus, de nature probabiliste celui là, établissant des relations sur la base de principes de similarité fondés sur les attributs apparents et leurs corrélations. Toutefois, il n'adhérait pas à l'hypothèse de Quine, selon laquelle ces deux processus interviendraient séquentiellement dans le développement, le recours à une similarité fondée sur les corrélations d'attributs précédant l'articulation des concepts dans le cadre de théories. L'hypothèse privilégiée par Keil était plutôt que ces deux processus sont disponibles tout au long du développement et que l'utilisation de l'un ou de l'autre dépend de la nature des concepts.

Dans une des situations qu'il a imaginées, on explique à l'enfant que des docteurs, ou des ingénieurs (selon le type d'entité sur lequel porte l'expérience) ont transformé une sorte d'objet x en lui donnant toutes les caractéristiques apparentes d'une sorte d'objet y, ou, au contraire, en modifiant les propriétés définitoires de l'objet x sans toucher à ses caractéristiques apparentes. Les entités subissant ces transformations pouvaient appartenir à différentes catégories ontologiques comme celle des animaux, des plantes, ou des choses fabriquées. Les transformations pouvaient être intra-catégorie en donnant à un animal l'apparence d'un autre animal, ou en donnant à un objet fabriqué l'apparence d'un autre objet

fabriqué. Elles pouvaient aussi être inter-catégories en transformant, par exemple, un objet fabriqué en animal, ou un animal en plante. La question posée était de savoir si, après la transformation opérée, l'objet était encore un x ou était devenu un y. Les enfants interrogés avaient 5 ans, 7 ans et 9 ans. Voici quelques exemples de ces transformations et des réponses données par les enfants.

Exemple de transformation d'animal à animal : Un savant a pris ce cheval (l'expérimentateur montre l'image d'un cheval) et l'a opéré. Il lui a mis des rayures blanches et noires, coupé la crinière, (etc.)... et voilà comment il est maintenant (l'expérimentateur montrait alors l'image d'un zèbre). Est-ce qu'il l'a changé en zèbre ou est-ce que c'est encore un cheval ? Exemple de réponse : « *Un zèbre parce que les chevaux n'ont pas de rayures noires et blanches dans leur peau* . – Est-ce que ça peut être un zèbre si son papa et sa maman étaient des chevaux ? – *Oui*. – Et est-ce que ça peut être un zèbre si ses bébés étaient des chevaux ? *Oui*. ».

Exemple de transformation d'objet fabriqué à objet fabriqué : Un savant avait cette table (image). Il a coupé le dessus en petits morceaux avec une scie, il les a ensuite cloués ensemble d'une nouvelle manière, (etc.)... Voilà ce que cela a donné (image d'une bibliothèque). Est-ce qu'il l'a changée en bibliothèque ou est-ce que c'est encore une table ?

Exemple de changement de catégorie ontologique (d'objet fabriqué à animal): Un savant a pris ce jouet (un oiseau mécanique). On le fait voler en le remontant avec une clef, son bec s'ouvre et une petite machine qui est à l'intérieur fait de la musique. Il l'a opéré. Il lui a mis de vraies plumes, a changé son bec, (etc.).... Voilà ce que cela a donné (image d'un oiseau). Est-ce qu'il l'a changé en un vrai oiseau ou est-ce que c'est encore un oiseau jouet ? Exemple de réponse : « *C'est encore un jouet*. – Pourquoi ? – *Parce qu'on ne peut pas changer une machine en vraie chose vivante*. – Tu penses donc que c'est un oiseau jouet ? – *Eh bien, il ressemble à un vrai oiseau*...- *Oui, alors tu penses que c'est*... - *Un oiseau jouet*. ».

Un des résultats marquants de cet ensemble d'expériences est que le changement conceptuel prend des formes différentes selon le domaine considéré. Lorsque la transformation reste à l'intérieur de la catégorie des animaux, il y a une nette évolution développementale : les enfants 5 ans pensent que la transformation de l'apparence a changé la nature de l'animal (le cheval devient un zèbre), ceux de 9 ans pensent qu'elle ne l'a pas changée, et ceux de 7 ans se situent entre les deux. Lorsque la transformation reste à l'intérieur de la catégorie des objets fabriqués il n'y a pas contre pas d'évolution développementale : dès 5 ans les enfants pensent que le transformation change la nature de l'objet (la table devient une bibliothèque). Enfin, lorsque la transformation transgresse la frontière entre catégories ontologiques il n'y a pas non plus d'évolution développementale mais, cette fois-ci, parce que tous les enfants, y compris

ceux de 5 ans, affirment que la transformation ne change pas la nature de l'objet (l'oiseau jouet ne devient pas un vrai oiseau).

Ces résultats sont compatibles avec l'hypothèse de Keil. Dans le cas où la transformation reste à l'intérieur de la catégorie des animaux, le jugement des enfants de 5 ans semble bien fondé sur la similarité des caractéristiques apparentes, tandis que le jugement de ceux de 9 ans semble se fonder sur les propriétés définitoires. Considéré seul, ce résultat serait compatible avec l'hypothèse de Quine (1975) sur l'intervention séquentielle des deux processus au cours du développement. Mais les enfants de 5 ans ne semblent pas prisonniers de la similarité fondée sur les caractéristiques apparentes puisque lorsque la transformation transgresse la frontière des catégories ontologiques, ils jugent qu'elle change la nature de l'objet. C'est, selon Keil, l'indice que dès 5 ans – et probablement bien avant, pense-t-il – les enfants honorent certaines distinctions ontologiques, en se fondant sur autre chose que les attributs apparents, donc sur une intuition de l'essence des objets³. Enfin, l'absence d'évolution développementale dans le cas où la transformation reste à l'intérieur de la catégorie des objets fabriqués suggère que, pour cette sorte d'objets, la fonction fournit précocement un principe causal de structuration théorique du concept qui n'a pas d'équivalent pour la catégorie des animaux. Tous les enfants, y compris ceux de 5 ans, jugent dans ce cas que le changement d'apparence a changé la fonction et donc la nature de l'objet.

Les modules conceptuels

Les recherches dont il a été question jusqu'ici ont montré que des formes de structuration de la connaissance – théories naïves, catégories ontologiques - sont en place chez l'enfant dès 4 ou 5 ans. Elles ont suggéré que la structuration des connaissances puisse être plus précoce encore, voire innée, mais ne l'ont pas démontré. Leurs paradigmes expérimentaux, qui reposent sur un dialogue avec l'enfant, ne permettent d'explorer l'état des connaissances qu'à partir de la maîtrise du langage.

L'hypothèse de structures cognitives innées était néanmoins dans l'air du temps. Elle a été défendue par Noam Chomsky, selon qui l'universalité et la rapidité du développement du langage impliquent l'existence d'une structure cognitive innée spécifique du traitement de la

³ Il est troublant qu'à un âge où les enfants n'ont pas encore d'idée claire de ce qu'il y a à l'intérieur d'un animal, ils soient persuadés qu'en donnant à un objet l'exacte apparence d'un animal, on n'en change néanmoins pas l'essence. C'est une manifestation de l'essentialisme psychologique, à savoir de l'idée que certaines catégories ont une réalité sous-jacente qui ne peut être observée directement mais dont on peut avoir l'intuition. Pour une synthèse des recherches sur l'essentialisme enfantin, voir Gelman (2003, 2004).

syntaxe. Elle a aussi été ardemment défendue par Jerry Fodor à propos de la modularité de l'esprit (Fodor, 1983). Selon Fodor, les informations entrantes seraient traitées par des modules spécifiques de chacune des modalités sensorielles. Ces modules auraient une structure innée, formée au cours de phylogenèse, rendant le traitement de l'information sensorielle automatique et obligatoire. Ils seraient cloisonnés, donc indépendants les uns des autres et imperméables aux inférences du système central de traitement. Leur fonction serait de fournir au système central une information recodée sous une forme commune aux différentes modalités sensorielles et interprétable. Pour Fodor (1983) cependant, seuls les systèmes perceptifs et ceux du traitement du langage seraient modulaires. Le système central, en charge de la formation des concepts et de l'inférence, serait par contre généraliste. D'autres auteurs ont proposé d'étendre la modularité au système central également. Sperber (1994), par exemple, a défendu une version de la modularité de l'esprit plus radicale que celle de Fodor en envisageant également l'existence de modules conceptuels. Selon lui, alors que les modules perceptifs reçoivent, en entrée, l'information sensorielle et, en sortie, une représentation conceptuelle catégorisant l'objet perçu, les modules conceptuels ont des représentations conceptuelles à la fois en entrée et en sortie.

La psychologie cognitive a remis au goût du jour et considérablement raffiné les paradigmes expérimentaux fondés sur l'analyse des temps de traitement. Adaptés à la psychologie du développement, ces paradigmes ont permis d'étudier les capacités cognitives des enfants sans passer par le langage et donc de tester les hypothèses sur l'existence de structures cognitives précoces, y compris chez les bébés. La rencontre des idées sur la modularité de l'esprit et des paradigmes expérimentaux adaptés à la recherche sur la cognition des bébés a permis d'identifier des formes de structuration de la connaissance plus précoces qu'on ne le pensait jusqu'alors.

Un des paradigmes expérimentaux utilisés pour étudier la connaissance du monde physique qu'ont les bébés est celui de transgression des attentes. L'expérimentateur commence par une phase d'habituation du bébé, au cours de laquelle un événement obéissant aux lois de la physique lui est montré de façon répétitive, jusqu'à ce que son temps de fixation du regard diminue et se stabilise. L'expérimentateur lui montre ensuite alternativement deux versions modifiées de l'événement auquel il a été habitué. Dans l'une, le déroulement reste néanmoins compatible avec les lois de la physique. Dans l'autre, le déroulement de l'événement transgresse une des lois de la physique. On s'attend à ce que ce que les versions modifiées de l'événement provoquent une déshabitude et donc une remontée du temps de fixation du regard chez le bébé, toutefois une fixation significativement plus longue sur l'événement

impossible est interprétée comme la manifestation d'une réaction de surprise et donc d'une connaissance implicite du principe physique qui a été transgressé.

Cette démarche peut être illustrée par une expérience de Baillargeon, Spelke, et Wasserman (1985) sur la permanence de l'objet. Piaget considérait que la permanence de l'objet n'était acquise que vers un an, âge auquel il observait que les enfants dont le jouet vient de disparaître sous un meuble commencent à le rechercher à l'endroit où il a disparu. C'était selon lui l'indice qu'à cet âge, ils considèrent qu'un objet continue d'exister même lorsqu'ils ne le perçoivent plus.

Le bébé est installé face à un écran qui effectue une série de rotations de 180° vers l'avant et vers l'arrière en pivotant sur sa base, comme indiqué sur la vue de profil représentée en figure 1.

Insérer la figure 1

Après la phase d'habituation (figure du haut), un cube est placé derrière l'écran et le bébé voit alternativement deux situations tests. Dans la première (figure du milieu), l'écran effectue sa rotation et stoppe son mouvement dès qu'il atteint le cube puis retourne à son point de départ (événement possible). Dans la seconde situation test (figure du bas), qui est truquée, l'écran effectue une rotation de 180° comme si le cube cessait d'exister lorsqu'il le cache, puis il inverse son mouvement de rotation et le cube réapparaît. Dès l'âge de 3 mois (5 mois dans cette expérience, mais trois mois dans des répliques), les bébés regardent plus longtemps l'événement impossible que l'événement possible. Les auteurs en ont conclu d'une part qu'il y a une forme de permanence de l'objet dès 3 mois, d'autre part qu'un des principes spatio-temporels qui contraignent le monde des objets, le principe de substantialité ou de solidité (les objets tangibles occupent une place dans l'espace et ne peuvent être traversés par d'autres objets) structure dès cet âge la représentation du monde physique. Le paradigme expérimental de transgression des attentes a aussi été utilisé par Elizabeth Spelke pour montrer que les bébés sont sensibles à plusieurs des principes qui contraignent les événements du monde des objets. Ces attentes se manifestent dès 3 ou 4 mois pour les principes de solidité, de continuité (un objet en mouvement ne peut passer d'une place à une autre sans passer par les places intermédiaires), de cohésion (tout objet en déplacement conserve son unité), ou de contact (un objet n'est affecté dans sa situation spatio-temporelle que s'il est touché par un autre objet), un peu plus tard, vers 8 ou 10 mois pour les principes d'inertie (un objet en mouvement ne

change pas sa direction brusquement et spontanément) et de gravité (en l'absence de support, tout objet tombe) (Spelke, Breinlinger, Macomber et Jacobson, 1992).

Cet ensemble de principes est spécifique du domaine de la matière, mais tous ne s'appliquent pas au vivant. Le principe de contact, par exemple, ne s'applique pas aux animaux (une personne peut agir sur une autre à distance). Les mêmes méthodes ont été employées pour montrer que les bébés sont également sensibles à d'autres ensembles de principes, spécifiques d'autres domaines, par exemple du domaine numérique (Gelman, 1990) ou du domaine de l'esprit (Baron-Cohen, 1995).

On remarquera que les processus sous-jacents aux réactions de surprise ne sont pas seulement perceptifs. Dans l'expérience sur la permanence de l'objet qui vient d'être rapportée, les bébés ne perçoivent pas le cube lors de l'événement impossible puisqu'il est caché par l'écran au moment où celui-ci est supposé le heurter. Leur réaction de surprise est donc imputable à une représentation du cube au moment où l'écran est supposé le « traverser ». C'est sur la précocité et la spécificité de ce type de représentation que s'appuyait Sperber (1994) pour argumenter l'existence de modules conceptuels. Sans utiliser le terme de module, Spelke (1991) considérait néanmoins que la connaissance sous-jacente aux principes cités plus haut est innée et non modifiable. Ces principes formeraient le noyau intangible autour duquel se construiraient ensuite les connaissances plus complexes du monde physique. Dans le cadre de cette approche, le changement conceptuel est conçu comme l'enrichissement d'un noyau initial de connaissance toujours présent tel quel chez l'adulte, plutôt que comme un processus de restructuration radicale tel que celui défendu par Carey à propos des connaissances naïves sur le monde vivant.

Les débats

Le cognitivisme développemental a donné des connaissances naïves des enfants un tableau très différent de celui que Piaget avait esquissé un demi-siècle plus tôt.

Piaget interprétait les réponses des enfants les plus jeunes comme témoignant d'une absence de structuration initiale allant jusqu'à l'indifférenciation entre ce qui relève de soi et ce qui relève de la réalité extérieure à soi. Les chercheurs qui ont plus tard inscrit l'étude du développement dans la mouvance du cognitivisme ont par contre mis en évidence, aux mêmes âges, des comportements considérés comme manifestant l'existence précoce de principes fondateurs, de catégories ontologiques, ou de théories naïves. Par ailleurs, Piaget concevait le

changement conceptuel comme un processus général de décentration, s'appliquant indistinctement à tous les domaines de la connaissance, tandis que le cognitivisme développemental a fait ressortir la spécificité du processus de changement conceptuel dans chaque domaine de la connaissance (Hirschfeld et Gelman, 1994).

Au-delà des points de convergence très fondamentaux que constituent la reconnaissance de formes précoces de structuration cognitive et de leur spécificité selon les domaines, il existe au sein du cognitivisme développemental de nombreux points de divergence. Les désaccords portent notamment sur l'origine et l'évolution des structures cognitives, sur le nombre de domaines spécifiques qu'il convient de distinguer, et sur l'origine de la représentation de la causalité.

Origine et évolution de la structure des connaissances naïves

Pour commencer, l'idée même d'une structuration des connaissances naïves sous la forme de modules conceptuels ou de théories naïves ne fait pas l'unanimité. Elle est notamment contestée par diSessa (1993, 2004), dont les recherches se situent dans le champ de la didactique de la physique. Selon lui, les explications spontanées qu'avancent les étudiants novices sur les phénomènes qui leur sont enseignés en physique témoignent plutôt de connaissances en « miettes » (« knowledge in pieces »). Les miettes dont il s'agit sont des « primitives phénoménologiques », P-prims en abrégé. Elles sont dites « primitives » car elles paraissent évidentes, auto-suffisantes à ceux qui les invoquent, et « phénoménologiques » car elles relèvent de l'expérience qu'ils ont tirée de leurs propres interactions avec le monde physique. Par exemple, chacun a pu constater que lorsque le tuyau d'un aspirateur est bouché avec la main, le moteur tourne plus vite. L'explication généralement avancée par les novices en physique est que le moteur force davantage pour vaincre la résistance opposée par la main à l'entrée de l'air. En fait, le moteur tourne plus vite parce qu'il rencontre moins de résistance : en effet, lorsque le tuyau est bouché, le moteur tourne dans le vide et n'est donc plus ralenti par la résistance de l'air. L'explication naïve est considérée comme une P-prim, d'une part parce qu'elle est essentiellement liée à l'expérience propre des résistances que rencontre l'action et, d'autre part, parce que cette primitive n'est pas intégrée à des principes explicatifs plus généraux dans le cadre d'une structure cohérente. Selon diSessa (sous presse), les connaissances naïves seraient distribuées sur une vaste collection de primitives de ce genre, qui seraient assemblées de façon souple et changeante en fonction des contextes. On peut voir une analogie entre cette vision de la formation des concepts et les conceptions dites

incarnées (embodied) ou situées (situated) de la cognition (voir le chapitre 2 de cet ouvrage, ainsi que Barsalou, 2008, pour revue). Pour diSessa, le passage de cette connaissance en miettes à l'expertise repose en partie sur l'accumulation, la différenciation, la généralisation des p-primis à des contextes variés, mais requiert surtout leur subordination aux principes formels de la physique grâce à l'instruction.

Les auteurs qui s'accordent, au contraire, à trouver une forme de structuration aux connaissances naïves divergent cependant sur l'origine de cette structuration. La plupart admettent l'existence de noyaux de principes fondateurs, innés, formés au cours de la phylogenèse, qui prédisposent les bébés et les très jeunes enfants à détecter et à utiliser certaines régularités fondamentales de leur environnement physique et social. Il règne cependant un certain flou sur la nature de ces noyaux initiaux qui semblent plutôt être considérés comme les précurseurs des connaissances ultérieures que comme des connaissances proprement dites. C'est du moins ce que suggèrent certains des termes employés : préconceptions, présuppositions, croyances, connaissances implicites, principes fondateurs. Mais d'autres termes, tels que celui « core knowledge » utilisé par Spelke et Kinzler (2007) suggèrent au contraire qu'il s'agit déjà de connaissance. Quoiqu'il en soit, il y a consensus pour considérer que ces noyaux initiaux contraignent l'acquisition des connaissances ultérieures et délimitent de ce fait des domaines spécifiques de connaissance. L'appel à des principes innés paraît par contre superflu à ceux qui assimilent le développement des connaissances au passage de l'état de novice à celui d'expert. Puisqu'il est possible de passer d'une certaine ignorance à un état d'expertise avancée dans des activités comme le jeu d'échec, pourquoi n'en irait-il pas de même pour les connaissances acquises dans des domaines plus fondamentaux comme celui de la matière ou celui de l'esprit ? Le jeu d'échec est en effet une activité dont on a peu de raisons de croire qu'elle ait orienté, au cours de la phylogenèse, la sélection d'un noyau de prédispositions innées spécifiques de l'apprentissage de ce jeu.

Enfin, au sein même de ceux qui admettent l'existence de principes fondateurs innés, il y a divergence sur l'ampleur des révisions que peuvent subir les principes initiaux. Spelke (1991) considérait que les principes initiaux qu'elle a contribué à mettre en évidence dans le domaine de la physique intuitive, du moins ceux qui sont les plus précocement en place, ceux de solidité et de continuité, sont non seulement innés mais ne sont pas modifiés par les connaissances acquises ultérieurement. La conjonction de l'innéité et de l'intangibilité donne à la structure cognitive initiale les caractéristiques d'un module conceptuel. Le changement conceptuel ultérieur ne peut alors être qu'un processus d'enrichissement par lequel de

nouvelles connaissances s'ajoutent au noyau initial sans en modifier la teneur. Ceci ne veut pas dire que ces concepts initiaux ne peuvent être remis en question, mais seulement qu'ils ne peuvent l'être par le développement conceptuel spontané. Ils ne seraient révisables que par la démarche méta-théorique qui caractérise la recherche scientifique (la mécanique quantique transgresse en effet la plupart de ces principes).

Ce point de vue a été critiqué par Susan Carey (1991), dont nous avons vu plus haut qu'elle assimilait le processus de changement conceptuel à un processus de restructuration au cours duquel les principes initiaux eux-mêmes sont susceptibles d'être remis en question par l'expérience. Dans ce cas, le changement conceptuel spontané n'est pas seulement un processus d'enrichissement, mais aussi un processus de révision des croyances initiales. Susan Carey et Elizabeth Spelke ont par la suite rapproché leurs points de vue en co-signant un chapitre (Carey et Spelke, 1994) dans lequel elles envisageaient que les principes initiaux puissent être aussi révisés dans le développement conceptuel spontané lorsque l'expérience propre a lieu au sein d'une culture scientifiquement développée. Il s'agirait dans ce cas de l'assimilation par les enfants de concepts préalablement acquis par les adultes avec lesquels ils sont en contact, les conceptions des adultes ayant elles-mêmes été assimilées à partir des changements conceptuels engendrés par l'application de la méthode scientifique dans les générations précédentes. Carey et Spelke (1994) laissent par ailleurs ouverte, et à vérifier par des recherches interculturelles, l'hypothèse que la révision des principes initiaux avec l'expérience puisse aussi avoir lieu lorsque le changement conceptuel spontané prend place dans une société d'où la culture scientifique est absente. Notre propre point de vue est que s'il n'en allait pas ainsi, il serait difficile d'expliquer comment a pu se produire la toute première révision d'un de ces principes initiaux par un être humain.

L'enrichissement et la révision ont en commun d'être des processus lents et graduels. Une forme de changement plus soudaine a été envisagée par Chi (1992, 1997) dans le cas où les erreurs viennent de ce qu'un concept est attribué à une catégorie ontologique qui n'est pas appropriée. C'est par exemple le cas lorsque la chaleur est conceptualisée comme un objet alors qu'il s'agit en fait d'un processus au cours duquel de l'énergie est échangée. Selon Chi, le changement conceptuel passerait dans ce cas par la ré-attribution du concept, de la catégorie erronée à la catégorie appropriée dont il hériterait alors les caractéristiques (de la catégorie de la matière à celle des processus dans cet exemple).

Combien de domaines?

La spécificité des domaines de connaissance tient à la particularité des mécanismes causaux sur lesquels se fondent l'organisation des connaissances et l'explication. Combien de domaines peut-on distinguer sur cette base ? Il y a consensus sur au moins deux, celui de la matière et celui de l'esprit. La spécificité du domaine de la matière tient à ce que les interactions entre les objets inertes s'expliquent par un ensemble de principes dont certains ne valent que pour elles, par exemple le principe de contact qui exclut toute possibilité d'action à distance d'un objet inerte sur un autre⁴. La spécificité du domaine de l'esprit tient à ce que les interactions entre les personnes n'obéissent pas au principe de contact (elles peuvent s'effectuer à distance) et sont régies par un ensemble de principes dont certains, par exemple celui d'intentionnalité, ne valent que pour elles. Chacune de ces deux formes de causalité ne s'applique de façon pertinente qu'à une partie des entités avec lesquelles les enfants sont en contact – les objets inertes ou les personnes - et sculpte les contours d'un domaine spécifique de connaissance, respectivement la physique naïve et la psychologie naïve (Wellman et Gelman, 1998).

Faut-il ajouter une biologie naïve à ces deux domaines de connaissance fondamentaux ? On se souvient que Carey (1985) soutenait qu'il n'existe pas de théorie naïve spécifique de la biologie avant l'âge de 10 ans. Auparavant, l'enfant interpréterait les phénomènes spécifiques du monde vivant dans le cadre de sa psychologie naïve. D'autres chercheurs se sont employés à montrer qu'une théorie naïve de la biologie est en place plus précocement que ne l'envisageait Carey. Le désaccord ne porte pas tant sur l'existence d'une théorie naïve spécifique du vivant, que sur le moment où elle se met en place dans le développement. Pour attester son existence précoce, il faut démontrer que les enfants font, bien avant 10 ans, une distinction nette entre les propriétés spécifiques du vivant d'une part et celles de la matière ou de l'esprit d'autre part. Il faut aussi démontrer que les jeunes enfants produisent une forme de raisonnement causal spécifique de l'explication des phénomènes du vivant.

Deux chercheurs japonais, Giyoo Hatano et Kayoko Inagaki, se sont particulièrement attachés à cette tâche. Concernant le premier point, ils relèvent qu'une forme précoce de distinction entre animé et inanimé a été mise en évidence dès les premiers mois de la vie. Plusieurs études ont en effet montré, avec le paradigme d'habituation et de transgression des attentes, que les bébés ont des temps de fixation du regard plus longs lorsqu'un objet inerte, par

⁴ Le développement des dispositifs télécommandés, qui permettent d'agir à distance sur des objets, restreint et complexifie l'application du principe de contact à la matière inanimée. Il serait intéressant d'étudier les répercussions de cette évolution sur la distinction animé / inanimé.

exemple une chaise, se déplace de façon auto-propulsée que lorsqu'il s'agit d'une personne ou d'un animal. L'âge auquel les enfants commencent à manifester cette distinction varie entre 7 mois et 2 ans selon le degré d'exigence imposé par la situation expérimentale. La discrimination peut en effet s'appuyer sur de nombreuses caractéristiques (auto-propulsion, mais aussi non linéarité de la trajectoire, action causale à distance, agentivité, intentionnalité, relations entre le déplacement du corps et le mouvement de ses parties, etc.). Selon Rakison et Poulin-Dubois (2001), la prise en compte de ces différentes caractéristiques et leur articulation dans un concept cohérent prend du temps et ce ne serait que vers l'âge de deux ans qu'une distinction fiable entre les entités animées et inanimées serait vraiment en place.

De leur côté, Inagaki et Hatano (2002) ont conduit un ensemble d'expériences d'où il ressort que dès 5 ans, les enfants s'appuient sur une forme de causalité spécifique du vivant - que ces auteurs appellent *vitaliste* - pour distinguer les entités vivantes de la matière inerte. Une des expériences par lesquelles ils ont cherché à évaluer cette capacité de distinction utilisait le paradigme de projection inductive. L'expérimentateur énonçait une propriété des personnes et demandait si une entité cible x avait ou non cette propriété. Il y avait 9 entités cibles, 3 pour chacune des catégories suivantes : animaux, plantes, et choses non vivantes. Les propriétés biologiques étaient «grandit», «a besoin de nourriture et/ou d'eau», et «peut tomber malade». Il y avait deux conditions d'énoncé de ces propriétés, soit leur énoncé simple, soit l'ajout d'un contexte consistant en une description vitaliste de la fonction de cette propriété chez l'homme. Voici deux exemples de description de ces propriétés (les mots figurant en italique sont ceux qui n'étaient donnés que dans la condition avec contexte) :

- Grandit : Une personne devient de plus en plus grande, *en tirant son énergie de la nourriture et de l'eau*. Est-ce que x devient de plus en plus grand ?

- A besoin de nourriture / eau : Une personne a besoin d'eau et/ou de nourriture. *Si elle ne prend pas d'énergie ou de force vitale dans l'eau ou la nourriture, elle va mourir*. Est-ce que x a besoin d'eau et /ou de nourriture ?

Le pattern de réponse correct consistait à attribuer ces propriétés biologiques aux entités vivantes, plantes comprises, et seulement à celles-ci. Environ la moitié des enfants de 5 ans ont présenté ce pattern dans la condition sans contexte et environ 90% dans la condition avec contexte. Selon les auteurs, ce résultat suggère que dès 5 ans au moins, les enfants considèrent les animaux et les plantes comme des entités biologiques dont le fonctionnement est soutenu par des mécanismes communs (Inagaki et Hatano, 2004). Ils semblent donc disposer, nettement plus tôt que ne le supposait Carey (1985), d'une théorie naïve des phénomènes biologiques distincte de leur psychologie naïve.

En quoi consiste cette théorie naïve ? Inagaki et Hatano (2002, 2006) la caractérisent notamment par la *téléologie* et le *vitalisme*. La *téléologie* a trait à la finalité. Dans ce cas précis, c'est la présupposition que les organes du corps ont une finalité et que celle-ci est de maintenir la vie. Le *vitalisme* est la présupposition que l'organisme a une force vitale, une sorte d'énergie qui permet aux entités vivantes d'être actives, de se développer et de préserver leur santé. La fonction des organes est de prendre cette énergie vitale à l'extérieur, dans la nourriture, dans l'air, dans l'eau, pour la transmettre au corps. Cette théorie naïve serait dans un premier temps relative au fonctionnement du corps humain et ensuite étendue, par projection inductive, aux autres animaux, puis plus tardivement aux plantes à travers l'analogie que font les enfants entre le rôle de la nourriture pour les animaux et celui de l'eau pour les plantes.

Hatano et Inagaki pensent que les précurseurs de cette biologie naïve sont probablement en place avant l'âge de 5 ans mais ne l'ont pas démontré. Il faudrait, pour éprouver cette hypothèse, utiliser des paradigmes expérimentaux mieux adaptés à l'examen d'enfants plus jeunes.

Les sources de la causalité

Si les théories naïves se construisent autour d'un noyau de relations causales, leur précocité implique que la détection des relations causales soit elle aussi précoce. Est-ce le cas ? On se souvient que Piaget (1927) considérait que la pensée des enfants les plus jeunes qu'il ait pu interroger, ceux de 4 ou 5 ans, était encore précausale. L'utilisation de paradigmes expérimentaux adaptés à l'étude des capacités cognitives des bébés a montré que la perception des relations causales est beaucoup plus précoce mais il y a débat sur son origine. Une hypothèse l'attribue à l'existence d'un module spécifique de l'identification des relations causales dans la perception des mouvements, une autre l'attribue à l'expérience que le bébé acquiert de sa propre agentivité et une troisième l'attribue à un système amodal d'analyse des relations de dépendance conditionnelle entre les événements, quel qu'en soit le contenu.

La première hypothèse dérive des travaux de Michotte (1946). Albert Michotte a montré que lorsqu'un objet A fait mouvement vers un objet B, stoppe lorsqu'il est adjacent de B, et que B démarre ensuite en suivant la même trajectoire que A, nous voyons – sous certaines conditions dans le réglage des paramètres spatio-temporels de ces mouvements – une collision dans laquelle A cause le mouvement de B. L'impression de lancement de B par A, que rapportaient les sujets dans ce type d'expérience, était attribuée par Michotte à l'intervention

d'un analyseur perceptif spécialisé dans la détection des informations causales contenues dans les stimuli relatifs aux mouvements des objets. Ses expériences visaient à démontrer que le traitement des informations sensorielles effectué par cet analyseur perceptif est automatique, imperméable aux croyances et connaissances des sujets d'expérience et vraisemblablement inné (cette dernière caractéristique n'était qu'une conjecture car les expériences de Michotte n'ont porté que sur des sujets adultes). Sa conception de l'analyseur perceptif de la causalité dans les interactions entre objets était, on le voit, très proche de la notion de module, telle qu'elle a été théorisée plus tard par Fodor (1983).

La situation expérimentale que Michotte avait utilisée avec des adultes a été plus tard adaptée, dans le cadre de l'approche cognitiviste, à l'étude de la perception de la causalité chez le bébé. Michotte a montré que lorsqu'il y a un délai de quelques secondes entre le contact de A avec B et le départ de B, les adultes ne perçoivent plus de relation causale entre le mouvement de B et celui de A. Les deux séquences, avec délai et sans délai, donnent lieu à un traitement des informations sensorielles sur les changements spatio-temporels liés aux mouvements de A et de B, mais la séquence sans délai est la seule à donner prise à la perception d'une relation causale et exige donc un traitement supplémentaire, dont on peut supposer qu'il requiert un temps supplémentaire. L'hypothèse qu'ont cherché à vérifier Leslie et Keeble (1987) est que si – comme les adultes – les bébés perçoivent une relation causale dans la condition sans délai et pas dans la condition avec délai, cela doit se traduire par un temps de traitement plus long dans la première de ces conditions. Pour tester cette hypothèse, ils ont examiné des bébés de 7 mois en utilisant le paradigme de réaction à la nouveauté. Dans une première phase, les bébés étaient habitués à la séquence A puis B dans l'une ou l'autre de deux conditions expérimentales (avec délai ou sans délai). Ceci était fait en leur présentant de façon répétitive le film montrant les déplacements de A et de B puis, une fois l'habituation obtenue, la nouveauté était créée en inversant la séquence à laquelle ils avaient été habitués (en projetant le film à l'envers, de telle sorte que la séquence devienne alors B puis A). L'ampleur de la réaction à la nouveauté était évaluée par l'ampleur de l'augmentation du temps de fixation du regard entre le dernier essai de la phase d'habituation à la séquence AB et le premier essai où la séquence BA était présentée. Conformément à l'hypothèse énoncée plus haut, l'augmentation du temps de fixation du regard était plus forte dans la condition sans délai temporel que dans la condition avec délai, ce dont les auteurs concluaient que, comme les adultes, les bébés perçoivent dans cette condition une relation causale qu'ils ne perçoivent pas dans la condition avec délai.

Ce résultat a été répliqué de nombreuses fois et on en a conclu que la perception de la causalité était possible dès l'âge de 7 mois environ. D'autres expériences ont montré que les bébés peuvent aussi se représenter cette relation causale. Le principe de ces expériences est de cacher par un écran la phase de la séquence où devrait avoir lieu le contact entre A et B pour voir si les bébés infèrent ce contact qu'ils n'ont pas vu. L'expérience commence par une phase d'habituation dans laquelle un objet B, stationnaire, est partiellement visible à la droite de l'écran (seule sa partie droite dépasse). Un objet A arrive de la gauche de l'écran, passe derrière l'écran, et – après un laps de temps compatible avec l'arrivée de A au contact de B – l'objet B démarre et sort de l'écran. Cette habituation étant faite, l'écran est retiré et deux situations test sont présentées, dans lesquelles l'entièreté des mouvements de A et de B est cette fois-ci visible par le sujet. Dans l'une l'objet A va jusqu'au contact de l'objet B avant que B démarre ; dans l'autre, le mouvement de A stoppe avant qu'il soit au contact de B et B démarre aussitôt . Dès l'âge de 6 mois, les bébés fixent plus longtemps cette seconde situation test. De cela on conclut que dans la phase d'habituation, où la nature exacte de l'interaction entre A et B était masquée par l'écran, ils avaient inféré que le démarrage de B était causé par le contact de A (Spelke, Phillips, & Woodward, 1995). On remarquera que la représentation de la relation causale est au moins aussi précoce que sa perception (estimée plus haut à 7 mois) Ceux qui, à la suite de Michotte, attribuent cette forme précoce de perception de la causalité à un module spécialisé dans le traitement des mouvements des objets, voient dans celui-ci le point de départ du processus qui, par enrichissements successifs, conduit à la notion abstraite de causalité.

Que se passe-t-il si au lieu que le mouvement de l'objet A déclenche le mouvement d'un autre objet, il déclenche un événement d'une autre nature, par exemple l'illumination de l'objet B ? Cette forme d'interaction ne relève plus, en principe, de la compétence d'un module spécialisé dans le traitement des informations sensorielles relatives aux mouvements des objets. Le dispositif expérimental avec lequel cette question a été abordée est en tout point analogue à celui décrit ci-dessus (avec écran), à ceci près que l'effet supposé de l'objet A (un petit train) sur l'objet B (un cube), n'est pas d'en provoquer le lancement, mais d'en provoquer l'éclairement (le cube s'allume au moment où il est supposé être percuté par le train). Le résultat a été que dans la phase test, le temps de fixation de bébés de 8 mois a été le même dans les deux situations (avec ou sans contact), ce dont on peut conclure que la collision du train avec le cube n'a pas été perçue comme la cause de l'éclairement de ce dernier. Ce résultat est compatible avec l'hypothèse que le module de perception causale est spécialisé dans la détection de relations causales entre les mouvements d'objets. Cependant,

l'expérience a été reprise en remplaçant le train par une main avec l'index pointé. Dans ce cas, les enfants, toujours des bébés de 8 mois, fixent plus longtemps la situation test sans contact, ce dont on conclut qu'ils ont cette fois-ci inféré le contact de la main avec le cube comme cause de l'éclairement de ce dernier (Muentener et Carey, d'après Saxe et Carey, 2006).

Deux conclusions importantes peuvent être tirées de la comparaison de ces deux dernières expériences. La première est qu'un module spécifique de la détection des relations causales dans le mouvement des objets n'est pas la seule source de la représentation de la causalité : l'éclairement d'un cube n'a rien d'un mouvement et échappe à la compétence d'un tel module. Pourtant ce type de stimulus donne également lieu à une attente de relation causale, mais celle-ci n'a lieu que lorsque l'agent qui contacte le cube est une main, qui peut être perçue comme une entité animée. La main est de surcroît la partie du corps la plus engagée dans l'expérience que le sujet acquiert quotidiennement sur les effets de sa propre action. La seconde conclusion est donc que l'expérience que le sujet a acquise de sa propre agentivité pourrait être une autre source de la représentation de la causalité. C'est l'hypothèse qu'avait formulée, en son temps, Maine de Biran.

La troisième hypothèse sur l'origine de la représentation de la causalité s'appuie sur le fait que certains patterns de corrélation entre les événements peuvent renseigner sur l'existence de relations causales, pour peu que les relations de dépendance conditionnelle puissent être extraites des corrélations observées. Certains chercheurs font l'hypothèse que les enfants sont équipés d'un système de traitement amodal qui extrait des corrélations observées, quel qu'en soit le contenu, les éventuelles relations de dépendance. Ce système de traitement produirait, en sortie, des inférences implicites sur la structure causale des événements. On pourra trouver chez Gopnik, Glymour, et al. (2004) un exemple de modélisation computationnelle de ce à quoi pourrait correspondre ce traitement des corrélations, ainsi que des exemples d'expériences par lesquelles ce modèle de la représentation de la causalité a été testé avec des enfants de 3 ou 4 ans.

Dans leur revue de question sur la perception de la causalité dans la petite enfance, Saxe et Carey (2006) relèvent que les différentes formes précoces de perception et de représentation de la causalité se manifestent de façon à peu près contemporaine, vers 6 à 8 mois, et que la perception de la causalité ne semble pas plus précoce que sa représentation. Ceci rend peu probable que l'une ou l'autre des sources potentielles de la représentation des relations causales – perception des relations causales dans les mouvements des objets ou expérience de sa propre agentivité – puisse être considérée comme le précurseur de l'autre. Il est possible

qu'elles aient une origine commune - le système amodal de traitement dont il vient d'être question serait un bon candidat - ou bien que plusieurs sources différentes contribuent à la formation d'une représentation plus abstraite des relations causales. Quoi qu'il en soit, le point qui nous intéresse ici est qu'il existe bien une capacité précoce de perception et de représentation de la causalité qui est compatible avec l'hypothèse d'existence précoce de théories naïves.

3. Le changement conceptuel : deux exemples de processus

Dans ce qui suit, nous focaliserons le propos sur deux des points en débat. L'un concerne la structuration : les connaissances naïves sont-elle en « miettes » ou intégrées dans des structures cognitives et, si tel est le cas, dans quel type de structure ? L'autre, lié au premier, correspond à l'interrogation sur la nature des processus par lesquels les connaissances naïves évoluent. Ces deux points sont liés car les hypothèses sur la nature du changement conceptuel dépendent des hypothèses sur la structuration des connaissances. Les tenants de la conception modulaire, qui mettent l'accent sur un noyau initial de principes intangibles, privilégient l'hypothèse d'un changement par enrichissement de ce noyau initial ; les tenants des théories naïves, qui admettent la révision des principes initiaux, privilégient l'hypothèse d'un changement par restructuration ; les tenants d'une structuration initiale de la connaissance sous forme de catégories ontologiques attribuent les « misconceptions » à des erreurs dans l'attribution des concepts aux différentes catégories ontologiques disponibles et interprètent le changement conceptuel comme un processus de ré-attribution des concepts aux catégories ontologiques qui leur sont appropriées.

Nous limiterons le propos à deux de ces processus de changement conceptuel, la révision des présuppositions qui forment le cœur d'une théorie naïve et la ré-attribution d'un concept à une autre catégorie ontologique. Pour donner une vue concrète de ces deux processus, ils seront décrits à travers la présentation de deux exemples de recherches. La première porte sur l'évolution des représentations que les enfants se font de la forme de la Terre, la seconde porte sur l'évolution des représentations qu'ils se font des phénomènes sonores. Dans l'un et l'autre cas, c'est le changement conceptuel spontané qui a été étudié.

Le processus de révision des présuppositions initiales : l'exemple de l'évolution des théories naïves sur la forme de la Terre.

La représentation initiale de la forme de la Terre, aussi bien dans l'histoire de l'humanité que dans le développement de l'enfant, est celle d'une surface plate. Néanmoins, dans l'environnement culturel où vivent les enfants d'aujourd'hui, ils sont précocement confrontés à l'information que leur transmettent les adultes, à savoir que la Terre est ronde, plus exactement qu'elle a la forme d'un ballon. Vosniadou et Brewer (1992) se sont demandés comment les enfants intègrent cette information nouvelle à leur représentation initiale de la forme de la Terre. Ils ont pour cela examiné un échantillon de soixante enfants américains, composé de 20 enfants du degré 1 de l'école élémentaire (correspondant au CP en France), 20 enfants du degré 3 (CE2) et 20 enfants du degré 5 (CM2).

Ils ont exploré les connaissances des enfants sur la Terre en leur posant une série de 15 questions portant sur des points cruciaux et en leur demandant de préciser leur représentation par des dessins. Par exemple, quelle est la forme de la Terre ? Peux-tu me la dessiner ? Puis, sur ce dessin, peux-tu me montrer où vivent les gens ? Où sont les étoiles, etc.. Certaines des questions, dites « génératives », portaient sur des situations dont l'enfant ne peut avoir aucune expérience, comme celle consistant à lui demander où il arriverait s'il marchait toujours tout droit devant lui. L'idée sous-jacente est que si les enfants ont une théorie naïve sur la question, celle-ci doit engendrer des prédictions sur ce qui devrait se passer dans des situations auxquelles ils n'ont encore jamais été confrontés. L'analyse de ces prédictions devrait alors renseigner sur la nature des présuppositions qui structurent leur théorie naïve. Plus précisément, les enfants sont supposés élaborer un modèle mental de la Terre pour répondre aux différents problèmes qui leur sont soumis. A la suite de Johnson-Laird, Vosniadou et Brewer (1992) définissent ce modèle mental comme une représentation analogique, construite dans l'instant, pour trouver une solution au problème posé. La stratégie de recherche des auteurs est de partir de ces modèles mentaux pour en inférer les présuppositions implicites qui, à un niveau plus profond, structurent la théorie naïve et contraignent le modèle mental.

Voici deux exemples de réponses observées à la question générative sur ce qui se passerait si l'enfant marchait toujours droit devant lui :

- Kristi (1^{er} degré). « Si tu marchais et marchais plusieurs jours en ligne droite, où est-ce que tu arriverais? - *J'arriverais dans une autre ville.* – Bon, et si tu continuais à marcher et marcher?
- *Dans un paquet d'autres villes, d'états, et puis, si on était là et si on continuait à marcher*

(l'enfant montre le bord du cercle qu'il a tracé pour représenter la Terre) *on irait en dehors de la Terre.* – Tu irais en dehors de la Terre? – *Oui parce qu'on va par là et on arrive au bord de la Terre et il faut faire attention.* – Est-ce qu'on pourrait tomber du bord de la Terre? – *Oui si on jouait sur le bord.* – Où est-ce qu'on tomberait ? – *On tomberait sur le bord si on jouait ici. Et on tomberait sur d'autres planètes».*

- Mathew (1^{er} degré). «Si tu marchais et marchais plusieurs jours en ligne droite, où est-ce que tu arriverais? – *Si on marchait pendant très longtemps, on pourrait arriver à la fin de la Terre.* – Est-ce que tu pourrais atteindre le bord de la Terre? - *Je ne pense pas.* – Disons qu'on continue de marcher et de marcher et qu'on a plein de nourriture avec nous. – *Probablement.* – Est-ce que tu pourrais tomber du bord de la Terre? – *Non parce que si on était à l'extérieur de la Terre, on pourrait probablement tomber, mais si on était à l'intérieur de la Terre, on ne pourrait pas tomber ».*

L'approche méthodologique des auteurs a consisté à faire, à partir de l'analyse des réponses et des dessins, une première catégorisation des différents modèles mentaux hypothétiques sur lesquels ont pu s'appuyer les enfants pour répondre aux questions. Dans un second temps, ils ont élaboré, pour chacun des modèles mentaux supposés, le profil hypothétique de réponses aux 15 questions si les enfants élaboraient leurs réponses en s'appuyant de façon cohérente sur un modèle mental donné. Par exemple, si le modèle mental de la forme de la Terre était celui d'un disque, l'enfant devait avoir dessiné un cercle, indiqué que les gens vivent à l'intérieur du cercle, que les étoiles sont au-dessus du disque, qu'en marchant tout droit on arriverait au bord de la Terre, qu'à cet endroit on pourrait tomber de la Terre, etc. Dans un troisième temps, les auteurs ont comparé les profils observés aux profils attendus et, compte tenu de la bonne adéquation observée, ont attribué un modèle mental à un enfant lorsque le profil de ses réponses coïncidait avec le profil attendu pour ce modèle. Cette démarche les a conduits à identifier six modèles mentaux de la Terre et à affecter 49 des 60 enfants à un de ces modèles mentaux, les 11 autres présentant des profils mixtes. Ces six modèles sont schématisés dans la figure 2 et leurs principales caractéristiques sont décrites ci-dessous (l'effectif des enfants auxquels chacun est attribué est indiqué entre parenthèses).

Insérer la figure 2

Terre rectangulaire et Terre disque (n = 2). Ces deux modèles mentaux ont en commun de représenter la Terre comme une surface plate sur laquelle vivent les gens, aussi bien les habitants de Champaign (la ville des Etats-Unis où a été effectuée la recherche) que les gens

vivant en Chine. Sous cette surface, il y a de la terre, et au-dessus, le ciel et les étoiles. Seule la forme de cette surface change, elle est rectangulaire pour un sujet, circulaire pour un autre (ce qui est, pour ce dernier, une façon d'intégrer l'information selon laquelle la Terre est ronde). Dans un cas comme dans l'autre, ces enfants pensent qu'en marchant toujours tout droit, on arrive au bord de la Terre et qu'à ce moment là on risque de tomber (cf. plus haut la réponse de Kristi).

Terre double (n=8.). Il y a une Terre qui est ronde et située dans le ciel, et une autre terre qui est plate et sur laquelle les gens vivent (la plupart des enfants dénomme la première « la Terre » et la seconde « le sol »). Pour le reste, ils se comportent comme ceux des deux modèles précédents.

Sphère creuse (n = 12). La Terre est une immense sphère creuse et les gens vivent sur le sol, qui se situe dans la profondeur de cette sphère et qui est plat. Cette sphère est composée de deux hémisphères. Celui du bas, sur lequel les gens vivent, et celui du haut, qui correspond au ciel et couvre le sol comme un dôme (selon certains enfants ce dôme est ouvert dans sa partie supérieure, pour d'autres il est fermé (cf. variantes a et b dans la figure 2). Cette sphère est environnée d'espace. Elle a un bord, mais on ne risque pas de tomber de ce bord dans la mesure où l'on reste à l'intérieur de la sphère (cf. plus haut la réponse de Mathew).

Sphère aplatie (n = 4). La Terre est une sphère aplatie comme un « pancake ». Elle est environnée d'espace et les étoiles se situent tout autour. Les gens vivent sur les parties aplaties, aussi bien sur celle du dessus que sur celle du dessous car la gravité les empêche de tomber. Si on marche tout droit, on revient à son point de départ.

Sphère (n = 23). Ce modèle partage les caractéristiques du précédent mais s'en différencie par le fait que la sphère n'est pas aplatie. La contradiction entre le fait que la Terre ait la forme d'un ballon et le fait qu'on la perçoive plate est expliquée par l'immensité de la sphère qui rend la courbure si faible que le sol semble horizontal alors qu'il est légèrement arrondi.

Les âges moyens des enfants caractérisés par ces différents modèles vont croissant, dans l'ordre où ils ont été présentés ci-dessus, en allant du modèle de la Terre rectangulaire à celui de la sphère.

En s'appuyant sur l'analyse de ces six modèles mentaux et de leur progression développementale, Vosniadou et Brewer infèrent que chez les enfants, la représentation de la Terre est au départ contrainte par deux présuppositions. La première est que *la Terre est plate*. Cette croyance est relativement élaborée car les enfants ne perçoivent évidemment pas que des étendues plates dans leur environnement. Le concept de Terre plate est donc déjà une abstraction formée à partir des apparences et d'inférences sur la façon dont la surface sur

laquelle ils se trouvent se prolonge. Dans la vie quotidienne, ce qui *apparaît* plat est *effectivement* plat. Puisque la Terre *apparaît* plate, les enfants en infèrent qu'elle est *effectivement* plate. La seconde présupposition est que *les choses qui ne sont pas soutenues tombent*. On reconnaît là un des principes de structuration de la représentation du monde physique, dont nous avons vu plus haut que sa transgression donne lieu à une réaction de surprise dès l'âge d'un an. Selon Vosniadou et Brewer, ces deux présuppositions forment le noyau de la théorie cadre (framework theory) des enfants sur la forme de la Terre. Les modèles mentaux qu'ils construisent, dans l'instant, pour répondre aux questions qu'ils se posent ou qu'on leur pose sur la Terre sont initialement contraints par ces deux présuppositions. Le changement conceptuel passe par la révision de ces dernières.

Ainsi, le modèle de la Terre en forme de rectangle ou de disque, que l'on trouve chez les enfants les plus jeunes, a le statut de *modèle initial*, respectant toutes les contraintes de la théorie cadre. Le disque (ou le rectangle) est soutenu par le sol et le sous-sol aussi loin qu'on puisse l'imaginer, les gens sont soutenus par le disque (ou le rectangle) et vivent sur une surface plate. Les modèles de la Terre double, de la sphère creuse et de la sphère aplatie ont le statut de *modèles synthétiques*, c'est-à-dire de modèles qui résultent de la tentative de concilier l'information nouvelle transmise par les adultes, à savoir que la Terre est ronde comme un ballon, avec les présupposés implicites que cette information contredit. Le modèle de la Terre double limite la contradiction à minima, en se contentant de juxtaposer ces deux représentations de la Terre, celle qui est ronde est située dans le ciel, et les gens vivent sur celle qui est plate. Le modèle de la sphère creuse concilie astucieusement la présupposition d'un sol plat avec la forme sphérique en plaçant le sol à l'intérieur de la sphère. Ce modèle marque un progrès tenant au fait que la sphère elle-même est située dans l'espace et n'a donc plus à être soutenue. Le modèle de la Terre aplatie marque un nouveau progrès dans la mesure où les gens vivent sur la sphère plutôt qu'à l'intérieur, sans tomber pour autant grâce à la gravité. Les gens eux-mêmes n'ont donc plus besoin d'être soutenus. Néanmoins, la sphère est aplatie pour concilier l'apparence selon laquelle le sol est plat avec ce qui est connu par ailleurs de la forme sphérique de la Terre. Pour parvenir au modèle mental de la sphère, qui intègre les connaissances scientifiques aussi bien que cela peut se faire à cet âge, les enfants ont donc dû réviser les deux présuppositions qui structuraient leur théorie naïve sur la Terre, en parvenant à expliquer comment quelque chose qui paraît plat peut en réalité être courbe et pourquoi ni la Terre ni les gens qui vivent dessus ne tombent, ce qui requiert une interprétation différente du principe de gravité. Ce processus de révision, de restructuration

des connaissances, est lent et graduel. Dans le cas de l'étude qui vient d'être décrite, il prend des années.

Selon les auteurs de cette étude, le fait que la réponse d'un enfant à une des quinze questions qui leur étaient posées permette de prédire ce que seront ses réponses aux autres questions montre que les connaissances naïves sont structurées. L'architecture cognitive sous-jacente à cette structuration est supposée comporter deux niveaux. Le niveau le plus profond est celui des présuppositions, le plus souvent implicites, très résistantes car tirées de l'expérience quotidienne et maintes fois corroborées dans ce cadre. Le niveau le plus superficiel est celui des modèles mentaux élaborés dans l'instant, pour résoudre un problème. La structuration de ces modèles mentaux est elle-même contrainte par les présuppositions qui forment le cœur de la théorie naïve.

Un des intérêts de cette étude est de faire ressortir les contraintes que les croyances antérieures exercent sur l'assimilation des connaissances nouvelles. C'est une donnée qui doit être prise en compte dans l'apprentissage par instruction, même si celui-ci fait appel à d'autres processus que ceux qui sous-tendent le changement conceptuel spontané. Vosniadou (2007) contraste ces deux formes de changement conceptuel. Le changement spontané, tel qu'il a été décrit dans cette étude, est un changement « down-top », largement inconscient, procédant par ajustements locaux. L'instruction doit par contre s'appuyer sur des processus « top down », sur la formation et la vérification d'hypothèses explicites. Il faut pour cela rendre les élèves conscients des incohérences entre les théories scientifiques et leurs théories naïves (ce qui suppose que ces dernières soient connues des enseignants).

3.2. Le processus de ré-attribution d'un concept : l'exemple de l'évolution développementale dans la représentation du son

Le changement conceptuel peut aussi passer par le changement de la catégorie ontologique à laquelle un concept appartenait jusqu'alors. Michelene Chi (1992, 1997), a théorisé cette forme de restructuration des connaissances. Celle-ci se produit lorsqu'un concept a été initialement attribué à une catégorie ontologique qui ne lui est pas appropriée. Chi distingue deux formes de ré-attribution d'un concept à une autre catégorie ontologique, l'une dite faible et l'autre dite radicale.

Comme nous l'avons vu à propos des travaux de Keil (1979, 1989), les catégories ontologiques ont la forme d'arbres dans lesquels les catégories sont emboîtées par des relations hiérarchiques. A la racine de chacun de ces arbres se trouvent quelques grandes

catégories ontologiques radicalement distinctes, celle de la matière, celle de l'esprit et celle des processus. Chacune de ces racines forme un arbre qui se subdivise en branches. La catégorie de la matière se subdivise en plusieurs branches, la branche des objets inertes et celle des êtres vivants. La branche des objets se subdivise entre objets naturels et objets fabriqués, la branche du vivant se subdivise entre animaux et plantes, etc.. La catégorie des processus, de son côté, se subdivise également en plusieurs branches, celle des événements, celle des procédures, celle des systèmes, celle des contraintes fondées sur l'interaction. Les événements, les procédures et les systèmes partagent un certain nombre d'attributs (par exemple ceux d'être décomposables, de comporter un début, une organisation séquentielle des composantes, une fin, etc.). La catégorie des interactions fondées sur la contrainte (« constraint-based interactions ») réfère à une forme particulière de processus, qui ne partage pas les attributs cités ci-dessus. C'est par exemple le cas des phénomènes de dissolution d'une substance dans une autre, de diffusion d'un gaz, du transfert de chaleur, lorsqu'ils sont observés au niveau moléculaire. Les interactions entre les molécules tendent à s'équilibrer au cours d'un processus dans lequel l'agitation moléculaire n'a pas vraiment de début ni de fin, ne constitue pas une séquence ordonnée d'étapes décomposables, etc.

La version faible de la ré-attribution est celle qui consiste à faire passer un concept d'une branche à une autre d'un même arbre. Découvrir ou apprendre que la baleine allaite ses petits conduit à faire passer le concept de baleine de la catégorie des poissons à celle des mammifères. Selon Chi (1997), il s'agit d'une version faible du processus de ré-affectation car le concept de baleine se voit certes retirer les attributs spécifiques des poissons et ajouter les attributs spécifiques des mammifères, mais il conserve néanmoins les attributs des êtres vivants, du fait que la catégorie des poissons et celle des mammifères sont subordonnées à celle des êtres vivants, dont elles héritent les propriétés. Il en va autrement lorsque le processus de ré-attribution fait passer un concept d'une catégorie initiale à une catégorie située sur un autre arbre de la structure. C'est par exemple le cas lorsqu'un concept est attribué par erreur à la catégorie de la matière alors qu'il relève de la catégorie des processus. Cette forme de ré-attribution est dite radicale car la catégorie de la matière et celle des processus ne comportent aucun attribut ontologique commun, ce qui se devrait se traduire par une résistance plus grande au changement.

Selon Chi (1992, 1997), une des raisons de la difficulté qu'ont les étudiants à comprendre des concepts de physique tels que ceux de chaleur ou de lumière est qu'ils se représentent ces entités comme des substances matérielles alors qu'elles relèvent de la catégorie ontologique des processus (et plus précisément de la forme de processus désignée plus haut comme

« interaction fondée sur la contrainte » lorsque ces phénomènes sont expliqués au niveau moléculaire). Cette hypothèse a été corroborée par une expérience de Slotta, Chi et Joran (1995) dont les résultats ont montré que les élèves du 9^{ème} grade (l'équivalent de la classe de 3^{ème} en France) ont encore une forte tendance à se représenter la lumière, la chaleur et le courant électrique comme des substances matérielles. L'hypothèse de ré-attribution conceptuelle a aussi inspiré une recherche sur la représentation naïve du concept de son chez l'enfant (Mazens et Lautrey, 2003) dont les principaux résultats sont rapportés ci-après.

Du point de vue scientifique, le son est engendré par les vibrations que produit un objet frappé par une source d'énergie. Lorsque l'objet est dans un milieu élastique, dans l'air par exemple, ces vibrations provoquent dans ce médium des états de compression et de dilatation qui se propagent graduellement jusqu'à l'oreille, sans transport de matière. Le point important pour notre propos est que le son est un processus de transmission d'énergie qui relève donc de la catégorie ontologique des processus et non de celle de la matière.

Un premier objectif de cette étude était de voir si les connaissances naïves des enfants sur le son sont « en miettes » ou sont structurées. Pour le cas où elles seraient structurées, le second objectif était de voir si, comme le suggère l'hypothèse de Chi, leur structure initiale tient à l'attribution du concept de son à la catégorie ontologique de la matière. Pour le cas où le changement conceptuel passerait effectivement par la ré-attribution de ce concept, de la catégorie de la matière à celle des processus, le troisième objectif était d'étudier les caractéristiques de ce changement. Selon Chi,

...une fois que le concept a été représenté sur un arbre ontologique différent, il hérite immédiatement des attributs de cet arbre. Cet héritage immédiat peut provoquer le phénomène 'aha'⁵ (Chi, 1997, p.230).

Le concept de son hérite-t-il en bloc des attributs de la catégorie des processus dès lors que l'enfant comprend qu'il ne s'agit pas d'une substance, comme le suggère la citation ci-dessus, ou bien la ré-attribution, aussi radicale soit-elle, s'opère-t-elle par un processus de révision graduel et lent, analogue à celui qui a été décrit plus haut à propos de la restructuration de la théorie naïve sur la forme de la Terre ?

Le principe de l'expérience consistait à confronter les enfants à des situations dans lesquelles un son est produit par un objet et à leur demander de prévoir et d'expliquer les phénomènes observés. Les situations étaient choisies de façon à ce que les explications fournies par les

⁵ Notre traduction. Le phénomène 'aha' est ce que l'on appelle usuellement l'insight, qui correspond à une compréhension soudaine.

enfants permettent d'inférer s'ils attribuaient ou non au son les propriétés des objets, , notamment la propriété de substantialité (si le son est un objet, il ne peut traverser d'autres objets), celle de permanence (s'il est un objet, il continue d'exister même lorsqu'on ne le perçoit plus), et celle de poids (s'il est une substance, un objet d'où un son est sorti doit être plus léger).

Les participants étaient des enfants de grande section de maternelle (moyenne d'âge = 6 ans), de CE1 (m = 8 ans) et de CM1 (m = 10 ans), à raison d'une trentaine d'enfants par groupe d'âge.

La propriété de substantialité était explorée dans diverses situations où on expliquait qu'un objet bruyant allait être enfermé dans un lieu clos (dans une boîte, dans une pièce adjacente). On demandait d'abord à l'enfant de prédire si on pourrait oui ou non entendre le bruit, puis l'expérience était réalisée et on lui demandait d'expliquer pourquoi on pouvait entendre le bruit bien qu'il soit enfermé. L'expérience était répétée avec des matériaux variés. Par exemple, un réveil dont on faisait entendre le tic-tac était enfermé dans une boîte en fer, puis dans une boîte en carton. Quatre comportements, dont les âges moyens vont croissant, ont été observés dans cette situation :

1. Le son passe par des trous. Exemple : « *Il y a des petits trous sous les portes. Les bruits ne passent pas à travers s'il n'y a pas de portes, pas de fenêtres. Autrement, les murs devraient avoir des trous* » (Cam., CE1)

2. Forces relatives du son et de l'obstacle. On entendra ou pas le son, cela dépend de la force des matériaux derrière lesquels il est enfermé. Exemple : « *Avec le métal, on peut moins entendre qu'avec le carton (en fait, c'est le contraire). Le carton est plus léger que le métal. Le métal est plus dur que le carton. Le son peut passer à travers le carton plus qu'à travers le métal* (Amé., CE1).

3. Le son est immatériel. Le son n'a pas certaines des propriétés usuelles des objets, il est invisible et échappe donc à certaines des contraintes qui s'appliquent à la matière. Ex : « *Le son peut passer à travers, même s'il n'y a pas de trous, parce qu'il est invisible, comme un fantôme* ».

4. Le son est une vibration. Les enfants emploient des termes comme « résonne », « vibre » de façon appropriée et évoquent la transmission du son bien qu'ils ne connaissent pas l'explication scientifique de celle-ci. Exemple : « *Il y a des vibrations. Quand on tape sur quelque chose, ça le fait vibrer, ça le transmet et puis on l'entend* ».

La propriété de permanence était explorée en produisant un bruit, par exemple en frappant deux morceaux de bois l'un contre l'autre et en demandant à l'enfant si, lorsqu'on ne l'entend

plus, le son produit par les deux morceaux de bois existe encore quelque part et si oui où ?

Deux catégories de réponses ont été distinguées :

1. Permanence. Les enfants affirment que le son existe encore lorsqu'on ne l'entend plus.

Exemple : *Il va dans le ciel et il continue. Il part avec l'air. Il peut aller partout dans l'univers. Il va toujours continuer, il sera toujours avec l'air* (An., CE1).

2. Non permanence. Le son disparaît quand on ne l'entend plus, il n'existe plus. Exemple :

« *A un moment il n'existe plus parce que l'air s'est arrêté de vibrer et est devenu de l'air normal* ».

Pour explorer la propriété de poids l'expérimentateur faisait produire un son à un objet, par exemple en faisant sonner un réveil, puis rapportait qu'un enfant lui avait dit que lorsqu'un son sort d'un objet, celui-ci devient un peu plus léger. Il était alors demandé au sujet s'il pensait que cet enfant avait raison ou s'il pensait qu'il se trompait et pourquoi. Les enfants d'accord avec cette opinion ont expliqué leur point de vue en disant que le son quitte les objets et y revient ensuite, que les objets deviennent plus légers lorsque le son est fort, mais pas quand il est faible, etc. Ceux qui étaient en désaccord avec cette opinion ont argumenté leur point de vue en expliquant que le son n'a pas de poids, qu'il y a toujours la même chose à l'intérieur de l'objet, que le son n'est rien d'autre que de l'air, que son poids est insignifiant, etc.

On peut voir sur le tableau 1 l'évolution de la fréquence des différents patterns d'attribution de ces trois propriétés au son, en fonction du niveau scolaire (concernant la substantialité, on a considéré qu'elle était attribuée au son lorsque les réponses entraient dans les catégories ci-dessus numérotées 1 et 2 et qu'elle ne lui était pas attribuée lorsque les réponses entraient dans les catégories 3 et 4).

Insérer le tableau 1

Rappelons que cette expérience avait trois objectifs. Le premier était de voir si l'hypothèse de changement par ré-attribution pouvait s'appliquer à l'évolution développementale du concept de son. C'est vraisemblable puisque la représentation initiale que les enfants se font du son attribue à celui-ci des propriétés – substantialité, permanence, poids - qui sont celles de la catégorie ontologique des objets. Ce résultat est compatible avec l'hypothèse de Chi (1992, 1997) et avec les données des études effectuées, avec des élèves plus âgés, par Tiberghien (1979) sur la représentation du concept de chaleur et par Slotta, Chi et Joran (1995) sur la

représentation des concepts de chaleur, de lumière, et de courant électrique. Ce résultat a par ailleurs été répliqué dans une étude de Lautrey et Mazens (2004), dans laquelle les processus de réaffectation des concepts de son et de chaleur ont été comparés chez des enfants de 8 ans. Le second objectif était d'établir si la ré-attribution du concept de son se faisait en bloc. Dans le changement conceptuel spontané, tel qu'il a été observé dans cette étude, la ré-attribution ne se fait pas ainsi (ce qui n'exclut pas que des réorganisations brusques, de type insight, puissent se produire lorsque le changement est provoqué par l'instruction). Dans la période d'âge étudiée, peu d'enfants attribuent à la fois les trois propriétés sondées au concept de son. Ce pattern n'est pratiquement trouvé qu'en grande section de maternelle, et encore, chez 13% des enfants seulement. La lecture du tableau 1 montre que la représentation du son se dépouille progressivement des attributs de la matière avec l'avancée en âge, du poids d'abord, puis de la permanence, et enfin de la substantialité qui est l'attribut le plus résistant, encore présent chez 35% des enfants de CM1. Comme dans le cas de la restructuration de la théorie naïve sur la forme de la Terre, la ré-attribution est un processus graduel et lent dont le déroulement prend des années. Encore faut-il ajouter que la catégorie de processus que l'on voit s'ébaucher dans cette étude est celle des événements, dont les principaux attributs ont été évoqués plus haut. L'explication scientifique de la propagation du son au niveau moléculaire requiert une autre ré-attribution du concept. Celui-ci doit alors passer, au sein de l'arbre des processus, de la catégorie des événements à celle des interactions fondées sur la contrainte. C'est dire que le changement conceptuel exploré dans cette étude est loin de couvrir l'ensemble des restructurations qui seront nécessaires pour parvenir à comprendre l'explication scientifique des phénomènes sonores au niveau moléculaire.

Le troisième objectif était enfin de voir si les connaissances sur le son sont en miettes ou structurées. Du fait que le concept de son est dépouillé progressivement de certains attributs de la matière avant même d'avoir acquis ceux des processus, il n'appartient plus de façon cohérente à la catégorie ontologique de la matière, et pas encore de façon cohérente à celle des processus, et ceci pendant de nombreuses années. Ceci peut peut-être expliquer que certains auteurs considèrent les connaissances naïves comme inorganisées. Elles le sont d'un certain point de vue. Néanmoins, si on s'attache à observer la dynamique développementale plutôt que l'état des connaissances à un moment ponctuel, on peut voir dans l'évolution conceptuelle une cohérence qui autorise à parler de structuration et de restructuration.

Conclusion

Il existe un net regain d'intérêt, depuis une vingtaine d'années, pour l'étude des connaissances que les enfants élaborent spontanément à partir de l'expérience qu'ils tirent de leur vie quotidienne. Les observations et théorisations issues des recherches sur ces connaissances naïves ont contribué à faire évoluer les idées sur le développement cognitif de l'enfant.

Dans toute la période où la théorie de Piaget a dominé la scène, la recherche était focalisée sur le développement des opérations cognitives, indépendamment de leur contenu. Piaget a décrit le développement de la connaissance comme subordonné à la construction de structures opératoires logiques, de portée générale. La recherche sur les idées naïves des enfants a contribué à relativiser cette théorie en mettant l'accent sur l'organisation propre des connaissances. Elle a décrit le développement cognitif comme un processus de construction de structures sémantiques plutôt que de structures logiques, et elle a mis l'accent sur la spécificité de ces structures selon les domaines plutôt que sur leur généralité.

Deux grandes questions restent ouvertes dans l'état actuel de la recherche sur les connaissances naïves. La première concerne leur état initial, la seconde leur degré d'organisation. Concernant l'état initial, il existe maintenant un consensus assez large pour considérer que dès la naissance, un certain nombre de contraintes liées à l'organisation des différents réseaux neuronaux prédisposent ceux-ci au traitement d'un certain type d'information. En cela, ces contraintes recèlent déjà une certaine forme de connaissance – accumulée au cours de la phylogenèse et incluse dans le patrimoine génétique de l'espèce – sur le monde auquel le bébé va devoir s'adapter. Les avis divergent par contre sur le niveau de spécification que définissent ces contraintes dans le traitement de l'information. Pour certains, elles spécifient déjà la nature du traitement à effectuer, pour d'autres, elles sont assez générales et ne sont que le point de départ d'un processus de modularisation au cours duquel les structures cognitives se spécifient sous l'effet de l'expérience (Karmiloff-Smith, 1992). Il est difficile, dans l'état actuel des connaissances, d'aller au-delà dans le débat sur ce qui est inné et sur ce qu'il est convenu d'appeler l'état initial. Concernant l'innéité, les âges les plus précoces auxquels ont été décelées des réactions de surprise lorsqu'un des principes auxquels obéit le monde des objets est transgressé, sont de l'ordre de deux à trois mois. A cet âge, il est déjà difficile de démêler ce qui, dans ces réactions de surprise, tient à des prédispositions innées – dont la nature exacte reste à préciser – et ce qui tient à l'intériorisation de covariations tirées de l'expérience du monde des objets au cours des premières semaines de la vie. Il est tout aussi difficile d'opérationnaliser la notion d'état initial. On sait qu'il y a déjà perception et traitement de l'information (de l'information sonore par exemple) au cours de la vie intra-utérine. On ne peut donc pas considérer que le moment de la naissance soit l'état

initial du développement cognitif. Mais quelle est l'étape du développement du fœtus, de la division cellulaire, qui peut être qualifiée d'état initial de la cognition? La question n'a guère plus de sens que celle de savoir à partir de quelle étape du développement embryonnaire le fœtus devient une personne.

Concernant le degré d'organisation des connaissances naïves, le débat reste aussi très ouvert. Manifestement, différentes sortes de processus de structuration sont à l'œuvre, qui ne peuvent être mis sur le même plan mais le sont pourtant parfois. Les noyaux de connaissance mis en évidence dans les recherches sur la cognition des bébés, inférés à partir de simples réactions d'attente, ne relèvent pas des mêmes processus que la représentation de connaissances qui pourront être, plus tard dans le développement, explicitées par l'intermédiaire du langage. Parle-t-on de la même chose lorsqu'on parle de structuration à propos de ces deux formes de connaissance ? Par ailleurs, les différentes présuppositions qui sont inférées du comportement de l'enfant sont-elles liées entre elles, à quel degré, par quel type de relations ? Ce n'est généralement pas précisé. Dans les deux exemples de recherches qui ont été donnés à propos du changement conceptuel, on a pu observer que les enfants abandonnent certaines présuppositions sans que cela implique d'abandonner les autres (par exemple abandonner la présupposition de permanence sans abandonner celle de substantialité dans la représentation du son). Ces différentes présuppositions sont peut-être seulement juxtaposées, activées ensemble dans une certaine situation, mais sans relations nécessaires qui les intégreraient dans une même structure. Pour parvenir à un consensus sur cette seconde question, il faudra manifestement parvenir à une définition plus précise de ce que l'on convient d'appeler une connaissance et de ce que l'on convient d'appeler une structure de connaissance.

Bibliographie

- Baillargeon, R., Spelke, E.S., & Wasserman, S. (1985). Object permanence in five month-old infants. *Cognition*, 20, 191-208.
- Baron-Cohen, S. (1995). *Mindblindness, an essay on autism and theory of mind*. Cambridge, Mass: MIT Press. Trad. Franç. (1998). *La cécité mentale: un essai sur l'autisme et la théorie de l'esprit*. Grenoble : PUG
- Barsalou, L.W. (2008). Grounded cognition. *Annual review of psychology*, 59, 617-645.
- Brown, A., DeLoache, J.S. (1978). Skills, plans, and self-regulation. In R.S. Siegler (Ed.), *Children's thinking : What develops?* Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Mass : MIT Press.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S.Carey & R. Gelman (Eds.), *Epigenesis of the mind: Essays in biology and knowledge*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carey, S., & Spelke, E.S. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. Hirschfeld, & S. Gelman, *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Chase, W.G., & Simon, H.A. (1973). The mind's eye in chess. In W.G. Chase (Ed.), *Visual information processing* (pp. 215-281). New-York: Academic Press.
- Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structure and memory development. In R.S. Siegler (Ed.), *Children's thinking : What develops?* Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within an across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of science. Minnesota studies in the philosophy of science* (Vol. 15, pp. 129–186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M.T.H. (1997). Creativity : Shifting across ontological categories flexibly. In T. B. Ward, S.M. Smith, & J. Vaid (Eds.), *Creative thought: an investigation of conceptual structures and processes* (pp. 209-234). Washington, DC: American Psychological Association.
- Chi, M.T.H., Feltovich, P., Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2-3), 105-225.

- diSessa, A. A. (in press). A bird's eye view of "pieces" vs. "coherence" controversy. In S. Vosniadou (ed.), *Handbook of conceptual change research* (pp. 35-60). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- diSessa, A.A., Gillespie, N.M., Esterly, J.B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive science*, 28, 843-900.
- Fodor, J. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, Mass: MIT Press. Trad. Franç. *La modularité de l'esprit*. Paris : Editions de Minuit, 1986.
- 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, S.A. (2003). *The essential child: Origins of essentialism in everyday thought*. New-York: Oxford University Press.
- Gelman, S.A. (2004). Psychological essentialism in children. *Trends in cognitive science*, 8, 404-409.
- Gopnik A, Glymour C, Sobel DM, Schulz LE, Kushnir T, & Danks D. (2004) A theory of causal learning in children: causal maps and Bayes nets. *Psychological review*, 111, 3-32.
- Gopnik, A., & H. M. Wellman (1994). The theory theory. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 257-293). New York, NY: Cambridge University Press.
- Hirschfeld, L. & Gelman, S. (1994). *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Inagaki, K., & Hatano, G. (2002). *Young children's thinking about the biological world*. New-York : Psychology Press.
- Inagaki, K., & Hatano, G. (2004). Vitalistic causality in young children's naïve biology. *Trends in cognitive sciences*, 8, 356-362.
- Inagaki, K., & Hatano, G. (2006). Young children's conception of the biological world. *Current directions in psychological science*, 15, 177-181.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science*. Cambridge, Ma: The MIT Press.
- Keil, F.C. (1979). *Semantic and conceptual development: An ontological perspective*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Keil, F.C. (1989). *Concepts, kinds, and cognitive development*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press. Trad. Franç. *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion, 1983.
- Lautrey, J. & Mazens, K. (2004). Is children naive knowledge consistent ? A comparison of concepts of sound and heat. *Learning and Instruction, 14*(4), 399-423
- Leslie, A. M., & Keeble, S. (1987). Do six-month old infants perceive causality? *Cognition, 25*, 265-288.
- Mazens, K., & Lautrey, J. (2003). Conceptual change in physics : Children's naive representations about sound. *Cognitive development, 18*, 159-176
- Michotte, A. (1946). *La perception de la causalité*. Louvain : Etudes de psychologie.
- Murphy, G.L., & Medin, D.L. (1985). The role of theories in conceptual coherence. *Psychological review, 92*, 289-316.
- Newell, A., Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Perruchet, P., & Nicolas, S. (1998). L'apprentissage implicite : un débat théorique. *Psychologie française, 43*, 13-25.
- Piaget, J. (1926 / 1947). *La représentation du monde chez l'enfant*. Paris : PUF.
- Piaget, J. (1927). *La causalité physique chez l'enfant*. Paris : Alcan.
- Piattelli-Palmarini, M. (Ed.). (1975). *Théories du langage, théories de l'apprentissage : le débat entre Jean Piaget et Noam Chomsky*. Paris : Le Seuil.
- Quine, W.V.O. (1977). Natural kinds. In S.P. Schwartz (Ed.), *Naming, necessity and natural kinds* (pp. 155-175). Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Rakinson, D.H., & Poulin-Dubois, D. (2001). Developmental origin of the animate-inanimate distinction. *Psychological Bulletin, 127*, 209-228.
- Rips, L.J. (1975). Induction about natural categories. *Journal of verbal learning and verbal behavior, 14*, 665-681.
- Saxe, R., & Carey, S. (2006). The perception of causality in infancy. *Acta psychologica, 123*, 144-165.
- Slotta, J.D., Chi, M.T.H., & Joran, E. (1995). Assessing students' misclassifications of physics concepts. Ontological basis of conceptual change. *Cognition and Instruction, 13*, 373-400.
- Spelke, E. (1991). Physical knowledge in infancy. Reflections on Piaget's theory. In S.Carey & R. Gelman (Eds.), *Epigenesis of the mind: Essays in biology and knowledge*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Spelke, E.S., Breinlinger, K., Macomber, J., & Jacobson, K. (1992). Origins of knowledge. *Psychological Review*, 99, 605-632.
- Spelke, E.S., & Kinzler, K.D. (2007). Core knowledge. *Developmental Science*, 10, 89-96.
- Spelke, E. S., Phillips, A., & Woodward, A. L. (1995). Infants' knowledge of object motion and human action. In D. Sperber, D. Premack & A. Premack (Eds.), *Causal Cognition: A multidisciplinary debate* (pp.44-78). Oxford: Clarendon Press.
- Sperber, D. (1994). The modularity of thought and the epistemology of representations. In L.A. Hirschfeld & S.A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: domain specificity in cognition and culture* (pp. 39-67). Cambridge, MA : Cambridge University Press.
- Tiberghien, A. (1979). Modes and conditions of learning: An example. The learning of some aspects of the concept of heat. *Proceedings of an international seminar on cognitive development research in science and mathematics*. Leeds: University of Leeds.
- Vosniadou, S. (2007). Conceptual change and education. *Human development*, 50, 47-54.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive psychology*, 24, 535-585.
- Wellman, H. & Gelman, S. (1998). Knowledge acquisition in foundational domains. In W. Damon (Editor in Chief) & D. Kuhn & R. Siegler (Vol. Eds.), *Handbook of child psychology: Cognitive development* (4th ed., pp. 523-573). New-York: Wiley.

Tableau 1. Attribution des propriétés de la matière: pourcentages des différents patterns d'attribution, par niveau scolaire (d'après Mazens et Lautrey, 2003).

	GS	CE1	CM1	Total
Substantialité-Permanence-Poids	13%	4%	0%	5%
Substantialité-Permanence-Pas de poids	30%	19%	4%	17%
Substantialité-Pas de permanence ni de poids	22%	31%	35%	30%
Pas de substantialité ni de permanence ni de poids	9%	31%	50%	31%
Autres patterns	26%	15%	11%	17%
<i>Total</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>

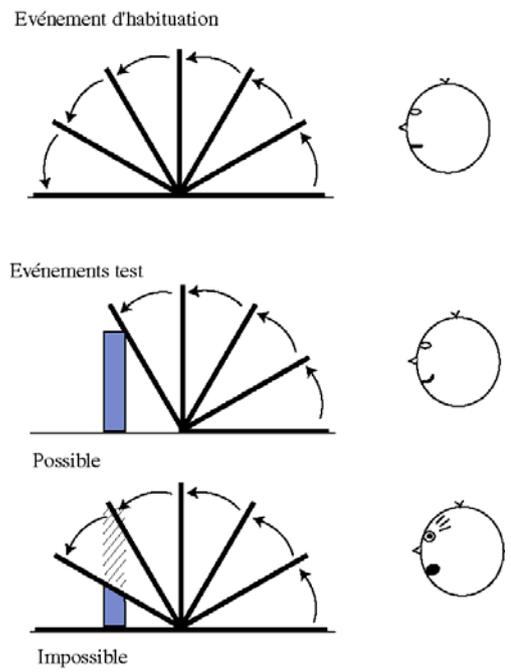
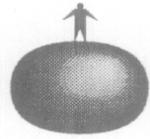


Figure 1. Phases de l'expérience sur la permanence de l'objet, figure adaptée de Baillargeon et al. (1985)

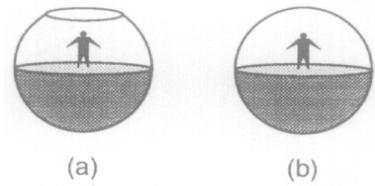
Sphère



Sphère aplatie



Sphère creuse



Terre double



Terre disque



Terre rectangulaire



Figure 2. Les six modèles mentaux de la Terre (d'après Vosniadou et Brewer, 1992).