

A paraître en ligne (octobre 2016) sur le site de « La Main à la Pâte » (sous la direction d'Elena Pasquinelli). Ce chapitre sera accompagné d'autres textes sur des thèmes complémentaires, portant sur les apprentissages des enfants.

<http://www.fondation-lamap.org/>

Apprendre : conceptualiser et généraliser de nouvelles notions. Quelles difficultés, parfois inattendues, surmonter ?

Jean-Pierre Thibaut

LEAD-CNRS UMR 5022 - Univ. Bourgogne Franche-Comté

Pôle AAFE – BP 26513 - 21065 Dijon Cedex - France

Résumé

Apprendre un nouveau concept, une nouvelle notion, c'est saisir, à partir d'une définition explicite et/ou d'exemples illustratifs, les dimensions importantes qui le caractérisent. C'est aussi être capable, ultérieurement, d'utiliser, de généraliser ce concept (et donc les dimensions associées) à dans de nouvelles situations, différentes de celles qui ont servi à l'apprentissage. Partant des sources de difficulté liées aux apprentissages, nous décrivons les caractéristiques que devraient posséder les exemples proposés durant l'apprentissage, les situations d'apprentissage qui promeuvent la généralisation, notamment l'utilisation de la comparaison des stimuli, les obstacles à l'apprentissage comme les conceptions préalables (parfois appelées « naïves ») des élèves.

Contact :

Courriel : jean-pierre.thibaut@u-bourgogne.fr

Internet : www.leadserv.u-bourgogne.fr/fr/membres/jean-pierre-thibaut

Préambule. Déboires de compréhension et d'incompréhension

Souvent, nos tentatives de présentation, d'explication, d'élaboration d'une notion ne rencontrent, chez nos auditeurs, que des regards effarés, des moues dépitées, des soupirs non prémédités, autant de signes de l'incompréhension du message que nous destinions à notre audience.

Comprendre, conceptualiser, utiliser les savoirs, généraliser, autant de mots, d'expressions, pour désigner ce que nous attendons des élèves, durant une leçon dont l'objet est de présenter des nouveaux savoirs, nouveaux concepts, en mathématique, en science, en grammaire.

La question centrale : apprendre et, espérons-le, généraliser les nouveaux savoirs.

« Comment faire pour que mes élèves apprennent ? »

Au quotidien, nous nous posons la question de la compréhension de ce que nous enseignons. « Comment faire pour que mes élèves apprennent ? » « Pourquoi ne comprennent-ils pas ce que je leur enseigne » ou encore « Pourquoi les élèves n'utilisent pas, n'appliquent pas les notions apprises en cours dans de nouvelles situations ? ». Ces interrogations nous ramènent toujours à deux moments de l'apprentissage, la compréhension de ce qui est enseigné durant l'apprentissage, et sa généralisation, transfert ultérieur, dans de nouvelles situations.

Le plus souvent, quelle que soit la méthode pédagogique utilisée dans une leçon, formelle ou informelle, l'enseignant vise l'apprentissage d'une nouvelle notion, ou d'une nouvelle procédure. Cet apprentissage passe par deux moments, d'abord la présentation-compréhension (par exemple, dans la classe « de quel phénomène s'agit-il » ? « comment cela fonctionne » ?), puis par la généralisation à de nouveaux contextes (plus tard, dans ou en dehors de la classe). Il faut dissocier ces deux moments car on observe de nombreux apprentissages qui ne sont pas généralisés. Par exemple, lorsque l'élève est capable de rappeler, ou de réexpliquer une notion enseignée en classe, ou est capable de reproduire une procédure apprise en classe, mais n'est pas capable de l'utiliser dans un contexte nouveau, où ces notions ou procédures auraient toute leur pertinence.

Toute situation d'apprentissage est réalisée dans un contexte particulier (une leçon avec des exemples donnés, et ou des descriptions particulières) pour établir la compréhension du contenu cible. La généralisation ou le transfert demandent un dépassement de ce contexte d'apprentissage, l'application, l'utilisation des contenus enseignés à de nouveaux contextes, donc à de nouvelles entités, objets, situations, domaines que ceux qui ont servi durant l'apprentissage. Cette généralisation est loin d'être automatique et il nous faudra expliquer les causes possibles de ces difficultés. A l'inverse, une définition générale, théorique, décontextualisée d'une notion, ou d'une procédure ne garantit pas leur utilisation dans des contextes où elles seraient appropriées.

Comment expliquer : à partir d'exemples ou à partir de descriptions abstraites ?

L'abstraction. Que serait un enseignement fondé uniquement sur des abstractions ? Il est difficile de répondre à cette question puisque l'abstraction elle-même a reçu un grand nombre de définitions. On lui associe souvent les mots « décontextualisé » ou « concept général » (comme dans « mammifère » est plus abstrait que « chien » car référant à une catégorie plus englobante). Dans la pratique d'une leçon, partir d'une abstraction signifie souvent commencer par une définition hors contexte, technique/scientifique du phénomène

que l'on veut décrire ou expliquer, comme « la commutativité est une propriété mathématique... » ou « le chien est un mammifère (canidé) carnivore aux multiples races, caractérisé par sa facilité à être domestiqué, par une course rapide, un excellent odorat et par son cri spécifique, l'aboiement » (Larousse). Pourtant, utiliser des définitions abstraites pour expliquer ou décrire sans rapidement s'appuyer sur des exemples, des illustrations dites « plus concrètes » est rare. En effet, les exemples ci-dessous le montrent, une définition abstraite est souvent fondée sur des notions conceptuellement plus complexes que celle que l'on enseigne (comme « mammifère », « race », pour expliquer la notion de « chien »). Ensuite, comme l'indique les travaux de Robert Golstone de l'université d'Indiana, et bien d'autres, lorsqu'on reçoit une description abstraite d'un phénomène, il n'est pas toujours simple de comprendre à quelles dimensions, à quel objet, elle réfère dans le monde, à quel. Notre définition de « chien » ne permettrait sans doute pas de reconnaître un chien dans le monde réel, ou de comprendre les propriétés qui sont associées à cet animal sans avoir des connaissances sophistiquées sur le monde biologique. Or, un enfant de 3 mois peut distinguer les chiens des oiseaux, ou apprendre le mot « chien » un peu plus tard, au début de sa deuxième. Pour opérer cette distinction (entre chiens et oiseaux) ou apprendre le nom, l'enfant n'est pas passé par le type de description abstraite proposée ci-dessus. Le plus souvent une description abstraite se conjugue à la présentation d'exemplaires illustrant la notion, ceci de manière plus ou moins systématique. Ce qui ouvre la question des exemples.

Dans l'apprentissage par exemple, on présente un ou plusieurs exemples pour illustrer le concept cible, une procédure, une situation de résolution. L'apprentissage de concepts à partir d'exemples a généré un nombre important de recherches en psychologie et sciences de l'éducation.

Apprendre à partir d'exemplaires pose la question du type d'exemplaires utilisés, de leur nature pour permettre la compréhension et la généralisation, leur nombre, l'ordre dans lequel les présenter, des questions qui sont tout sauf triviales, comme nous le verrons par la suite. Fondamentalement, dans cette situation, on part d'un ensemble limité d'exemplaires servant de support et à partir desquels le sujet doit abstraire des propriétés, une notion, ou une procédure qui soient généralisables à de nouveaux exemplaires, de nouvelles situations, de nouveaux problèmes, jamais rencontrés auparavant.

Un obstacle majeur à leur utilisation est que des propriétés saillantes, visibles, faciles à appréhender des exemplaires d'apprentissage n'ont pas de valeur pour le concept à construire. Il faut donc souvent aller au-delà des propriétés immédiates de ces exemplaires pour construire un concept, notamment lorsque les notions enseignées se définissent par des relations entre les objets plutôt que par les propriétés des objets elles-mêmes (par exemple, « être le petit de », ou « être le voisin de » sont des relations qui peuvent s'appliquer à des objets de domaines très variés). Nous allons maintenant examiner l'apprentissage par exemplaire plus en détail. Pour notre propos, les expériences comparent souvent plusieurs conditions d'apprentissage, comparaison dont l'objectif est de montrer celles qui sont les plus propices à l'apprentissage. On pourra en tirer quelques leçons, prudentes, pour l'apprentissage dans la classe.

Quels exemples donner lors de l'apprentissage pour assurer la compréhension ?

De nombreuses études portant sur l'apprentissage conceptuel permettent de faire des suggestions concernant ce choix. La notion d'exemplaire « prototype » ou « représentatif » prend ici tout son sens. Depuis les années 70, un grand nombre de travaux suggèrent que les catégories sont organisées autour d'exemplaires prototypes. Par définition, un prototype

d'une catégorie est un exemplaire très représentatif de celle-ci. La pomme, par exemple, est un prototype de la catégorie des fruits, contrairement à la figue. Ainsi, la plupart des catégories seraient organisées autour d'un ou de plusieurs prototypes qui serai(en)t une sorte de résumé de celle-ci.

Dans le cadre de l'apprentissage conceptuel, cette organisation n'est pas sans conséquence. En effet des travaux ont montré que l'apprentissage conceptuel réalisé avec des exemplaires parmi les plus représentatifs d'une catégorie est plus efficace (plus rapide et avec une meilleure généralisation notamment) que le même apprentissage réalisé avec des items non représentatifs de la catégorie (non prototypes). On le montre dans une phase de test, en présentant de *nouveaux* exemplaires des catégories apprises qui alors sont mieux classés par les participants à qui on a présenté des items prototypes que ceux qui ont réalisé cet apprentissage dans la condition « items moins représentatifs ». Selon les chercheurs, les items "prototypes" constitueraient une meilleure base de généralisation car ils résument mieux leur catégorie respective que les items moins représentatifs.

Puisque les catégories comprennent des items représentatifs et d'autres moins représentatifs, on peut se demander si *présenter uniquement des items prototypes durant l'apprentissage est plus efficace que des prototypes et des moins représentatifs*. Le second cas, le mélange, pourrait se justifier car il représente mieux la diversité des situations trouvées dans le monde. Des recherches ont comparé l'efficacité de ces deux conditions, des items représentatifs et non représentatifs durant l'apprentissage, ou uniquement des items représentatifs. L'apprentissage se révèle meilleur lorsqu'il est réalisé avec les seuls items représentatifs. Ce résultat, *a priori* paradoxal, s'explique si l'on comprend que dans un apprentissage avec des stimuli représentatifs et non représentatifs, les caractéristiques centrales apparaissent moins clairement que dans l'apprentissage restreint aux prototypes. En effet, les items peu représentatifs d'une catégorie possèdent peu de traits communs avec les membres de leur catégorie et plus de traits communs avec les autres catégories. Comme l'a suggéré Rosch, durant les années 70, les items peu représentatifs sont moins distincts des autres catégories que les prototypes qui possèdent plus de traits communs avec un grand nombre d'items de leur catégorie et peu de traits communs avec les catégories proches. Comme ces items peu représentatifs comportent plus de propriétés qui discriminent peu les catégories que l'apprentissage vise à contraster, ces propriétés peu discriminatives constituent un bruit de fond qui occulte les dimensions pertinentes. En effet, dans d'autres situations de compréhension conceptuelle, il a été montré que les enfants découvrent plus difficilement les dimensions pertinentes d'une catégorie ou les relations communes à deux situations lorsque des propriétés non pertinentes sont ajoutées dans les stimuli.

Les domaines de connaissances, spécifiques ou généraux

Toute entité du monde réel, ou même sans support matériel, peut être classée à plusieurs niveaux d'une hiérarchie de catégories. Soit une Renault Mégane. Elle peut être catégorisée parmi les Renault Mégane, les Renault, les automobiles, les moyens de transport, les objets matériels. Les critères ou traits associés à chaque niveau de cette hiérarchie sont différents car les distinctions à réaliser à chaque niveau diffèrent elles aussi. Par exemple, la Renault se distingue d'autres voitures (Peugeot, Toyota) sur base d'un ensemble de traits (forme, constructeur). De la même façon, en tant qu'automobile elle se distingue des catégories proches, camions et motos, sur la base d'autres traits, comme

moyen de transport, elle se distingue d'autres catégories (d'autres objets manufacturés) sur la base d'autres traits encore. A la fin des années 70, Rosch et collaborateurs ont suggéré l'existence d'une hiérarchie des catégories psychologiques fondée sur trois niveaux appelés, du plus spécifique au plus général, niveau subordonné, niveau de base et niveau superordonnant. Cette description s'est révélée d'une exceptionnelle fécondité pour décrire la manière dont les gens classent les objets *ou apprennent* à les classer. Une propriété importante de cette hiérarchie est que les niveaux inférieurs héritent des propriétés des niveaux supérieurs. Par exemple, puisque la catégorie des oiseaux est incluse dans celle des animaux, ce qui est vrai des animaux devrait valoir pour les oiseaux. Cette propriété d'héritage est fondamentale pour l'organisation et l'apprentissage conceptuel puisqu'elle sous-tend les inférences que l'on peut tirer à propos d'une entité sachant à quelle(s) catégorie(s) elle appartient. Si quelqu'un appelle telle entité "chien", il est probable que cette "entité" a quatre pattes, qu'elle aboie, propriétés associées au chien, mais également qu'elle est composée de cellules, qu'elle se reproduit, bouge, etc., propriétés associées à son statut d'animal (Cordier, 1993). De la même manière, si je dis que j'ai vu un « dax », entité que mon interlocuteur ne connaît pas en lui disant qu'il s'agit d'un animal, il en déduira qu'il est vivant, fait de cellule, se nourrit, etc., propriétés associées au niveau de classification d'animal. Ainsi à mesure que l'on apprend à quel niveau de classification une entité du monde appartient, les propriétés associées à ce niveau peuvent être associées à l'entité en question (si le « dax » est un reptile, il possède de facto les propriétés de ce niveau). Ceci permet d'utiliser la catégorisation comme d'un moyen d'apprentissage du monde extrêmement puissant.

Les travaux ont montré que le niveau de base est le niveau de référence par rapport auquel se construisent les autres niveaux. Les objets sont d'abord identifiés au niveau de base (Rosch et al., 1976) avant de l'être aux autres niveaux : le temps nécessaire pour décider qu'une entité est une pomme est plus court que le temps nécessaire pour la classer comme une pomme Golden ou un fruit. En termes de développement conceptuel, les enfants apprennent à catégoriser au niveau de base avant de maîtriser les deux autres niveaux. Le jeune enfant apprend le mot "chien" avant d'apprendre "basset" ou "animal" ou "mammifère".

En conclusion, les résultats semblent indiquer que les enfants apprennent à classer au niveau de base avant de classer aux deux autres niveaux. Cependant, dans les expériences d'apprentissage réalisées, on présente généralement des stimuli qui se différencient uniquement en termes de leurs caractéristiques visuelles, notamment leur forme générale et celle de leurs attributs. Dans la réalité, les descripteurs qui définissent les catégories proviennent également d'autres sources. La fonction, le ou les contexte(s) dans le(s)quel(s) apparaissent généralement chacune des entités, des propriétés moins visibles (internes, sonores) contribuent aux représentations construites par les enfants durant le développement des concepts.

*Comment faire saisir, comprendre les aspects importants d'une notion, d'une procédure?
Le rôle de la comparaison des stimuli.*

Nous avons dit que dans la plupart des situations d'apprentissage, un ou plusieurs exemplaires sont présentés pour expliquer ou illustrer la notion à apprendre. Outre la question « **quels** **exemplaire(s)** » présenter pour illustrer et faire comprendre, se pose la question « **comment les présenter** ». Illustrons par des exemples (sic) les situations

fréquemment rencontrées. Au plus simple, les imagiers utilisés par les parents ne présentent souvent qu'un seul exemplaire de la catégorie à apprendre, « une girafe », « une casserole », présentés pour construire les concepts de girafe ou de casserole. Ou bien, à l'inverse, on trouve des planches, des images, avec de nombreux stimuli, par exemple, « les mammifères » ou « les ustensiles de cuisine ». Contrairement à ce qu'on pourrait penser, le type de présentation utilisé, un seul exemplaire, plusieurs exemplaires, a une incidence sur l'apprentissage.

De très nombreuses expériences montrent que les situations de comparaison sont plus propices à la découverte des dimensions importantes pour un concept (par exemple, le concept de chien, ou de mammifère) que des situations dans lesquelles un seul exemplaire est proposé. On y présente deux ou plusieurs exemplaires de la situation en les présentant explicitement comme des membres de cette catégorie. Les résultats indiquent que ces situations conduisent à des performances supérieures, notamment, dans l'identification de nouveaux exemplaires que des situations dans lesquelles on présente un seul exemplaire (comme c'est le cas dans les imagiers évoqués ci-dessus). Pourquoi ? Comme l'indique Dedre Gentner, de l'université de Northwestern, une situation avec plusieurs stimuli inviterait les personnes à comparer les stimuli, ce qui leur permettrait de découvrir des similitudes profondes, au-delà des similitudes de surface que pourraient partager les exemplaires. Dans la situation avec un seul exemplaire, rien ne permet de décider si certaines propriétés sont plus importantes que d'autres, et ce sont les propriétés les plus saillantes qui attirent l'attention, même s'il s'avère qu'elles n'ont aucune valeur conceptuelle (par exemple, tous les stimuli visuels ont une couleur, propriété saillante, mais en général la couleur n'est pas une propriété diagnostique).

De quelle situation de comparaison s'agit-il ? Ces situations de comparaison ont montré leur efficacité chez les jeunes enfants, mais aussi chez les adultes, par exemple en médecine où elles permettent l'apprentissage de distinctions importantes (par exemple, entre un organe sain et une tumeur) ? Pour répondre à la question que nous venons de poser, il semble que ***les situations de présentation simultanée des stimuli soient plus propices à l'apprentissage que les situations où les stimuli sont présentés successivement dans une séquence temporelle.*** Même s'il n'y a pas beaucoup de recherches sur ce thème, cette différence s'explique facilement par l'encodage du stimulus. Dans une présentation séquentielle, le premier stimulus est analysé, encodé, et stocké en mémoire. Lorsqu'un second stimulus, une seconde situation, exemple, apparaît, il ou elle ne peut être comparé qu'à la trace encodée du précédent. Si les dimensions cible, importantes ou définitives, ne sont pas très saillantes, la probabilité qu'elles soient spontanément encodées est faible et, ainsi, la probabilité qu'elles puissent être considérées lors de la comparaison avec le nouveau stimulus est elle aussi faible. Par contre, dans une situation de comparaison simultanée, la comparaison permet l'analyse des stimuli, simultanée, le passage immédiat, de l'un à l'autre, le retour de l'un à l'autre qui augmente la probabilité qu'une dimension peu saillante soit découverte.

Est-ce à dire que l'on a intérêt à augmenter le nombre d'items à comparer. Pas toujours ? Un plus grand nombre de stimuli disponibles augmente le nombre de comparaisons et donc les coûts cognitifs de la tâche. Des travaux récents réalisés dans notre laboratoire l'illustrent. Dans un cas, si l'augmentation du nombre des stimuli présentés a mené à de meilleurs résultats chez des enfants de 6 ans, elle ne profitait pas aux enfants de 4 ans dont les scores n'augmentaient plus lorsqu'on augmentait le nombre de stimuli. Dans une autre expérience, les performances d'apprentissage et de

généralisation d'un nouveau concept augmentaient avec le nombre de stimuli présenté puis diminuaient au-delà d'un certain nombre d'exemplaires illustrant la notion.

Ces résultats suggèrent que des situations trouvées dans la plupart des manuels scolaires ne sont pas nécessairement les plus propices à la conceptualisation ou qu'augmenter le nombre de stimuli proposés ne conduit pas toujours aux meilleures performances. La complexité de la situation doit être adaptée aux capacités cognitives des enfants, donc à leur âge, mais aussi à l'expertise des participants. L'encodage des stimuli, des situations est plus difficile, fastidieux, lorsqu'on est un novice d'un domaine plutôt qu'un expert. Il n'y a pas de nombre magique optimal dans toutes situations pour chaque âge. Il faut être attentif à ces dimensions de l'apprentissage, souvent ignorées, afin de construire les situations d'apprentissage en les intégrant.

Des exemples venus de la même catégorie ou des exemples venus d'autres catégories proches ? Lorsqu'on présente des exemples pour illustrer une notion, une catégorie de phénomènes à conceptualiser, on a le choix entre deux types d'exemples ; les exemples de même catégorie et ceux d'autres catégories. Par exemple, pour apprendre ce qu'est la catégorie des hippopotames, ou enseigner ce qu'est telle tumeur du poumon, on peut présenter plusieurs exemplaires d'hippopotames à comparer ou plusieurs exemplaires de la même tumeur. L'objectif est de faire ressortir des similitudes entre les exemples. Une autre façon de procéder est de proposer des exemplaires appartenant à des catégories différentes, par exemple, une tumeur dans un organe opposée à un tissu sain du même organe, en radiologie ou un hippopotame opposé à un rhinocéros.



Figure 1 : trois canards et une mouette. Sur la base de similitudes perceptives, on pourrait penser que le 2 est différent des autres. Dans une situation de comparaison, on apprendra que 2, 3 et 4 appartiennent à la même catégorie (canards) et 1 à la catégorie des mouettes. De là, on pourra insister sur ce qui unifie les premiers et les distingue du

La logique de comparaison est de faire ressortir les spécificités à partir de dimensions qui contrastent les catégories (voir Figure1). Ces situations ne donnent pas les mêmes informations et ne mènent pas aux mêmes conclusions. Elles sont complémentaires. Par exemple, présenter plusieurs poumons sains donne des informations sur la nature d'un tissu de poumon sain. On notera cependant qu'un poumon sain et un poumon avec une tumeur ont de nombreuses caractéristiques en commun. Dans ce cas, contraster des exemplaires de ces deux catégories différentes sera utile. L'apprentissage par contraste n'apporte pas toutes les informations importantes non plus. Opposer une pomme à une banane donne des informations sur chacune mais ne permet pas de saisir la nature des

différences. En effet, les caractéristiques qui les distinguent peuvent être non pertinentes. L'utilisation qu'on en fait dépend des régularités, des dimensions, aspects des phénomènes étudiés que l'on veut faire ressortir et de leur généralité. Par exemple, opposer un chien et un chat fait ressortir entre ces entités ne sont pas les mêmes que celles qui ressortiront lorsque l'on compare un basset et un berger allemand, ou lorsqu'on compare un chien à un lézard. Complémentairement, une juxtaposition de tous les chiens du monde ne permettra pas de caractériser cet animal puisqu'il possède un nombre important de propriétés communes avec de nombreuses autres espèces. Il n'y a donc pas de recette miracle sur l'utilisation des exemplaires. Ceux-ci doivent être choisis en fonction des similitudes et des différences que l'on veut souligner. Par exemple, pour faire comprendre ce qu'est un chien et bien délimiter la catégorie qu'il recouvre, on utilisera des chiens et d'autres animaux avec lesquels on pourrait le confondre. Si on veut faire comprendre ce qu'est un mammifère, le chien sera opposé à d'autres types d'animaux. Une consultation de manuels de science montrera rapidement que les choix n'obéissent souvent à aucune logique identifiable ou, à tout le moins, que l'analyse de la situation enseignée est restée assez sommaire.

Du point de vue développemental qui est le nôtre, cette question du type d'exemplaires à utiliser n'est pas anodine. L'information donnée par un exemplaire interagit avec les connaissances des individus. Le nombre de stimuli présentés peut avoir une incidence sur leur utilisation (voir ci-dessus). Le type de stimuli aussi. Dans une expérience de catégorisation, une présentation simultanée d'exemplaires de la même catégorie (i.e., « tous ceux-ci sont des X ») et d'un exemplaire n'appartenant pas à la même catégorie, donc un exemplaire d'une catégorie contrastive (« celui-ci est un X et celui-ci est un Y ») avait tendance à affecter la performance des jeunes enfants négativement alors qu'elle tendait à aider les enfants plus âgés. Les difficultés des jeunes enfants pourraient résulter du statut hybride des similitudes, interprétées comme définitoire dans le cas des items de la même catégorie, et comme « à négliger » pour les items de contraste. Les similitudes ont donc un statut contradictoires, certaines sont à conserver comme support permettant l'unification des catégories, d'autres sont à négliger activement, car ne permettant pas de distinguer des stimuli qui doivent l'être.

Les dangers des exemplaires ou pourquoi une expérience particulière n'est pas toujours la mère de la science.

Si les exemplaires sont un fondement de l'apprentissage conceptuel, leur choix va orienter les concepts formés et la manière de les utiliser. Des expériences récentes montrent que les choix de ces exemples peuvent créer des biais dans la manière d'utiliser les notions. Les ouvrages scolaires eux-mêmes participent à la construction de ces biais de résolution par les exemples qu'ils proposent et, de manière plus pernicieuse, par les objets mis en scène dans ces problèmes. En analysant les manuels scolaires de mathématique destinés aux enfants, Bassok, et ses collègues de l'université de Washington ont découvert que chacune des 4 opérations mathématiques est systématiquement associée à certains types d'objets. Dans 97% des problèmes à résoudre par addition, les objets additionnés appartenaient à des catégories de même niveau de catégorisation (e.g., des pommes et des poires, ou des billes rouges et noires, jamais des pommes et des paniers) alors que 94% des problèmes demandant une division utilisaient des objets reliés fonctionnellement (e.g., des pommes et des paniers et non des pommes et des poires). De manière analogue, lorsqu'ils demandaient à des adultes de construire des problèmes arithmétiques autour des quatre opérations, ces auteurs ont découvert que la majorité d'entre eux les construisaient autour des catégories associées à chacune des opérations dans les ouvrages (addition et soustraction, pour des objets de même niveau de catégorisation ou

proches ; multiplication ou division pour des objets reliés fonctionnellement). Or, il est tout à fait possible d'additionner des pommes et des paniers ou inscrire des billes rouges et des billes vertes dans un problème de multiplication, par exemple. Plus, lorsqu'un problème ne respecte pas les associations habituelles, il en devient plus difficile à résoudre que les problèmes qui les respectent. Dans cette logique de réflexion, il a été montré que l'apprentissage et l'utilisation ultérieure d'algorithmes mathématiques est elle aussi contaminée par les connaissances des sujets sur le monde. Bassok et collaborateurs ont d'abord enseigné un algorithme à des adultes (une formule pour résoudre des problèmes de probabilité). L'apprentissage était plus efficace lorsque les relations entre les objets présentés dans les problèmes respectaient les relations entre ceux dans le monde. Par exemple, si le problème était défini autour de secrétaires et d'ordinateurs, l'apprentissage était plus efficace si les participants devaient apprendre la probabilité qu'un certain nombre d'ordinateurs soient attribués à des secrétaires plutôt que l'inverse (des secrétaires soient attribuées à des ordinateurs). Au test, avec de nouveaux problèmes, la généralisation était plus efficace si l'apprentissage réalisé sur une configuration d'objets correspondant aux connaissances sur le monde (donc probabilité que les ordinateurs soient attribués aux secrétaires) était ensuite généralisé à de nouveaux problèmes compatibles avec ces connaissances sur le monde (par exemple, la probabilité qu'un prix soit attribué à des candidats) plutôt que l'inverse (probabilité que les candidats soient destinés à un prix), avec une chute des performances de 80% à 20% environ. Cette différence, dramatique, nous dit que les connaissances du monde activées durant l'apprentissage et le test interagissent avec l'utilisation que nous faisons des algorithmes mathématiques à notre disposition pour la résolution. On en conclura que les exemples utilisés durant l'apprentissage sont loin d'être neutres.

Les conceptions intuitives et leur rôle sur les apprentissages ou pourquoi ce que je pense est un obstacle à ma compréhension.

Il est rare que l'apprenant ne possède aucune connaissance sur les phénomènes étudiés, acquise dans le contexte d'autres leçons, ou par des expériences personnelles, ou par généralisation de l'une ou l'autre des informations acquises par ces deux sources. On les appelle souvent « connaissances préalables », qu'elles soient erronées ou non. Nous ne les discuterons pas ici. Par contre, nous évoquerons une notion proche, celle de théorie intuitive. Elle réfère aux préconceptions, aux théories implicites, que chacun possède sur un domaine particulier. Il ne s'agit pas de faits connus préalablement mais d'explications construites sur le domaine en question, qu'elles soient dérivées de théories ou d'observations antérieures. Par exemple, dans une recherche, on montrait un dessin du corps humain à des enfants de 4 à 8 ans et leur demandait de dessiner la trajectoire des aliments dans le corps. Une proportion non négligeable d'enfants de 4-5 ans indiquaient une trajectoire verticale, vers les pieds, en expliquant que « en marchant les aliments tombent dans les pieds ». Ce type de réponse ne peut ni résulter d'observations préalables ou d'un enseignement, mais dérive sans doute des autres conceptions des enfants à savoir « que les corps qui tombent suivent une trajectoire verticale ». Elle présuppose aussi que les enfants conçoivent les parties du corps comme des cavités (sur le modèle de l'estomac). Dépasser ce type de réponse suppose que l'enfant renonce à cette métaphore du corps comme « cavités » ou, selon l'auteur de la recherche, que l'enfant ait une intuition de la notion de digestion, de la « désintégration des aliments » ou de leur absorption à travers les parois des organes. Ces observations montrent que les faits auxquels nous sommes confrontés peuvent recevoir des interprétations diverses en fonction des connaissances utilisées pour leur donner sens, qui peuvent nous conduire à des erreurs dans la résolution de problèmes. Par exemple, l'auteur des présentes lignes pose

régulièrement aux étudiants de psychologie la question suivante « si une voiture roule autour d'une piste ronde, la porte extérieure se déplace-t-elle à la même vitesse que la porte intérieure ou non ? », en demandant une justification. Un pourcentage important d'étudiants répondent « même vitesse » (réponse erronée) mais comprennent la bonne réponse lorsque je leur donne une justification théorique. L'erreur résulte, très probablement, de l'intuition forte que toutes les parties d'un objet solide et rigide devraient se déplacer à la même vitesse. Une fois replacé dans le contexte des lois de la physique appropriée, l'explication proposée est comprise.

En va-t-il toujours ainsi ? De nombreux travaux sur l'apprentissage conceptuel, notamment ceux de Gregory Murphy de l'université de New York, montrent que si l'on propose une théorie qui donne du sens aux propriétés des objets, des phénomènes, que l'on doit unifier dans un concept, cette unification est rendue plus simple que là où aucune théorie n'est disponible, à condition que la théorie donne du sens à ces propriétés. Dans le cas inverse, une théorie qui ne donne aucun sens aux propriétés interfère avec la conceptualisation, l'unification des propriétés, situation qui se révèle plus délétère même que l'absence de théorie. Sur ce thème existe un nombre important de recherches que l'on ne peut résumer ici. Elles montrent que l'apprentissage de nouvelles notions dépend largement des théories disponibles. Plus, ces nouvelles théories interagissent avec les conceptions intuitives préalables des sujets, soit pour les remplacer, soit pour s'incorporer à elles. On gardera à l'esprit que ces théories intuitives préexistantes, lorsqu'elles sont fausses, ne sont pas toujours remplacées par les nouvelles théories. Souvent, les contradictions ne sont pas résolues et les sujets peuvent préférer les anciennes théories explicatives, notamment lorsque les nouveaux faits auxquels les appliquer sont très éloignés des contextes dans lesquels les nouvelles théories ont été construites, phénomène proche de celui que nous avons rencontré plus tôt pour la généralisation. Ces théories intuitives sont difficiles à décrire mais il y a tout intérêt à en rechercher l'existence avant la présentation des nouvelles, ou à demander aux élèves, participants, de justifier leur choix lorsque les explications qu'ils produisent n'ont pas de sens dans le contexte des notions enseignées. Quoi qu'il en soit, penser que les nouvelles théories vont remplacer les conceptions fausses, comme par enchantement, serait naïf et présomptueux.

D'un monde à l'autre ou comment favoriser la généralisation à d'autres domaines ?

Plusieurs techniques d'apprentissage permettent de favoriser le transfert à des items différents de ceux de l'apprentissage. La technique dite de l'alignement progressif a été popularisée par Dedre Gentner de l'Université de Northwestern. Elle repose sur une comparaison de stimuli assez proches perceptivement et porteur de la dimension cible, conceptuellement pertinente, qui elle n'est pas facilement perceptible, qui est l'objet de l'apprentissage, en passant progressivement à des stimuli toujours porteurs de cette régularité mais perceptivement très différents. Par exemple, si l'on veut que les sujets abstraient la notion de symétrie, présenter un seul stimulus porteur de cette dimension ne permettra pas cette abstraction car la plupart des sujets la négligeront au profit de propriétés plus saillantes du stimulus, par exemple, la forme du stimulus, sa couleur. Présenter deux stimuli porteurs de cette dimension augmente la probabilité de sa perception, ceci d'autant plus qu'elle est présentée dans le contexte de stimuli construits autour de formes semblables (par exemple, la relation « symétrique » peut être représentée par trois formes, la 1^{ère} et la 3^{ème} petites et de même taille et celle du milieu de plus grande taille, un stimulus fait de carrés composé sur ce modèle et un second fait de triangles lui

aussi construit sur le même modèle). Passer de stimuli de ce type (i.e., plusieurs exemplaires porteurs de la même dimension « symétrie » construits à partir d'autres formes) permettra une détection plus simple de cette relation de symétrie instanciée perceptivement d'une toute autre manière (par exemple, trois formes, celle du centre d'une autre teinte que les deux qui l'entourent elles-mêmes de la même teinte) que si ces derniers stimuli ne sont pas précédés par l'apprentissage sur les premiers exemplaires. Ceux-ci sont d'abord comparés les uns aux autres. Comme les différentes dimensions qui les composent sont assez proches d'un stimulus à l'autre, les représentations de ces stimuli peuvent être alignées (en d'autres termes les éléments qui ont le même rôle dans les différents stimuli peuvent être mis en correspondance) ce qui rend la relation commune (la symétrie) plus saillante. A mesure qu'un plus grand nombre de stimuli sont comparés, la relation cible est progressivement décontextualisée des stimuli d'apprentissage. Cette représentation moins contextualisée permet la découverte de la relation cible lorsque celle-ci est présentée dans un contexte de stimuli perceptivement très différents des premiers stimuli.

Obstacles à la généralisation ? Ou « pourquoi les élèves n'utilisent-ils pas les notions que je leur apprends en cours » ?

Les dimensions de l'apprentissage et les obstacles à la généralisation (proximité des exemplaires, contextuelle, spatio-temporelle, les autres codages possibles du problème – notion de force et d'énergie.

Tout apprentissage est réalisé à un moment donné, dans un contexte donné (à l'école pour les apprentissages scolaires), illustrés par des exemples particuliers (ou en l'absence de tout exemple). Transférer les nouvelles connaissances signifie les appliquer, les utiliser pour des contenus, des contextes différents de ceux présents à l'apprentissage. Par exemple, tel algorithme mathématique, telle stratégie de mémorisation, ou tel concept de physique, devront être appliqués dans des situations, problèmes, entités différents de ceux qui ont prévalu à l'apprentissage.

De nombreux facteurs influencent négativement un transfert adéquat, que l'on peut décrire en termes de similitudes entre la situation d'apprentissage et celle de transfert. Il nous manque une métrique pour mesurer la similitude entre ces deux situations, par définition, très multidimensionnelles. On peut cependant mentionner quelques dimensions contribuant à cette distance entre situation d'apprentissage et de transfert et à la facilité/difficulté du transfert dans d'autres domaines.

Caractériser la difficulté à généraliser pour un apprenant: aucune situation ne nous dit a priori si un principe, une procédure apprise dans un domaine particulier, s'applique ou non dans d'autres situations, avec d'autres objets et lesquels. Deux erreurs guettent : la *sous-généralisation*, ou comment ne pas voir qu'une connaissance apprise dans un domaine particulier s'applique aussi dans un autre domaine (par exemple, j'apprends que les mammifères ont un estomac et digèrent, je dois le transférer à d'autres animaux comme les oiseaux ou les reptiles ; la loi commutative qui s'applique à n'importe quelle addition de nombre s'applique aussi à la multiplication). A l'autre extrémité, la *surgénéralisation*, ou ne pas comprendre que ce qui est vrai dans un domaine donné ne vaut pas dans d'autres domaines (par exemple, la présence d'un estomac ne s'applique pas aux végétaux ; la loi commutative ne s'applique pas à la soustraction ou la division).

Quels freins à la généralisation ? Nous l'avons dit, à moins de partir de définitions abstraites souvent inutilisables dans la réalité, l'apprentissage est réalisé dans un domaine particulier, illustrés ou à partir d'exemples particuliers. Quels paramètres contribuent à la distance entre la ou les situations/exemples d'apprentissage et les situations de transfert auxquelles ils peuvent s'appliquer. La proximité des domaines de connaissance en est un. Transférer une propriété biologique du chien au chat est plus immédiat que du premier au lombric voire au chêne, ou du monde biologique au monde économique, le cas échéant.

Nous l'avons vu, tout apprentissage se réalise dans un contexte particulier, est d'abord appliqué à un domaine particulier, est scénarisé d'une certaine manière (c'est-à-dire « comment on raconte la notion, les objets, entités, événements dans lesquels la notion à apprendre est mise en scène), par l'intermédiaire d'un certain type de problème. Il est présenté avec un matériel donné comme support pédagogique ou comme illustration du champ auquel s'applique les notions enseignées, des procédures particulières. Quel rôle jouent toutes ces caractéristiques de la situation d'apprentissage ? Les recherches ont montré que plus le nombre de caractéristiques partagées par la situation d'apprentissage (objets, entités, scénario, etc.) et la situation de transfert sont nombreuses, plus la probabilité de retrouver des informations associées à la situation d'apprentissage est importante et donc le transfert probable. Les caractéristiques (traits) communs aux deux situations (apprentissage et généralisation) servent alors d'indices de rappel de la situation d'apprentissage. Une fois la situation d'apprentissage récupérée en mémoire, les informations qui lui sont associées peuvent être utilisées dans la situation de transfert, notamment les procédures de résolution de problème s'il s'agit d'un problème à résoudre (par exemple, transférer une procédure de calcul apprise à de nouveaux types de problèmes). On aura compris que, moins nombreuses sont les caractéristiques communes entre l'apprentissage et le test, moins probable sera la récupération des informations apprises et donc moins probable l'utilisation des informations apprises. Ce qui est une partie de la réponse à la question de « *pourquoi les élèves n'utilisent pas ce que je leur enseigne* ».

De la même manière et pour les mêmes raisons, plus la similarité entre les contextes d'apprentissage et de transfert est importante plus le transfert est probable. Par contexte, il faut entendre, le contexte social ou le contexte physique. Par exemple, il est plus facile de transférer une notion apprise en classe dans une autre situation proposée en classe que dans un tout autre contexte, comme une situation à la maison, ou lors d'une sortie scolaire (ce qui explique aussi pourquoi « *les élèves n'appliquent pas ce qu'on leur apprend en classe dans la vie quotidienne* »). Ces effets de similarités mériteraient donc d'être mieux étudiés expérimentalement.

L'intervalle temporel entre l'apprentissage et le transfert, quelques minutes ou de nombreuses années, pourrait lui aussi affecter le transfert des connaissances, comme le suggèrent les recherches sur la mémoire montrant que l'augmentation du délai diminue le rappel ou la reconnaissance d'événements antérieurs. Malgré la rareté des recherches sur ce thème, on peut faire l'hypothèse que si le transfert est très éloigné de l'apprentissage, dans le temps, la probabilité d'accéder à une trace ancienne –les notions et procédures apprises lors de l'apprentissage – diminue particulièrement si elles n'ont pas été utilisées entretemps, et donc réactivées (de nombreux faits et raisons pourraient être cités à l'appui de cette hypothèse, mais la place manque ici pour en discuter). Ceci explique en partie une observation fréquente faite par les enseignants, de la faible utilisation des notions enseignées les années académiques précédentes (d'autres raisons à cette absence d'utilisation existent).

Je pourrais aussi développer la question de comment augmenter la probabilité d'un bon encodage et de bien généraliser en résolution de problème. Je n'ai pas non plus abordé la question de la déficience mentale. C'est faisable

Conclusions – résumé

Les apprentissages sont presque toujours réalisés dans des contextes particuliers, avec un nombre d'exemplaires limités. Le choix raisonné de ceux-ci, comme illustration, est très important

L'utilisation d'exemples représentatifs des notions, concepts favorisent l'apprentissage de ceux-ci.

La généralisation est plus difficile lorsque les situations de transfert sont plus éloignées des situations d'apprentissage, contextuellement, temporellement et par les stimuli définissant ces situations

La comparaison de plusieurs exemples (en veillant au nombre d'exemplaires) présentés simultanément mène souvent à une meilleure saisie des notions centrales du domaine enseigné qu'une présentation d'un seul stimulus.

La généralisation d'un apprentissage à de nouveaux domaines peut être obtenue en partant de situations homogènes puis en élargissant progressivement le type de situations auxquelles les concepts appris s'appliquent.

Nos conceptions intuitives peuvent être des obstacles à la compréhension ou l'utilisation de nouvelles notions, nouvelles théories. Rechercher ces conceptions est donc important pour bien motiver une séquence d'apprentissage.

Bibliographie :

Bonthoux, F., Berger, C., & Blaye, A. (2004). *Naissance et développement des concepts chez l'enfant: Categoriser pour comprendre*. Paris, Dunod.

Thibaut, J. P. (1999). Développement conceptuel. In J.A. Rondal et E. Esperet (eds.) *Manuel de psychologie de l'enfant*, 343-384. Hayen, Pierre Mardaga, Hayen.

On trouvera aussi de nombreuses informations sur le développement conceptuel dans A. Blaye et P. Lemaire (eds.) (2007) *Psychologie du développement cognitif de l'enfant*. Bruxelles, De Boeck.

Références en anglais.

Carey, S. (2009) *The origin of concepts*. Oxford, Oxford University Press. Une magistrale synthèse théorique (un peu difficile d'accès toutefois)

Goswami, U. (Ed.). (2011). *Blackwell handbook of childhood cognitive development*. John Wiley & Sons. Des chapitres de synthèse variés sur différents thèmes du développement conceptuel.

Augier, L., & Thibaut, J. P. (2013). The benefits and costs of comparisons in a novel object categorization task: interactions with development. *Psychonomic bulletin & review*, 20(6), 1126-1132.

Thibaut, J. P., & Witt, A. (2015). Young children's learning of relational categories: multiple comparisons and their cognitive constraints. *Frontiers in psychology*, 6.

Gentner, D., & Namy, L. L. (1999). Comparison in the development of categories. *Cognitive development*, 14(4), 487-513.

Gentner, D., Loewenstein, J., & Thompson, L. (2003). Learning and transfer: A general role for analogical encoding. *Journal of Educational Psychology*, 95(2), 393.

Remerciements : l'auteur remercie Elena Pasquinelli de la Fondation La Main à la Pâte ainsi qu'Arnaud Witt pour leur relecture du manuscrit. Il remercie également le conseil Régional de Bourgogne (programme Pari) et le Feder pour leur soutien financier.