

Éclairage scientifique

Acquérir des conceptions scientifiques

Le mythe de la *tabula rasa*

Notre cerveau n'est, à aucun moment de notre vie, une *tabula rasa*, une tablette vierge sur laquelle tout serait à écrire. Dans l'architecture même du cerveau à la naissance sont déjà inscrites des connaissances, des capacités de raisonnement, divers mécanismes d'apprentissage qui vont permettre d'augmenter et de corriger les connaissances initiales. Le cerveau collecte des données en permanence, les intègre dans l'architecture existante, et celle-ci évolue en conséquence.

Le développement de la pensée scientifique

On appelle raisonnement un ensemble de processus cognitifs qui permettent de tirer des conclusions à partir d'expériences, faits, prémisses. Reasonner sert des buts différents : prendre une décision, résoudre un problème, évaluer une argumentation, tester une hypothèse...

On peut distinguer différents types de raisonnement sur la base de l'objet sur lequel celui-ci s'exerce, donc du domaine d'application ; par exemple : raisonnement causal, scientifique, mathématique... On peut également distinguer entre raisonnement par analogie, raisonnement logique, critique...

Les scientifiques font recours à des formes diverses de raisonnement. Par exemple, le raisonnement causal et l'exploration raisonnée leur permettent d'effectuer la recherche systématique et méthodique des causes du phénomène observé ; le recours à l'analogie entre une situation observée et une autre leur permet de changer de point de vue et d'exploiter les similitudes et différences entre situations pour résoudre des problèmes inédits.

On a longtemps dénié aux enfants la capacité de raisonner de la sorte. Cependant, les recherches en psychologie du développement ont mis en évidence, chez l'enfant d'âge scolaire et préscolaire, l'existence d'une multiplicité de capacités d'apprentissage et de raisonnement, constituant une sorte de *kit de démarrage* précoce pour la compréhension du monde naturel (Gopnik et al. 1999, Gopnik 2012, Spelke & Kinzler 2007).

Parmi ces capacités, certaines sont particulièrement adaptées pour permettre au jeune enfant d'explorer son environnement et de mettre spontanément en place des expériences. D'autres rendent l'enfant sensible aux variations de son environnement, lui permettant d'extraire des régularités, de raisonner sur des relations causales, d'émettre des hypothèses. D'autres encore de raisonner par analogie et d'étendre ainsi sa compréhension d'une situation à une autre. C'est en considération de cet ensemble de capacités précoces que l'enfant a été qualifié de scientifique en herbe, ceci dès le berceau (Gopnik et al. 1999, Gopnik 2012).

Le raisonnement causal

La capacité d'inférer les causes à partir des effets observés a une place centrale dans des raisonnements que nous pouvons faire dans des situations de la vie quotidienne, mais aussi dans le raisonnement scientifique. Bien avant de savoir concevoir et réaliser des expériences informatives, les enfants montrent qu'eux aussi savent raisonner sur les relations de cause et d'effet (Gopnik & Schultz 2007).

Depuis les années 1980, les études en psychologie du développement suggèrent que les enfants et même les bébés possèdent la capacité de « percevoir » la causalité (Goddu & Gopnik 2024, Gopnik & Schultz 2007, Goswami 2019). Si les bébés de moins d'1 an semblent être déjà sensibles à des indices de causalité, les enfants de 4 ans se montrent capables de raisonner sur les causes dans des situations déjà complexes, comportant le choix entre plusieurs alternatives possibles, ou pouvant présenter des chaînes de relations causales.

Différents modèles ont été proposés pour rendre compte des capacités causales précoces des enfants. À côté des 2 modèles qui considèrent les capacités causales comme innées (une forme de sensibilité à certains indices, comme le suggère le terme « perception de causalité »), ou comme apprises (par association, en vertu de la répétition d'expériences semblables), un troisième modèle s'est inspiré d'un outil mathématique pour le calcul des probabilités *a posteriori*, introduit au XVIII^e siècle par le mathématicien anglais Thomas Bayes. Selon le modèle « bayésien », le cerveau de l'enfant utilise ses connaissances préalables pour calculer, de façon non consciente, la probabilité qu'une variable joue un rôle causal dans les événements en cours d'observation (Gopnik et al. 2004, Sobel & Legare 2014). Cette description vaudrait aussi pour le cerveau des scientifiques de profession. L'enfant et le scientifique se ressembleraient dans l'utilisation implicite qu'ils font de leurs connaissances préalables pour donner du sens au présent. Le modèle bayésien n'exclut pas que le cerveau soit doté de capacités innées, et notamment qu'il possède une sensibilité aux régularités statistiques présentes dans l'environnement, sensibilité qui le prédisposerait aussi à apprendre par association.

Plusieurs études montrent en effet que l'extraction de régularités statistiques fait partie du fonctionnement cognitif de différentes espèces animales. En ce qui nous concerne, elle nous accompagne durant toute notre vie, et ce depuis le plus jeune âge de manière implicite, non consciente (Dehaene-Lambertz & Spelke 2015, Gopnik 2010). En résumé, une variété d'études, conduites sur des enfants d'âge scolaire et préscolaire et des bébés de différents âges, montrent que le jeune enfant raisonne sur les causes et que sa compréhension des causes est influencée par ses capacités précoces (sa sensibilité aux indices de causalité, aux associations régulièrement présentes dans son environnement, le raisonnement sur la fréquence des événements) et par son expérience (Gopnik 2010).

L'étude suivante concerne des bébés âgés de 8 mois. On leur montre des balles de ping-pong dans une boîte : la plupart sont blanches, avec quelques balles rouges. L'expérimentateur, les yeux fermés et prétendant agir au hasard, sort cinq balles de la boîte : quatre sont rouges et une blanche. Il recommence et sort de nouveau cinq balles : en majorité blanches. On remarque que les bébés regardent avec plus d'attention l'événement improbable, comme s'ils avaient effectué, implicitement, un calcul des probabilités (Xu & Garcia 2008, Gopnik 2012).

Une expérience ultérieure montre que l'enfant réagit à la fois en statisticien et en psychologue. Un adulte demande à un enfant de 20 mois de choisir une grenouille ou un canard se trouvant sur la table et de la lui donner. Si l'adulte a donné précédemment à l'enfant quatre canards et une grenouille en les sortant d'une boîte qui contient surtout des grenouilles, alors l'enfant lui donnera un canard (l'adulte préfère les canards, semble-t-il se dire) ; si l'adulte a sorti de la même boîte quatre grenouilles et un canard, alors l'enfant donnera indifféremment grenouille ou canard. Ainsi, les enfants semblent être capables de raisonner sur des statistiques et de tenir compte en même temps des préférences des adultes, telles qu'ils peuvent les déduire de leurs actions dans des circonstances données (Kushnir et al. 2010).

Les « connaissances » précoces

En plus de leur sensibilité aux causes et aux régularités, les enfants et puis les adultes, manifestent de posséder des systèmes de connaissances de base qui les prédisposent à apprendre dans des domaines particuliers, à élaborer des lois générales et à développer des attentes concernant les objets, les agents, les quantités numériques, les espaces et la géométrie, le monde physique et biologique (Spelke & Kinzler 2007). Ils ont des intuitions sur ces différentes typologies et sur la manière dont ils se comportent, ou devraient se comporter. Loin d'être des boîtes vides à remplir progressivement, le cerveau des enfants est donc déjà une boîte à outils assez bien dotée pour donner des explications « domaine-spécifiques » (Baillargeon 1996, Carey & Spelke 1994).

Ensuite, au cours des années scolaires, la compréhension du monde naturel se développe, les outils pour servir cette compréhension s'affinent. Mais cette compréhension a encore une fois des bases précoces et naturelles.

- Par exemple, les enfants, et même les nourrissons, ne regardent pas le monde physique et le monde biologique de la même manière (Carey 1985, Keil 2013).
- Les enfants font la distinction entre les objets animés et les objets inanimés sur la base des lois fondamentales du mouvement et de l'observation que les agents effectuent des mouvements auto-initiés (Luo & Baillargeon 2005).
- Les enfants attribuent une essence aux organismes vivants : pour les enfants, les organismes vivants sont ce qu'ils sont parce qu'ils ont quelque chose en eux qui les fait se comporter comme ils le font. L'essence est transmise et coule dans les familles, par exemple, un cochon adopté par des vaches se comportera toujours comme un cochon, il ne meuglera pas et n'aimera pas l'herbe comme les parents adoptifs (Gelman 2003, 2004).
- Les enfants attribuent également une forme particulière de téléologie aux organismes : à la différence des artefacts, les organismes vivants ne sont pas conçus avec une fonction, mais leurs parties ont des fonctions (maintien de la vie, par exemple) et les explications téléologiques sont préférées aux explications mécaniques. Par exemple, pour les enfants d'âge préscolaire, les plantes sont vertes parce qu'être vert est « bon » pour les plantes, mais les émeraudes sont vertes car elles contiennent de minuscules parties vertes (Keil, 2013).

- Une sorte de puissance vitale maintient les processus vitaux en marche et il faut de la nourriture pour que la force vitale soit vitale (Inagaki & Hatano 1994, Hatano & Inagaki 2013). Or, des explications vitalistes de ce genre pourraient gêner la compréhension du rôle des germes dans la maladie et, partant, réduire la capacité à adopter les bonnes pratiques. L'essentialisme aide à penser la similarité au sein d'une espèce et l'hérédité, mais peut entraver la compréhension de la variation en tant que composante fondamentale de la théorie darwinienne de la sélection naturelle basée sur la variation génétique. Au contraire, le téléovitalisme peut favoriser les explications lamarckiennes, à travers l'idée d'organes qui s'adaptent pour maintenir la vie (Bloom & Weisberg 2007).

Intuitions, préconceptions, méconceptions

Les exemples précédents montrent que nous sommes dès le plus jeunes âges des « machines à intuitions ». A partir de quelques observations, nous pouvons généraliser rapidement et inconsciemment une explication pour les phénomènes auxquels nous sommes confrontés. La plupart du temps, ces explications intuitives nous sont très utiles. Mais parfois, nos intuitions précoces et nos apprentissages par l'expérience entrent en conflit avec les explications scientifiques (Shtulman & Walker 2020).

Un livre signé par Andrew Shtulman, du Department of Cognitive science à Occidental College, Los Angeles, porte un titre assez explicite : *Science blind. How our intuitive theories about the world are so often wrong* (Shtulman 2017). Dans le livre nous retrouvons de nombreux exemples connus - et dénoncés par plusieurs psychologues cognitifs et éducateurs - d'erreurs scientifiques communs. C'est ce qu'on appelle des « préconceptions » ou « conceptions naïves », ou, dans un sens négatif : méconceptions. Une caractéristique clé des méconceptions, qui permettrait du moins en théorie de les distinguer des simples incompréhensions ou manque d'explications disponibles, est leur résistance au changement (Carey 1985, 2000). Ainsi, même exposés à des preuves contraires, les méconceptions résistent, au point qu'un domaine de recherche en éducation et psychologie est né autour du « changement conceptuel » ou comment expliquer la difficulté d'abandonner des concepts faibles (d'un point de vue explicatif) en faveur de concepts épistémologiquement plus corrects (Carey 2000, Vosniadou 2008).

Changer d'idée

Les psychologues qui étudient le changement conceptuel, ne sont pas nécessairement d'accord sur la nature du processus en cause. Certains le décrivent comme un changement au niveau des catégories auxquelles les objets sont assignés, d'autres l'ont vu comme une révision de présupposés qui permettent de comprendre ou expliquer les phénomènes (Vosniadou 2008).

Pendant une période a dominé l'idée qu'il s'agirait d'une restructuration qui fait en quelque sorte disparaître les connaissances préalables. Cette vision a changé. (Shtulman & Valcarcel 2012) ont par exemple montré que les préconceptions erronées ne disparaissent pas quand les nouveaux concepts, corrects, sont acquis, mais restent en quelque sorte dans l'attente de pouvoir sortir. Elles ne sont pas juste résistantes, elles sont là pour rester. Certes nous pouvons acquérir les connaissances scientifiques et les maîtriser de manière experte, sans commettre d'erreur dans leur application. Il suffit cependant de faire monter la pression pour voir apparaître des effets des méconceptions.

Par exemple, on demande à des étudiants universitaires d'évaluer rapidement si une série d'affirmations sont vraies ou fausses. On s'aperçoit que les étudiants commettent plus d'erreurs et emploient plus de temps dans le cas d'affirmations qui sont en conflit avec des préconceptions connues que dans le cas d'affirmations sans conflit (Schulman & Valcarcel 2012). Les nouvelles connaissances suppriment donc les méconceptions, sans les supplanter réellement. Plus qu'à un changement radical de conception, on assisterait alors à un changement de prévalence parmi différentes conceptions (Potvin et al. 2015, Potvin & Cyr, 2017).

Comment favoriser le changement conceptuel ?

Comment donc favoriser l'acquisition de conceptions scientifiquement correctes, lorsque celles-ci sont en conflit avec des intuitions résistantes au changement ? La littérature scientifique et pédagogique concernant les préconceptions des enfants a longuement débattu de l'opportunité d'exposer les enfants à un conflit conceptuel, via l'exposition à des données et observations qui sont en contradiction avec les idées initiales, afin de favoriser un changement conceptuel (Posner et al. 1982, Carey 2000, Potvin et al. 2020). La dissonance qui suit l'exposition aux données contradictoires est supposée mettre l'enfant face aux limites de ses hypothèses, et ainsi favoriser le changement. Plus le conflit est important, plus les chances que le changement se produise seraient grandes. Le conflit cognitif est donc proposé comme une étape obligatoire et préalable au changement conceptuel. Ainsi, des études empiriques montrent les effets supérieurs de l'exposition au conflit par rapport à la simple transmission des connaissances correctes (Duit & Treagust 2012, Treagust & Duit 2008, Vosniadou 2008).

Cependant, prédire la réaction qu'un enfant aura face au conflit n'est pas facile. Beaucoup de facteurs entrent en jeu dans la manière dont les enfants réagissent à des anomalies, dont la confiance qu'ils mettent dans leurs conceptions initiales et celle qu'ils ont dans la manière dont les données d'observation sont portées à leur attention. La motivation et la curiosité peuvent également jouer un rôle, car elles peuvent influencer la manière dont les enfants s'intéressent aux nouvelles données présentées et les prennent en compte (Potvin et al. 2015, Potvin 2023). Il est également possible que la conception correcte que l'on veut faire acquérir soit en réalité déjà disponible pour l'enfant comme une sorte de plan B qui ne constitue pas sa solution préférée, celle automatiquement produite face à une question ou situation, mais qui peut être activée au besoin (De Neys 2015).

Ainsi, beaucoup de réactions différentes sont possibles : l'enfant peut ignorer le conflit, il peut chercher à le réduire en minimisant son importance ou la pertinence des observations et des données proposées, il peut produire une nouvelle théorie qui permet la coexistence de ses idées initiales avec les données et observations, ou il peut en effet changer d'idée... Si l'enfant fait l'expérience du conflit par lui-même, sans guidage de la part de l'enseignant, il a moins de chances de l'utiliser pour s'acheminer vers le changement, et pourra plutôt chercher à le résoudre en l'ignorant ou en cherchant des compromis (Potvin 2023).

En pratique, il est nécessaire de reconnaître que l'enfant et l'adulte peuvent posséder plusieurs théories ou conceptions en même temps, y compris des théories et conceptions potentiellement contradictoires. Ceci rend le concept de changement conceptuel beaucoup plus nuancé et le changement lui-même beaucoup plus difficile à produire (Potvin 2023).

Explorer, expérimenter

L'exploration fait partie des capacités les plus précoces de l'enfant. Le bébé qui joue avec son hochet, sort des placards tout ce qu'il y trouve, porte à la bouche tout ce qu'il dénicher est un bébé explorateur. La capacité d'exploration se développe avec l'âge. Dès l'âge de 18 mois, le bébé sait comment produire des effets sur un objet en en utilisant un autre (tirer sur une couverture pour rapprocher une poupée posée dessus) ou dévoiler des objets cachés à sa vue (sous un mouchoir). Les jeunes enfants sont capables de faire plus que mettre en place des actions qui modifient leur environnement, pour en tirer un maximum d'informations, ou pour produire des effets. Les enfants de 4-5 ans peuvent conduire leurs explorations de manière raisonnée, pour obtenir des informations spécifiques. Autrement dit, qu'ils se rendent compte que mener une expérience est plus utile dans certaines conditions que dans d'autres – notamment lorsqu'ils sont confrontés à des situations ambiguës, pour lesquelles la cause d'un phénomène n'est pas immédiatement évidente. Les enfants d'âge préscolaire et scolaire sont également capables de choisir des actions qui leur permettent d'isoler correctement les variables significatives (Bullock et al. 2010, Gopnik 2010, 2012, Greene et al. 2016, Schauble 1996, Zimmerman 2007).

Il apparaît donc que le type de raisonnement qui soutient l'exploration sélective est présent avant que l'enfant rentre à l'école primaire. Ce type de raisonnement forme la base de l'expérimentation.

Des recherches sur les capacités expérimentales des enfants ont utilisé un dispositif dit « machine à bliquets ». Cette machine produit un nouvel effet (par exemple de la musique) lorsque des pièces en plastique de formes et de couleurs différentes, des « bliquets », sont placées dessus. Dans l'une de ces recherches, des enfants d'environ 4 ans ont à leur disposition quatre pièces différentes. Grâce à une télécommande, l'expérimentateur peut activer à son gré la boîte à distance, mais les enfants l'ignorent. À un groupe d'enfants, l'expérimentateur fait observer que les quatre pièces sont toutes également efficaces : une fois appuyée sur la boîte chaque pièce déclenche la musique ; à un deuxième groupe d'enfants, il fait observer que seulement certaines des pièces activent la machine. Puis l'expérimentateur colle ensemble deux des pièces en plastique ; il les montre aux enfants et leur fait observer que les pièces collées activent toujours la machine ; il s'éloigne et laisse les enfants jouer librement avec le dispositif. On constate alors que les enfants du premier groupe tendent à ne pas chercher à séparer les pièces conjointes pour les essayer l'une après l'autre, alors que plus de la moitié des enfants de l'autre groupe le fait. Une interprétation est que les enfants du premier groupe, ayant constaté que tous les objets activent la machine, ont aussi compris qu'il est inutile de les essayer séparément, alors que la majorité des enfants du deuxième groupe, comprenant qu'il leur manque des informations, s'adonnent à une activité d'expérimentation spontanée. Il apparaît donc que les enfants ont la capacité de reconnaître l'intérêt de mettre en place des expérimentations, bien que les expérimentations réalisées restent basiques (Cook et al. 2011).

Imaginer un protocole expérimental

Dans l'expérimentation il y a plus que le simple fait de se rendre compte de son utilité. Schématiquement, pour pouvoir conduire une expérience informative, il faut aussi disposer d'une théorie permettant d'identifier les variables significatives, et il faut savoir comment manipuler la situation afin d'identifier la variable ayant un rôle causal.

Confrontés à des situations dans lesquelles il faut imaginer un protocole expérimental, les enfants d'environ 6 ans se montrent incapables de concevoir une expérience informative, c'est-à-dire un test permettant de départager plusieurs variables pouvant jouer un rôle causal dans l'effet observé. Ils semblent donc manquer des capacités nécessaires pour élaborer un bon test dans ces conditions. Cependant, les enfants sont capables de distinguer le bon test du mauvais, s'il s'agit de choisir entre deux protocoles expérimentaux conçus par des adultes, dont l'un donne lieu à une expérience informative, mais pas l'autre. Dans la situation où le protocole expérimental est conçu par des adultes, les enfants semblent aussi capables de se concentrer sur la tâche scientifique qui consiste à expliquer la cause du phénomène, et de ne pas se laisser emporter par l'envie de le reproduire. On peut donc dire que la capacité de raisonnement expérimental existe chez l'enfant, mais qu'elle ne se révèle que dans des conditions simplifiées et grâce à l'aide de l'adulte.

C'est ce que montrent deux études conduites avec des enfants d'environ 6 ans (Sodian et al. 2011).

Dans la première, ils doivent établir si le *aardvark* (petit animal qui leur est en général inconnu), possède un bon odorat ou pas. L'animal n'est pas présent dans la classe, on demande aux enfants d'imaginer l'expérience qu'ils feraient s'il était là, et d'en déduire les résultats. On constate que très peu d'enfants sont capables de proposer spontanément une expérience informative (par exemple de placer de la nourriture odorante loin de l'animal et d'observer s'il s'en approche ; ou bien d'utiliser quelque chose dont l'odeur est très faible). La plupart conçoivent des expériences qui ne permettent pas d'établir les variables significatives, ou suggèrent de demander à des experts — une bonne stratégie, mais pas une stratégie expérimentale. Néanmoins, la plupart des enfants sont capables de choisir l'expérience la plus informative, si on leur donne à choisir entre deux protocoles.

Dans la deuxième étude, le problème suivant leur est posé. Deux frères savent que leur maison abrite une souris, mais ils ont des opinions opposées sur la taille de l'animal (la souris ne sortant que la nuit, ils n'ont jamais pu la voir) ; le premier pense qu'il s'agit d'une petite souris, l'autre d'une grosse. Ils ont à leur disposition deux boîtes : l'une avec une grande ouverture, l'autre petite. Ils peuvent placer de la nourriture dans une boîte, une seule, et voir le matin si la souris a mangé. Quelle boîte choisir pour découvrir lequel des deux frères a raison ? La plupart des enfants d'environ 6 ans savent répondre correctement qu'il faut choisir la petite ouverture, car elle permet d'exclure que ce soit une grosse souris qui ait mangé dans la boîte.

Nous sommes en présence de capacités embryonnaires et rudimentaires, que l'enfant peut utiliser et qui peuvent être exploitées pour initier et favoriser une éducation scientifique. Ces capacités nécessitent toutefois de l'expérience et un enseignement dédié pour arriver à fonctionner de manière autonome. L'idée que l'exploration de l'enfant, même jeune, n'est pas un acte désordonné, mais qu'elle est guidée par des principes et par la volonté de mieux comprendre l'environnement est supportée par les études sur le raisonnement causal et statistique des enfants.

Un parcours tortueux

Bien que certaines des compétences nécessaires pour conduire des explorations raisonnées soient présentes dès l'âge préscolaire, les enfants sont cependant nettement moins habiles que les adultes à formuler des hypothèses, à concevoir des expériences et à les conduire. Les différences entre adultes et enfants, et les difficultés du raisonnement expérimental, se situent à plusieurs niveaux. Les adultes

semblent plus aptes à se limiter à des expériences significatives, alors que les enfants peuvent dupliquer voire tripler la même expérience sans s'en apercevoir. Les enfants seraient aussi moins aptes que les adultes à déterminer si les données qu'ils ont accumulées sont suffisantes : ils peuvent plus souvent terminer leurs explorations plus tôt et sauter à des conclusions après la première expérience, ou utiliser le résultat de la dernière expérience réalisée sans considérer les autres. Ou bien ils peuvent tester des variables dont le rôle est déjà clair, et être donc moins discriminants et économes dans leurs choix. Par rapport aux adultes, les enfants voient plus souvent l'expérimentation comme un moyen de confirmer leurs hypothèses et leurs croyances, plus que comme une manière de découvrir si une hypothèse joue ou ne joue pas un rôle causal dans l'effet observé (Zimmerman 2007).

Dans une expérience, par exemple, on demande à des enfants âgés de 10 à 11 ans d'établir, en manipulant plusieurs paramètres d'une simulation à l'ordinateur, qu'est-ce qui fait qu'une voiture est plus rapide qu'une autre. On remarque que les enfants ont tendance à chercher à « fabriquer » la voiture la plus rapide, plus qu'à en comprendre la cause (Schauble 1990).

La capacité de gérer une expérience avec plusieurs variables semble atteindre le niveau montré par des adultes vers la fin de l'école primaire. Cette tâche est considérée comme particulièrement révélatrice des capacités expérimentales, mais également particulièrement ardue et qui reste difficile toute la vie, y compris pour des scientifiques de profession (d'autant plus que les situations à étudier sont plus complexes, et nouvelles). De façon générale, les compétences expérimentales continuent d'ailleurs à présenter des limites, et à varier d'un individu à un autre, même à l'âge adulte (Kuhn 2010, Schwichow et al. 2020).

Dans une étude, on a commencé par présenter à des enfants de 10-11 ans un problème concernant la réaction provoquée par le mélange de liquides incolores. Un certain mélange produit une réaction visible : le liquide se teinte de rouge et devient opaque. Au fil des semaines les élèves doivent établir, grâce à l'expérimentation, lesquels parmi les liquides jouent un rôle causal dans la transformation. La tâche comporte donc la capacité d'isoler, de contrôler et de combiner des variables. Au début les enfants ne sont pas capables de venir à bout de la tâche ; avec le temps et les manipulations, même en l'absence d'instructions explicites et de feed-back de la part des instructeurs, leurs performances s'améliorent aussi bien que leurs stratégies. Mais seul un nombre restreint d'enfants passe d'un seul coup à de meilleures stratégies, et sans revenir en arrière. Pour la plupart des élèves, le changement est graduel, les « bonnes stratégies » (celles qui permettent de contrôler le rôle des différentes variables) étant utilisées de plus en plus fréquemment mais pas exclusivement. Ce qui peut suggérer que les « mauvaises stratégies » sont présentes au milieu des bonnes et qu'une bonne stratégie peut être découverte et utilisée une fois sans pour cela être réutilisée ensuite ; ou que les mauvaises stratégies sont toujours présentes, même si elles sont de plus en plus souvent délaissées, inhibées au profit des bonnes.

En tout cas, même si un changement dans le raisonnement a lieu, il n'est ni linéaire ni nécessairement stable.

La variabilité interindividuelle et les chemins tortueux que nous avons vus à l'œuvre dans le développement de la compréhension des phénomènes naturels touchent donc aussi les compétences requises pour monter des expériences.

Articuler faits et idées

Outre les capacités expérimentales proprement dites (la capacité de formuler des hypothèses et celle de les tester en concevant et en réalisant des expériences), d'autres capacités doivent par ailleurs être prises en compte dans l'évaluation du raisonnement expérimental. Le raisonnement expérimental ne peut en effet pas atteindre le niveau avancé tant que les enfants ne sont pas capables d'évaluer correctement la valeur et la signification des résultats de leurs observations, ou d'articuler leurs idées et les faits (Kuhn 1989).

La capacité d'articuler les idées qu'on s'est forgées et les informations factuelles est souvent considérée comme une caractéristique fondamentale de la pensée scientifique. Ses prérequis sont : être capable de mettre de côté ce qu'on sait (nos idées et théories), au profit des données observées et des résultats des expériences ; savoir distinguer ce qui appartient au domaine des théories ou des hypothèses de ce qui appartient au domaine des résultats de l'observation et de l'expérimentation ; savoir codifier et représenter les résultats de l'expérience comme des entités propres ; penser les théories en tant que telles. Comment se comportent les enfants lorsqu'il s'agit de séparer théories, hypothèses, explications possibles, de l'observation d'un certain fait ou résultat ?

Plusieurs recherches mettent en évidence qu'utiliser les résultats et les observations, les faits, pour formuler des hypothèses, et, plus généralement, articuler faits et idées, est un vrai défi, pour les adultes comme pour les enfants, mais plus encore pour les enfants (Zimmerman 2007).

Dans un groupe d'expériences, il s'agit d'ignorer ses propres opinions et de ne prendre en considération que les résultats obtenus par les scientifiques. Par exemple : fruits, assaisonnements, boissons, légumes ou viandes, la consommation de l'un ou de l'autre peut-elle protéger du rhume, ou le favoriser ? Les résultats indiquent que l'âge est un facteur de différence, les adultes étant plus capables de prendre en considération les preuves présentées, même si elle contredit leurs théories (le Coca est présenté comme ayant un effet bénéfique), que des jeunes de 11 et 14 ans, ceux-ci ayant de meilleurs résultats que des enfants plus jeunes. Mais les performances ne deviennent pas nécessairement optimales, même à l'âge adulte. Une grande variabilité existe en outre dans les stratégies adoptées par les participants pour articuler faits et théories lorsque ceux-ci sont en contradiction (Kuhn et al. 1988).

Un autre groupe d'expériences a observé comment enfants (entre 7 et 10 ans), adolescents (entre 10 et 14 ans) et adultes (entre 18 et 55 ans, diplômés et non diplômés) se comportent lorsqu'ils ont des idées fortes sur la plausibilité que l'exposition au soleil, ou bien la présence d'un porte-bonheur, influencent la santé d'une plante (Amsel & Brock 1996). Et notamment l'influence que ces idées ont sur leur manière d'évaluer l'évidence disponible. On remarque que les enfants sont capables d'utiliser la covariation entre facteurs pour formuler des hypothèses causales. Cependant, les adultes diplômés sont plus constants dans ce type de jugement, et sont aussi ceux qui se laissent le moins influencer par leurs opinions préalables. En cas de contradiction entre données observables et idées préalables, les enfants et les adolescents ont en revanche tendance à favoriser les idées préalables, leur jugement de plausibilité l'emportant sur les faits.

La capacité à prendre en compte des informations qui ne s'accordent pas avec les idées préalables, à donner la priorité à l'évidence sur les théories, s'améliore de manière constante entre l'enfance, l'adolescence et l'âge adulte, en devenant de plus en plus explicite, réflexive, intentionnelle, et en permettant de faire face à des situations de plus en plus complexes.

Cependant, elle n'est pas acquise une fois pour toutes, et de manière invariable pour tous. Les adultes aussi ont tendance à confirmer leurs propres idées et théories, et même les scientifiques sont soumis, jusqu'à un certain point, au biais de confirmation (la tendance spontanée à évaluer de manière différente les idées et les faits en raison de leur accord ou désaccord avec sa théorie initiale). L'adoption de

protocoles, de la coopération avec d'autres scientifiques, la maîtrise de contenus de connaissances et de procédures expérimentales leur permettant de réduire les effets de ce type de « tentation ».

Les connaissances préalables et les informations contextuelles continuent à avoir une influence sur le choix des hypothèses. La capacité d'oublier ses propres idées au profit de résultats présentés comme provenant d'études scientifiques reste une tâche difficile, même à l'âge adulte !

Besoin d'éducation

« La sophistication de plus en plus importante de la pensée scientifique, qu'il s'agisse de celle des enfants ou des adultes, implique à la fois un changement de stratégies et le développement de connaissances. Il existe une interaction dynamique entre les deux, au sens que les changements dans les connaissances et dans les stratégies se renforcent les uns avec les autres... » (Zimmerman 2007, p. 206)

Au cours des années scolaires la compréhension du monde naturel se développe, les outils pour servir cette compréhension s'affinent. Les adultes et les enfants plus âgés dépassent les plus jeunes, aussi bien en termes de connaissances que de capacités de raisonnement. Mais plusieurs considérations amènent à mettre en doute l'image d'une trajectoire de développement linéaire et bien nette.

Premièrement, tout en étant affectée par l'instruction et l'âge, la compréhension du monde naturel peut rester fragmentaire et erronée, certaines idées fausses peuvent même apparaître avec l'âge, d'autres se renforcer, et plusieurs difficultés persistent même à l'âge adulte.

Deuxièmement, des capacités classiquement attribuées à des enfants plus âgés, comme celles liées à la pensée abstraite, existent chez les plus jeunes. À l'inverse, des limites de raisonnement, typiquement attribuées aux jeunes enfants, persistent chez l'adulte. Ou bien, dans certains cas, les enfants plus petits peuvent faire preuve de capacités de raisonnement plus avancées que des enfants plus âgés, en révélant l'existence de courbes de développement « en U » (on avance, on revient en arrière, on avance).

Troisièmement, et contrairement à la vision qui décrit la cognition scientifique comme fondée sur certaines opérations générales de raisonnement, résolution de problèmes, inférence, induction, déduction, à distribuer indifféremment sur des contenus variés, il est de plus en plus évident que chaque domaine d'expertise et chaque contenu mobilisent ces capacités de manière différente. Les connaissances aident à sélectionner des stratégies expérimentales appropriées, et les stratégies appropriées permettent le développement de connaissances plus complètes. Posséder des connaissances dans un domaine est non seulement utile mais nécessaire pour bien raisonner à l'intérieur de ce même domaine. Les capacités de raisonnement peuvent donc varier en fonction du domaine et des contenus où elles sont exercées. On peut observer qu'un enfant peut atteindre un niveau sophistiqué de compréhension et de raisonnement dans un domaine de connaissances bien particulier, sans que cela se manifeste pour d'autres domaines. De même des enfants du même âge et du même niveau scolaire peuvent avoir de grandes différences de compréhension du monde naturel. (Ces différences pouvant dépendre de la mise en place de stratégies différentes de raisonnement, ou de différences relatives aux connaissances possédées.) Encore une fois, la variabilité règne au sein d'un même individu comme elle existe entre individus.

Ce que les enfants peuvent apprendre à une certaine période de leur vie ne dépend pas seulement de leur maturation cérébrale, mais aussi de leurs expériences vécues et de l'éducation (familiale, formelle)

qu'ils ont reçue auparavant. Les opportunités fournies par l'éducation peuvent faire la différence, non seulement en termes de connaissances, mais aussi de raisonnement.

Références

Livres

- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. MIT Press.
- Gelman, S. A. (2003). *The essential child: Origins of essentialism in everyday thought*. Oxford University Press, USA.
- Gopnik, A., Meltzoff, A. N., & Kuhl, P. K. (1999). *The scientist in the crib: Minds, brains, and how children learn*. William Morrow & Co.
- Gopnik, A., Schulz, L. (Eds.). (2007). *Causal learning: Psychology, philosophy, and computation*. Oxford University Press.
- Greene, J. A., Sandoval, W. A., & Bråten, I. (Eds.). (2016). *Handbook of epistemic cognition* (pp. 1-18). Routledge.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (2013). *Young children's thinking about biological world*. Psychology Press.
- Kuhn, D., Amsel, E., O'Loughlin, M., Schauble, L., Leadbeater, B., & Yotive, W. (1988). *The development of scientific thinking skills*. Academic Press.
- Pasquinelli, E. (2014). *Du labo à l'école, science et apprentissage*. Le Pommier.
- Shtulman, A. (2017). *Scienceblind: Why our intuitive theories about the world are so often wrong*. Hachette UK.
- Vosniadou, S. (Ed.). (2008). *International handbook of research on conceptual change*. Routledge.

Articles

- Amsel, E., & Brock, S. (1996). The development of evidence evaluation skills. *Cognitive Development, 11*(4), 523-550.
- Baillargeon, R. (1996). Infants' understanding of the physical world. *Journal of the Neurological Sciences, 143*(1-2), 199-199.
- Bloom, P., & Weisberg, D. S. (2007). Childhood origins of adult resistance to science. *science, 316*(5827), 996-997.
- Borst, G. (2016). Raisonnement et apprentissages des sciences : résistance cognitive, heuristiques et conceptions naïves. *Administration et Éducation, (4)*, 25-31.
- Bullock, M., Sodian, B., & Koerber, S. (2010). Doing Experiments and Understanding Science: Development of Scientific Reasoning from Childhood to Adulthood. In *Human development from early childhood to early adulthood* (pp. 183-208). Psychology Press.
- Carey, S. (2000). Science education as conceptual change. *Journal of applied developmental psychology, 21*(1), 13-19.
- Carey, S., & Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture, 169*, 200.
- Cook, C., Goodman, N. D., & Schulz, L. E. (2011). Where science starts: Spontaneous experiments in preschoolers' exploratory play. *Cognition, 120*(3), 341-349.
- Dehaene-Lambertz, G., & Spelke, E. S. (2015). The infancy of the human brain. *Neuron, 88*(1), 93-109.
- De Neys, W. (2015). Heuristic bias and conflict detection during thinking. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 62, pp. 1-32). Academic Press.

- Duit, R., & Treagust, D. F. (2012). How can conceptual change contribute to theory and practice in science education?. *Second international handbook of science education*, 107-118.
- Gelman, S. A. (2004). Psychological essentialism in children. *Trends in cognitive sciences*, 8(9), 404-409.
- Goddu, M. K., & Gopnik, A. (2024). The development of human causal learning and reasoning. *Nature Reviews Psychology*, 1-21.
- Gopnik, A. (2010). How babies think. *Scientific American*, 303(1), 76-81.
- Gopnik, A. (2012). Scientific thinking in young children: Theoretical advances, empirical research, and policy implications. *Science*, 337(6102), 1623-1627.
- Gopnik, A., Glymour, C., Sobel, D. M., Schulz, L. E., Kushnir, T., & Danks, D. (2004). A theory of causal learning in children: causal maps and Bayes nets. *Psychological review*, 111(1), 3.
- Keil, F. C. (2013). The roots of folk biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(40), 15857-15858.
- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological review*, 96(4), 674.
- Kuhn, D. (2010). What is scientific thinking and how does it develop?. *The Wiley-Blackwell handbook of childhood cognitive development*, 497-523.
- Kushnir, T., Xu, F., & Wellman, H. M. (2010). Young children use statistical sampling to infer the preferences of other people. *Psychological science*, 21(8), 1134-1140.
- Inagaki, K., & Hatano, G. (2004). Vitalistic causality in young children's naive biology. *Trends in cognitive sciences*, 8(8), 356-362.
- Luo, Y., & Baillargeon, R. (2005). When the ordinary seems unexpected: Evidence for incremental physical knowledge in young infants. *Cognition*, 95(3), 297-328.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Potvin, P. (2023). Response of science learners to contradicting information: A review of research. *Studies in Science Education*, 59(1), 67-108.
- Potvin, P., & Cyr, G. (2017). Toward a durable prevalence of scientific conceptions: Tracking the effects of two interfering misconceptions about buoyancy from preschoolers to science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(9), 1121-1142.
- Potvin, P., Nenciovici, L., Malenfant-Robichaud, G., Thibault, F., Sy, O., Mahhou, M. A., Bernard, A., Allaire-Duquette, G., Blanchette Sarrasin, J., Brault Fois, L. M., Brouillette, N., St-Aubin, A. A., Charland, P., Masson, S., Riopel, M., Tsai, C. C., Bélanger, M., & Chastenay, P. (2020). Models of conceptual change in science learning: establishing an exhaustive inventory based on support given by articles published in major journals. *Studies in Science Education*, 56(2), 157-211.
- Schauble, L. (1990). Belief revision in children: The role of prior knowledge and strategies for generating evidence. *Journal of experimental child psychology*, 49(1), 31-57.
- Schauble, L. (1996). The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology*, 32(1), 102.
- Shtulman, A., & Valcarcel, J. (2012). Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition*, 124(2), 209-215.
- Schwichow, M., Osterhaus, C., & Edelsbrunner, P. A. (2020). The relation between the control-of-variables strategy and content knowledge in physics in secondary school. *Contemporary Educational Psychology*, 63, 101923.
- Sobel, D. M., & Legare, C. H. (2014). Causal learning in children. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 5(4), 413-427.
- Sodian, B., Zaitchik, D., & Carey, S. (1991). Young children's differentiation of hypothetical beliefs from evidence. *Child development*, 62(4), 753-766.
- Spelke, E. S., & Kinzler, K. D. (2007). Core knowledge. *Developmental science*, 10(1), 89-96.

- Treagust, D. F., & Duit, R. (2008). Conceptual change: A discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 297-328.
- Xu, F., & Garcia, V. (2008). Intuitive statistics by 8-month-old infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(13), 5012-5015.
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental review*, 27(2), 172-223.

Auteurs

Elena PASQUINELLI

Relecture scientifique

Relecture scientifique par Emmanuel SANDER, professeur Ordinaire à l'Université de Genève dans le domaine « Intervention en situation scolaire : apprentissage et développement ». Ses travaux portent sur l'appropriation des connaissances, leur généralisation et transfert, l'analyse des représentations mentales et des processus interprétatifs en particulier dans le champ scolaire, le raisonnement par analogie.

Date de publication

Septembre 2024

Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'utilisation commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes

75006 Paris

01 85 08 71 79

contact@fondation-lamap.org

www.fondation-lamap.org