



Contexte, effets de contenu et flexibilité

Hippolyte Gros, Katarina Gvozdic

► To cite this version:

Hippolyte Gros, Katarina Gvozdic. Contexte, effets de contenu et flexibilité. La flexibilité cognitive : Pierre angulaire de l'apprentissage, 2021. hal-03871541

HAL Id: hal-03871541

<https://hal.science/hal-03871541>

Submitted on 25 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

8

Contexte, effets de contenu et flexibilité

Hippolyte GROS¹ et Katarina GVOZDIC²

¹ Paragraphe, CY Cergy Paris Université, Gennevilliers, France

² IDEA, Université de Genève, Genève, Suisse

8.1. Introduction

Peut-on considérer la flexibilité cognitive indépendamment du **contexte** dans lequel elle s'applique, des contenus sur lesquels elle s'exerce ? Si de nombreux travaux amènent à penser qu'il existe des mécanismes généraux de flexibilité cognitive qui rendent compte de la propension d'un individu à adopter un nouveau point de vue sur une situation, cela ne signifie pas pour autant que cette flexibilité puisse être conçue comme une capacité immuable et désincarnée, dont l'efficacité resterait constante en toute situation.

Au contraire, nous détaillons dans ce chapitre l'influence majeure exercée par le contenu sur lequel un raisonnement opère et le contexte dans lequel il est produit sur la capacité d'un individu à l'aborder avec flexibilité. Nous proposons ainsi d'étudier la flexibilité cognitive dans son interaction avec l'environnement, en décrivant comment ce dernier peut, tour à tour, freiner ou favoriser l'adoption d'un nouveau point de vue sur un concept, une situation ou un problème.

Cette idée que le raisonnement humain ne soit pas exclusivement guidé par la logique et puisse être également influencé par le contexte est une hypothèse relativement récente dans l'histoire de la pensée. Dans son *Éthique à Nicomaque*, Aristote déclarait ainsi que la caractéristique principale distinguant les animaux des hommes consiste en

la capacité de ces derniers à effectuer des raisonnements logiquement valides, ce qui confère à l'homme le statut d'**animal raisonnable**, guidé avant tout par les règles de la logique (Aristote 1999).

Pour Descartes (1984), le don de Dieu à l'homme est un intellect fiable qui, s'il est utilisé correctement, lui permet d'éviter toutes les erreurs de raisonnement. Enfin, pour Inhelder et Piaget (1958, p. 1), « le raisonnement n'est autre que du calcul propositionnel ». Ainsi, il a longtemps été considéré que la capacité à raisonner selon les règles de la logique était l'une des spécificités de l'esprit humain.

C'est seulement dans la seconde moitié du XX^e siècle que le raisonnement a commencé à faire l'objet d'études expérimentales. Jusqu'alors, il était entendu que le raisonnement humain relevait principalement du domaine de la logique, s'appuyant sur les mathématiques et la philosophie, mais pas du domaine de la psychologie.

L'idée d'analyser le raisonnement humain sans avoir recours à l'étude de la logique semblait même être une démarche saugrenue, tant les termes de « raisonnement » et de « logique » étaient alors considérés comme des synonymes. À cet égard, le choix de Boole de nommer *Une étude des lois de la pensée* (1854) son livre d'algèbre présentant un formalisme pour décrire les relations logiques est particulièrement informatif.

Au cours des cinquante dernières années, en revanche, des progrès considérables ont été réalisés sur ces questions grâce à la psychologie expérimentale, et nous avons acquis une compréhension plus fine du rôle du contexte sur le raisonnement humain. Les travaux de Wason (1960, 1968) ont notamment initié un changement de paradigme qui a ouvert une nouvelle ligne de recherche portant sur les biais de raisonnement affectant les adultes.

Dans une série d'études désormais célèbres, Wason a étudié la compréhension des énoncés conditionnels de la forme « si P alors Q », en utilisant une **tâche de sélection de Wason**. Dans cette tâche, les participants reçoivent généralement quatre cartes, chacune d'entre elles comportant un chiffre d'un côté et une lettre de l'autre. Les faces visibles des quatre cartes portent respectivement les éléments « 3 », « 8 », « A » et « D ». La question suivante est posée aux participants : « Quelle(s) carte(s) devez-vous retourner pour vérifier la véracité de la proposition selon laquelle “si une carte présente un nombre pair sur une face, alors sa face opposée porte une voyelle” ? »

La bonne réponse à cette tâche consiste à retourner la carte 8 (par *modus ponens*, puisque 8 est un nombre pair) et la carte D (par *modus tollens*, puisque D n'est pas une voyelle). Cependant, Wason a montré que la réponse correcte était trouvée par moins de 10 % des participants (Wason 1968). En revanche, la majorité des adultes interrogés ont déclaré qu'ils retourneraient la carte A et la carte 8. Cette erreur systématique a

mis en évidence le fait que les participants ont tendance à ignorer la règle du *modus tollens* (s'il est vrai que P implique Q, et si le contraire de Q est vrai, alors le contraire de P est également vrai).

Cette apparente incapacité à appliquer une règle fondamentale de la logique propositionnelle a été largement répliquée depuis lors, sonnait le glas de l'idée selon laquelle le raisonnement humain suit strictement les lois de la logique (Ragni *et al.* 2018).

En outre, des travaux ultérieurs ont montré que la capacité des participants à sélectionner les bonnes cartes dépendait directement du contexte de la situation. Par exemple, lorsque la règle relativement abstraite selon laquelle « si nombre pair, alors voyelle » est remplacée par une règle plus concrète, pertinente dans un contexte social réel, les performances augmentent considérablement.

Cosmides et Tooby (1992) ont notamment montré qu'en utilisant la règle « si je bois de l'alcool, alors je dois avoir plus de 18 ans », accompagnée de la présentation de quatre cartes portant respectivement les inscriptions « 16 ans », « 25 ans », « boit de la bière » et « boit du soda », la plupart des participants n'ont aucune difficulté à sélectionner les bonnes cartes « 16 ans » et « boire de la bière ». En d'autres termes, bien que les adultes aient du mal à comprendre certaines relations logiques, leurs difficultés peuvent être levées en modifiant le contenu [sémantique](#) de la situation.

Plusieurs variantes de cette tâche ont été proposées, et bien qu'il n'y ait pas de consensus actuel concernant l'explication adéquate des effets de contexte qu'elles mettent en évidence, ces effets ont été largement répliqués et leur existence est incontestable (voir par exemple (Cheng et Holyoak 1985 ; Cosmides 1989 ; Girotto *et al.* 2001 ; Stenning et van Lambalgen 2001 ; Hilton *et al.* 2005 ; Klauer *et al.* 2007) ou (Ragni *et al.* 2018) pour une méta-analyse).

Ainsi, non content d'ignorer les lois de la logique, le raisonnement humain semble de surcroît dépendre du contexte dans lequel il s'exerce, les êtres humains seraient tantôt logiques, tantôt irrationnels, selon les objets sur lesquels porte leur raisonnement.

Ce constat nous amène à formuler une nouvelle piste d'étude : dans quelle mesure le contexte peut-il médier la capacité des individus à adopter différents points de vue sur les situations rencontrées ? Peut-on construire des situations plus propices que d'autres à l'exercice d'une certaine flexibilité cognitive ? Le contenu d'un raisonnement peut-il favoriser ou au contraire limiter cette flexibilité ? Ces questions méritent d'être posées, étant donnée la grande variété de situations dans lesquelles il est attendu des individus qu'ils raisonnent de manière flexible.

8.2. Contexte, concepts et flexibilité

8.2.1. Le flou catégoriel des concepts

Pour comprendre comment des éléments contextuels peuvent avoir une influence sur la flexibilité des points de vue adoptés par les individus, il convient tout d'abord de s'intéresser à la pluralité des perspectives pouvant être adoptées sur les concepts qui fondent notre pensée. Nous proposons ainsi d'examiner comment différentes acceptions d'un même concept peuvent se construire, être activées, coexister et se succéder en fonction des contextes rencontrés par les individus.

À ce titre, Rosch (1978) a décrit les **concepts** comme des entités organisées sous la forme de catégories mentales dont la structure serait graduée. Rosch explique que chaque concept possède en son centre un élément dit « prototypique », qui se veut le plus représentatif de la catégorie en question. Les autres entités appartenant à la même catégorie seraient plus ou moins éloignées de ce prototype, en fonction de leur degré d'appartenance au concept.

Ainsi, dans la plupart des cultures occidentales, le chien ou le chat sont des éléments plus prototypiques de la catégorie « animal » que ne l'est le corail, par exemple, de même que le merle ou le moineau sont des exemplaires plus prototypiques de la catégorie « oiseau » que ne l'est l'autruche.

De cette manière, une entité plus prototypique sera plus facilement considérée comme faisant partie d'une catégorie que ne le sera une entité atypique. Plus un objet est conforme aux attributs prototypiques de la catégorie et plus il a de chance d'être reconnu rapidement comme membre de cette catégorie.

Cette approche qui considère les concepts comme des nébuleuses plutôt que comme des boîtes de rangement aux frontières bien définies a l'avantage de rendre compte de la pluralité des interprétations possibles pour un concept donné. La catégorie « animal » peut désigner tour à tour un orang-outan ou une éponge de mer, et différentes caractéristiques de la catégorie seront activées selon l'acception convoquée.

Dans la lignée de cette approche, de nombreux travaux soulignent ainsi que différentes propriétés d'un concept peuvent être activées selon le contexte dans lequel le concept est évoqué (voir par exemple (Rips *et al.* 1973 ; Barsalou 1982, 1983 ; Barsalou et Medin 1986 ; Lebois *et al.* 2015 ; Yee et Thompson-Schill 2016 ; Zwaan 2016)). L'influence que le contexte a sur l'activation des caractéristiques de concepts illustre ainsi une certaine flexibilité du système conceptuel (Pecher et Zwaan 2017).

Barsalou (1982) s'est intéressé à la mesure dans laquelle l'activation des différentes propriétés des concepts dépend du **contexte** dans lequel celui-ci est évoqué. Pour étudier cette question, il a demandé à des participants de se prononcer sur les propriétés de plusieurs entités présentées au sein de phrases. Par exemple, la phrase « le toit a été rénové avant la saison des pluies » était présentée, et les participants devaient décider si la propriété « on peut marcher dessus » était ou non associée au concept « toit ».

L'auteur a montré que l'attribution de propriétés par les participants était dépendante du contexte : dans la phrase présentée, les participants mettaient un certain temps à identifier qu'il est effectivement possible de marcher sur un toit. En revanche, lorsque la phrase « le toit a grincé sous le poids du réparateur » était présentée, les participants identifiaient plus rapidement qu'il était effectivement possible de marcher sur un toit. Autrement dit, le contexte dans lequel le concept était présenté influait sur la rapidité avec laquelle les participants accédaient à ses propriétés.

Ce résultat a été renforcé par une seconde étude de Barsalou (1982), dans laquelle il a demandé à des participants de juger de la similarité entre deux entités appartenant soit à la même catégorie conventionnelle, soit à une catégorie non conventionnelle. Par exemple, le duo « rouge-gorge/aigle » appartenait à la catégorie conventionnelle « oiseaux », alors que le duo « joaillerie/esclaves » appartenait à la catégorie non conventionnelle « butin volé par des pirates ». La moitié des participants voyaient d'abord le nom des catégories employées avant que les paires d'entités ne soient présentées. L'autre moitié voyait simplement les paires d'entités, sans les labels de leurs catégories. Les participants devaient juger, sur une échelle allant de 1 à 9, à quel point les propriétés des deux entités de chaque paire leur semblaient similaires.

L'hypothèse était que les entités appartenant à des catégories inhabituelles ne seraient perçues comme similaires que dans le cas où leur appartenance à une même catégorie serait soulignée par le contexte (présentation du label de la catégorie), alors que ces indices contextuels n'auraient aucun effet sur les paires d'entités appartenant à des catégories conventionnelles. Sans surprise, les résultats ont montré que la similarité perçue était plus marquée pour les catégories conventionnelles que pour les catégories inhabituelles.

Néanmoins, conformément à l'hypothèse de l'auteur, les indices contextuels avaient une influence significative sur les jugements de similarité des participants. La similarité perçue pour les paires non conventionnelles était plus importante lorsque le nom des catégories était présenté avant chaque paire que lorsque les paires étaient présentées sans label. L'auteur a donc conclu que le contexte permettait de rendre accessibles certaines caractéristiques des concepts présentés, alors même que celles-ci ne seraient pas nécessairement activées au sein d'autres contextes.

Ainsi, le point de vue adopté sur une notion donnée est intrinsèquement lié au contexte dans lequel la notion est présentée : différentes propriétés sont mises en avant grâce aux indices contextuels, et la perspective des individus s'adapte donc à ces informations. Le passage d'un point de vue à un autre semble donc en partie dépendant d'indices contextuels extrinsèques au concept rencontré.

8.2.2. Le rôle des connaissances antérieures

Le contexte dans lequel un concept est rencontré peut ainsi activer un spectre de connaissances plus large que celui évoqué à la simple mention du concept de manière isolée : des connaissances antérieures sont sollicitées, qui influencent le point de vue des individus. Cependant, il arrive que les propriétés de certains concepts ne soient pas toutes connues des individus, qui doivent alors avoir recours à des connaissances issues d'autres domaines afin de les inférer. C'est notamment le cas des enfants lorsqu'ils sont en phase d'apprentissage et ne disposent que d'un répertoire de connaissances limité. Comment procèdent-ils alors pour enrichir leur point de vue sur le concept rencontré à l'aide d'indices contextuels ?

Cette question a fait l'objet d'un certain nombre de travaux de recherche, notamment dans le domaine des connaissances scolaires en biologie. Piaget (1960) avait déjà remarqué que les jeunes enfants ont une forte tendance à l'animisme et à la personnification – c'est-à-dire qu'ils attribuent des caractéristiques humaines à des entités non vivantes, en l'absence de connaissances biologiques suffisamment précises pour discerner le vivant du non vivant.

Plus tard, Inagaki et Hatano (1987, 1991) ont étudié comment les enfants d'âge préscolaire utilisent leurs connaissances sur les êtres humains pour émettre des hypothèses sur les comportements des entités animées, notamment des animaux et des plantes, sur lesquelles ils ne disposent pas de connaissances explicites.

Dans leur étude, des enfants de 5 à 6 ans ont été confrontés à des situations dans lesquelles ils devaient prédire le comportement de plantes ou d'animaux. Dans certaines situations, le comportement attendu de la plante ou de l'animal était semblable à celui qu'un être humain pourrait avoir.

Dans les autres situations, le comportement attendu différait de celui qui pourrait être attendu d'un être humain. Par exemple, dans la situation suivante : « imagine que quelqu'un reçoit un bébé sauterelle[/tulipe] et souhaite le garder à la même taille pour toujours, car il est petit et mignon. Est-ce possible ? » les réponses attendues pour la sauterelle étaient les mêmes que si la question avait été posée au sujet d'un bébé : il est impossible de le garder petit, car la croissance des êtres vivants est inévitable.

Dans cet exemple, les enfants peuvent inférer du comportement de l'animal en utilisant leurs connaissances sur l'humain. En revanche, dans la situation : « Imagine qu'une sauterelle a été élevée dans une petite cage. Un jour, quelqu'un place une plus grande cage à côté d'elle. Est-ce que la sauterelle va penser quelque chose ? », les connaissances de l'enfant sur la pensée humaine ne peuvent pas directement s'appliquer aux pensées de la sauterelle. En effet, dans une situation similaire, un humain aurait pu sentir de la jalousie, alors que le consensus parmi les adultes auxquels la même question a été posée consiste à dire que la sauterelle ne ressentira aucune émotion particulière.

L'étude des réponses des enfants a permis de voir que les prédictions des enfants sur le comportement des animaux et des plantes étaient valides lorsque le comportement d'un humain dans une même situation aurait été identique. En revanche, lorsque le comportement attendu de la sauterelle était différent de celui qu'un humain pourrait avoir, et lorsque les enfants ne disposaient pas des connaissances appropriées sur la biologie des sauterelles pour réaliser cette différence, alors les prédictions des enfants étaient fondées sur leur compréhension de l'humain, et ne correspondaient donc pas à celles que pourraient faire des adultes.

Autrement dit, en l'absence de connaissances explicites sur la biologie des animaux et des plantes, les enfants ont tendance à utiliser leurs connaissances sur le fonctionnement humain pour inférer les propriétés des entités animées rencontrées.

Ces travaux mettent en exergue le fait qu'en l'absence de connaissances pertinentes sur une question, les individus ont tendance à utiliser leurs connaissances issues d'autres domaines pour donner du sens aux concepts et situations qu'ils rencontrent. Ainsi, le recours à des connaissances issues d'autres domaines permet aux individus d'aborder avec flexibilité certaines notions pour lesquelles leur répertoire de connaissances est limité.

Ce processus d'inférence de propriétés est fondé sur un **raisonnement par analogie**, consistant à appréhender la nouveauté à l'aide de connaissances sur des concepts familiers (Holyoak et Thagard 1995). Le raisonnement par analogie repose sur une mise en correspondance entre une entité inconnue ou moins familière (une cible) et une entité plus familière (une source) (Gentner 1989 ; Holyoak et Thagard 1995).

Hofstadter et Sander (2013) défendent même l'idée que c'est l'analogie qui permet à l'humain de créer des catégories mentales structurant sa pensée. Ainsi, notre point de vue sur un concept donné peut être informé par nos connaissances antérieures sur d'autres concepts plus ou moins éloignés. Grâce à certains indices contextuels, il sera possible d'identifier les similitudes entre deux concepts et donc d'inférer les propriétés de nouveaux concepts « cible » peu maîtrisés grâce aux connaissances antérieures sur des concepts « source ». Le **contexte** peut donc non seulement rendre accessible les

caractéristiques de **concepts** qui ne seraient pas spontanément évoquées, mais également faire appel à des connaissances issues d'autres domaines et permettant d'adopter un nouveau point de vue sur les concepts rencontrés.

8.3. La représentation des situations et des tâches

8.3.1. La résolution de problèmes au service de l'étude du raisonnement

Au-delà de l'interprétation des concepts mêmes se pose la question du point de vue adopté sur les situations, au sein desquelles plusieurs concepts peuvent cohabiter. En effet, si le contexte influence la perspective des individus sur des notions précises, il semble vraisemblable qu'il puisse également influencer l'**encodage** de situations complexes, et donc interférer avec le raisonnement des individus dans des circonstances très variées.

Selon Evans (1991), la question du contexte est l'un des aspects cruciaux que toute théorie du raisonnement humain se doit d'aborder. Comme mentionné en introduction de ce chapitre (voir section 8.1), dans le champ du raisonnement inférentiel, il a fréquemment été souligné que les variations de contexte peuvent influencer la capacité d'un individu à effectuer des inférences logiques (voir par exemple (Byrne 1989 ; Thompson 1994 ; Chao et Cheng 2000 ; De Neys *et al.* 2002 ; Daniel et Klaczynski 2006 ; Johnson-Laird 2006 ; Bonnefon et Villejoubert 2007 ; Douven *et al.* 2018)) pour ne citer que quelques-unes des nombreuses études sur le raisonnement propositionnel).

Cependant, raisonner ne se limite pas à opérer des déductions logiques à partir de phrases propositionnelles clairement énoncées, et la plupart du temps les individus doivent réfléchir à partir de situations complexes, pouvant être sujets à plusieurs interprétations. Or, pour estimer l'influence du contexte sur le raisonnement des individus dans leur vie quotidienne, l'étude de la résolution de problèmes peut se révéler particulièrement informative.

En effet, l'un des avantages de la **résolution de problèmes** est qu'elle permet d'examiner les processus de raisonnement dans une grande diversité de situations, plus proches des préoccupations de la vie réelle que les problèmes de logique abstraits – bien que, sans doute, encore éloignées de cadres véritablement écologiques.

L'étude de la résolution de problèmes a ainsi pris de l'ampleur au début du XIX^e siècle, auprès de chercheurs behavioristes s'intéressant aux capacités des animaux à résoudre certains problèmes (Thorndike 1898 ; Watson 1930 ; Hull 1943). Ces chercheurs ont proposé que l'apprentissage de la résolution de problèmes était le résultat

d'un processus progressif fondé uniquement sur une démarche par essai-erreur. Selon eux, les animaux trouvaient par hasard la bonne solution aux problèmes de type puzzle, puis renforçaient le comportement qui conduisait à cette solution par conditionnement positif, jusqu'à ce que ce comportement soit entièrement automatisé.

Ce point de vue a cependant rapidement été critiqué pour son incapacité à rendre compte des stratégies « intelligentes » de résolution de problèmes, dans lesquelles des objectifs intermédiaires doivent être fixés pour parvenir à la solution (Köhler 1917, 1925). En refusant de prendre en compte les représentations de problèmes construites par les individus, les théoriciens du béhaviorisme se sont heurtés à un mur, incapables d'expliquer l'emploi de ces stratégies.

8.3.2. La notion de représentation de problème

À l'inverse, les tenants de la **psychologie de la Gestalt** (la psychologie de la forme, en français) ont mis la notion de **représentation de problème** au cœur de leur réflexion, et ont soutenu que la résolution de problèmes était un processus productif au cours duquel des restructurations (*insights*) de la représentation peuvent se produire et conduire à une révélation soudaine de sa solution (Wertheimer 1959 ; Mayer 1983).

L'un des avantages centraux de cette approche était qu'elle pouvait rendre compte de l'impact négatif que les expériences passées pouvaient avoir sur la capacité à trouver la solution d'un nouveau problème (voir par exemple (Luchins 1939, 1942 ; Katona 1940)).

Ainsi, la psychologie de la forme a notamment conduit à la découverte de la **fixité fonctionnelle**, un biais cognitif limitant la capacité des individus à envisager des utilisations inhabituelles d'objets courants.

Dans une étude célèbre, Duncker (1945) a conçu différentes tâches permettant d'évaluer à quelle fréquence les individus pouvaient réutiliser un objet qui leur était fourni pour résoudre un problème.

Par exemple, dans son problème de la bougie, il a demandé aux participants d'attacher une bougie au mur de manière à ce que sa cire ne coule pas au sol, en utilisant uniquement une boîte de punaises, des allumettes et la bougie elle-même (voir figure 8.1a). Très peu de participants ont réussi à trouver la solution consistant à transformer la boîte de punaises vide en bougeoir et à la fixer au mur (voir figure 8.1b).

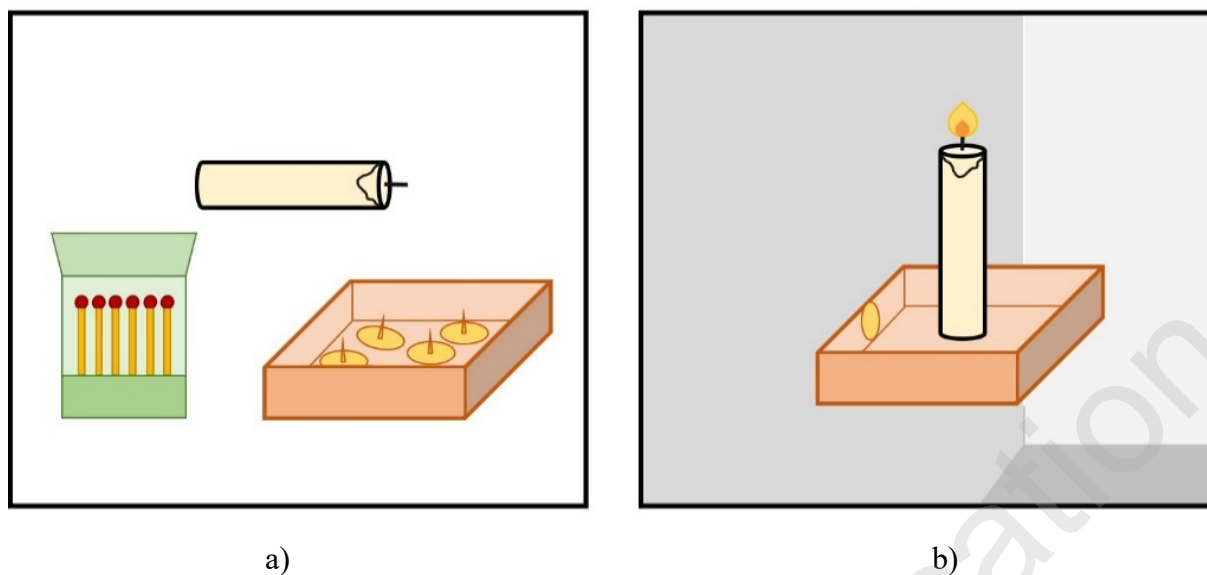


Figure 8.1. État initial (a) et état final (b) du problème de la bougie

Cependant, lorsque les participants se sont vu présenter une poignée de punaises et une boîte vide séparément, ils ont été nettement plus nombreux à utiliser la boîte comme bougeoir pour résoudre le problème. En d'autres termes, les participants ont rencontré davantage de difficulté lorsque la boîte avait une fonction initiale ne correspondant pas à la solution du problème (conteneur de punaises), que lorsque la boîte était présentée seule, sans fonction prédéfinie par le [contexte](#).

Cette expérience est un exemple frappant de l'influence que le contexte, sous la forme d'informations préalables sur l'utilisation d'un objet, peut avoir sur la capacité des individus à faire preuve de flexibilité dans une situation donnée.

Ainsi, un aspect crucial de la contribution de la psychologie de la Gestalt réside dans l'introduction de la notion de représentation interne d'un problème, pouvant être influencée par les connaissances et les expériences antérieures. Cependant, cette approche a depuis été critiquée pour son manque de spécificité, et parce qu'elle dit trop peu sur les processus qui sous-tendent le phénomène de l'*insight*, ce qui la rend difficile à évaluer empiriquement (Clément 2009).

Pour parer à ces manquements, la notion d'[espace problème](#) est née des travaux de Newell et Simon (1972), dans lesquels ils définissent la résolution de problèmes comme l'exploration d'un espace-problème constitué de tous les états et transitions possibles entre les états du problème, selon l'interprétation de la personne tentant de résoudre le problème. Cette idée selon laquelle la résolution de problèmes dépend de l'interprétation que l'on fait du problème est une avancée cruciale pour rendre compte des variations de performance entre des problèmes partageant la même structure, mais

présentant des dissemblances dans leurs éléments de surface (Simon et Newell 1971 ; Kotovsky *et al.* 1985).

Prenons, par exemple, le célèbre problème de la tour de Hanoï, défini comme suit :

« Il y a trois disques de tailles inégales, et un support présentant trois chevilles verticales. Les disques sont empilés sur la cheville la plus à gauche, de sorte que le disque le plus grand se trouve en bas, le disque de taille moyenne au milieu et le plus petit sur le dessus. Votre tâche consiste à transférer les trois disques sur la cheville la plus à droite, en utilisant la cheville du milieu comme zone de stationnement, selon les besoins. Vous ne pouvez déplacer qu'un seul disque à la fois, et vous ne pouvez jamais déplacer un disque plus grand sur un disque plus petit ». (Pretz *et al.* 2003, p. 7)

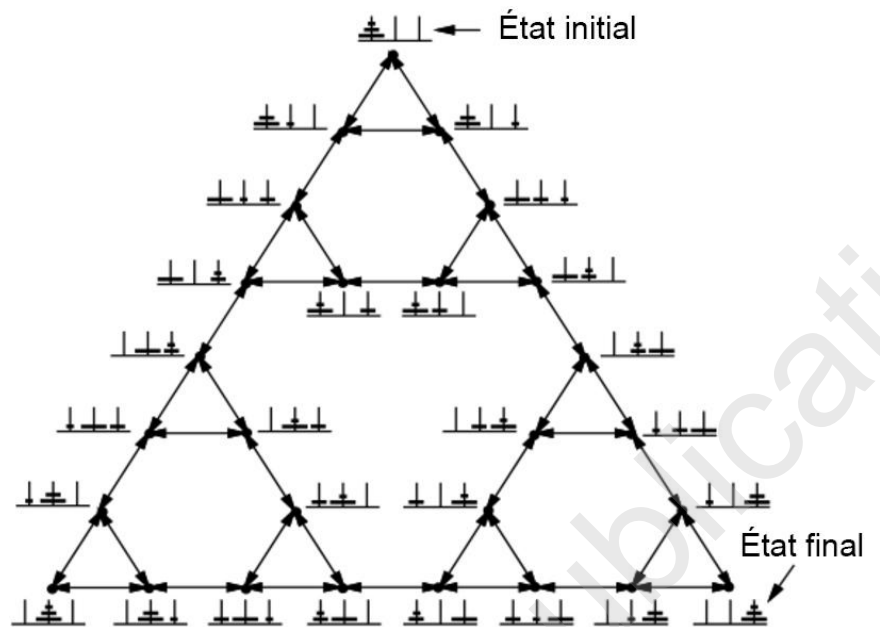
L'espace-problème complet de ce problème comprend toutes les transitions possibles de l'état initial à l'état final, et permet l'utilisation d'une stratégie de résolution en 7 étapes (voir figure 8.2a). Cependant, certains individus (notamment les enfants de 6 et 7 ans) ajoutent une contrainte inutile dans leur interprétation du problème, en faisant la supposition (erronée) que seuls les mouvements entre deux chevilles voisines sont autorisés (Richard *et al.* 1993). Ainsi, ces enfants construisent un espace-problème tronqué avec une règle « pas de saut de cheville », ce qui augmente considérablement le nombre d'étapes (26) pour trouver la solution (voir figure 8.2b).

Il est intéressant de noter que Clément et Richard (1997) ont montré qu'il était possible d'amener même des adultes à construire un espace-problème tronqué avec une règle de « pas de saut » en modifiant les caractéristiques de surface du problème. Par exemple, si au lieu de disques se déplaçant entre des chevilles, le problème est formulé en termes d'individus se déplaçant entre des étages au moyen d'un ascenseur, alors les participants sont plus susceptibles de croire que les mouvements ne sont autorisés qu'entre les étages voisins, puisqu'ils ont conscience du fait qu'un ascenseur ne « saute » généralement pas les étages.

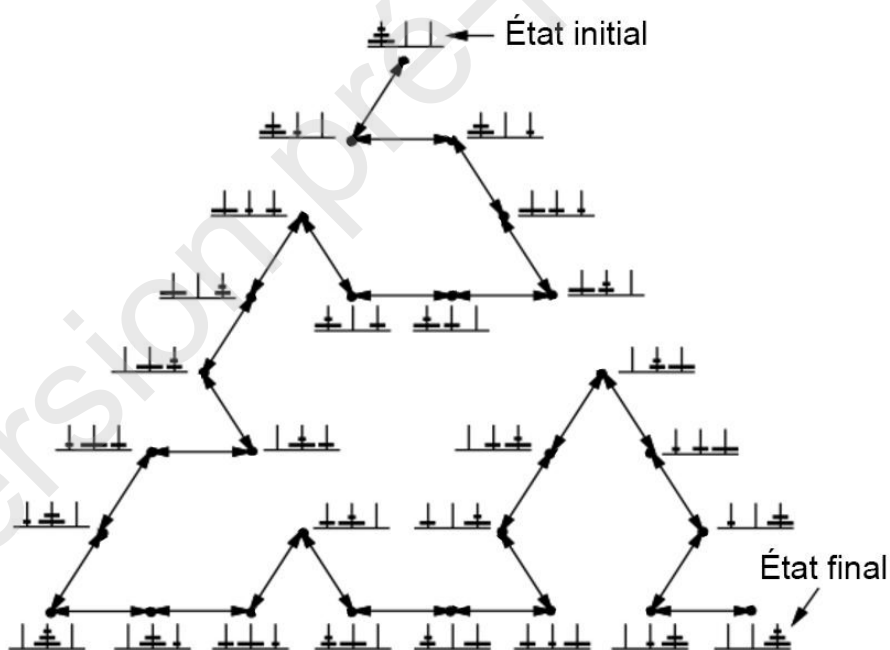
En mettant l'accent sur l'interprétation des situations par les apprenants, ces études sur la résolution de problèmes ont fourni des indications essentielles sur le rôle joué par le contexte dans le raisonnement des adultes. Cette idée que la manière de présenter un problème puisse influencer la représentation qui va en être construite et donc la capacité des individus à en percevoir la solution a des conséquences directes pour la compréhension des phénomènes de flexibilité cognitive.

Ainsi, malgré sa capacité à concevoir des idées abstraites, le raisonnement humain s'inscrit toujours dans un contexte concret – qu'il s'agisse de situations de la vie réelle

ou d'expériences réalisées en laboratoire – et il semble donc pertinent de caractériser comment les informations contextuelles interfèrent avec notre capacité à adopter différents points de vue sur une même situation.



a)



b)

Figure 8.2. Espace-problème complet (a) et tronqué (b) du problème de la tour de Hanoï

8.3.3. Les effets de contenu, médiateurs de flexibilité ?

Au-delà des problèmes de puzzle que nous venons d'étudier, d'autres énoncés, plus proches de ceux pouvant être rencontrés dans un cadre scolaire, sont propices à l'étude des conditions dans lesquelles la flexibilité cognitive des individus peut être mise à l'épreuve. Intéressons-nous par exemple à l'apprentissage du développement et de la factorisation en mathématiques.

Comprendre l'équivalence mathématique entre une équation développée et factorisée nécessite d'adopter tour à tour deux points de vue distincts sur une même situation, ce qui n'est pas trivial.

Afin d'étudier les conditions permettant d'effectuer ce changement de point de vue, Coquin-Viennot et Moreau (2003) ont conçu une expérience dans laquelle elles ont demandé à des élèves de CE2 et de CM2 de résoudre des problèmes de type : « Pour un concours, un fleuriste prépare, pour chacun des 14 candidats, 5 roses et 7 tulipes. Combien de fleurs le fleuriste utilisera-t-il au total ? » Cet énoncé était préférentiellement résolu par les élèves à l'aide d'une solution par développement :

$$(14 \times 5) + (14 \times 7) = 168$$

Cependant, il existe une autre solution permettant de résoudre ce problème en n'effectuant qu'une seule multiplication, et donc en limitant les risques d'erreur. Il s'agit de la solution par factorisation :

$$14 \times (5 + 7) = 168$$

Afin d'aider les élèves à identifier la pertinence de cette stratégie de résolution, les chercheuses ont conçu une version légèrement modifiée du problème : « Pour un concours, un fleuriste prépare, pour chacun des 14 candidats, *un bouquet* de 5 roses et 7 tulipes. Combien de fleurs le fleuriste utilisera-t-il au total ? »

Elles ont alors observé que le simple fait de mentionner « un bouquet » dans l'énoncé du problème poussait les élèves à utiliser en priorité la solution par factorisation, car cela les incitait à représenter les 5 roses et les 7 tulipes comme un ensemble insécable, qu'il fallait ensuite multiplier par le nombre de candidats. Ainsi, cette expérience a montré qu'il était possible de favoriser une forme de flexibilité cognitive chez les élèves en modifiant la formulation de l'énoncé pour qu'elle évoque une représentation différente de la situation.

Dans une perspective semblable, des chercheuses se sont intéressées aux facteurs influençant la construction de certaines interprétations de situations mathématiques

données. L'idée était de jouer sur les objets mentionnés dans l'énoncé d'un problème pour favoriser un point de vue alternatif, sans même avoir à enrichir l'énoncé en fournissant davantage de détails.

Par exemple, Bassok *et al.* (1998) ont effectué une expérience sur l'influence des connaissances issues de la vie quotidienne sur la propension des individus à effectuer des additions ou des divisions. Les autrices ont montré que lorsqu'elles demandaient à des individus de concevoir des problèmes impliquant des tulipes et des roses, la plupart imaginaient des situations dans lesquelles les fleurs des deux variétés sont ajoutées et doivent être comptées ensemble (par exemple : 6 tulipes + 2 roses = 8 fleurs).

À l'inverse, lorsque ces mêmes individus devaient créer des problèmes comportant des vases et des tulipes, cette fois-ci la majorité concevait des situations dans lesquelles le nombre total de tulipes est divisé par le nombre de vases (par exemple : 6 tulipes ÷ 2 vases = 3 tulipes par vase).

Autrement dit, le simple fait de remplacer des roses par des vases a poussé les individus à imaginer des situations entièrement différentes, et donc à créer des énoncés arithmétiques nécessitant, pour être résolus, l'adoption de points de vue radicalement opposés.

Ainsi, la référence à certains objets ou à certaines entités peut suffire à provoquer chez un individu l'adoption d'un point de vue spécifique, ce qui peut avoir des effets favorables ou délétères sur la flexibilité avec laquelle les individus peuvent transférer leurs connaissances d'une situation à une autre. Cette idée selon laquelle le transfert d'apprentissage peut être conditionné par de tels **effets de contenu** a été étudiée par Bassok *et al.* (1995), qui ont réalisé une expérience autour de problèmes mathématiques de permutation.

Dans leur étude, les participants étudiaient dans un premier temps un problème de permutation accompagné de sa solution, et ils devaient ensuite appliquer la même stratégie de résolution sur un nouveau problème, de même structure mathématique. Tous les problèmes présentés impliquaient des situations d'assignation : dans certains cas, des objets étaient assignés à des individus (par exemple, des étudiants recevaient des prix), dans d'autres cas, des individus étaient affectés à des objets (par exemple, des secrétaires étaient affectés à des ordinateurs) et enfin, dans certains cas, des individus étaient affectés à d'autres individus (par exemple, les docteurs de deux hôpitaux travaillant par paires).

Les résultats de l'étude ont montré que la capacité des participants à appliquer sur un nouveau problème la solution enseignée à l'aide du premier problème était dépendante des assignations effectuées au sein des énoncés. En effet, si la solution était

enseignée sur un problème dans lequel des objets étaient attribués à des individus, alors 89 % des participants réussissaient à l'appliquer correctement sur les autres problèmes dans lesquels des objets étaient attribués à des individus (par exemple, des voitures assignées à des mécaniciens).

En revanche, lorsque les participants devaient appliquer cette solution sur des problèmes présentant une situation inverse, dans laquelle ce sont les individus qui sont affectés aux objets, alors aucun des participants ne parvenait à utiliser correctement la solution enseignée. En d'autres termes, leur compréhension de l'algorithme de résolution du problème d'entraînement était profondément liée au contenu de l'énoncé et lorsque celui-ci variait dans le nouveau problème, alors les participants ne parvenaient pas à adapter leur stratégie de résolution.

Ici, le contenu des problèmes a donc tantôt favorisé le transfert d'un apprentissage d'une situation vers une autre (lorsque les deux problèmes présentaient des assignations d'objets vers des individus), et tantôt entravé ce transfert (lorsque le nouveau problème présentait une assignation d'individus à des objets). En outre, lorsque les participants devaient employer l'algorithme sur des problèmes dans lesquels des individus étaient attribués à d'autres individus, alors les participants ne parvenaient à appliquer correctement la solution que dans un cas sur deux, ce qui souligne qu'ils n'étaient ni particulièrement désavantagés ni particulièrement aidés par le contenu dans cette situation.

En somme, la propension des individus à adopter un point de vue pertinent sur un problème semble directement dépendante du contenu des énoncés, lequel agit comme un médiateur de flexibilité.

8.3.4. Des influences robustes

S'il semble donc avéré que le point de vue adopté par certains individus puisse dépendre du contenu des énoncés rencontrés, la question se pose de savoir si cette influence se manifeste réellement auprès de toutes les populations, ou bien si elle est seulement présente chez les individus les plus jeunes ou les moins experts du domaine.

Afin de répondre à cette question, une étude de Gros *et al.* (2017) a comparé les performances d'une soixantaine d'enfants en CM2 et d'une cinquantaine d'adultes sur une tâche de résolution de problèmes arithmétiques. L'idée était de montrer que l'utilisation de certaines variables (durées, hauteurs, nombre d'étages) au sein d'un problème allait susciter un point de vue ordinal de la situation (une représentation des valeurs du

problème ordonnées le long d'un axe), alors que l'utilisation d'autres variables (collections d'éléments, poids, prix) devait susciter un point de vue cardinal de la situation (une représentation ensembliste des valeurs du problème). Par exemple, les problèmes mentionnant des durées devaient susciter un point de vue ordinal de la situation, les participants ayant l'habitude de se représenter des valeurs temporelles ordonnées le long d'un axe (comme sur une frise chronologique, par exemple). À l'inverse, les problèmes mentionnant des billes qu'il faudrait compter devaient susciter un point de vue cardinal, les billes étant plus souvent représentées groupées dans des sacs plutôt qu'alignées le long d'un axe.

Or, la particularité des problèmes présentés aux participants était qu'ils admettaient tous deux stratégies de résolution distinctes : une stratégie en trois calculs, et une stratégie en un calcul. Les auteurs ont fait l'hypothèse que les participants allaient employer l'une ou l'autre de ces deux stratégies en fonction du point de vue (cardinal ou ordinal) qu'ils allaient adopter sur la situation décrite dans le problème.

En effet, la solution en trois calculs était compatible avec une représentation cardinale de la situation, alors qu'il était nécessaire d'adopter un point de vue ordinal sur les problèmes pour utiliser la solution en un calcul, bien que, d'un point de vue mathématique, il soit possible d'utiliser les deux stratégies sur tous les problèmes. Afin d'évaluer l'impact du contenu des problèmes sur le point de vue adopté, il a été demandé aux participants de dessiner un schéma de chaque problème, puis de les résoudre en utilisant le moins d'opérations possible.

En observant les productions graphiques des participants, il a été possible d'identifier quel point de vue ils adoptaient sur chaque problème. Or, il s'est trouvé que les enfants comme les adultes avaient effectivement tendance à adopter le point de vue compatible avec le contenu des énoncés : les problèmes de durée étaient représentés avec des axes, des graduations, des intervalles, etc., alors que pour les problèmes cardinaux, les dessins représentaient principalement des ensembles ou groupements d'éléments. Autrement dit, le point de vue des deux groupes interrogés dépendait du contenu des énoncés, en dépit du fait que tous les problèmes partageaient la même structure mathématique.

Par ailleurs, l'analyse des calculs rapportés par les participants a permis d'identifier quelle stratégie ils avaient utilisé en priorité pour résoudre les problèmes. Dans les deux populations, les réponses ont varié en fonction du point de vue cardinal/ordinal suscité par le contenu des énoncés : les enfants comme les adultes utilisaient préférentiellement la stratégie en trois calculs sur les problèmes de type problème de billes, alors qu'ils utilisaient en priorité la stratégie en un calcul sur les problèmes de type problème de durée.

En dépit de la consigne explicite selon laquelle les participants devaient utiliser le moins de calculs possible, adopter un point de vue ordinal sur un problème cardinal leur était trop coûteux dans la majorité des cas, en raison de l'influence du contenu des énoncés.

Les deux groupes de participants ont donc été incapables d'aller au-delà du contenu des énoncés pour adopter avec flexibilité l'un ou l'autre des deux points de vue possibles. La mention de durées ou de billes dans l'habillage des problèmes a contraint leur représentation des situations décrites, ce qui suggère que le contenu interfère avec la flexibilité cognitive des enfants aussi bien que des adultes, en dépit des aptitudes supérieures de ces derniers en arithmétique.

Si cette influence du contenu reste donc bien présente au cours du développement, résiste-t-elle pour autant à un haut niveau d'*expertise*, ou bien disparaît-elle dès que les individus acquièrent une maîtrise suffisante d'un domaine ?

Une étude récente a proposé d'explorer cette question en comparant les performances d'adultes tout-venant et d'experts mathématiciens sur des problèmes semblables à ceux que nous venons de décrire (Gros *et al.* 2019). La tâche proposée consistait à présenter aux participants des problèmes cardinaux et des problèmes ordinaux sur lesquels seule la stratégie en un calcul pouvait être utilisée.

Chaque problème était accompagné de sa solution (une simple soustraction) et les participants devaient décider si celle-ci permettait effectivement de résoudre le problème, ou bien si ce dernier ne pouvait être résolu. L'idée était de tester si, lorsqu'une seule solution est possible, les participants sont capables ou non de changer de point de vue sur le problème pour percevoir la validité de la solution proposée.

Les résultats ont montré que les adultes tout-venant acceptaient la solution proposée dans plus de 80 % des problèmes ordinaux, alors qu'ils ne parvenaient à identifier sa pertinence que dans 47 % des problèmes cardinaux.

En ce qui concerne les experts mathématiciens, bien que leurs performances soient supérieures à celles des adultes tout-venant, une différence semblable est apparue : dans 24 % des cas, ils ont déclaré – à tort – que les problèmes cardinaux n'avaient pas de solution, alors qu'ils n'ont effectué cette erreur que dans 5 % des problèmes ordinaux. Par ailleurs, les participants qui parvenaient néanmoins à comprendre la pertinence de la solution en un calcul sur les problèmes cardinaux le faisaient en un temps plus long que pour les problèmes ordinaux, ce qui suggère que le changement de point de vue qu'ils devaient opérer avait un coût cognitif non négligeable.

Ainsi, même des experts en mathématiques se sont retrouvés piégés par des effets de contenu : ils faisaient plus d'erreurs et répondaient plus lentement lorsque le point de vue évoqué par les contenus des énoncés n'était pas directement compatible avec la solution proposée. Cette étude montre donc l'influence généralisée du contexte sur le point de vue que les individus – même experts – adoptent pour résoudre des problèmes.

8.4. Le recodage sémantique et la flexibilité cognitive

8.4.1. Le recodage sémantique, levier de flexibilité à l'école ?

Face à la robuste influence de ces effets de contenu sur les points de vue adoptés par les individus se pose la question du mécanisme par lequel ces derniers peuvent se défaire d'une représentation inadaptée en faveur d'une nouvelle perspective plus efficiente. Si faire preuve de flexibilité cognitive implique d'alterner entre plusieurs points de vue distincts sur une même situation, alors le processus par lequel cette alternance est opérée peut être considéré comme un levier de flexibilité, un outil indispensable à son exercice.

L'idée selon laquelle il est possible de re-représenter un problème ou une situation a été avancée à plusieurs reprises dans la littérature (Pretz *et al.* 2003 ; Vicente *et al.* 2007) et le terme de **recodage sémantique** a été proposé pour décrire ce processus (Clément 2009 ; Gamo *et al.* 2010 ; Gros *et al.* 2020 ; Gvozdic et Sander 2020). Ainsi, alterner entre deux stratégies de manière flexible nécessiterait d'opérer un recodage sémantique de la représentation construite, étape cruciale permettant l'adoption d'un nouveau point de vue sur la situation.

Comment, alors, peut-on susciter un tel recodage chez un individu ? Des modifications de l'énoncé d'un problème peuvent faciliter l'adoption d'une nouvelle perspective sur une situation (Ibarra et Lindvall 1982 ; Hudson 1983 ; Riley *et al.* 1983).

Par exemple, De Corte *et al.* (1985) ont montré que reformuler des énoncés arithmétiques pour rendre plus explicites les relations sémantiques décrites sans pour autant changer la structure du problème permettait d'en faciliter la résolution par de jeunes enfants. Cependant, il semble aussi possible de faciliter un recodage du point de vue adopté sans avoir à modifier directement le problème.

En effet, une étude de Gamo *et al.* (2010) a montré qu'il était possible d'entraîner des élèves de CM1 et de CM2 à alterner entre deux points de vue sur un même problème. En utilisant des problèmes cardinaux et ordinaux semblables à ceux mentionnés précédemment (voir section 8.3.4), les auteurs ont essayé de pousser les élèves à

envisager l'une ou l'autre des deux stratégies de résolution possibles, par le biais d'un recodage sémantique. Au cours de deux sessions d'une heure, les élèves ont été invités à comparer plusieurs problèmes partageant la même structure mathématique, mais dont les énoncés évoquaient des points de vue différents.

L'idée était de favoriser le passage d'un point de vue à l'autre en poussant les élèves à pointer du doigt les similitudes entre les problèmes. Dans un deuxième temps, les élèves construisaient une schématisation abstraite de la structure mathématique des problèmes, afin de souligner que tous les problèmes partageaient une ossature commune, en dépit des points de vue divergents qu'ils pouvaient susciter. Cet entraînement au recodage sémantique des problèmes était suivi d'une phase de test pour mesurer son efficacité.

Les résultats ont montré que l'entraînement a porté ses fruits : les élèves ayant participé aux deux sessions de travail étaient davantage capables de trouver la solution en un calcul aux problèmes cardinaux que ne l'étaient les élèves n'ayant pas suivi d'entraînement au recodage sémantique. Ainsi, en mettant en avant les similitudes entre les problèmes et en soulignant la structure commune qu'ils partageaient, il a été possible d'entraîner les élèves à passer d'un point de vue à l'autre, et donc de parvenir à une plus grande flexibilité cognitive sur la tâche étudiée.

Il apparaît donc que le recodage sémantique peut être travaillé dans un cadre scolaire, afin d'aider les élèves à s'affranchir des effets de contenu et à aborder les situations rencontrées avec flexibilité. Mais les effets de contenu peuvent-ils parfois jouer en faveur des apprentissages ?

Comme nous l'avons vu, les élèves s'appuient régulièrement sur des connaissances antérieures, extrascolaires, pour interpréter un contenu qui leur est moins familier (Inagaki et Hatano 1987, 1991). Lorsqu'ils arrivent à l'école, les élèves sont confrontés pour la première fois à des notions scolaires dans un cadre formel. L'interprétation informelle des notions enseignées peut parfois s'avérer conforme aux justifications formelles acceptées dans le domaine étudié, mais, souvent, des incompatibilités entre les [intuitions](#) issues de l'expérience et les notions scolaires étudiées peuvent survenir.

En cas de conflit entre les composantes informelles et formelles des apprentissages, un obstacle épistémologique apparaît, conduisant à des interprétations erronées et à des erreurs systématiques (Fischbein 1987 ; Hofstadter et Sander 2013). L'un des principaux défis des apprentissages scolaires est donc de permettre aux élèves de dépasser l'interprétation informelle d'une situation et d'adopter un nouveau point de vue, plus proche de la notion scolaire telle qu'elle est admise dans la discipline enseignée.

Ces idées erronées peuvent apparaître dans toutes les disciplines scolaires et ont notamment été étudiées dans l'apprentissage des mathématiques. En effet, depuis la mise en place des stratégies de calcul mental jusqu'à l'interprétation de problèmes arithmétiques, des difficultés peuvent apparaître suite au recours systématique à des *intuitions* en partie erronées (Fischbein 1987).

À titre d'exemple, considérons l'apprentissage de la soustraction. Lorsque nous présentons aux élèves de 6-7 ans un problème de soustraction tel que « Mehdi a 12 billes, il en perd 3. Combien de billes Mehdi a-t-il maintenant ? », les élèves vont l'interpréter comme une situation de retrait, dans laquelle des billes sont perdues, ce qui va les amener à utiliser une stratégie consistant à retirer 3 de 12.

À l'inverse, considérons l'énoncé suivant : « Nadia avait 9 billes, puis elle en a gagné d'autres. Maintenant elle a 12 billes. Combien de billes a-t-elle gagnées ? ». Même s'il s'agit toujours d'un problème de soustraction, ce nouvel énoncé va, lui, amener les élèves à interpréter le problème comme une situation d'écart où ils vont procéder par addition à trou ($9 + \dots = 12$) plutôt que par soustraction directe (De Corte et Verschaffel 1987 ; Brissiaud et Sander 2010).

Ici, les deux points de vue possibles sur le problème (retrait ou écart) sont pertinents et permettent de trouver la solution. Cependant, certaines stratégies peuvent se révéler plus coûteuses que d'autres pour les élèves, et l'adoption d'un point de vue plutôt qu'un autre peut parfois mener à l'échec. Cela est notamment le cas dans le problème : « Mehdi a 12 billes, il en perd 9. Combien de billes Mehdi a-t-il maintenant ? ». Dans cet énoncé, l'élève risque d'adopter le point de vue « retrait », et donc tenter de trouver la solution en ôtant 9 de 12. Or, cette stratégie par soustraction directe est plus coûteuse qu'une stratégie par addition à trou, et augmente donc la fréquence des erreurs.

Afin d'aider les élèves à dépasser l'encodage initial induit par le contenu de tels énoncés et à adopter des points de vue plus favorables à la réussite, le dispositif éducatif ACE-Arithm'École a mis en place une intervention en résolution de problèmes arithmétiques fondée sur le recodage sémantique (Vilette *et al.* 2017 ; Fischer *et al.* 2018).

Dans ce dispositif, les élèves sont amenés à comparer différents énoncés et différentes stratégies de résolution sur une large gamme de problèmes (par exemple, problèmes de combinaison : « J'ai 7 billes bleues et 4 billes rouges, combien en ai-je en tout ? » ; de comparaison : « J'ai 7 roses et 11 marguerites dans un bouquet, combien y a-t-il de marguerites de plus que de roses ? » ; de transformation : « J'ai 4 euros et j'en gagne encore. J'ai à présent 11 euros. Combien en ai-je gagné ? », etc.), afin d'identifier l'équivalence entre des problèmes suscitant des points de vue différents, et ce

malgré une structure mathématique commune. Différents outils de représentation leur étaient fournis dans cette perspective : des schémas sous forme de lignes ou de boîtes, qu'ils devaient compléter avec les valeurs présentes dans les énoncés.

Dans une étude visant à mesurer l'efficacité de cette intervention, Gvozdic et Sander (2020) ont notamment montré que les élèves qui bénéficiaient du dispositif ACE-Arithm'École parvenaient à alterner entre addition à trou et soustraction directe avec une plus grande fréquence que les élèves n'ayant pas suivi un tel entraînement au recodage sémantique.

Cette étude a donc mis en évidence qu'il était possible d'équiper les élèves d'un plus grand répertoire de stratégies de lecture des problèmes, leur permettant de choisir avec flexibilité une stratégie adaptée à la résolution des problèmes rencontrés. L'entraînement au recodage sémantique semble donc être une méthode prometteuse pour augmenter la flexibilité avec laquelle les élèves abordent les notions scolaires.

8.4.2. De nouvelles perspectives à explorer

Une autre perspective intéressante pour promouvoir le recodage sémantique et le transfert dans un cadre scolaire nous vient d'études récentes sur le rôle de l'argumentation dans la diffusion des croyances contre-intuitives.

Selon la [théorie argumentative du raisonnement](#), les individus sont plus objectifs et moins biaisés lorsqu'ils évaluent des arguments formulés par d'autres individus (Mercier et Sperber 2011). Ainsi, cette théorie prédit que les individus sont plus susceptibles de changer d'avis lorsqu'ils discutent avec d'autres personnes, que lorsque l'on leur présente simplement des déclarations contestant leur point de vue (Mercier 2016). L'idée sous-jacente est donc que l'argumentation pourrait jouer un rôle particulier en aidant une personne à changer de point de vue et à adopter une nouvelle perspective pourtant contre-intuitive.

Par exemple, Claidière *et al.* (2017) ont mené une expérience dans laquelle ils ont demandé à des groupes de participants de résoudre des problèmes dont la solution était contre-intuitive, soit en situation de « discussion », soit en situation de « silence ».

Après une première phase individuelle au cours de laquelle les participants étaient invités à résoudre un problème par eux-mêmes, ceux-ci ont été autorisés à communiquer entre eux. Les groupes en condition de discussion ont été informés qu'ils pouvaient discuter de leurs réponses avec leurs voisins immédiats, tandis que les groupes en condition de silence n'étaient autorisés qu'à regarder les réponses de leurs voisins, sans pouvoir parler et argumenter sur le problème. Les participants ont été invités à noter

leurs réponses à intervalles réguliers, afin de déterminer s'ils changeaient d'avis sur la réponse au problème.

Les résultats ont montré qu'en situation de discussion libre, la majorité des groupes ont abouti à un consensus global sur la bonne réponse, tandis qu'en condition de silence, les participants qui ont trouvé la bonne réponse ne l'ont communiquée qu'à un nombre limité de personnes, la plupart des participants restant – à tort – convaincus de la validité de leur réponse initiale.

Cette incapacité à changer de point de vue en l'absence de discussion fait écho à la difficulté que les individus rencontrent à faire preuve de flexibilité cognitive sur une situation donnée. Les auteurs ont conclu que l'argumentation était un outil puissant pour aider les élèves à acquérir des concepts contreintuitifs lorsque d'autres méthodes échouent, et une telle approche pourrait s'avérer prometteuse quant au dépassement des effets de contenu les plus retors.

Enfin, une autre piste d'étude visant à favoriser l'adoption d'un nouveau point de vue sur une situation donnée nous vient du cadre théorique des **métaphores conceptuelles** (Lakoff et Johnson 1999).

Selon Lakoff et Johnson, les métaphores conceptuelles permettent de saisir des concepts abstraits en les rapprochant de connaissances issues de nos sens. Cette approche considère que les métaphores véhiculées par le langage ne sont pas uniquement des figures de style au service de la rhétorique, mais qu'elles reflètent en réalité le système conceptuel de leurs locuteurs.

Ainsi, les métaphores conceptuelles seraient des mécanismes cognitifs centraux structurant les concepts (Lakoff et Johnson 1999). Elles sont des correspondances incarnées qui préservent les inférences tirées de nos expériences sensorielles et permettent d'établir une correspondance entre des concepts appartenant à des domaines sémantiquement différents (Bowdle et Gentner 2005). Elles reflètent le système sensoriel dont elles proviennent et le mettent à profit de manière métaphorique.

Par exemple, l'idée selon laquelle « savoir, c'est voir », permet d'utiliser des expressions telles que « tu vois ce que je veux dire » pour transmettre un contenu métaphorique (l'acte de savoir) plutôt qu'une expression littérale (l'acte de voir). Bien que le caractère incarné des métaphores soit encore débattu aujourd'hui, le recours aux métaphores conceptuelles pour la compréhension de concepts abstraits a une utilité attestée (Gibbs 2009).

En outre, les **métaphores conceptuelles** permettent aux individus de raisonner sur différents sujets, quelle que soit leur complexité inhérente, et même lorsqu'ils n'en ont

qu'une compréhension limitée (Thibodeau et Boroditsky 2011). Une série d'études de Thibodeau et Boroditsky ((2011, 2013, 2015) ; voir également (Robins et Mayer 2000 ; Thibodeau *et al.* 2017)) ont examiné comment les métaphores façonnent le raisonnement. Ils ont émis l'hypothèse que différentes métaphores devraient activer différents réseaux sémantiques, lesquels conduisent à des déductions différentes.

Dans leurs études, ils ont par exemple demandé à des participants de réfléchir à un problème de criminalité qui était introduit avec l'une des deux métaphores suivantes : soit la criminalité était présentée comme une bête sauvage attaquant la ville, soit comme un virus se propageant dans la cité. Le choix de la métaphore présentant le problème a eu un impact sur les solutions proposées par les participants pour tenter de le résoudre. Lorsque les participants ont été confrontés à une criminalité présentée *via* la métaphore du virus, ils ont le plus souvent choisi des solutions préventives. Lorsqu'ils ont été confrontés à une criminalité présentée selon la métaphore de la bête sauvage, ils ont plus souvent choisi des mesures répressives.

En accord avec d'autres études menées sur la question, ces résultats indiquent que le cadrage métaphorique choisi résulte en une activation de connaissances cohérentes avec la métaphore, ce qui influence le point de vue adopté sur la situation et conduit à différentes stratégies.

Les métaphores conceptuelles se présentent donc comme un moyen par lequel nous pouvons utiliser différents contenus pour susciter des changements de points de vue sur une tâche ou une situation donnée. Identifier les métaphores sous-tendant les points de vue des individus et proposer des métaphores alternatives peut ainsi faciliter une forme de flexibilité cognitive, en présentant deux lectures alternatives d'une même situation parmi lesquelles choisir.

Par exemple, considérons un [mythe éducatif](#) tenace, dont les professionnels de l'éducation peinent parfois à se défaire : la théorie des [styles d'apprentissages](#). Cette théorie, qui postule que certains apprenants sont plutôt « visuels », d'autres plutôt « auditifs », et d'autres encore plutôt « kinesthésiques », préconise de donner à chaque élève des supports d'apprentissage correspondant à sa modalité sensorielle favorite. Ainsi les élèves visuels apprendraient mieux en regardant des images, les élèves auditifs auraient besoin d'écouter les leçons à l'oral tandis que les élèves kinesthésiques auraient besoin de manipuler pour intégrer de nouvelles notions.

Bien qu'extrêmement populaire, cette théorie est en réalité un « neuromythe », une affirmation sans fondement qui n'est pas appuyée par les résultats de la recherche (Howard-Jones 2014 ; Sander *et al.* 2018).

En effet, même si les préférences pour une modalité sensorielle plutôt qu'une autre peuvent être robustes chez les élèves (Henson et Hwang 2002), le fait de recevoir des supports de cours correspondant uniquement à cette modalité sensorielle ne présente aucun avantage pour l'élève, et pourrait même s'avérer délétère (Massa et Mayer 2006 ; Cook *et al.* 2009).

Ici, une métaphore qui correspondrait au point de vue des styles d'apprentissages pourrait être : les différents élèves ne bénéficient pas de la même manière des différents formats de présentation d'informations, car ils ont des besoins différents, comme les plantes. Il ne faut pas traiter toutes les plantes de la même manière, car ce qui fait pousser une plante peut en tuer une autre. C'est pourquoi il est nécessaire d'adapter l'environnement de chaque plante pour répondre à ses besoins spécifiques.

Cependant, nous savons en réalité que l'approche la plus bénéfique pour les élèves consiste au contraire à leur présenter des supports d'apprentissages variés : des supports visuels, d'autres auditifs, d'autres kinesthésiques, etc. (Gellevij *et al.* 2002 ; Geake 2008). Comment, alors, précipiter l'abandon de pratiques éducatives inefficaces ou délétères, et favoriser l'adoption d'un point de vue plus proche de la réalité pédagogique ?

L'usage d'une autre description métaphorique pourrait permettre un tel recodage sémantique : enseigner aux élèves uniquement en fonction de leurs préférences en matière de style d'apprentissage revient à leur donner uniquement le plat qu'ils préfèrent manger à chaque repas, en dépit de l'équilibre alimentaire.

Par exemple, ne les nourrir que de purée de pommes de terre, car c'est là le mets qu'ils préfèrent. Grâce au nouveau cadre fourni par cette métaphore, les limites d'une telle situation apparaissent soudainement comme évidentes : se contenter des modalités d'apprentissage préférées des élèves ne garantit pas un apprentissage optimal, et il est préférable d'équilibrer les supports en alternant les modalités sensorielles sollicitées. Ainsi, l'usage de métaphores conceptuelles comme aide au recodage sémantique semble être une perspective prometteuse pour stimuler la flexibilité cognitive des individus.

8.5. Conclusion

Au début de ce chapitre, nous avons évoqué la question du rôle du **contexte** sur l'expression de la flexibilité cognitive chez les individus (voir sections 8.3 et 8.4). Des quelques travaux que nous avons abordés, il ressort que le contexte intervient à plusieurs niveaux dans le raisonnement des individus. Tout d'abord, l'appréhension même des concepts qui fondent chacune des pensées humaines semble être dépendante du contexte dans lequel les individus se trouvent. D'une part, différentes propriétés d'un

même concept peuvent être activées selon le cadre dans lequel celui-ci est présenté. D'autre part, en l'absence de connaissances suffisantes, certains éléments contextuels peuvent aider les individus à convoquer des connaissances issues d'un autre domaine pour appréhender un concept insuffisamment maîtrisé.

Ensuite, au-delà de la simple appréhension des concepts de manière isolée, le point de vue que les individus adoptent sur les situations plus complexes semble également dépendre d'indices contextuels orientant leur interprétation, ainsi que des connaissances antérieures évoquées par le contenu même de ces situations. Cela se traduit par une influence cruciale d'éléments contextuels sur les raisonnements engagés par les individus : ceux-ci sont limités par le point de vue initial qu'ils adoptent et dont ils peinent à se détacher spontanément.

Ce constat, effectué auprès de populations de jeunes apprenants comme auprès d'experts, souligne l'importance de renforcer la flexibilité avec laquelle les individus s'appuient sur le contexte pour éclairer leurs raisonnements. Si certaines inférences issues d'indices contextuels peuvent s'avérer extrêmement utiles pour aborder des situations nouvelles (Gentner 1989), d'autres peuvent au contraire mener à des situations d'impasse dans lesquelles les individus échouent invariablement.

Ainsi, le recours à un entraînement au recodage sémantique semble être une étape utile pour favoriser le changement de point de vue, et donc une forme de flexibilité cognitive chez les individus. L'enseignement explicite des points de vue alternatifs pouvant être adoptés peut être une manière d'atteindre ce but, tout comme le recours à l'argumentation ou aux métaphores conceptuelles pourrait permettre le développement d'une plus grande flexibilité chez les individus de tous niveaux.

Il est important de rappeler que l'apprentissage et l'enseignement ne se font pas de manière isolée, mais sont toujours ancrés dans le monde réel. Il est donc tout à fait naturel que des interférences existent entre conceptions scolaires et [intuitions](#) issues du [contexte](#).

Cette interdépendance peut parfois être source de confusion, mais, si elle est utilisée à bon escient, peut aussi être une force motrice aidant les individus à comprendre des idées abstraites complexes avec peu d'effort. En utilisant les bons exemples, il est possible de favoriser une compréhension approfondie de notions complexes, en permettant aux individus d'extraire progressivement la structure abstraite commune à plusieurs situations.

En somme, nous pensons qu'il est temps de renoncer à l'idée que les humains doivent avant tout s'efforcer d'agir comme des êtres purement rationnels, guidés uniquement

par la raison. Plutôt que de tenter de bloquer toute forme d'interférence contextuelle, il semble pertinent de s'appuyer sur les innombrables inférences que chacun fait à chaque instant pour guider les individus vers un recours flexible aux connaissances issues de leur environnement.

8.6. Bibliographie

- Aristote, R. (1999). *Nicomachean Ethics*. Dans *Nicomachean Ethics*, 2^e édition, Irwin, T. (dir.). Hackett Pub, Indianapolis.
- Barsalou, L.W. (1982). Context-independent and context-dependent information in concepts. *Memory and Cognition*, 10, 82–93.
- Barsalou, L.W. (1983). Ad hoc categories. *Memory and Cognition*, 11, 211–227.
- Barsalou, L.W., Medin, D.L. (1986). Concepts : static definitions or context-dependent representations?. *Cahiers de psychologie cognitive*, 6, 187–202.
- Bassok, M., Wu, L., Olseth, L.K. (1995). Judging a book by its cover: interpretative effects of content on problem-solving transfer. *Memory and Cognition*, 21(6), 1522.
- Bassok, M., Chase, V.M., Martin, S.A. (1998). Adding apples and oranges: Alignment of semantic and formal knowledge. *Cognitive Psychology*, 35(2), 99–134.
- Bonnefon, J.F., Villejoubert, G. (2007). Modus Tollens, Modus Shmollens: Contrapositive reasoning and the pragmatics of negation. *Thinking & reasoning*, 13(2), 207–222.
- Boole, G. (1854). *An investigation of the laws of thought: on which are founded the mathematical theories of logic and probabilities*. Dover Publications, New York.
- Bowdle, B.F., Gentner, D. (2005). The Career of Metaphor. *Psychological Review*, 112(1), 193–216.
- Brissiaud, R., Sander, E. (2010). Arithmetic word problem solving: A situation strategy first framework. *Developmental Science*, 13(1), 92–107.
- Byrne, R.M. (1989). Suppressing valid inferences with conditionals. *Cognition*, 31(1), 61–83.
- Chao, S.J., Cheng, P.W. (2000). The emergence of inferential rules: The use of pragmatic reasoning schemas by preschoolers. *Cognitive Development*, 15(1), 39–62.
- Cheng, P.W., Holyoak, K.J. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive psychology*, 17(4), 391–416.

- Claidière, N., Trouche, E., Mercier, H. (2017). Argumentation and the diffusion of counter-intuitive beliefs. *Journal of Experimental Psychology: General*, 146(7), 1052.
- Clément, E. (2009). *La résolution de problèmes*. Armand Colin, Paris.
- Clément, E. Richard, J.-F. (1997). Knowledge of domain effects in problem representation: The case of Tower of Hanoi isomorphs. *Thinking & Reasoning*, 3(2), 133–157.
- Cook, D.A., Thompson, W.G., Thomas, K.G., Thomas, M.R. (2009). Lack of interaction between sensing-intuitive learning styles and problem-first versus information-first instruction: A randomized crossover trial. *Advances in Health Sciences Education*, 14(1), 79–90.
- Cosmides, L. (1989). The logic of social exchange: Has natural selection shaped how humans reason? Studies with the Wason selection task. *Cognition*, 31(3), 187–276.
- Coquin-Viennot, D., Moreau, S. (2003). Highlighting the role of the episodic situation model in the solving of arithmetical problems. *European Journal of Psychology of Education*, 3, 267–279.
- Cosmides, L., Tooby, J. (1992). Cognitive adaptations for social exchange. Dans *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture*, Barlow, J.H., Cosmides, L., Tooby, J. (dir.). Oxford University Press, Oxford.
- Daniel, D.B., Klaczynski, P.A. (2006). Developmental and individual differences in conditional reasoning: Effects of logic instructions and alternative antecedents. *Child Development*, 77(2), 339–354.
- De Corte, E., Verschaffel, L. (1987). The effect of semantic structure on first graders' strategies for solving addition and subtraction word problems. *Journal for Research in Mathematics Education*, 18(5), 363–381.
- De Corte, E., Verschaffel, L., De Win, L. (1985). Influence of rewording verbal problems on children's problem representations and solution. *Journal of Educational Psychology*, 77, 460–470.
- De Neys, W., Schaeken, W., D'ydewalle, G. (2002). Causal conditional reasoning and semantic memory retrieval: A test of the semantic memory framework. *Memory & cognition*, 30(6), 908–920.
- Descartes, R. (1984). Meditations on first philosophy. Dans *The Philosophical Writings of René Descartes*, volume 2, Cottingham, J., Stoothoff, R., Murdoch, D. (dir.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Douven, I., Elqayam, S., Singmann, H., van Wijnbergen-Huitink, J. (2018). Conditionals and inferential connections: A hypothetical inferential theory. *Cognitive psychology*, 101, 50–81.

- Duncker, K. (1945). On solving problems. *Psychological Monographs*, 58(5), 270.
- Evans, J.S.B.T. (1991). Theories of Human Reasoning: The Fragmented State of the Art. *Theory & Psychology*, 1(1), 83–105.
- Falavarjani, M.F., Yeh, C.J. (2018). The impact of acculturation identification and acculturative stress on creativity among Iranian immigrants living in Malaysia. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 44(13), 2219–2239.
- Fischbein, E. (1987). *Intuition in science and mathematics. An educational approach*. Reidel, Dordrecht.
- Fischer, J.-P., Sander, E., Sensevy, G., Vilette, B., Richard, J.-F. (2018). Can young students understand the mathematical concept of equality? A whole-year arithmetical teaching. *European Journal of Psychology of Education*, 34(2), 439–456.
- Gamo, S., Sander, E., Richard, J.-F. (2010). Transfer of strategy use by semantic recoding in arithmetic problem solving. *Learning and Instruction*, 20, 400–410.
- Geake, J. (2008). Neuromythologies in education. *Educational Research*, 50(2), 123–133.
- Gellevij, M., van der Meij, H., De Jong, T., Pieters, J. (2002). Multimodal versus unimodal instruction in a complex learning context. *The Journal of Experimental Education*, 70(3), 215–239.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. Dans *Similarity and analogical reasoning*, Vosniadou, S., Ortony, A. (dir.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Gibbs, R.W. (2009). Why do some people dislike conceptual metaphor theory? *Cognitive Semiotics*, 5(1/2), 14–36.
- Giroto, V., Kemmelmeier, M., Sperber, D., van der Henst, J.B. (2001). Inept reasoners or pragmatic virtuosos? Relevance and the deontic selection task. *Cognition*, 81(2), B69–B76.
- Gros, H., Thibaut, J.-P., Sander, E. (2017). The nature of quantities influences the representation of arithmetic problems: evidence from drawings and solving procedures in children and adults. Dans *Proceedings of the 39th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, Granger, R., Hahn, U., Sutton, R. (dir.). Cognitive Science Society, Austin.
- Gros, H., Sander, E., Thibaut, J.-P. (2019). When masters of abstraction run into a concrete wall: Experts failing arithmetic word problems, *Psychonomic Bulletin & Review*, 26(5), 1738–1746.

- Gros, H., Thibaut, J.-P., Sander, E. (2020), Semantic Congruence in Arithmetic: A New Conceptual Model for Word Problem Solving. *Educational Psychologist*, 55, 1532–6985.
- Gvozdic, K., Sander, E. (2020). Learning to be an opportunistic word problem solver: going beyond informal solving strategies. *ZDM Mathematics Education*, 52, 111–123.
- Henson, R.K., Hwang, D.Y. (2002). Variability and prediction of measurement error in Kolb's learning style inventory scores a reliability generalization study. *Educational and Psychological Measurement*, 62(4), 712–727.
- Hilton, D.J., Kemmelmeier, M., Bonnefon, J.F. (2005). Putting ifs to work: goal-based relevance in conditional directives. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134(3), 388.
- Hofstadter, D.R., Sander, E. (2013). *Surfaces and essences: Analogy as the fuel and fire of thinking*. Basic Books, New York.
- Holyoak, K. Thagard, P. (1995). *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought*. MIT Press, Cambridge.
- Howard-Jones, P.A. (2014). Neuroscience and education: myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(12), 817.
- Hudson, T. (1983). Correspondences and numerical differences between disjoint sets. *Child Development*, 54(1), 84–90.
- Hull, C.L. (1943). *Principles of Behavior: An Introduction to Behavior Theory*. Appleton Century, Boston.
- Ibarra, C.G., Lindvall, C.M. (1982). Factors associated with the ability of kindergarten children to solve simple arithmetic story problems. *The Journal of Educational Research*, 75(3), 149–156.
- Inagaki, K., Hatano, G. (1987). Young children's spontaneous personification as analogy. *Child Development*, 58(4), 1013–1020.
- Inagaki, K., Hatano, G. (1991). Constrained person analogy in young children's biological inference. *Cognitive Development*, 6(2), 219–231.
- Inhelder, B., Piaget, J. (1958). The growth of logical thinking from childhood to adolescence: An essay on the construction of formal operational structures. *Psychology Press*, 22.
- Johnson-Laird, P.N. (2006). *How we reason*. Oxford University Press, Oxford.

- Katona, G. (1940). *Organizing and Memorizing: Studies in the Psychology of Learning and Teaching*. Columbia University Press, New York.
- Klauer, K.C., Stahl, C., Erdfelder, E. (2007). The abstract selection task: New data and an almost comprehensive model. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(4), 680.
- Köhler, W. (1917). *Intelligenzprüfungen an Menschenaffen [Intelligence tests on anthropoid apes]*. Preußische Akademie der Wissenschaft, Berlin.
- Köhler, W. (1925). *The mentality of apes*. Harcourt Brace Jovanovich, New York.
- Kotovsky, K., Hayes, J.R., Simon, H.A. (1985). Why are some problems hard? Evidence from Tower of Hanoi. *Cognitive psychology*, 17(2), 248–294.
- Lakoff, G., Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh : the embodied mind and its challenge to Western thought*. Basic Books, New York.
- Lebois, L.A.M., Wilson-Mendenhall, C.D., Barsalou, L.W. (2015). Are automatic conceptual cores the gold standard of semantic processing? The context-dependence of spatial meaning in grounded congruency effects. *Cognitive Science*, 39, 1764–1801.
- Luchins, A.S. (1939). The Einstellung Effect in learning by repetition. Thèse de doctorat non publiée, New York University, New York.
- Luchins, A.S. (1942). Mechanization in problem solving. *Psychological Monographs*, 54, 248.
- Massa, L.J., Mayer, R.E. (2006). Testing the ATI hypothesis: Should multimedia instruction accommodate verbalizer-visualizer cognitive style?. *Learning and Individual Differences*, 16(4), 321–335.
- Masson, M.E.J. (1995). A distributed memory model of semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 3–23.
- Mayer, R.E. (1983). *Thinking, problem solving, cognition*. Freeman, New York.
- McRae, K., De Sa, V.R., Seidenberg, M.S. (1997). On the nature and scope of featural representations of word meaning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 126, 99–130.
- Murphy, G.L. (2002). *The big book of concepts*. The MIT Press, Cambridge.
- Mercier, H. (2016). The argumentative theory: Predictions and empirical evidence. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(9), 689–700.
- Mercier, H., Sperber, D. (2011). Why do humans reason? Arguments for an argumentative theory. *Behavioral and Brain Sciences*, 34(2), 57.
- Murphy, G.L. (2002). *The big book of concepts*. The MIT Press, Cambridge.

- Newell, A., Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Pecher, D., Zwaan, R.A. (2017). Flexible concepts: a commentary on Kemmerer (2016). *Language, Cognition and Neuroscience*, 32(4), 444–446.
- Piaget, J. (1960). *The child's conception of the world*. Littlefiel, Totowa.
- Plaut, D.C. (2002). Graded modality specific specialisation in semantics: A computational account of optic aphasia. *Cognitive Neuropsychology*, 19, 603–639.
- Pretz, J.E., Naples, A.J., Sternberg, R.J. (2003). Recognizing, defining, and representing problems. *The Psychology of problem solving*, 30(3).
- Ragni, M., Kola, I., Johnson-Laird, P.N. (2018). On selecting evidence to test hypotheses: A theory of selection tasks. *Psychological Bulletin*, 144(8), 779–796.
- Richard, J.-F., Poitrenaud, S., Tijus, C. (1993). Problem-solving restructuring: Elimination of implicit constraints. *Cognitive Science*, 17(4), 497–529.
- Riley, M.S., Greeno, J.G., Heller, J.I. (1983). Development of children's problem-solving ability in arithmetic. Dans *The development of mathematical thinking*, Ginsburg, H.P. (dir.). Academic Press, New York.
- Rips, L.J., Shoben, E.J., Smith, E.E. (1973). Semantic Distance and the Verification of Semantic Relations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 12, 1–20.
- Robins, S., Mayer, R.E. (2000). The metaphor framing effect: Metaphorical reasoning about text-based dilemmas. *Discourse Processes*, 30(1), 57–86.
- Rosch, E. (1978). Principles of Categorization. Dans *Cognition and Categorization*, Rosch, E., Lloyd, B.B. (dir.). Erlbaum, Hillsdale.
- Ross, B.H., Bradshaw, G.L. (1994). Encoding effects of reminders. *Memory & Cognition*, 22(5), 591–605.
- Sander, E. (2000). *L'analogie, du naïf au créatif*. L'Harmattan, Paris.
- Sander, E., Gros, H., Gvozdic, K., Scheibling-Sève, C. (2018). *Les Neurosciences en Éducation*. Retz, Paris.
- Simon, H.A., Newell, A. (1971). Human problem solving: The state of the theory in 1970. *American Psychologist*, 26(2), 145.
- Stenning, K., van Lambalgen, M. (2001). Semantics as a foundation for psychology: A case study of Wason's selection task. *Journal of Logic, Language and Information*, 10(3), 273–317.
- Thibodeau, P.H., Boroditsky, L. (2011). Metaphors we think with: The role of metaphor in reasoning. *PloS one*, 6(2).

- Thibodeau, P.H., Boroditsky, L. (2013). Natural language metaphors covertly influence reasoning. *PloS one*, 8(1).
- Thibodeau, P.H., Boroditsky, L. (2015). Measuring effects of metaphor in a dynamic opinion landscape. *PloS one*, 10(7).
- Thibodeau, P.H., Hendricks, R.K., Boroditsky, L. (2017). How linguistic metaphor scaffolds reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(11), 852–863.
- Thompson, V.A. (1994). Interpretational factors in conditional reasoning. *Memory & Cognition*, 22(6), 742–758.
- Thorndike, E.L. (1898). Animal intelligence: An experimental study of the associative processes in animals. *Psychological Monographs: General and Applied*, 2(4), 1–109.
- Vicente, S., Orrantia, J., Verschaffel, L. (2007). Influence of situational and conceptual rewording on word problem solving. *The British Journal of Educational Psychology*, 77, 829–848.
- Vilette, B., Fischer, J.-P., Sander, E., Sensevy, G., Quilio, S., Richard, J.-F. (2017). Peut-on améliorer l’enseignement et l’apprentissage de l’arithmétique au CP ? Le dispositif ACE. *Revue Française de Pédagogie*, 201, 105–120.
- Wason, P.C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly journal of experimental psychology*, 12(3), 129–140.
- Wason, P.C. (1968). Reasoning about a rule. *Quarterly journal of experimental psychology*, 20(3), 273–281.
- Watson, J.B. (1930). *Behaviorism*, édition révisée. University of Chicago Press, Chicago.
- Wertheimer, M. (1959). *Productive Thinking*. University of Chicago Press, Chicago.
- Yee, E., Thompson-Schill, S.L. (2016). Putting concepts into context. *Psychonomic Bulletin and Review*, 23, 1015–1027.
- Zwaan, R.A. (2016). Situation models, mental simulations, and abstract concepts in discourse comprehension. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23, 1028–1034.