

**Cahiers du laboratoire de didactique
André Revuz
n°13
Mai 2015**

**Didactique et cognition.
De Vygotsky à Dehaene...?**

Par Janine Rogalski

ISSN : 2105-5203

Didactique et cognition – De Vygotsky à Dehaene...?

Janine Rogalski

DR CNRS honoraire, Laboratoire de Didactique André Revuz, Université Paris-Diderot
rogalski.muret@gmail.com

1. Introduction

La présentation¹ des relations entre cognition et didactique visait d'abord à éclairer les didacticiens sur les approches de la "cognition" (les activités mentales, au sens large) : la partie "cognition" est donc très développée, tandis que la partie "didactique" est considérée comme allant de soi (et renvoyant à la diversité existante des cadres). Les questions visées étaient en particulier : quelles sont les bases cérébrales de la cognition, en relation avec des problèmes pertinents pour la didactique des mathématiques ? quelles sont les relations entre structure et fonctionnement cérébral ? quel est le fonctionnement cognitif dans des activités considérées comme « génériques » ? Quelle en est la pertinence pour la didactique ? Quelles sont les représentations et le fonctionnement cognitif dans des domaines de connaissance ou de travail déjà organisés ? Comment fonctionnent - du point de vue des "approches cognitives" l'apprentissage et les interventions didactiques sur des contenus de savoir ? Je discuterai des potentialités et des dangers de la centration sur – sinon de la réduction à – des approches « neuro » du point de vue de la didactique (des mathématiques et des sciences, et plus généralement).

Pour les aborder, je vais faire ici un tour d'horizon sur les liens entre didactique des disciplines scientifiques et recherches sur la cognition, plus particulièrement en psychologie – et plus largement en sciences cognitives. Le titre retenu est une provocation, car entre Vygotsky et Dehaene il y a une contradiction majeure dans la perspective adoptée. Les points d'interrogation recouvrent alors le fait que les deux cadres théoriques n'ont pas le même objet, comme la suite l'éclairera, je l'espère.

¹ Ce texte est issu d'une intervention au séminaire du LDAR du 14 décembre 2012 ; j'ai largement repris la présentation à la première personne.

Il était un peu imprudent de ma part de m'engager sur ce thème, et les éléments de la discussion sont inégalement traités. Les neurosciences, soubassement des travaux de Dehaene et de la communauté scientifique qui s'inscrit dans la même ligne, n'ont jamais été mon univers de travail en psychologie cognitive. Cela n'a rien à voir, malgré les annonces, avec la psychologie développementale dans laquelle j'ai commencé à travailler dans une lignée piagétienne, ni avec la psychologie cognitive ergonomique qui est un de mes champs d'interaction scientifique ; et les relations de l'approche de Dehaene avec la didactique sont problématiques. Les points que je vais aborder – en prenant le terme « cognition » dans un sens large – ne prétendent pas couvrir tout ce qui serait nécessaire pour répondre aux questions avancées, ni développer une articulation logique, encore moins une démonstration : ils permettent d'interroger les relations entre cognition et didactique, en me focalisant sur comment les différents cadres ont traité la problématique du développement et des apprentissages, en soulignant le fait que les niveaux en jeu dans les études sur la cognition sont hétérogènes et souvent bien éloignés des niveaux pertinents pour une visée proprement didactique.

Je vais d'abord reprendre quelques questions qui se posent sur les relations entre les processus cognitifs et les bases cérébrales qui sont le fond de commerce – j'exagère évidemment dans la formulation – de ceux qui promeuvent les travaux sur les processus innés et les premiers apprentissages, et au-delà². Je montrerai la pluralité des niveaux d'intégration qui sont la cible des interrogations en sciences de la cognition (au sens large) et les temporalités qui sont en jeu - ce qui permet de les situer par rapport au temps de l'enseignement.

Je présenterai ensuite les grandes lignées théoriques en psychologie cognitive³, dont l'univers scientifique a existé avant Dehaene et continue à vivre, sauf qu'on en entend moins parler dans le secteur des apprentissages des mathématiques (les sciences expérimentales semblent plus épargnées par ce phénomène de mode). Je rappellerai

² Peut-être n'est-il pas inutile que je situe schématiquement ma position de rationaliste et matérialiste : la cognition humaine est le fait d'un organisme vivant (en tant qu'espèce), interagissant avec un monde objectif, et qui se développe dans le cadre d'organisations sociale, en incorporant les instruments symboliques qu'elles ont élaborées.

³ Je m'autorise un abus de langage et/ou un anachronisme en qualifiant ainsi certains des cadres théoriques que je vais évoquer.

tout d'abord l'héritage des "lignées constructivistes", pour les didactiques disciplinaires, puis pour la didactique professionnelle (pertinente pour l'étude de la formation et du développement des enseignants) : lignées piagétienne et vygotkiennes, d'orientation développementale. Je situerai ensuite des mouvements théoriques essentiellement issus de la recherche outre-atlantique : lignée behavioriste puis cognitivisme avec le modèle de l'esprit (*mind*) comme système de traitement de l'information, qui l'une et l'autre ont théorisé la problématique de l'apprentissage, je présenterai ensuite les réactions à ces cadres théoriques.

J'aborderai le retour du fonctionnalisme en psychologie cognitive, orienté par des questions telles que "la résolution de problème", "la catégorisation", "le raisonnement", etc. (clairement toutes pertinentes du point de vue didactique). Je relèverai l'impact de l'ouverture à des problématiques liées à des domaines d'action (en particulier le travail, avec la psychologie ergonomique, dans laquelle J. Leplat a joué un rôle particulier, à la fois de d'organisation et de dynamisation de la recherche et de formation, et reste une référence). Je signalerai, sans plus, l'évolution vers une mise en relation de la cognition, l'émotion et la volition (non que ce soit sans pertinence pour l'étude des processus d'enseignement / apprentissage, mais parce que ces thématiques ne sont pas celles de la didactique en tant que problématique des relations élève / domaine de savoir de référence / système enseignant).

Je discuterai ensuite des approches nativistes et des neurosciences, soutenant l'hypothèse de capacités cognitives issues de l'évolution de l'espèce et disponibles dès la naissance, l'apprentissage pouvant être conçu comme un "recyclage" de circuits neuronaux "déjà là". Je parlerai de travaux qui ont explicitement fait le lien entre fonctionnement cérébral et apprentissages scolaires, qu'on peut considérer comme un niveau d'interprétation du fait que la cognition est « incarnée » (au sens d'intégrée dans le corps « en chair et en os »⁴).

Après ce détour sur les lignées théoriques, je reviendrai sur des potentiels et limites pour les didactiques des mathématiques et des sciences de la nature. Je défendrai, entre

⁴ Un thème central du cahier 8 de didactique.

autres, la nécessité d'une approche théorique qui prenne en compte centralement les processus de conceptualisation.

Des annexes présentent par ailleurs brièvement la théorie de l'activité (annexe 1) et le modèle de double régulation de l'activité (annexe 2), que nous avons utilisés dans l'analyse des rapports entre l'activité de l'enseignant et celle des élèves dans la classe de mathématiques (Vandebrouck, 2008, 2012, 2013a, 2013b). L'annexe 3 propose un résumé des théories de l'apprentissage actuellement en oeuvre en psychologie cognitive.

La bibliographie - au-delà des références présentes dans le texte - fournit des ouvertures en proposant des textes de recherche sur la diversité des thèmes abordés.

2. Processus cognitifs et bases cérébrales

2. 1. Quelques questions initiales

Je ne relèverai pas toutes les questions qui sont soulevées concernant les bases cérébrales des processus cognitifs, mais je vais évoquer celles qui me semblent les plus pertinentes quant aux relations entre les sciences de la cognition (je dirai souvent "cognition" pour faire court) et la didactique des mathématiques (et éventuellement des sciences du monde physique et biologique).

En cognition⁵, les questions peuvent s'exprimer en termes de relations entre structure(s) et fonctionnement cérébral, développement et bases de "l'humain comme espèce".

Une étude de processus cognitifs généraux

Une entrée est celle de processus généraux, travaillés de très longue date en psychologie cognitive (et avant qu'elle soit affectée de ce qualificatif). Ce sont, entre autres, des processus comme l'attention, ou la mémorisation, mais aussi la catégorisation, qui interviennent dans toute autre activité cognitive, de la perception à la résolution de problème.

⁵ La problématique de la place de l'émotion dans la cognition est développée depuis deux décennies, avec Damasio comme initiateur marquant.

La question du fonctionnement a été posée indépendamment de "l'implémentation" cérébrale : on cherche "comment ça marche" non pas comment c'est réalisé et où (qu'il s'agisse de zone cérébrale ou de réseau). On fait alors appel à des concepts qui ont vécu et peuvent continuer à vivre en dehors des neurosciences, tout comme ils pouvaient vivre en dehors de la métaphore (le modèle ?) de l'humain comme système de traitement de l'information. Ainsi, on peut s'interroger sur les relations entre émotion et contrôle des buts, sous-buts et exécution d'une action finalisée, sur la prise de décision, la dialectique "activation / inhibition" indépendamment de l'étude du substrat cérébral et des modes d'activité à ce niveau.

Par exemple, le concept de système de superviseur de contrôle de l'activité cognitive a été développé par Shiffrin, dans un modèle contrastant des processus automatiques et des processus contrôlés, avant les recherches en neurosciences sur le rôle du cortex frontal dans cette supervision (Shiffrin & Schneider, 1977). De même le rôle de l'inhibition comme processus important dans le développement cognitif de l'enfant a été mis en avant par Houdé dans un modèle de fonctionnement cognitif qui articule des études au niveau des bases cérébrales et au niveau de la conduite des sujets (dans un cadre théorique qui se réclame toujours de Piaget).

Recherche d'invariants, variabilité, diversités

Une autre série de questions de psychologie cognitive est la recherche d'invariants - et de déterminants situationnels de variation - du fonctionnement cognitif dans des activités considérées comme "génériques" : catégorisation, résolution de problème, prise de décision, compréhension (d'énoncé), ...)

Une autre dimension est celle de la variabilité (intra-sujet) et de la diversité (inter-sujets) qui concerne les sujets eux-mêmes : c'est la problématique de la psychologie différentielle (cf. Lautrey). Il pourrait s'ensuivre une (éventuelle) meilleure identification de la nature de l'hétérogénéité dans la classe en termes de processus vicariants possiblement en œuvre⁶ et une ouverture dans les décisions didactiques visant à faire entrer les élèves de manières diverses dans une problématique

⁶ La vicariance est l'existence de "voies" différentes qui peuvent être suivies pour un apprentissage spécifique, une résolution de problème ou le développement lui-même.

mathématique ou de sciences. Je ne connais guère que Cohors-Fresenborg et Schwank qui aient développé des recherches systématiques en didactique des mathématiques et de l'informatique dans cette direction, en mettant en avant une distinction entre un style fonctionnel et un style prédicatif (Cohors-Fresenborg, 2001 ; Schwank, 1993, 1997, 2001) dans les processus en jeu, d'autant plus visible que la tâche constitue un défi cognitif pour l'élève.

Les activités finalisées

D'autres questions portent sur les représentations et le fonctionnement cognitif dans des activités finalisées socialement organisées dans des domaines de connaissance ou de travail. Cette dimension de la psychologie cognitive a été depuis longtemps la plus familière aux didacticiens des mathématiques et des sciences. Beaucoup de travaux ont d'abord concerné des notions mathématiques, ou proto-mathématiques, en jeu à l'école primaire (dont les structures additives et multiplicatives - Vergnaud, 1981, 1983 ; Vergnaud et Durand, 1976 ; et la fonction linéaire dans la proportionnalité - Ricco, 1982), avant d'aborder des notions plus élaborées, objet de l'enseignement secondaire, voire supérieur. Le lien entre analyse épistémologique, analyse psychologique des conduites dans une approche développementale est particulièrement visible. L'importance de ces recherches se reflète, par exemple, dans la liste des articles dans *Educational Studies in Mathematics*. Cependant que d'autres travaux sur la cognition ont porté sur les concepts "naïfs" et le changement conceptuel impliqué dans le développement ou les apprentissages scientifiques (cf. Lautrey, Remi-Giraud, Sander & Tiberghien, 2008 : "*Des connaissances naïves*").

Les apprentissages

Par ailleurs, de manière "transversale" en psychologie cognitive, la question des apprentissages et des interventions dans les apprentissages a été un objet largement travaillé. Je renvoie à l'ouvrage très riche de Jean-François Richard "*Les activités mentales. De l'interprétation de l'information à l'action*" pour des développements sur nombre de ces thèmes (malgré la référence à "information" dans le titre, Richard ne se situe pas dans le strict paradigme de l'humain système de traitement de l'information; de mon point de vue, il s'agit plus de méthode que de théorie) (Richard, 2004).

Dans le développement que je vais proposer, peu de choses vont concerner les sciences de la nature, et ce sont essentiellement les références aux mathématiques qui apparaîtront. Cela pour deux raisons : la plus fondamentale, parce que je connais mieux ce qui touche aux mathématiques qu'aux sciences, en particulier concernant les travaux en développement qui questionneraient les liens cognition - didactique ; la seconde raison, plus conjoncturelle, tient à l'importance des objets mathématiques traités dans la mouvance de Stanislas Dehaene, et à la faible place de ce qui concerne la conceptualisation en sciences (en 2012) - alors que l'humain en tant qu'*espèce* a nécessairement aussi des bases neuronales qui supportent un fonctionnement adaptatif dans ces domaines.

2.2. Niveaux d'intégration des processus cognitifs et "bases de temps"

Je voudrais resituer ici le lien entre ce qu'on peut appeler des niveaux d'intégration dans les processus cognitifs et la temporalité pertinente aussi bien pour le fonctionnement cognitif que pour son étude.

Les niveaux d'intégration des processus cognitifs

La question des niveaux d'intégration est d'autant plus importante que des termes communs peuvent être utilisés pour discuter de processus situés à des échelles fort différentes. Par exemple, quand Jeannerod (2009) parle de l'action volontaire, il s'agit d'actions "simples" : se lever, saisir un objet, ... articulant des opérations motrices - des mouvements, dans lesquelles le cortex moteur joue le rôle central. La planification de l'action, qui concerne alors l'organisation de ces mouvements dans le temps et leur contrôle, ne se situe pas au même niveau que la planification de l'action dans la préparation d'une mission d'avion de chasse ou celle d'une séance de classe. Quand Leplat analyse la notion de "geste" dans le travail, il se situe à un niveau où des mouvements sont articulés pour des fonctionnalités particulières (Leplat, 2013). Le domaine de l'ergonomie cognitive d'influence nord-américaine a d'ailleurs éprouvé le besoin d'introduire le terme "macro-cognition" pour ce type de niveau de fonctionnement, pour distinguer des niveaux "élémentaires" ou "micro-cognition" des études de psychologie cognitive et des sciences cognitives en général.

La théorie de l'activité explicitée par Léontiev relève une articulation de niveaux quand elle distingue : l'activité avec son motif, les actions visant la réalisation des buts qui lui sont liés, et les opérations relatives aux moyens de réalisation⁷. Étudiant l'apprentissage et le développement, Galperine (1966) relèvera ensuite qu'il s'agit de niveaux relatifs : avec l'expérience une action composée d'une organisation d'opérations peut devenir elle-même une opération, composant d'une action définie à un plus haut niveau. Inversement, une opération identifiée peut être analysée en composants de plus bas niveau, jusqu'à ceux impliqués dans le fonctionnement de systèmes neuronaux (au-delà on peut dire qu'on quitte les sciences cognitives).

Temporalité et niveaux d'intégration

Ces niveaux d'intégration sont liés à des "bases de temps" fort différentes : ce point a des conséquences sur les méthodes d'étude et sur la limite d'approches "de bas en haut", en partant des opérations élémentaires, pour "remonter" à d'autres niveaux, en les composant. Précisons quelques données.

Dans les "composants de base" de l'activité cognitive au niveau cérébral, quand on met en œuvre des méthodes d'imagerie cérébrale, on a affaire à des processus dont la "base de temps" est de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes. Ainsi, les mouvements oculaires sont de l'ordre de la dizaine de millisecondes ; pour les potentiels évoqués (qui sont des variations de potentiel mesurées sur le scalp), les phénomènes intéressants analysés se produisent sur des ordres de durées de 100, 300, 500 millisecondes (des "pics" étiquetés N300, P400, qui signalent des processus cognitifs comme des ruptures d'attente par exemple) sont dans cette gamme temporelle. Quand on regarde les études utilisant l'imagerie par résonance magnétique, le tempo est de l'ordre de quelques secondes.

En psychologie cognitive, quand on étudie des processus "génériques" sur la résolution de problème par exemple, ou sur la catégorisation, ou des "fonctions" : attention, mémoire, on utilise des tâches expérimentales considérées comme paradigmatiques et au cours desquelles on détache / on délie le sujet de toute institution autre que celle de

⁷ Une formule chez les officiers sapeurs-pompiers renvoie à une articulation analogue : "en vue de ..." (motif), "pour ..." (but précis), "je veux..." (mode d'action).

l'expérimentation. La durée de ces tâches est de l'ordre de quelques minutes à quelques dizaines de minutes.

Quand on prend en compte des contenus particuliers, ou l'organisation de l'activité dans des tâches complexes - la préparation de scénarios pour introduire et travailler la notion de fonction en 3ème par exemple, ou le déroulement d'une formation professionnelle - la temporalité pertinente est plutôt celle de l'heure, voire de la journée. Les relations entre les processus cognitifs et les situations auxquelles les sujets sont confrontés peuvent durer plusieurs jours : il en est ainsi, par exemple, de la cognition en situation extrême (manque de sommeil, fatigue, chaleur / froid), et de toute une gamme d'expériences interrogeant la résistance des sujets. On peut ainsi faire référence à des études qui ont montré l'interaction entre l'engagement des sujets dans une tâche significative pour eux, la durée de l'attention, ou la résistance à des perturbations⁸.

Si on calcule les facteurs multiplicatifs qui font passer de la base de temps des processus élémentaires (quelques centièmes de seconde) à l'activité sur une heure de classe, on obtient un facteur dont l'ordre de grandeur dépasse déjà 10^4 . Par ailleurs, pour étudier l'activité cérébrale, il faut limiter la multiplicité des processus en jeu dans cette activité pour pouvoir identifier des zones actives, des décalages d'activation, etc. Or, quand on étudie une activité en situation réelle, "écologique", un enjeu majeur est son organisation, et tout conduit à l'hypothèse que les interactions entre processus sont la règle. Dans les domaines d'enseignement comme les mathématiques ou les sciences, les contenus considérés sont eux-mêmes organisés en champs conceptuels (du point de vue de la cognition des élèves comme des enseignants) : les découpages peuvent tuer l'objet d'investigation.

Enfin, les processus du développement impliquent les années⁹ ... qu'il s'agisse du développement cognitif de l'élève en mathématiques ou du développement

⁸ On a par exemple montré que des opérateurs (cadre marine militaire) ayant à effectuer des tâches cognitives significatives étaient moins sujets au mal de mer que les autres, ou qu'eux-mêmes en situation de pause ou de tâches de type routinier sans exigence cognitive, mineures ou ennuyeuses.

⁹ Il existe des études diachroniques sur le développement du langage chez le jeune enfant qui portent sur une succession d'enregistrements des mêmes enfants régulièrement échantillonnés - une heure par semaine - au cours de toute une année (entre 2 et 3 ans ; projet CHILDES).

professionnel de l'enseignant de mathématiques. Par exemple, l'acquisition d'une expertise (organisation des connaissances, constitution de schèmes "robustes", finesse d'interprétation des situations, adaptabilité, ...) dans des domaines comme les échecs, l'exécution musicale, la dorure sur meubles anciens, demande une dizaine d'années - et ils ne sont pas tous "saturés" en processus fins sensori-moteurs.

Ces considérations sur la "temporalité" des processus cognitifs et leurs "bases de temps" conduisent à approfondir la discussion lorsqu'apparaissent des inférences entre des données acquises sur des processus de temps très court et des processus d'apprentissage¹⁰ portant sur des connaissances factuelles et non sur la conceptualisation, ou portant sur des éléments très circonscrits d'un champ conceptuel large (comme c'est le cas pour les connaissances numériques innées - au sens de "natives" chez l'humain).

Niveaux d'intégration et complexité des situations

Les niveaux en jeu dans le fonctionnement cognitifs sont liés à la complexité des situations dans lesquelles se déroulent les processus cognitifs¹¹, en particulier pour ce qui nous intéresse, ceux impliqués dans des activités finalisées. Ce peuvent être celles de l'élève dans la réalisation d'une tâche donnée par l'enseignant, celles de l'enseignant, celle de mathématiciens au travail (souvent de manière collective) ou celles - définies à encore un autre niveau historique - de production de mathématiques par la communauté des mathématiciens, ou de transposition de celles-ci à des fins d'enseignement.

Le problème des relations entre travaux sur la cognition et didactique des mathématiques (ou tout autre domaine d'activité) n'est pas dans le choix de travailler à tel ou tel niveau, mais celui de ne pas prendre en compte les contraintes des situations, à la fois sur les processus cognitifs qu'il est pertinent de considérer et sur les méthodes

¹⁰ Pour anticiper sur l'approche de Vygotsky, et de la psychologie soviétique en général, précisons qu'elle ne dissocie pas "apprentissage" et "développement" : l'intervention didactique modifie le sujet, et le développement ne s'arrête pas aux portes de l'adolescence : la conceptualisation produit / est du développement, tout comme l'élaboration de schèmes.

¹¹ L'existence de processus cognitifs génériques impliqués de manière "linéaire" dans toutes les composantes cognitives de l'activité est discutée par des auteurs se réclamant de la cognition "computationnelle" (Guillaume, Tiberghien & Baudoin, 2013).

pour les étudier. Il ne s'agit pas de déprécier ou de valoriser un niveau selon qu'on l'étudie soi-même ou pas, d'en dénier tout intérêt ou au contraire d'être séduit par la technicité identifiée à la scientificité d'une approche¹². Les recherches sur l'enseignement / apprentissage de la lecture qui se sont appuyées sur des acquis de la recherche sur les processus en jeu dans la lecture ont montré l'intrication de processus de différents niveaux, tant *bottom-up* (depuis les éléments de plus bas niveau, graphiques et phonologiques) que *top-down* (la représentation de ce qui était évoqué selon la connaissance du domaine concerné)¹³.

Une des problématiques qui devrait être fondamentale dans le domaine des études sur la cognition est celle de l'intégration des niveaux : en quoi, les questions de recherche et les réponses apportées à un niveau peuvent éclairer ou orienter les recherches d'un autre niveau - et cela dans les deux sens. Parler de problématique signifie bien qu'il y a interrogation - et qu'il n'y a pas un niveau qui serait plus "naturel", moins "conceptuel", qu'un autre (celui du fonctionnement cérébral par exemple... ou de "localisations cérébrales" de tel ou tel processus - la mémoire, l'attention, la résolution de problème - la perception visuelle ...). Sans oublier que nombre de termes issus de la connaissance commune s'ils sont naturalisés par l'usage ne définissent pas pour autant des processus clairement définis, ni au niveau "macro", ni au niveau "micro". Toutefois des connaissances de niveau "de base" peuvent être cruciales pour comprendre des "dysfonctionnements" qui peuvent faire obstacle aux apprentissages (dyslexie - la plus

¹² La question des relations entre niveaux de structure et fonctionnement cognitif avait été au centre du débat sur les orientations du laboratoire de psychologie cognitive de Paris8 portant aussi sur les processus cognitifs et le développement chez l'adulte (le seul restant alors en IDF au CNRS) "Cognition et activités finalisées"? avec des recherches de plusieurs niveaux : processus de base (traitement de propriétés d'objets), raisonnement et résolution de problèmes (domaines "quotidiens"), représentation des connaissances et enfin, apprentissages scolaires et professionnels et acquisition de compétences. Des observables de "bas niveau" : mouvements oculaires et potentiels évoqués y ont été utilisés sur le plan méthodologique.

¹³ Je renvoie à l'exposé de Roland Goigoux au groupe Pratiques du LDAR le 4 avril 2014 : "*Comment étudier l'influence des pratiques d'enseignement de la lecture et de l'écriture sur la qualité des premiers apprentissages*". La méthodologie permet d'identifier les occasions d'apprendre que chaque professeur offre à ses élèves à travers les tâches d'enseignement qu'il conçoit et réalise (35 tâches identifiées de niveaux divers), et de les mettre en relation avec les progrès des élèves (repérés à partir d'indicateurs relatifs à l'étude du code alphabétique et des procédures d'identification des mots, à l'enseignement de la compréhension de textes et à celui de la production d'écrits).

connue, dyscalculie, dyspraxie ...) et pour concevoir des moyens d'intervention adaptés (cf. par exemple, Glasel, 2013).

Ce type de connaissances est d'ailleurs nécessaire également pour concevoir des aides à une activité de haut niveau. On peut en donner un exemple hors du domaine de la didactique : dans le domaine de l'aviation, une avancée technologique importante a été la possibilité de projeter des informations sur l'avion "sur" le "pare-brise" (ou "en avant" du casque d'un pilote d'hélicoptère militaire), en visant leur traitement simultané avec celles sur l'environnement sans contraindre le pilote à des mouvements de tête ni surtout à des accommodations. Le contrôle de la qualité opérationnelle de ces dispositifs dits de " cockpit tête haute " a nécessité une synthèse considérable de données sur des processus de bas niveau impliqués dans l'activité des pilotes (Ververs & Wickens, 1998). Les auteurs attirant par ailleurs l'attention contre l'application directe de ce travail à un environnement réel multi-tâches (*"The authors caution against the application of this basic visual search to a real-world multitask environment without further testing"*, p. 5). Cette étude (pour la NASA) montre la complexité des processus en jeu, qui dépendent de processus généraux mais aussi de l'expérience des pilotes et de la tâche.

3. Les grandes "lignées" théoriques en psychologie cognitive

J'en viens maintenant à un rappel historique, doublement orienté : d'une part, il commence par l'héritage des "lignées constructivistes", en particulier dans les domaines de didactiques disciplinaires - et ensuite de la didactique professionnelle ; d'autre part, il essaie de situer des mouvements théoriques complexes en termes de dynamiques de réactions, en focalisant particulièrement sur ceux qui se sont développés outre-atlantique (ou dans le monde de la recherche anglophone).

Ce rappel sera nécessairement très schématique - je ne suis pas historienne de la psychologie ou des sciences cognitive - et je ne vais pas proposer des analyses épistémologiques, historiques et sociologiques pour situer les différentes approches en psychologie cognitive (au sens large : la psychologie qui interroge des activités

cognitives aussi bien que le développement de la cognition¹⁴). Je rappellerai seulement que les recherches en psychologie cognitive (même si le terme n'était pas utilisé alors) se sont développées dès la seconde moitié du 19^{ème} siècle, avec de nombreuses études expérimentales. Un ouvrage de William James " *The principles of psychology* " (1890) commence par " *les fonctions du cerveau*", développe sur " *des conditions générales de l'activité cérébrale*", " *l'habitude*"..., " *les relations de l'esprit avec les autres choses*" (*things*). Un chapitre sur " *le flux de la pensée*" rejoint des considérations exprimées plus d'un siècle plus tard par Hoffstadter et Sander (2013). Riche de références (James lisait le français et l'allemand), l'ouvrage nous rappelle aussi que Pierce et Dewey - références dans nombre de recherches en didactique - avaient déjà produit une partie de leurs travaux en cette fin du 19^{ème}. Les considérations développées chez James sont par ailleurs étayées de références à de nombreuses recherches expérimentales (ce n'est pas le cas chez Dewey, dont l'approche pragmatiste est de nature philosophique). En matière de cognition, tout n'a pas été produit dans les deux dernières décennies, comme tendraient parfois à le penser des reviewers qui reprochent des références trop anciennes dans elles ont plus de 10 ans ... Je voudrais souligner à l'inverse qu'un "neuroscientifique", Marc Jeannerod, qui travaille sur la dimension "neuro" des neurosciences, à savoir le fonctionnement du cerveau, n'hésite pas à faire référence à des travaux publiés dans la "somme" de W. James¹⁵, cependant que Dehaene a commencé sa leçon inaugurale au Collège de France en citant les travaux de W. James¹⁶.

Cela précisé, je vais procéder d'une certaine façon "à rebours" : à partir de ce que sont aujourd'hui des références à la cognition (psychologie et neurosciences) utilisées dans le domaine des apprentissages scolaires, en considérant des "lignées" d'approches dans le domaine de la cognition en relation avec les apprentissages scolaires, aussi bien que des évolutions considérées en termes de "réaction" à d'autres cadres théoriques.

¹⁴ Dans les UFR de psychologie, la psychologie du développement et la psychologie cognitive sont dissociées : ainsi les postes d'enseignant-chercheur sont spécifiquement étiquetés - cela du fait que la psychologie du développement s'intéresse seulement à l'enfant et à l'adolescent, dont les évolutions cognitive, affectives, de socialisation sont toutes considérées.

¹⁵ Malheureusement, Marc Jeannerod est décédé en 2011, et ses publications chez Odile Jacob citées en bibliographie sont les dernières.

¹⁶ "« La psychologie est la science de la vie mentale. » Ainsi William James cernait-il, dès 1890, le domaine de ce qui allait devenir la psychologie cognitive." (Dehaene, 2006)

Les lignées "constructivistes" seront introduites les premières : ce sont celles dont l'héritage a clairement marqué la didactique des mathématiques. En 1951, un ouvrage de Hans Aebli - un élève de Piaget - propose ainsi une "*Application à la didactique de la psychologie de Jean Piaget*, avec le développement d'un exemple en mathématiques pour l'enseignement de la longueur et la surface du rectangle en fin de primaire¹⁷, et en 2012, Brousseau intitule un article "*Des dispositifs piagétiens ... aux situations didactiques*" : on ne peut être plus explicite. L'héritage de Vygotsky se manifestera plus tardivement en France¹⁸, dans le cadre de la "double approche" - psychologie développementale et didactique des mathématiques (Robert & Rogalski, 2002), donnant une place centrale à l'activité des sujets, élèves et enseignants, dans une approche de psychologie développementale de l'activité (Rogalski, 2012, 2013b). Pour les "lignées" cognitivistes j'insiste sur des mouvements de "réaction" à d'autres cadres théoriques, qui ne sont pas tous, loin de là, de la lignée constructiviste (ici, le cadre théorique initié par Vygotsky s'est constitué en réponse à une "crise de la psychologie" considérée dans toute sa dimension internationale - Vygotsky, 1999/1927-1982).

Les lignées "constructivistes" ont été élaborées dans la "vieille Europe", tandis que les lignées "cognitivistes" se sont développées d'abord sur le territoire Nord-Américain. Bien entendu, ces affectations sont caricaturales, car depuis très longtemps les échanges scientifiques et théoriques circulent et traversent l'Atlantique - au point d'ailleurs que Piaget a pris connaissance des critiques de Vygotsky à travers la première traduction en anglais de Langage et Pensée (en 1967, non intégrale, alors que la traduction française date de 1985). La circulation, cependant, n'a pas été symétrique (par exemple, les textes francophones de Piaget n'ont été que tardivement connus des chercheurs anglophones, Vygotsky tardivement connu des francophones, cependant que Vygotsky avait préfacé la traduction en russe des premiers ouvrages de Piaget : le mouvement d'ouest en est a dominé !).

¹⁷ Certes, il y manque la dimension épistémologique qui marquera fortement la didactique des mathématiques, mais cet ouvrage aurait mérité un débat qui a manqué aussi bien en sciences de l'éducation qu'en didactique (Rogalski, 2014).

¹⁸ Aebli - encore - défend dès 1978 le point de vue socio-constructiviste pour la didactique (au sens de : science de l'enseignement) - Vygotsky n'est pas encore traduit en Français.

3.1. Les lignées développementales, "constructivistes" (Piaget) et "socio-constructivistes" (Vygotsky)

Rappelons ici que Piaget et Vygotsky sont tous deux nés en 1896, et qu'ils ont tôt et beaucoup produit¹⁹. Je présente d'abord la "lignée" piagétienne - bien qu'on puisse en parler au pluriel : les champs conceptuels de Vergnaud, les travaux des "néopiagétiens", des Genevois critiques jusqu'à Houdé et son analyse du développement en relation avec l'inhibition de schèmes ; puis deux composants de la "lignée" vygotkienne : l'approche de Bruner autour de l'étayage et la théorie de l'activité de Léontiev. Enfin, je reprends l'articulation des constructivismes avec une théorie développementale de l'activité du sujet, qui concerne aussi bien les apprentissages au cours de l'enseignement que le développement professionnel de l'enseignant.

3.1.1. Lignées piagésiennes

Le cadre piagésien a été le plus influent en France pendant longtemps sur les recherches en psychologie sur le développement de l'enfant. Il faut souligner que le premier ouvrage de Piaget sur le développement "*La représentation du monde chez l'enfant*" date en effet de 1926²⁰. Piaget a ensuite développé - avec ses nombreux "assistants" - un champ de recherches considérable dans le domaine de l'épistémologie génétique, sur la construction de la connaissance chez l'enfant qui aboutira à la modalité rationnelle de la connaissance scientifique, d'où la position centrale de la question de la "logique de l'enfant à l'adolescent" et la place de la logique mathématique comme système d'opérations (mentales) "réversibles". Mais Piaget s'est aussi largement intéressé aux connaissances du monde physique, et à la causalité qui soulève la question des apports respectifs du sujet et de l'objet dans la connaissance physique²¹. De son propre point de vue,

¹⁹ Vygotsky est malheureusement mort très tôt (en 1934). Les relations entre ces auteurs et leurs cadres théoriques sont davantage explicitées dans (Rogalski, 1996).

²⁰ Piaget y développe par ailleurs la méthode d'interrogation clinique de l'enfant. Il y insiste sur l'apprentissage nécessaire chez l'analyste pour l'utiliser de manière appropriée. Cette méthode a malheureusement été "rabattue" dans ses exigences - tout comme l'a d'ailleurs été ailleurs la méthode des "incidents critiques" développée par Flanagan (1954) pour l'étude des compétences et l'analyse des tâches significatives d'un domaine de travail et de compétence.

²¹ L'article de Jamet, Legros et Pudedlko (2004) met en relation la "causalité intentionnelle" et la "causalité du monde physique", ainsi que leurs représentations. On y trouve un tour d'horizon sur les travaux sur cette question.

il a exprimé explicitement que l'épistémologie génétique était son domaine de recherche, même si des chercheurs en psychologie "lui avaient fait l'honneur de le considérer comme psychologue". Son objet n'était pas un "sujet psychologique" mais un "sujet épistémique". Par ailleurs, sa visée était d'identifier les processus en jeu dans le développement conceptuel non d'étudier l'intervention didactique dans les acquisitions cognitives.

Pour lui, développement et apprentissage étaient deux processus différents, l'apprentissage ne pouvant pas modifier les processus développementaux. C'est d'ailleurs le coeur du débat entre Piaget et les successeurs de Vygotsky, ainsi que le soulignent Léontiev et Luria (1972) dans un commentaire critique d'un article du cognitiviste Fodor sur Vygotsky : "*un processus d'instruction fondé sur un cadre psychologique pourrait fortement stimuler le développement de l'enfant, permettant à de jeunes enfants d'acquérir de nouvelles formes de pensée. Et ceci est l'essence de notre discussion avec notre ami Jean Piaget.*"²²

C'est ce positionnement de Piaget qui me conduit à parler de lignée piagétienne, sans situer directement les travaux de Piaget et ses élèves vis-à-vis de la didactique des mathématiques et des sciences de la nature - bien qu'il soit intervenu, avec d'autres chercheurs de l'école piagétienne, dont Gréco, sur l'orientation de l'enseignement des mathématiques, en mettant en avant l'importance des structures²³. On peut relever ainsi qu'un ouvrage extrêmement riche sur

²² "*A psychologically based instruction could highly stimulate the mental development of the child, permitting younger children to acquire new forms of thinking. And this is the essence of our discussion with our friend Jean Piaget [...]*". La dimension sociale du développement est généralement relevée comme opposant Piaget et Vygotsky : la position de Piaget est en fait moins éloignée de celle de Vygotsky - une fois pris en compte l'enjeu précédent (cf. Rogalski, 2006).

²³ L'affirmation théorique de la différence fondamentale entre développement et apprentissage reste la base d'une position défendue par Gréco. Dans "*Écrits en hommage à Pierre Gréco. Un psychologue dans le 20^e siècle (1927-1988)*", Daniel Gilis cite ainsi une intervention de Pierre Gréco lors d'un symposium organisé en octobre 1971 par Albert Morf au Centre de Recherches en Didactique de l'Université de Québec, à Montréal, sur le thème "Psychologie et didactique" : "*Piaget a proclamé dès le premier jour que la didactique ne pouvait pas être déductivement tirée de la psychologie opératoire*". Gréco affirmait aussi pour sa part être "*de ceux qui croient qu'en aucun cas les théories psychologiques ne suffisent à engendrer des préceptes pédagogiques [...]* Parmi les grandes théories psychologiques du 20^{ème} siècle par exemple, aucune ne fournit simultanément une théorie de l'apprentissage et une théorie du développement [...] Je veux bien que des principes généraux servent de point

la construction du nombre (Gréco, Grize, Papert & Piaget, 1960) n'en questionne pas l'enseignement - et pourtant les questions étudiées sont tout à fait pertinentes, et vont bien plus loin que les travaux de neuropsychologie dont je parlerai dans la suite - qui eux n'hésitent pas à définir ce que devrait être en être l'enseignement...

En fait, Hans Aebli, avait bien proposé d'établir une didactique (au sens de science de l'instruction) sur le versant psychologique de la théorie piagétienne (Aebli, 1951), en s'appuyant sur le rôle central de l'activité de l'élève, en argumentant ses propositions par les notions théoriques de schème et d'assimilation : on retrouve ici les bases des orientations constructivistes inspirées par Piaget en psychologie de l'enseignement des mathématiques, et en didactique. Aebli n'a pas toutefois pas initié une "lignée" piagétienne en didactique pour des raisons multiples, dont l'une est un "virage" vygotkien (Aebli, 1978), une autre étant sans doute son approche généraliste de la didactique et l'absence d'une dimension épistémologique (Rogalski, 2014).

La théorie des champs conceptuels (Vergnaud)

Dans la lignée piagétienne je citerai - évidemment - plus particulièrement la théorie des champs conceptuels de Vergnaud (1982, 1990), qui a joué un rôle très important dans les interactions entre la psychologie du développement et la didactique des mathématiques - et plus largement celles des disciplines scientifiques²⁴.

Vergnaud s'est toujours revendiqué comme psychologue, engagé depuis très longtemps (le milieu des années 60) dans le travail avec des enseignants en mathématiques, au niveau d'abord de l'enseignement élémentaire (puis du collège). Directement impliqué dans le développement de la didactique des mathématiques, il est un des initiateurs en France du GDR de didactique des disciplines scientifiques et au niveau international du groupe "*Psychology and Mathematics Education*" (IGPME).

Il a lui-même donné une lignée d'étudiants devenus des enseignants-chercheurs (cf. les auteurs dans Merri, 2007), souvent en IUFM, qui contribuent au lien entre la psychologie

de départ à la réflexion. Mais en toute hypothèse, aucun résultat expérimental ne peut avoir à lui seul valeur de prescription." (Gilis, p. 369).

²⁴ La théorie de Vergnaud a eu ensuite un fort d'impact sur la didactique professionnelle (Pastré a passé sa thèse avec lui), avec des transpositions prenant en compte les spécificités de l'activité professionnelle visée par rapport à celle de l'étudiant, au sens du sujet en train d'étudier - contrat didactique - et non de produire - contrat professionnel.

cognitive et les recherches sur l'enseignement, même s'ils ne sont pas nombreux à se revendiquer directement de la didactique des mathématiques ou des sciences de la nature - souvent pour des raisons institutionnelles. Hors de ces domaines, on peut relever deux chercheurs qui ont fait école : Goigoux, en didactique du français (2002 ; 2007) et Pastré, en didactique professionnelle (2011). L'un et l'autre articulant par ailleurs une approche de psychologie ergonomique de l'activité de l'enseignant ou de l'instructeur avec une approche constructiviste du développement cognitif.

Des structures au fonctionnement de la pensée

Une autre lignée est celle des "néo-piagétiens". Il s'agit d'abord de chercheurs genevois qui ont critiqué Piaget sous plusieurs points de vue. D'une part, sur son excès de structuralisme - il faut rappeler que nombre de travaux piagétiens des années 60-70 - surtout francophones - se sont produits en pleine période structuraliste. D'autre part, en exprimant la nécessité théorique de "mettre au centre de la problématique le fonctionnement", et pas seulement les structures de la connaissances. Ainsi Gréco a développé cette thématique, et également mis en évidence l'importance du contenu et des tâches elles-mêmes, par rapport aux structures logiques.

Comment les structures de connaissance sont mises en œuvre demeure une question dans les théories de didactique des mathématiques. En fait, deux questions sont posées : 1) comment les organisations conceptuelles chez l'élève (dans différents champs conceptuels découpés dans un contexte scolaire) sont-elles mises en fonctionnement ; 2) des structures "générales" - la "pensée mathématique" ou la "pensée scientifique expérimentale", etc., sont-elles opérationnelles quelque que soit le domaine considéré - ou, en d'autres termes, existe-t-il de telles structures générales ?

En ce qui concerne la première question, - je vais ici provoquer mes camarades de didactique des mathématiques -, la théorie des situations didactiques a beaucoup (essentiellement ?) travaillé sur les conditions de la conceptualisation par l'élève de notions mathématiques et n'a pas directement théoriquement questionné leur mise en fonctionnement ultérieure - peut-être parce qu'il s'agit alors d'activité des élèves ? Pour sa part, la Théorie Anthropologique du Didactique, s'est intéressée au fonctionnement quand Castela a mis cette question au centre de son travail pour un enrichissement de la TAD - ce qui n'est pas allé de soi - peut-être pour des raisons analogues à celles de la TSD de refus théorique à intégrer l'activité des élèves ? En revanche, cette question est centrale dans les analyses de tâches par

Robert, visant à identifier, et à contrôler dans la conception de séances, les types d'adaptation en jeu dans les tâches proposées aux élèves pour mettre en fonctionnement des connaissances déjà initiées (Robert, 2003).

Structures de la pensée, raisonnement et grands domaines de connaissance

La seconde question - de la généralité des structures de pensée, clairement interrogée par Gréco - a motivé un courant notable de la littérature en psychologie du développement, particulièrement celle anglophone. Deux chercheurs me semblent particulièrement représentatifs de ce mouvement : Pascual-Leone, entre autres pour l'avoir initié et Case, pour les implications pour les didactiques des disciplines scientifiques. Le premier a développé un modèle très formalisateur du développement cognitif, qui fait appel à des concepts relevant des approches "cognitivistes" de l'humain comme système de traitement de l'information, mettant en avant les processus de mémoire et d'attention²⁵. À ma connaissance, il n'a pas considéré l'impact des contenus de connaissances, et moins encore cherché d'implication didactique de son modèle, ou n'a pas été repris en ce sens.

En revanche, Case a mis en avant le fait qu'il fallait prendre en compte sinon les contenus, mais du moins les grands domaines de connaissance, dans l'étude de la structuration des connaissances et du développement cognitif de l'enfant. L'idée centrale est que dans de grands champs de contenus on peut identifier les stades piagétiens - au sens large d'une succession d'étapes dans l'évolution de l'organisation conceptuelle - et surtout qu'on peut décrire un mouvement de développement, en termes de ruptures éventuellement, entre des niveaux de mises en relation de plus en plus complexes. Cela commence par des classifications, puis des relations ensuite, des relations entre relations, ..., de sorte que la complexification pouvait se représenter - s'expliquer ? - ainsi. Évidemment, je schématise le modèle très riche de Case (cf. de Ribaupierre, 2007), mais le point central est que des études du développement ont pu s'appuyer sur la modélisation de Case, visant essentiellement les enfants / élèves au cours de l'enseignement élémentaire²⁶. Cette modélisation a répondu en particulier aux contradictions observées entre ce que Piaget avait affirmé sur le statut central de la conservation (au

²⁵ Pascal-Leone est passé de Piaget à une direction de thèse aux États-Unis, ce qui a sans doute participé d'une perméabilité entre les deux côtés de l'Atlantique. Les modèles néo-piagétiens sont analysés en détail, du point de vue de la psychologie de l'intelligence, par de Ribaupierre (2007).

²⁶ de Ribaupierre considère que c'est la mort prématurée de Case qui a empêché une évolution des études vers les niveaux ultérieurs.

singulier) comme marqueur du stade des "opérations concrètes" et les études empiriques montrant des décalages considérables des conservations (au pluriel) selon le contenu : des conservations numériques stabilisées vers 7-8 ans, à des conservations comme celle du volume non acquises à 12 ans. Par ailleurs, Case a intégré dans son modèle une dialectique entre les structurations spécifiques (par grand domaine) et une structuration générale de la pensée. Le développement d'une structure spécifique n'entraîne pas pour autant celui de la structure générale (et ne peut en être un indicateur), mais une limitation des différentes structurations spécifiques s'accompagne d'une limitation de la structuration générale - ce qui pourrait expliquer des "retards" de développement cognitif²⁷.

Du côté du raisonnement proprement dit, un phénomène d'une nature semblable a été mis en évidence par Wason à propos de l'implication ($P \implies Q$) : selon la théorie de Piaget sur le développement des structures logiques, l'implication aurait dû être en principe maîtrisée au stade des opérations formelles. Or les expériences de Wason (à partir de 1966) sur le traitement par des adultes (cultivés) de tâches de raisonnement implicatif ont mis en évidence qu'il était loin d'en être ainsi. La problématique s'est ensuite avérée si riche qu'une revue scientifique dédiée (*Thinking and Reasoning*) a vu le jour. Dans ces travaux, l'impact du contenu au sens large, incluant le contexte invoqué / provoqué par la formulation des tâches a mis été mis en évidence, ainsi que celui de phénomènes langagiers, étudiés dans la pragmatique du discours (cf. par ex. Politzer). Toutefois, ces travaux n'ont pas visé, ni directement déclenché, un questionnement sur les processus d'enseignement dans le domaine²⁸.

En fait, une double question a été mise en débat théorique par les néo-piagétiens : celle de l'uniformité du développement selon les contenus et celle de l'uniformité selon les individus²⁹. On peut considérer que l'existence même de didactiques des disciplines (didactiques

²⁷ Il faut souligner ici que des auteurs de théories référant au "conceptual change", tels que Carey, ne sont pas réclamés de Case, mais se sont situés dans les lignées "cognitivistes" et "modularistes", éventuellement innéistes ou tout au moins tenants de l'existence de "core knowledge" (dans les domaines mathématique, physique, biologique, voire psycho-social) résultant de la sélection au niveau de l'espèce humaine.

²⁸ Les travaux de Viviane Durand-Guerrier sur la logique mathématique ont une autre "entrée" par le traitement des assertions mathématiques, avec - pour dire vite - la référence à Frege pour la logique et à Vergnaud pour la dimension cognitive.

²⁹ Lautrey a largement développé cette problématique, en mettant en évidence des voies différentes de développement.

spécialisées) répond implicitement à la première question quant à l'intervention didactique : elle doit être spécifique de la discipline. En revanche, la seconde question pose implicitement problème à la didactique : s'il y a décalage entre le sujet épistémique de la théorie piagétienne et les sujets effectifs, n'en est-il pas de même pour le sujet didactique³⁰ ?

On peut considérer que la théorie que Vergnaud développe à propos des schèmes d'action est une réponse à la problématique du fonctionnement des connaissances : ce qui compte d'abord dans le développement du sujet (y compris via l'intervention didactique) n'est pas l'organisation des connaissances mais celle des schèmes et des opérateurs entre schèmes. Je n'approfondirai pas cette direction de la théorie de Vergnaud, qui appelle des recherches sur la mise en œuvre effective de ce concept pour la didactique de disciplines scientifiques.

Le conflit socio-cognitif et la dimension sociale du développement (Doise, Mugny...)

Dans la lignée piagétienne, il faut aussi relever les travaux de l'école genevoise sur le conflit socio-cognitif (Doise, Mugny, ...). Ces travaux ont fait école en didactique, avec une convergence ultérieure avec l'approche socio-cognitiviste vygotkienne. L'idée centrale initiale est que la confrontation de représentations conceptuelles de niveau différent va produire chez les enfants un déséquilibre qui déclenchera ensuite des processus de rééquilibration contribuant à un changement de stade cognitif dans le domaine de la tâche.

On peut relever qu'à partir d'une problématique différente sur le changement conceptuel, une étude de l'impact de représentations symboliques – scolaires sinon savantes – sur les représentations mentales d'élèves a mis en évidence que les déséquilibres possibles que peut produire cette mise en regard ne se résolvent pas toujours de manière "majorante" (tout au moins sur un temps court), un point qu'avait d'ailleurs théoriquement souligné Piaget.

Les relations entre structures cognitives et processus d'inhibition (Houdé)

Enfin, une autre lignée est celle initiée par Houdé insistant sur le rôle central des *processus d'inhibition* (et pas seulement d'*activation*) : le développement ne s'exprime ni ne s'explique

³⁰ Des études en cours, comme celle sur l'enseignement de la géométrie à des élèves dyspraxiques, montrent l'existence de ce qu'on peut considérer comme des cas-limites de différenciations nécessaires (cependant, elles ne touchent moins à la dimension épistémique conceptuelle du contenu enseigné qu'aux registres de représentation et d'action - si tant est que cette distinction soit pertinente. Dans une autre direction, Schwank et Cohors-Fresenborg ont articulé approche psychologique et organisation didactique pour tenir compte de différences de tels ordres.

seulement en termes d'élaboration de nouvelles structures cognitives mais le processus d'inhibition se trouve au cœur du développement cognitif. Une modification de tâches typiquement "piagésiennes" visant, par exemple, à bloquer le déclenchement automatique de schèmes conduisant à des réponses non-conservantes permet de faire apparaître des conduites d'un niveau supérieur. Houdé a aussi montré qu'on peut entraîner l'inhibition avec les mêmes effets : de manière imagée il parle de l'inhibition de "schèmes dangereux", reprenant la conceptualisation piagésienne des schèmes, en introduisant par là même une composante "fonctionnelle" dynamique. Bien qu'il ait interagi avec Dehaene, il s'agit pour Houdé d'une approche théorique qui se revendique piagésienne, même si la recherche s'appuie sur des méthodes d'imagerie cérébrale pour étudier le fonctionnement cérébral dans diverses tâches cognitives.

3.1.2. Lignées vygotkiennes

Nous nous limitons ici à ce qui a trait à la dimension cognitive (développement conceptuel) chez Vygotsky et aux développements théoriques qui intéressent le plus directement la question de l'intervention didactique (cf. Gérard Vergnaud : *Lev Vygotski, Pédagogue et penseur de notre temps*, Hachette, 2000).

La visée de Vygotsky est d'abord psychologique : proposer un cadre pour rendre compte des "fonctions psychiques supérieures" (autres que les réflexes et les conditionnements - Pavlov et les behavioristes), pour un sujet humain, psychologique (individu singulier) et social (intégré dès sa naissance dans un système d'interactions sociales).

Les hypothèses fondatrices du développement des "fonctions psychiques supérieures"

On peut en souligner plusieurs hypothèses fondatrices. D'une part, le rôle fondamental des **interactions sociales** : *le développement des fonctions psychiques va d'abord du social à l'individuel*. D'autre part, comme chez Piaget, l'importance de l'histoire du sujet dans son développement. Enfin, le rôle central des **instruments psychologiques** dans les processus cognitifs, avec en premier lieu l'importance cruciale du **langage**. Dans un débat avec Fodor (cf. infra), Léontiev et Luria soulignent le caractère conscient des processus ainsi considérés : *"Vygotsky presumed that conscious (or cognitive) processes have a socio-historical issue, and that language is narrowly related to every conscious*

reflection of reality: These forms of conscious reflection undergo a series of deep structural changes during the child's development." (1972).

D'un point de vue didactique, nous retenons particulièrement deux points :

1) le développement cognitif se fait par une dialectique entre concepts quotidiens et concepts scientifiques (je spécifie : essentiellement les concepts enseignés)

2) il est crucial d'intervenir dans la Zone Proximale de Développement de l'enfant (ZPD).

Schématiquement, les concepts quotidiens sont "gorgés de sens", mais faiblement structurés, alors que les concepts scientifiques sont fortement organisés, mais loin de l'expérience de l'enfant et généraux (abstraites). Le développement cognitif se fait dans un double mouvement : à partir des concepts quotidiens qui se développent par l'activité dans des expériences effectives selon une "germination par le bas", et dans une "germination vers le haut", où les concepts sont "tirés" vers ceux de la connaissance scientifique. (Vygotsky, 1934/1997, chapitre 6).

Vygotsky postule qu'en fait il ne peut y avoir développement que dans une "zone" où la connaissance visée n'est pas "trop éloignée" de ce que permettent d'atteindre les concepts préalablement élaborés par l'élève : c'est la zone proximale de développement³¹ (ZPD). Dans cette zone, l'enfant peut réaliser avec l'aide de quelqu'un qui sait mieux ou plus que lui des actions qu'il ne pourrait pas réaliser seul. Au-delà de cette zone il ne va pas y avoir apprentissage. En deçà de cette zone, l'enfant sait déjà faire. Enfin dans la ZPD, il n'y a apprentissage que si autrui ne fait pas à la place de l'enfant.

La médiation par le "mieux sachant" et l'étayage dans la ZPD (Bruner)

Bruner a développé après Vygotsky cette idée de la médiation par le "*mieux sachant*". Il a introduit la notion d'étayage (en anglais : *scaffolding*), dont il a précisé un ensemble de fonctions (Wood, Bruner & Ross, 1976 ; Bruner, 1983). L'exemple sur lequel il a présenté cette notion concernait le jeune enfant, mais les fonctions d'étayage qu'il a définies peuvent être transposées pour étudier la médiation didactique, aussi bien pour des élèves plus âgés dans un champ conceptuel objet d'enseignement général ou

³¹ Diverses traductions du terme russe sont utilisées. Nous en avons retenue une.

spécialisé que pour des adultes engagés dans des acquisitions de nature professionnelle (cela peut être le cas de l'enseignant ; Rogalski & Robert, 2015). Pour analyser la médiation didactique de l'enseignant, Aline Robert (Robert & Vandebrouck, 2014) travaille avec la notion de "proximité(s)" et de différenciations de catégories d' "aides" – procédurales ou constructives – de la part de l'enseignant.

Dans l'utilisation du cadre de Vygotsky pour le développement de la conceptualisation, on effectue une transposition (Aline Robert utilise le terme "emprunt") : les concepts quotidiens sont remplacés ou complétés (selon les niveaux d'enseignement) par les concepts élaborés par l'élève antérieurement à un moment donné d'enseignement et les concepts scientifiques sont remplacés par les concepts objets de l'enseignement - actuel et juste à venir. La notion de champ conceptuel de Vergnaud est ici appropriée pour circonscrire le processus de développement conceptuel.

Des travaux dans la lignée de Vygotsky ont montré que l'enseignement peut être une clé du développement : "*A series of works by Vygotsky's followers in our country (D. B. Elkonin, V. V. Davydov, P. Y. Galperin, et al.) have shown that the methods of education should not only follow the steps of a child's mental development but a psychologically based instruction could highly stimulate the mental development of the child, permitting younger children to acquire new forms of thinking*". (Leontiev & Luria, 1972). C'est un objet de débat explicite avec Piaget³².

L'importance des déclarations de Léontiev et Luria est liée à la place qu'ils ont tenue comme collaborateurs directs de Vygotsky, et pour Léontiev au rôle ultérieur dans le

³² Débat théorique ne signifie pas incompatibilité : l'amitié entre Piaget et Luria, et Léontiev, est affirmée des deux côtés. Léontiev et Luria précisent que la conclusion précédente est le point de discussion théorique avec Piaget : "*This is the essence of our discussion with our friend Jean Piaget [...]*", et Piaget exprime le regret de ne pas avoir personnellement connu Vygotsky et pu lire son travail, avec la conviction des possibilités de convergence : "*Although my friend A. Luria kept me up to date concerning Vygotsky's sympathetic and yet critical position with respect to my work, I was never able to read his writings or to meet him in person, and in reading his book today, I regret this profoundly, for we could have come to an understanding on a number of points.*" (Jean Piaget 1962).

développement de la théorie de l'activité (TA) dont se réclament différentes écoles de recherche dans le champ du travail et de la formation, et en didactiques.

L'articulation avec la théorie de l'activité (Léontiev, Galperine)

Galperine a travaillé la question de la dynamique du triplet "activité - action - opération" introduit par Léontiev comme différenciation centrale dans l'analyse du travail humain, au cœur du développement de l'Homme. Pour Galperine (1966), avec le développement – en particulier scolaire –, l'intégration régulière des (mêmes) opérations dans l'action transforme celle-ci en une opération de plus haut niveau, le motif de l'activité évoluant lui-même vers un but d'action : en quelque sorte, Galperine propose une interprétation du triplet "activité - action - opération" comme des notions relatives (comme le sont dans un tout autre contexte celles de stratégie - tactique - mise en œuvre). Par ailleurs, la prise en compte d'une organisation générale de l'activité en "orientation", "exécution", "contrôle" permet de préciser comment se situent des interventions didactiques de médiation (même si Galperine n'utilise pas explicitement ces termes)³³. On pourrait considérer que les interventions d'étayage portant sur l'exécution sont des "aides procédurales", alors que celles de contrôle et d'orientation seraient des "aides constructives"³⁴.

Les évolutions théoriques en psychologie du développement

Les évolutions théoriques - les lignées - ont différencié selon les contextes scientifiques et culturels, même si on y retrouve la prise en compte de la dimension sociale dans les situations d'apprentissage (cf. Laborde, 2004, pour les mathématiques), la place centrale du langage et celle des processus de narration (Bruner a été un précurseur dans ces recherches, associées aux études des processus de catégorisation). Les différences concernent entre autres le statut donné à la dimension sociale dans le travail scolaire de l'élève : dans les travaux des psychologues du développement et de l'éducation dans le

³³ Savoyant a introduit l'analyse de l'activité en psychologie ergonomique, en présentant les éléments essentiels de cette école de la psychologie soviétique (Savoyant, 1979/1992), et a plus tard utilisé le cadre de Galperine pour analyser l'intervention experte d'un instructeur de jeunes initialement sans qualification (Savoyant, 1995)

³⁴ La perspective de A. Robert qui a introduit cette distinction entre les aides est quelque peu différente, plus attachée à la proximité conceptuelle (en référence à la notion de ZDP) (Robert, 2008 ; Robert & Vandebrouck, 2014).

monde "occidental" – en France en particulier – la prise en compte du socio-constructivisme de Vygotsky converge avec les approches des néo-piagétiens en étant centré sur le développement des individus. Les successeurs russes de Vygotsky visent à élaborer des situations d'enseignement "implémentant" en classe, pour les élèves, la dynamique de construction cognitive allant de l'inter- à l'intra-psychique, le collectif des élèves se partageant un travail à réaliser, une réelle production³⁵ (Roustov, dans Garnier, Bednarz & Ulanocskaya, 2004).

3.2. Des dynamiques "trans-Atlantique" et "trans-Manche"

De l'autre côté de l'atlantique (anglophone), et du Channel ce sont d'autres perspectives (distinctes) qui se sont constituées au cours de l'histoire de la psychologie, avec ce que nous pouvons qualifier de dynamiques de réaction : les différentes positions théoriques présentes se comprennent mieux si à la fois on tient compte de ces réactions et qu'on considère la faible intervention initiale des cadres constructivistes développés en Europe francophone³⁶. Je n'en donnerai que des linéaments, pour insister un peu plus sur les cadres théoriques qui s'intéressent à "l'état initial" dans le développement du sujet (voire l'évolution cognitive de l'Homme), avec en psychologie du développement Carey qui a proposé, en ce qui concerne les concepts, une théorie du passage d'un état initial à l'état final du nouveau-né à l'adulte (Carey, 1985; 2004, 2009, 2011) et en neurosciences Dehaene, l'acteur le plus connu en France pour les conclusions qu'il a eu proposé pour les enseignements initiaux du calcul et de la lecture.

3.2.1. Lignée béhavioriste

Le départ de la lignée béhavioriste³⁷ - au début du siècle précédent - est une recherche de scientificité, rejetant l'introspection, visant à ne s'appuyer que sur des données objectives : le

³⁵ Un mouvement pédagogique : le "constructionisme" s'est engagé ailleurs dans ce sens.

³⁶ Ainsi des méthodes d'analyse de l'activité largement développées dans le cadre de la théorie de l'activité en France - quelle qu'en soit l'approche - ont-elles été "redécouvertes" outre-atlantique. De même, l'utilisation des verbalisations, qui est très importante dans la méthodologie piagétienne (Piaget, 1926), a d'abord été dénoncée comme non rigoureuse avant d'être reconsidérée bien plus tard comme un outil pertinent de recherche, sous la bannière de Erickson et Simon : "*Verbal protocols as data*" (1993).

comportement comme ensemble d'observables. Au centre des modèles béhavioristes : l'apprentissage en tant que processus d'adaptation, centré sur les processus de conditionnement, renforcement, extinction d'associations stimulus (externe) / réponse observable de l'individu comme organisme vivant. La méthode est une psychologie expérimentale qui s'applique de manière analogue pour l'animal et pour l'homme, et exclut la prise en compte de l'expression du sujet sur son activité (son comportement).

Le béhaviorisme et les apprentissages (Watson, Skinner)

Watson (1878 –1958), qui a introduit les termes “ *behaviorism* ” et “ *behaviorist* ” (Watson, 1913) et a été influencé plus tard par les travaux de Pavlov (1849-1936) sur les *réflexes conditionnés* (traduits en anglais en 1927), postule que tous les comportements complexes sont des chaînes de comportements conditionnés. En France, Piéron avait présenté ce que Reuchlin appelle un manifeste d'une psychologie objective, qui décide d'ignorer la conscience, dans des recherches expérimentales sur " *les activités des êtres et leurs rapports sensori-moteurs avec le milieu, sur ce que les Américains appellent “ the Behavior”, les Allemands “ das Verhalten”, les Italiens “ lo comportamento ”, et sur ce que nous sommes en droit d'appeler “ le comportement ” des organismes.*" (Leçon d'ouverture de Piéron à l'EPHE, 1907, in Reuchlin, 1957/1999, p. 26).

Les apprentissages sont alors eux-mêmes des conditionnements de relations stimulus / réponse. La théorie de l'apprentissage associationniste se développe avec l'utilisation du concept de “ *conditionnement opérant* ” (Thorndike : 1874-1949, Skinner : Skinner : 1904-1990), où une action naturellement produite par le sujet peut être conditionnée : on peut ainsi, par exemple, conditionner un poulet à picorer (comportement naturel) sur une cible selon des indices divers (forme, couleur, numérosité, etc.), grâce à un renforcement déterminé par l'expérimentateur. Comme Thorndike avant lui (Thorndike, 1913), Skinner a développé son cadre théorique en direction de l'enseignement, le concrétisant par la proposition détaillée de "machines à apprendre" (*Learning machines*, 1958), une préfiguration de l'apprentissage par ordinateur.

La formation des habitudes dans l'apprentissage (Hull)

Hull (1884-1952), un des représentants le plus important du behaviorisme par son influence, a été également impressionné par les articles de Pavlov traduits dans “ *Conditioned Reflexes* ” ; il a développé une théorie de l'apprentissage très élaborée, sous forme hypothético-déductive.

Pour lui, l'apprentissage est le produit de la formation de liaisons, qui peuvent être établies directement, par renforcement, ce qui suppose l'existence d'un besoin que l'individu cherche à réduire, d'une motivation (ou pulsion : *drive*). Elles peuvent être établies indirectement en tant qu'habitudes, comme répétitions d'une réaction préalablement renforcée ou par généralisation de cette réaction. Elles peuvent se constituer en chaînes complexes, avec éventuellement des "ébauches de réponse". Ces dernières constituent pour Hull (et ses élèves) une activité anticipatrice et représentative. Les stimulus peuvent alors être internes et non plus seulement externes.

L'apprentissage de concepts est modélisé dans le cadre associationniste : un concept a des dimensions et des attributs pertinents ou non pertinents (les modèles mathématiques des années 50' se basent sur la théorie des ensembles alors popularisée chez les psychologues). À une réponse selon l'attribut pertinent correspond un feedback positif (la réponse est récompensée), il s'ensuit que la force de la réponse selon cet attribut s'accroît. L'apprentissage a les mêmes lois de fonctionnement pour l'animal et pour l'homme (même si le feedback lui est adapté). Le béhaviorisme "strict" exclut de la théorisation toute considération de représentations mentales et de processus cognitifs qui traiteraient ces représentations mentales. Cette exclusion est au cœur des réactions des béhavioristes à Piaget. Il faut souligner la distance entre la notion de concept dans les études béhavioristes et celle que nous utilisons en didactique des disciplines scientifiques (comme par ailleurs en didactique professionnelle).

Mise en relation avec le cadre théorique de Piaget (Berlyne)

Toutefois, Berlyne (1924-1976), dont les travaux sont néo-hulliens selon l'expression de Piaget (1960, p.105), a introduit des modifications consistantes au cadre de Hull, conduisant à de possibles mises en relation de ses concepts théoriques avec ceux du cadre théorique de Piaget. Il a ainsi introduit le terme de "*représentation de stimuli*", une notion de "*réponse-transformation*" et a mis en relation des "*représentations de transformations*" avec les "*opérations*" du cadre théorique piagétien (Berlyne, 1960, p. 49). Piaget relève par ailleurs l'hypothèse de Berlyne à propos de la genèse de la notion d'ordre, à savoir que ce dernier dérive d'un "*compteur interne*", c'est-à-dire "*un certain processus qui se déroule à l'intérieur de l'organisme pendant que la suite des stimuli est parcourue [...]*" (Berlyne, 1960b, p. 91). Piaget argumente que l'association dont continue alors à parler Berlyne n'est plus "*une association entre des stimuli et des traces qui seraient ordonnées automatiquement*

; c'est une correspondance entre les stimuli et les états du "compteur", ceux-ci présentant des "relations naturelles "d'ordre dans la mesure où le compteur compte, et compte des objets [...] ce qu'il semble difficile de distinguer de ce que nous appelions l'activité ordinatrice du sujet [...]. Du point de vue épistémologique, parler de compteur ou d'activité du sujet signifie que l'ordre n'est pas tiré des objets et tient à la coordination même des actions d'ordonner. " (Piaget, 1960, p. 122).

Le mouvement pour la "psychologie scientifique" en France (Piéron, Fraise)

En France, l'évolution de la psychologie scientifique est d'abord marquée par un rapport étroit avec la médecine, plus particulièrement la physiologie, et la psychopathologie. L'acteur le plus marquant est H. Piéron : la psychologie scientifique qu'il défend – dans ses travaux de recherche comme dans l'établissement d'instruments institutionnels cruciaux dans la discipline – est une psychologie expérimentale, qui se doit d'être étroitement liée à la psychophysiologie qui en est en définitive la base (note : la chaire qui sera créée pour lui au Collège de France en 1923 s'intitule "*Physiologie des sensations*"). Alors qu'il introduit dans le champ de la psychologie l'utilisation du terme de "comportement", il critique par ailleurs le béhaviorisme strict, pour son recours à des mécanismes trop grossiers pour l'étude de la perception, la mémoire, l'attention et l'intelligence (Fessard, p. 10). Il se situe dans une lignée "sociale" : Dans la visée d'une "société juste", le scientifique (particulièrement le psychotechnicien dans les domaines du travail et de la formation) contribue à promouvoir une réforme sociale, pour une ordre fondé sur un principe d'égalité. Le postulat de la psychologie scientifique est alors qu'il existe des "*aptitudes individuelles inégales, scientifiquement quantifiables, qui doivent déterminer exclusivement la place sociale de chacun.* " (Roche, p. 60). Piéron développe cette ligne dans le domaine éducatif : l'INOP, devenu INETOP, en sera l'instrument institutionnel.

Le positionnement de Piéron pour la psychologie scientifique sera aussi celui de Paul Fraise, qui dirigera longtemps l'Institut de Psychologie, dont Piéron a été à l'initiative de la création en 1920. Fraise a développé dans cette ligne la psychologie expérimentale en France (cf. Plas, 2004). Pour lui, la psychologie expérimentale ne se réduit pas au laboratoire, comme il le développe dans une "défense de la méthode expérimentale" (Fraise, 1956/1968, 1988). Il a beaucoup dialogué avec Piaget - qu'il

invitera pour enseigner à la Sorbonne - et avec lequel il dirigera le *Traité de psychologie expérimentale* (1963, 9 volumes). Toutefois, les processus d'apprentissages en tant que tels et les questions d'enseignement n'apparaissent pas dans le cadre de la psychologie scientifique, ou rarement à propos de ses applications. C'est seulement dans un "*plaidoyer pour la mémoire*" (Fraïsse, 1962) qu'il abordera la question de l'acquisition de connaissances (texte repris dans Fraïsse, 1988, pp. 303-315).

Par ailleurs, la docimologie - qu'initie Piéron - questionnera les pratiques usuelles d'évaluation dans le champ scolaire. Ce sont les sciences de l'éducation qui interviendront sur ces questions, en prenant une place institutionnelle dans les années soixante sous l'impulsion de Léon, définissant la psychopédagogie comme une "*Pédagogie scientifiquement fondée sur la psychologie de l'enfant*" (Léon, 1966, p. 30), sans se référer vraiment à un cadre théorique particulier, ni aux contenus spécifiques aux disciplines enseignées.

3.2.2. Le cognitivisme : un modèle de l'esprit (mind) comme système de traitement de l'information (STI)

La constitution du cognitivisme (dans les années 50') selon le modèle de l'esprit comme *système de traitement de l'information* s'est faite contre le béhaviorisme, son exclusion du concept de représentation mentale, et en réaction à ses échecs à rendre compte de différentes données développementales, en particulier - mais pas seulement - de l'acquisition du langage chez l'enfant. Miller, un des participants à l'origine de cette constitution précise : "*In 1951, I apparently still hoped to gain scientific respectability by swearing allegiance to behaviorism. Five years later, inspired by such colleagues as Noam Chomsky and Jerry Bruner, I had stopped pretending to be a behaviorist. So I date the cognitive revolution in psychology to those years in the early 1950s.*" (Miller, 2003, p. 141).³⁸

Il précise dans le résumé : "*Psychology could not participate in the cognitive revolution until it had freed itself from behaviorism, thus restoring cognition to scientific respectability*" (op. cit., p. 141).

³⁸ Bruner (1955, 1973) n'a pas pour autant épousé la position cognitiviste du " tout traitement de l'information ".

La théorie "cognitiviste" postule que l'esprit "fonctionne comme" ou "est" un système de traitement de l'information, en considérant, dans une métaphore ou un modèle informatique, que l'esprit est le niveau logiciel (*software*) et le cerveau (organique) le niveau matériel (*hardware*).

Théorie du traitement de l'information et informatique (Newell et Simon)

Newell et Simon (Simon, 1967 ; Newell & Simon, 1973) ont été des acteurs critiques pour le développement de la théorie de traitement de l'information en psychologie ("*information processing psychology*") (Miller, op. cit., p. 142). Les représentations sont pensées comme des organisations de l'information, sous diverses formes (à l'image de celles présentes en informatique), en particulier verbales (propositionnelles) ou imagées.

Cette théorie a redonné droit de cité aux représentations mentales. Simon, avec d'autres, a également redonné un statut valide à la parole des sujets. En particulier, il a promu une méthode de comparaison entre les productions d'un modèle informatique de résolution de problème et les verbalisations du sujet réalisant la même tâche, dans un paradigme de "*thinking aloud*" (Simon, 1967). La place des protocoles verbaux comme données sera théorisée plus tard (Ericsson & Simon, 1984/édition révisée 1993).

L'apprentissage dans la théorie de l'humain système de traitement de l'information (Anderson)

L'impact dans le domaine de l'apprentissage est illustré par la place prise depuis par Anderson, dont l'ouvrage "*Cognitive skills and their acquisition*" (1981) reste une référence dans la littérature anglo-saxonne sur l'apprentissage³⁹.

Sa théorie initiale Adaptive Control of Thought – ACT[®] – postule en particulier que l'apprentissage a lieu par passage d'une connaissance "déclarative" - le "savoir quoi" – à une connaissance "procédurale" qui s'exprime sous la forme de règles de production du type "si X, alors Y", règles utilisées pour rendre compte de l'expertise dans un domaine, les experts ayant davantage de connaissances et surtout de règles de production, plus pertinentes que celles des novices. Comme le modèle *General Problem Solver* de Newell

³⁹ Ainsi que *The architecture of cognition* (1983) dans lequel le modèle est décrit. Un bon résumé se trouve dans (Nguyen, 1995).

et Simon, ACT et ses développements ultérieurs sont implémentés en tant que programmes.

Les relations entre prévision du modèle et apprentissages ont été étudiées expérimentalement en géométrie et en programmation LISP (les deux à des niveaux tout à fait élémentaires) avec la conception de "*Cognitive Tutors*". Le modèle a été enrichi pour rendre compte des apprentissages par analogie et des transferts d'apprentissage. Dans la même ligne que dans les travaux sur les systèmes experts, il a plus tard été élargi à la métacognition (connaissances du sujet sur ses propres connaissances et leur mise en œuvre). La version ACT-R (R pour Rational) ajoute des modules de perception et d'action gérant l'interface avec une simulation du monde réel (Anderson et al. 2004).

Une caractéristique de ce modèle symbolique de la cognition humaine, issu de la théorie STI, implémenté selon différentes variantes⁴⁰, reste l'absence de référence à un processus de conceptualisation, et l'identification des concepts à des (sous-)classes dans une catégorisation.

La théorie béhavioriste et celle de l'esprit (mind) comme système de traitement de l'information continuent d'occuper une place importante dans les recherches sur les processus cognitifs, y compris au-delà des situations expérimentales : la première davantage à titre méthodologique que conceptuel, la seconde "imprègne" les recherches sur la cognition dans le travail. Toutefois, la place de la sémantique du domaine, les liens entre les représentations construites par les acteurs et la finalité de l'action, a largement ouvert le cadre théorique et le traitement de l'information y devient un composant de l'activité cognitive et non plus son modèle.

Une double influence dans ce mouvement en psychologie cognitive vient deux types de réaction : "l'action située" – issue de l'ethnologie et l'anthropologie – et la "cognition incarnée" ("grounded cognition", "embodied cognition") - issue du Projet Emory de psychologie écologique : Neisser (1976, 1989) et Barsalou (1989).

⁴⁰ La présentation par Wikipedia (consulté le 25/02/2015) cite par ailleurs la résolution d'équations algébriques comme problème complexe, et présente *Cognitive Tutor for Mathematics* comme une application réussie, utilisée dans des milliers d'écoles aux USA. Il est clair qu'on est dans l'apprentissage de procédures. Donc, pourquoi cela ne marcherait pas, si on s'y limite.

3.2.3. Des réactions : l'action située, l'énaction, la cognition "incarnée"

Schématiquement, je dirai que l'**action située** appelle à prendre en compte de manière centrale la situation dans laquelle se déploie l'action et les processus cognitifs qui lui sont liés. Du point de vue de l'apprentissage, la cognition se développe et fonctionne dans une communauté de pratique - c'est la thématique introduite par Lave et Wenger et reprise par une communauté de chercheurs au-delà des USA, communauté qui s'est développée avec une ignorance marquée de la théorie de l'activité qui l'avait de loin précédée : le modèle de double régulation de l'activité, développé en psychologie ergonomique pose clairement la double détermination par la situation (la tâche comme but dans des conditions données) et par le sujet lui-même.

Une version "forte" de cette théorie postule que la cognition est "indétachable" du contexte : à la limite, il n'y a pas de représentations génériques qui constitueraient des invariants de fonctionnement.

L'approche de "l'**énaction**" se situe dans un ligne analogue, mais elle est issue d'abord de la biologie (avec Maturana et Varela, 1980) et elle se situe dans une approche philosophique - bouddhiste - qui, entre autres, refuse la "dualité cartésienne". Selon la théorie de "l'énaction", introduite sous ce terme en psychologie par Varela, Thompson & Rosch (1991/1993), il y a émergence de propriétés de l'action, qu'on pourrait traiter de "représentations" en les considérant "de l'extérieur", alors qu'il n'en est rien chez l'acteur - "de l'intérieur" - l'action étant le seul réel. La cognition est l'exercice de capacités d'une action située et incorporée, dans un monde de l'agent qui est la construction de l'interaction avec l'environnement (cf. Thompson, 2005 à propos de l'activité sensori-motrice), et n'a pas une réalité *a priori* qui serait représentée dans son cerveau (*brain*).

Il est important de distinguer la théorie en tant que telle (en particulier dans une version "forte") de l'existence de processus d'émergence, telle que ceux mis en évidence par des études sur le fonctionnement collectif d'agents individuellement "peu intelligents" (naturels, comme les fourmis, ou artificiels) mais dont l'action réitérée ("*n*" fois, *n* étant très grand...) fait émerger des propriétés d'un acteur collectif "intelligent" (semblant par exemple organiser en commun la récolte de nourriture pour la fourmilière). On peut

aussi souligner que chez Piaget comme chez Vergnaud la notion de "schème" comme dimension de la cognition rend compte de processus seulement en-acte (" *la mémoire d'un schème est ce schème* ", déclarent ainsi Inhelder et Piaget - 1966/2004).

Globalement, l'approche de la "**cognition incarnée**" est une réaction à la considération de la seule information symbolique, telle qu'elle est traitée dans les programmes informatiques implémentant la théorie STI, et également une réaction au behaviorisme cherchant des relations de détermination de la réponse en fonction du stimulus. Elle est issue du projet de "**cognition écologique**" engagé par Neisser à l'Université Emory pour prendre en compte les conditions des situations réelles dans la construction théorique et non les seules études expérimentales (prétendant contrôler toutes les variables ou en neutraliser les effets) qui sont "écologiquement invalides" (Neisser, 1976). Ses études sur la "mémoire épisodique" (celle des événements) montrent qu'elle est (en partie) construite ou reconstruite à partir de la situation et que l'émotion vécue joue un rôle important dans cette (re)construction (notion de "*repisodic memory*") - ce qui invalide la pertinence générale d'études de la mémoire qui soient purement expérimentales.

Au-delà de la psychologie écologique défendue par Neisser, Barsalou a développé le cadre théorique de la "**grounded cognition**", que je traduirais par "**cognition ancrée**"⁴¹. Il s'agit d'une vue de la cognition qui s'oppose à ce que serait une vue "classique" des sciences cognitives de la cognition comme un système modulaire (un module complexe, organisé, avec des mécanismes associés à l'attention, la mémoire à long terme, la mémoire de travail, les connaissances, le langage ...), distinct des systèmes modulaires de la perception, de l'action et des états internes (Kiefer & Barsalou, 2013). Dans ce cadre, la cognition a des bases, ou mieux des "ancrages" de quatre ordres : 1) des systèmes spécifiquement liés à des **modalités sensorielles** (vision, audition, goût, toucher, ...) ; 2) le **corps et les actions motrices** : ainsi, par exemple, des simulations dans le système moteur accompagnant ainsi les représentations d'actions (motrices), et les états du corps (dont mimiques et postures) affectant la cognition sociale - et réciproquement ; 3) l'**environnement physique** - central en psychologie écologique - ; le système cognitif étant organisé pour supporter l'action finalisée sur les objets du

⁴¹ Je ne connais pas de traduction non paraphrastique de cette expression "*grounded cognition*", mais je propose "*cognition ancrée*", puisqu'on peut s'ancrer en plusieurs lieux.

monde (avec une référence à la notion d'*affordance* de Gibson⁴², et les catégorisations fonctionnelles des objets) ; 4) la cognition est enfin également ancrée dans l'**environnement social** : du point de vue de l'évolution, les mécanismes cognitifs propres aux humains sont intrinsèquement sociaux, qu'il s'agisse du langage, des activations en miroir (*mirroring*⁴³), ou de la prise en compte du point de vue d'autrui.

Kiefer et Barsalou soulignent (op. cit. p.382) que le terme "**embodied cognition**" (la *cognition incarnée*) est beaucoup trop étroit, même si le corps (incluant les action perceptives et motrices) est effectivement un des fondements de la cognition.

Du point de vue de la "grounded cognition", le *système conceptuel* – basé sur un organisation catégorielle – n'est lui-même pas modulaire, mais tient ses fondements des modalités de la perception, de l'action et des états internes, et c'est ce qui donne aux représentations catégorielles un caractère modal (p. 384).

En didactique des mathématiques et des sciences, ou en psychologie des enseignements scientifiques, c'est la notion de cognition incarnée (*embodied cognition*) qui a été reprise comme cadre théorique motivant / justifiant des formes d'entrée dans un domaine particulier de savoir (le nombre, l'espace, le mouvement, ...), en donnant d'une part une place importante – voire centrale – à la sémantique pour les acquisitions scolaires. C'est par exemple le cas des travaux de Sander et de Brissiaud sur les problèmes à énoncés verbaux (en particulier multiplicatifs) faisant référence à des situations du monde familier (dans l'enseignement élémentaire) (Brissiaud & Sander, 2010). C'est aussi le cas de positions en didactique de la physique, comme celle de A. Tiberghien, considérant que les "connaissances naïves" spontanément acquises dans la vie quotidienne doivent constituer un socle pour l'enseignement des savoirs

⁴² Gibson a développé la notion d'*affordance* (devenu un mot français en psychologie) pour la vision (Gibson, 1979) : l'humain perçoit les objets à partir des possibilités d'actions (par ex. : une surface plane à bonne hauteur est vue comme "pour poser dessus"). D'où une dimension fonctionnelle de la catégorisation. Richard souligne la relation avec la notion piagétienne de schème (Richard, 2004, p. 61). La notion a été ultérieurement étendue au-delà de la vision.

⁴³ Lorsqu'un humain regarde agir un autre humain, un système particulier de neurones s'active - les "*neurones miroirs*", qui reflètent en quelque sorte les opérations motrices observées (Rizzolatti & Sinigaglia, 2008). Comme pour la communication langagière, ou l'utilisation d'instruments, des recherches questionnent la spécificité proprement humaine de tels mécanismes cognitifs.

scientifiques, pour donner du sens aux notions enseignées, en insistant aussi sur le caractère contextualisé des connaissances, tenant aux situations dans lesquelles elles ont été acquises et qui leur donnent du sens. C'est ce que relève Bastien (2010) dans sa recension dans la *Revue Française de Pédagogie* de l'ouvrage "*Les connaissances naïves*" (Lautrey, Rémi-Giraud, Sander, & Tiberghien, 2008).

Certes cette position renvoie aussi à Vygotsky lorsqu'il présente les relations entre "concepts quotidiens" et "concepts scientifiques" (Vygotsky, 1997, chapitre 6), mais la dimension épistémologique est absente de l'analyse de Vygotsky, et la question de la continuité et de la rupture conceptuelle n'y est pas évoquée, ne serait-ce que sous la forme de la mise en cohérence et de la réorganisation et des champs conceptuels.

3.2.4. Psychologie cognitive et fonctionnalisme: un retour?

Une des évolutions des recherches en psychologie cognitive est un relatif dépassement des discussions sur les grands cadres théoriques, bien que ces recherches restent très marquées par le modèle STI et considèrent les activités mentales en tant que traitements de représentations de l'information (cf. par ex. l'ouvrage de Richard, 2004, "*Les activités mentales*" dont le sous-titre est "*De la représentation de l'information à l'action*"). La problématique générale est celle des activités finalisées, dans lesquelles sont mises en œuvre perception, de mémorisation, représentation, raisonnement inférentiel et - plus récemment - traitement de l'incertitude, langage... Des processus cognitifs qu'on pourrait dire "de base" sont mis en relation avec leur fonctionnement dans les activités finalisées.

L'École de Cambridge et approches européennes

Il s'est produit, en particulier en France, une rencontre *de facto* avec le fonctionnalisme développé outre Manche par ce que j'appellerai École de Cambridge. J'ai relevé plus haut la place singulière de Berlyne vis-à-vis de la mise en œuvre du béhaviorisme pour le développement de l'enfant. Il faut relever qu'il a fait des études universitaires initiales à Cambridge, où psychologues et philosophes ont développé des cadres indépendants, ouverts aux approches européennes, et ont donné une place centrale à la fonction des processus cognitifs. Ainsi, Bartlett (1886-1969) a développé des travaux marquant en psychologie cognitive sur la *mémorisation* (Bartlett, 1932), et sur la place des *schémas* dans la pensée en tant qu'organismes des expériences passées permettant des processus prédictifs et

constructifs. Mais il ne s'est pas orienté vers l'apprentissage, et les recherches sur l'enseignement ne s'en réclament pas. De l'école de Cambridge aussi, Baddeley a introduit le concept de mémoire de travail (Baddeley & Hitch, 1974 ; Baddeley, 2007), dont des travaux en psychologie de l'éducation cherchent maintenant les relations avec les acquisitions scolaires (cf. Barrouillet & Camos, 2006).

J'avancerais ici que ces chercheurs rejoignent souvent des positions fonctionnalistes et pragmatiques d'"anciens" : James (1842-1910), Peirce (1839-1914) et Dewey (1859-1952), dont les deux derniers inspirent toujours les théories de l'éducation et de la formation - en particulier, les approches sémiotiques pour Peirce⁴⁴ et l'approche didactique par l'enquête pour Dewey. L'approche de Dewey considère la pensée comme résultant d'une interaction entre le sujet et son environnement, dans laquelle la connaissance est un outil pratique pour l'orientation et le contrôle de l'action. Sans les termes, Dewey a développé là une problématique d'activité finalisée, à l'opposé de la position béhavioriste, et que n'a pas plus en compte la théorie de "cognitivism strict" considérant le cerveau (*mind*) comme un système de traitement de l'information.

Les ouvertures de problématiques : cognition, émotion, conation ; activités finalisées (travail, vie quotidienne)

Les problématiques se sont également ouvertes aux rapports entre la cognition (le "savoir" - *kennen* - et le "pouvoir" - *können*), l'émotion (le "ressentir"⁴⁵) et la conation (le "vouloir"). Sous-jacents à la dynamique complexe des théorisations en psychologie cognitive, on peut relever des mouvements de balancier dans le traitement de la dialectique "structure et fonctionnement", en général et en particulier à propos des acquisitions de connaissances (et par contre-coup de leur enseignement)⁴⁶. Il me semble

⁴⁴ Une orientation de recherches dans l'enseignement des mathématiques s'est développée depuis les années 90 donnant une place centrale aux représentations sémiotiques en mathématiques, souvent en relation avec les processus de communication - (cf. en France, (Duval, 1993, 1996) et sur le plan international (Radford, Schubring & Seeger, 2008). Bloch (2005) a mis directement en relation la théorie de Peirce et la didactique des mathématiques.

⁴⁵ Je propose un terme relativement inadéquat, voulant répondre à la dimension "active" du ressentir.

⁴⁶ Dialectique qui rejoint la question abordée par Gréco sous le thème de structures et significations (1991) pour rendre compte en particulier de la place du contenu dans les opérations (et de la variabilité intra-individuelle selon l'objet), alors que Bastien et Bastien-Togniazzi (2005) l'ont posée comme une opposition entre approche logique (essentiellement

qu'on peut retrouver l'effet d'un tel mouvement dans les visées exprimées dans les textes institutionnels sur l'école : une "approche par compétences" vient y remplacer les buts d'acquisition de connaissances. Ce mouvement est accentué par des processus d'évaluation tels que PISA, où le traitement de situations " de la vie quotidienne " domine sur la question de l'appropriation de savoirs en termes de conceptualisation (ce qui est autre chose que la connaissance d'un texte du savoir).

Par ailleurs, les évolutions dans l'étude des activités humaines, y compris des apprentissages, ont (re)élargi l'empan des questions abordées en psychologie cognitive : pour schématiser on est passé de tâches de laboratoire à la prise en compte de la sémantique des domaines d'action évoqués et de l'impact cognitif des activités impliquées dans la vie quotidienne, ce qui peut éclairer des phénomènes rencontrés dans l'enseignement.

Ainsi,

- la "suffisance" de concepts quotidiens de la physique peut les constituer en obstacles du fait de leur discordance avec les champs conceptuels nécessaires pour rendre compte de manière cohérente d'un ensemble de phénomènes (Viennot, 2003/1996) ;

- le caractère "statistique" ou "probabiliste" des raisonnements inférentiels "naturels", qui "suffisamment" efficaces pour rendre compte à la fois de la régularité et de l'incertitude des événements dans le monde quotidien, s'oppose au caractère "logique" nécessaire au raisonnement scientifique (Poltzer, 2004, 2007) ;

- les "principes d'informativité" de la communication naturelle analysés dans la théorie de la pertinence (Sperber & Wilson, 1995) entrent en conflit avec le traitement d'objets mathématiques (où " 3 est supérieur ou égal à 2 " est aussi vrai que " 3 est strictement supérieur à 2 " mais non perçu comme tel) ou avec la logique du monde : ainsi le fait qu'une étudiante militante - Linda - devienne (dans une banque) " *une chargée de clientèle engagée dans le mouvement féministe*" est jugé plus probable ou plausible que le

celle de Piaget) et approche psychologique du développement cognitif, pour rendre compte en particulier de la diversité inter-individuelle dans les apprentissages (donc entre élèves lors des enseignements).

fait qu'elle devienne "*chargée de clientèle*" (Tversky & Kahneman, 1983 ; Kahneman, 2011) ;

- les processus langagiers engagés dans l'argumentation ne sont pas ceux de la validation scientifique.

Dans l'enseignement, cela peut se traduire par des ruptures, soit de "posture" vis-à-vis des tâches, soit proprement conceptuelles, qui doivent être reconnues avant d'être gérées dans des situations didactiques appropriées (Viennot, 2003/1996). Je voudrais souligner ici que je prends position sur l'existence de ruptures (dont certaines sont liées au franchissement d'obstacles épistémologiques). En fait, depuis longtemps il n'y pas accord entre psychologues (ni d'ailleurs dans le champ de l'éducation et des didactiques) sur cette question continuité / rupture dans les apprentissages conceptuels et dans le développement cognitif. Avec la notion de Zone Proximale de Développement, Vygotsky semble pencher pour la continuité, alors que les processus d'accommodation chez Piaget (qui considèrent une réorganisation de structures) sont compatibles avec l'existence de ruptures. La résurgence d'erreurs "de débutant" dans des réponses d'étudiants confirmés peut questionner la notion de "rupture" ou tout au moins la notion d'équilibre (re)trouvé après une rupture⁴⁷.

3.3. Nativisme et neurosciences : des capacités cognitives disponibles dès l'origine ? l'apprentissage : un "recyclage" de circuits "déjà là" ?

Je vais distinguer deux approches orientées vers une "recherche des origines" dans le développement et les acquisitions, bien qu'elles n'aient pas été initialement indépendantes. La première approche est celle de Chomsky, questionnant l'incapacité du béhaviorisme de rendre compte de la précocité des acquisitions en matière de

⁴⁷ L'évolution des réponses d'enseignants de physique en formation à propos de la conceptualisation sur la lumière dans l'étude de Viennot et de Hosson (2015) en fournit un exemple. Les travaux de Crépault et ses élèves sur les acquisitions d'élèves dans le traitement de relations ternaires (type $U=RI$ en électricité, $D=VT$ en cinématique) peuvent également être relus selon la question en termes de "ruptures conceptuelles" ou de "sous-couches" dans des champs conceptuels plus ou moins "locaux" (Crépault, 1989, 1993 ; Jamet, 1997). Bien évidemment, je ne propose pas comme hypothèse que tout soit rupture dans les acquisitions !

structures linguistiques (1959), et proposant l'existence d'une grammaire générative présente dans l'espèce humaine comme système explicatif du processus des acquisitions linguistiques (Chomsky, 1957, 1965). La seconde approche est celle des neurosciences, dont Dehaene est une référence, qui postulent que le cerveau contient dès la naissance les structures (organisations cérébrales) et les processus (algorithmes) de connaissance du monde, dont la plasticité permettra les apprentissages ultérieurs, qui vont les activer et/ou les recycler⁴⁸.

3.3.1. Le nativisme (innéisme) et la question de "l'état initial "

S'opposant d'abord au béhaviorisme, le nativisme (je dirais aussi innéisme) pose que certains capacités cognitives sont "déjà là", "câblées" dans le cerveau dès la naissance. Chomsky en a été l'initiateur dans le champ des questions de psychologie linguistique, en réponse au constat de la rapidité d'apprentissage du langage (oral) chez l'enfant, et de sa capacité à régulariser des formes linguistiques et de produire des phrases jamais entendues (la dimension créative de l'apprentissage du langage). L'existence de capacités d'inférences statistiques en-acte fait partie des interprétations d'un certain nombre de phénomènes d'adaptation, mais elle n'est pas suffisante pour rendre compte des acquisition des langages dans leur complexité.

Le postulat fondateur de Chomsky est qu'il existe des principes sous-jacents dans la structure du langage, qui sont biologiquement déterminés et génériquement transmis dans l'espèce humaine, ce qu'on peut appeler une grammaire universelle. Il s'est ainsi opposé à Piaget quant au rôle du langage et son développement. Cette existence innée expliquerait à la fois la capacité d'apprentissage rapide de n'importe quelle langue (du milieu d'origine, dite langue maternelle), les discriminations très précoces, et la productivité du langage : l'existence d'un grammaire formelle explique la possibilité de comprendre et de produire une infinité (potentielle) d'énoncés, à partir d'un ensemble limité de règles grammaticale et un ensemble limité de termes (lexicaux). C'est la thèse de la linguistique générative. D'autres processus d'acquisition ont été depuis postulés

⁴⁸ Voir la mise en texte par C. Combelles de la Conférence inaugurale des Journées Nationales de Toulouse, de S. Dehaene, : " Pourquoi nous sommes tous doués en mathématiques ", *Bulletin de l'APMEP*, 523, 197-210.

dans un développement constant des recherches en psycholinguistique, et étayés par des données empiriques. L'impact de ces travaux a évidemment concerné l'enseignement de la langue maternelle - donc en France la didactique du français, mais le mouvement innéiste s'est poursuivi et étendu à d'autres domaines cognitifs.

Parallèlement, dans une position nativisme, critique vis-à-vis du béhaviorisme et de l'associationnisme, particulièrement appliquée au langage (Fodor, Bever, T.G., & Garrett, 1974), Fodor a aussi supposé l'existence de modules spécialisés dans d'autres fonctions ("*modularity of mind*"), avec le même postulat d'une propriété d'innéité. Ce postulat de spécificité - largement partagé ensuite - s'opposait à l'idée de mécanismes cognitifs et de processus d'apprentissage qui seraient indépendants des domaines⁴⁹. Il a de plus supposé l'existence d'un "langage mental" (le "*mentais*") (Fodor, 1975).

En France, c'est Mehler, issu du même centre de recherche de l'université d'Harvard, qui a introduit la linguistique générative de Chomsky, ainsi d'ailleurs qu'une méthodologie d'étude du nouveau-né et du nourrisson (s'appuyant sur la réponse constituée par la succion non nutritive), et développé la ligne innéiste dans laquelle se situe Dehaene⁵⁰. Dans une opposition innéiste à Piaget, Mehler avait auparavant défendu - dans Science, (Mehler & Bever, 1967) - l'idée de capacité numérique chez le tout jeune enfant (autour de 2 ans), capacité "perdue" ensuite, puis "retrouvée" (vers 4 ans), permettant de conclure à une connaissance du nombre bien avant le "stade des opérations concrètes" auquel la situait Piaget en tant qu'invariant dans un ensemble de transformations (la "conservation du nombre"). À la différence des approches piagétienne d'épistémologie génétique le statut des faits numériques "manipulés" dans les expériences avec les bébés ou les très jeunes enfants n'est pas questionné : ni l'empan numérique considéré pour la "conservation" ou le "comptage", ni le processus d'abstraction numérique, ni les conflits

⁴⁹ L'opposition à Piaget portait aussi sur ce point avec un débat engagé sur la notion de "*stades*" de développement avec des structures de pensée indépendantes générales, et particulièrement sur le rôle théorique joué par les "*conservations*" (invariant de quantités discrètes ou continues selon certaines transformations), qui présentaient de fait des "*décalages*" significatifs selon les contenus : ce qui a conduit des psychologues du développement à proposer des évolutions avec des "stades" mais spécifiques à des domaines de connaissance.

⁵⁰ Melher a fait son PhD dans l'équipe de Miller (cf. supra), travaillé avec Bever, lui-même publiant avec Fodor. Il a été le directeur de thèse de Dehaene - parmi d'autres chercheurs de neurosciences défenseurs de la thèse nativiste.

d'indicateurs de numérosité, ni les multiples opérations qui portent sur le nombre (par exemple, la conservation de la différence numérique de collections quand on itère "très loin" l'adjonction à chacune d'un élément) ne sont analysées par les innéistes.

La problématique de l'éducation n'est pas directement présente dans cette première ligne de l'innéisme. Mais ainsi que le soulignent Bideaud et ses co-auteurs à propos du numérique : "*[...] la position de base prise au sujet des bébés [...] détermine et oriente les recherches portant sur la construction du nombre chez l'enfant, et l'on sait que celles-ci finissent toujours par influencer la pédagogie des apprentissages mathématiques*" (Bideau, Lehalle, & Vilette, 2004). C'est ce qui se concrétise avec un certain nombre des recherches initiées par Dehaene sur le nombre, parmi les plus médiatisées, et pas seulement dans le domaine de l'éducation.

3.3.2. Les "organisations de base" et la neuro-psychologie

"Les lois psychologiques, même si elles peuvent être exprimées sous forme d'algorithmes formels, ne seront comprises en profondeur que lorsqu'elles auront été mises en relation avec les différents niveaux d'organisation du système nerveux" et c'est l'imagerie cérébrale qui *"donne accès à l'architecture fonctionnelle et aux mécanismes des fonctions cognitives, plus directement que la traditionnelle étude du comportement."*

Cette double déclaration de Stanislas Dehaene dans sa leçon inaugurale au Collège de France (2006) peut être prise de deux manières : une interprétation dans un sens réductionniste est qu'il n'y a de psychologie cognitive scientifique que celle des bases cérébrales du fonctionnement cognitif ; une interprétation, à mon sens plus productive et qui semble être celle de Dehaene, est la nécessité pour la recherche d'explicitier la relation entre deux niveaux de fonctionnement, celui des bases cérébrales et celui des observables comportementaux d'opérations cognitives composants de la cognition (Dehaene fait d'ailleurs référence à W. James et à H. Piéron).

Dehaene a par ailleurs utilisé l'instrumentation offerte par l'imagerie cérébrale dans l'orientation nativiste de Mehler, en recherchant ce qu'on pourrait appeler des acquis cognitifs de l'espèce (humaine), en particulier sur le nombre, l'espace et le temps, ce dernier concept étant associé aux mathématiques et non comme on pourrait l'attendre à

la physique⁵¹, en postulant qu'on peut en déduire les activités mathématiques ultérieures. *"Je prétends en effet que l'activité mathématique trouve ses racines ultimes dans les représentations mentales structurées que nous héritons de notre évolution : le sens du nombre, de l'espace, du temps... Au laboratoire, nous ne pouvons guère qu'étudier les plus élémentaires de ces opérations mentales, que l'on pourrait qualifier de proto-mathématiques. Toutefois, nous commençons à les comprendre dans un détail tel que nous pouvons, étape par étape, inférer la nature des processus employés par notre cerveau."* (Dehaene, 2006, §17). Il avait été plus loin dans un article de 2001 en annonçant des conséquences pour l'enseignement : *"... une analyse similaire [à celle du nombre] pourrait être menée pour d'autres domaines des mathématiques. La topologie et la géométrie, par exemple, pourraient être reliées de façon plausible à des représentations de l'espace calculées dans nos régions pariétales et péri-hippocampales, et comme notre compréhension des fondations neuropsychologiques avec l'héritage de l'espèce s'approfondit, on va pouvoir [...] atteindre une meilleure compréhension de la nature de l'entreprise mathématique [...] et notre capacité à enseigner ce domaine notoirement difficile s'améliorera"* (ma traduction).

On comprend la médiatisation dont ses travaux sur le nombre ont été l'objet, et pas seulement dans le champ éducatif (Dehaene est revenu plus tard à propos de l'enseignement de la lecture sur les conclusions à (ne pas) tirer en éducation⁵²).

De très nombreuses recherches (à partir de celles initiées par Dehaene) ont mis en évidence deux systèmes cérébraux distincts impliqués l'un dans la perception très précoce de la numérosité de (très) petites collections et l'autre dans celle des "grandes" quantités numériques. Des études en psychologie de l'éducation ont montré que des

⁵¹ L'ouvrage de Dehaene & Brannon (2011) s'intitule en effet *"Space, time and number in the brain: Searching for the foundations of mathematical thought"*.

⁵² Stanislas Dehaene fait d'ailleurs la déclaration suivante à propos de l'enseignement de la lecture (9 mars 2007) *"Ce n'est pas des neurosciences que va venir le choix à faire entre méthode analytique ou synthétique. Tout fonctionne de manière bidimensionnelle. Les zones activées s'adressent à la fois à la graphologie et à la morphologie, à la lettre et au sens. Les neurosciences ne doivent pas servir d'alibi à une politique. [Leur] utilité pratique est encore assez limitée, [leurs] connaissances très fragmentaires."*

apprentissages dans l'un ou l'autre domaine avaient un impact positif sur les premières acquisitions numériques⁵³.

Pour autant, on ne peut pas parler sans précaution de "*concept de nombre*" (en allant au-delà de la formulation de Dehaene parlant de "*sens du nombre*"), sans une analyse épistémologique du champ conceptuel numérique (des entiers), en ignorant aussi bien ce qu'ont apporté les travaux piagétiens sur ce point (Gréco, Grize, Papert, & Piaget, 1960) que les recherches de Vergnaud sur les structures additives et les structures multiplicatives - qui montrent les uns et les autres la complexité des contenus en jeu dès l'enseignement primaire.

Certes, les cadres théoriques non développementaux en psychologie cognitive n'ont pas non plus pris en compte la dimension épistémologique dans l'étude des processus cognitifs qui sont en jeu dans les activités et acquisitions mathématiques et scientifiques dans l'enseignement. Mais la séduction des apports de l'instrumentation en neuropsychologie ne doit occulter le fait que pour aller au-delà de l'existence d'un sens du nombre, et de l'espace, des statistiques (sens partagés par d'autres espèces animales) il faut prendre en compte la question de la fonctionnalité des concepts qui leur sont liés non seulement au plan individuel mais aussi, et surtout - concernant l'enseignement - au plan socio-historique : à quels problèmes répondent-ils ou ont-ils historiquement répondu dans la construction des mathématiques ?

4. Retour sur la psychologie cognitive et ses relations potentielles avec les didactiques des mathématiques et des sciences de la nature

Le grand détour précédent sur les cadres théoriques ou les "lignées" des recherches en psychologie cognitive ne doit pas conduire à penser qu'il s'est agi d'une succession de révolutions coperniciennes (sauf peut-être le passage de la psychologie de l'introspection - pour dire vite - à la psychologie objective du comportement que Fraise a qualifié de changement de paradigme - 1988, p. 101 sq.), chaque théorie nouvelle

⁵³ La bibliographie propose quelques références seulement des travaux des chercheurs français.

remplaçant la théorie précédente, dans un processus qui culminerait avec la neuropsychologie cognitive. En fait, dans les cadres "expérimentalistes" sur les processus cognitifs, des problématiques sont restées communes à propos des fonctions générales en jeu dans les activités cognitives (perception, attention, mémoire, etc.) des opérations cognitives impliquée dans nombre de ces activités (dont la catégorisation et le raisonnement "à un pas"), et des propriétés de fonctionnement cognitif (par exemple la flexibilité et l'inhibition⁵⁴). De manière analogue, des méthodes comme la méthode expérimentale issue du comportementalisme ont été maintenues, avec les changements d'instruments de recueil et de traitement de données - dont les techniques de recherche de causalité développées sous forme d'inférences dans le champ de la statistique (Drouet, 2012).

Si l'on revient maintenant aux questions initiales, quelles sont les réponses qu'on peut proposer ?

Dès le début d'une psychologie se dégageant de l'introspection et cherchant des observables sur le fonctionnement cognitif humain - fin du 19^{ème} siècle -, les relations entre zones et structures cérébrales et processus cognitifs (je me permets cet anachronisme de terminologie), des réponses ont été étudiées selon deux voies. D'une part, la comparaison entre "normal" et "pathologique" (dont je n'ai rien dit dans ce qui précède) étayée par les études anatomiques post-mortem a contribué aux connaissances sur la localisation de structures liées au langage, et à celle d'aires du contrôle. D'autre part, le développement d'instruments d'investigation a permis de fournir de nouveaux observables sur les sujets vivants, et d'identifier des conditions des processus perceptifs et moteurs (dont ceux concernant la maîtrise des temps de présentation de stimulus et la mesure des temps de réaction), conduisant déjà aussi à mettre en relation des paramètres observables comme la distribution sanguine lors d'activités intellectuelles.

⁵⁴ Fraisse (1968, p. 277) présente une expérience de mesure de la "flexibilité de la pensée" dans la résolution des problèmes publiée en 1948. Gréco et Piaget (1959) parlent de constitution d'un "*schème inhibitoire ou négatif*", quand un processus d'apprentissage discriminatif conduit vers une bonne réponse en neutralisant les indices et schèmes déroutants. C'est une thématique renouvelée en psychologie développementale avec la prise en compte des processus de contrôle cognitif liés au fonctionnement du système exécutif, et en particulier à l'inhibition (cf. par exemple, Chevalier & Blaye, 2006 ; Blaye, Chevalier & Paour, 2007), ou mettant en relation le niveau neuropsychologique, le développement cognitif et/ou les acquisitions scolaires (Barrouillet, 2011 ; Fayol et al, 1998).

Des outils nouveaux ont néanmoins permis de mettre en évidence des processus plus complexes, en particulier sur l'anticipation. Ainsi, dans une expérience "cruciale" utilisant le tachytoscope, Bruner et Postman -1949 - ont ainsi montré que la perception dépendait des attentes du sujet : la perception d'un élément incongru par rapport à l'expérience du sujet - comme l'image d'une carte portant un six de piques rouge - prend notablement beaucoup plus de temps qu'un élément cohérent par rapport à cette expérience comme un six de pique noir ou un neuf de cœur rouge.

Ces observables ont évidemment été très enrichis avec le développement d'outils impliquant des traitements permis seulement par les développements technologiques - dont ceux de l'informatique (cf. les références fournies dans l'excellent document de Wikipedia consacré à l'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique - *Functional magnetic resonance imaging : fMRI*). Ils conduisent à chercher quelles sont les zones actives lors de certains processus déjà connus par ailleurs, et inversement à inférer de l'activité de certaines zones les processus en jeu. Une caractéristique commune est de concerner des tâches (ici aussi j'utilise un anachronisme : les psychologues ont plus souvent parlé de *stimulus*) réalisables dans des temps courts et mettant en oeuvre des processus élémentaires bien cernés, mais n'impliquant pas une articulation de tels processus élémentaires.

Retour sur les "niveaux" de fonctionnement cognitif

Les données obtenues sur les relations entre le fonctionnement cognitif et son substrat cortical peuvent conduire à des modèles d'apprentissage ; pour autant ceux-ci ne sont guère directement pertinents pour la didactique des disciplines étant donné que les acquis concernent essentiellement les structures cérébrales impliquées dans le traitement de tâches brèves - aussi bien dans leur prescription au sujet que dans le type de réponse qu'on lui demande. Par exemple, les tâches mathématiques "complexes" évoquées dans la littérature neuro-psychologique peuvent se réduire à l'évaluation de la justesse d'une multiplication d'un nombre par deux ou cinq, ou de l'ordre de grandeur d'une multiplication de nombres de 2 à 3 digits.

Cependant les méthodes élaborées, comme celles de l'imagerie cérébrale, après celles initiées dès le 19^{ème} comme l'EEG, permettent d'avoir une démarche de confirmation scientifique de connaissances "laïques" (celles de la psychologie naturelle) ou

d'inférences issus de modèles cognitifs construits à partir de l'analyse de l'activité. Ainsi, on pourrait rapporter la notion fort ancienne de l'existence d'un "âge de raison" aussi bien au développement des "structures logiques" étudié par Piaget (activité de l'enfant dans l'entretien avec le chercheur) qu'à l'identification des structures cérébrales impliquées dans le contrôle cognitif (postulées par Shiffrin et Schneider dans des modèles "abstrait", qui sont l'objet d'un processus de maturation au cours de l'enfance, et qui peuvent aussi faire l'objet d'un apprentissage comme l'a montré Houdé).

Il y a un (grand) pas de là à considérer que ce qui est complexe peut s'étudier comme la conjonction de processus élémentaires, et pas plus à proposer d'appliquer dans des domaines comme l'acquisition (et l'enseignement) de connaissances scientifiques des résultats obtenus dans les situations expérimentales sur des contenus réduits. Pour mémoire, je rappellerai que les études sur la mémoire immédiate ont conduit Miller à proposer un modèle de mémorisation d'un nombre très limité d'items - le nombre magique 7 ± 2 (après avoir été 4). Or, les études en psychologie ergonomique sur des tâches professionnelles ont montré l'existence de processus mnésiques allant bien au-delà de cette limite, conduisant à parler alors de "mémoire opérationnelle" (Bisseret, 1970/71, Spérandio, 1975). En fait, l'intégration d'un processus de mémorisation dans une tâche plus complexe mais significative pour le sujet lui ouvre de nouveaux possibles (Richard, 1982). Il faut signaler d'ailleurs que des recherches portant sur l'étude des structures cérébrales de sujets experts (au sens fort à la fois de l'expérience et de l'efficacité, et non pas au sens de l'opposition expert / novice des études comparatives du débutant au sujet plus expérimenté) ont montré un développement de celles-ci - alors même que la doxa était alors qu'il n'existait qu'une involution, et ce à partir de l'adolescence. Incidemment, cela conduit à enrichir la conception des dimensions pertinentes pour analyser les compétences dans un domaine particulier (Rogalski, 2011).

Ainsi, par exemple, une distinction entre ce sur quoi on pense : les "*représentations*", et les opérations cognitives que les opérations que l'on applique dessus : les "*traitements*", apparaît dans tous les cadres, sous cette forme (chez Gréco déjà) et pas seulement dans le modèle "système de traitement de l'information" (comme ce sera le cas chez Hoc), sous celle de "*concepts*" et "*processus exécutifs*" dans les cadres qui intègrent la notion de

système exécutif, et sous une forme plus intégrative dans l'articulation des "*champs conceptuels*" et des "*schèmes d'action*" dans le cadre de Vergnaud.

Il faut toutefois relever l'existence de deux domaines d'étude de la cognition dans lesquels les cadres d'analyse sont passés de l'étude de processus "de base" - on pourrait dire la micro-cognition - à la considération de processus de "haut niveau" - la macro cognition : la recherche sur la cognition dans les situations de travail ("psychologie cognitive ergonomique" en francophonie, "*cognitive ergonomics*" en anglophonie) et les recherches sur le comportement des organisations, tout particulièrement la prise de décision (March et Simon, 1958 ; Kahneman et Tversky, 1979).

Le point clé de la conceptualisation

En fait, un point clé dans l'apport des cadres de la cognition aux didactiques des disciplines scientifiques est la place donnée aux concepts et aux processus de conceptualisation. Je voudrais relever à nouveau le fait que c'est dans le cadre de Vergnaud, prolongeant celui d'épistémologie génétique de Piaget, que les concepts ne se limitent pas à des catégories de descripteurs d'objets du monde matériel ("naturels" ou "fabriqués"). Dans les autres approches, il apparaît en fait une forme de "substantialisme" selon lequel les concepts sont des propriétés de "choses" ; je n'en discuterai pas ici les causes possibles (dont le manque de formation scientifique et épistémologique de nombre de chercheurs en psychologie et la recherche de contenus ne mettant en œuvre que des "concepts" aisément accessibles aux sujets y compris adultes des expériences, souvent des étudiants de psychologie...).

Cela devrait conduire à une grande prudence d'abord dans l'utilisation des résultats de recherches expérimentales de psychologie cognitive, ensuite dans l'emprunt de concepts de ce domaine pour s'assurer du sens fonctionnel qu'on veut leur donner dans les recherches de didactique. À mon sens, cela suppose de les (re)définir en les situant par rapport aux problématiques de didactique des disciplines mathématique et des sciences de la nature. L'enjeu est non seulement épistémique, il est aussi pragmatique : les recherches de psychologie cherchent de manière dominante à identifier des invariants de la pensée naturelle - et les possibles vicariances et différences inter-individuelles (cf. Lautrey). Ces recherches ne portent pas sur les instruments cognitifs qui permettent de comprendre et de possiblement agir sur le monde - et en particulier les concepts

scientifiques historiquement élaborés. Elles ne visent le plus souvent pas à identifier ce qui peut modifier significativement structure et fonctionnement de la pensée lors d'interventions didactiques de plus longue durée et de plus grande extension conceptuelle que les expériences d'apprentissage en laboratoire. Houdé constitue une relative exception, dans la mesure où il a intégré dans ses travaux l'étude des effets d'un apprentissage sur les processus d'inhibition, en les popularisant avec l'injonction : "*apprendre à résister*" - mais il se revendique de l'héritage piagétien⁵⁵.

La perspective métacognitive, qui est présente dans l'étude des processus d'inhibition chez Houdé et celle du contrôle proactif et rétroactif de l'activité (cf. par exemple, Kray, Schmitt, Heintz & Blaye, 2015), pourrait tout à fait être considérée dans l'étude didactique des processus d'enseignement / apprentissage - et pourrait d'ailleurs s'intégrer dans ce qui a trop vite disparu des recherches en didactique : l'enseignement de méthodes, au sens d'outils cognitifs pour l'élève dans la conduite de la résolution de problèmes.

On retrouve ici une question ouverte dans la confrontation d'approches théoriques en didactique : les interrogations sur les apports conceptuels et méthodologiques de la psychologie cognitive (j'inclus ici aussi la psychologie développementale) ont toute leur place lorsqu'on considère non pas seulement le "sujet didactique" (celui aussi bien de la TSD que de la TAD en didactique des maths) mais aussi le "sujet psychologique". De ce point de vue, il n'y a pas seulement besoin de confronter les représentations du sujet à celles visées par l'enseignement scientifique (ce qui est la problématique des recherches sur le passage des connaissances "naïves" aux savoirs scientifiques) ; il s'agit aussi de transposer les concepts et méthodes élaborés pour étudier l'activité cognitive de manière à prendre en compte la spécificité du contenu. La "branche" de psychologie cognitive la plus proche de la didactique me semble par ailleurs être celle de la

⁵⁵ En témoignent ses préfaces respectives aux rééditions de *La psychologie de l'intelligence* (Piaget, 1947/2012) et de *La psychologie de l'enfant* (Inhelder & Piaget, 1966/2004). L'objectif étant de "[...] *montrer en quoi 70 ans plus tard - à l'heure des sciences et neurosciences cognitives - certaines fulgurances intellectuelles de Piaget restent d'une étonnante actualité, alors que d'autres aspects de son oeuvre sont datés.*" (préface à "La psychologie de l'intelligence").

psychologie ergonomique, qui vise l'analyse de l'activité du sujet en situation⁵⁶. C'est d'ailleurs dans ce dernier cadre mis en œuvre à propos de la programmation informatique (aux heures anciennes de son enseignement optionnel au lycée en France) que psychologie de la programmation et didactique de l'informatique ont été étroitement liés (cf. références à Samurçay et Rogalski dans la bibliographie).

J'insiste sur le fait qu'il s'agit bien de *transposer* et non pas *d'appliquer* (ou importer ou emprunter) ce qui est proposé en psychologie cognitive pour analyser l'activité des élèves - et celle de l'enseignant.

De plus, on ne peut se passer de l'étude de la situation didactique en tant que telle - avec des concepts et méthodes proprement didactiques -, pour éviter de ne considérer plus que l'analyse de l'activité des élèves - rapportée (contrastée ?) à celle de "l'expert" - du point de vue de composantes cognitives générales alors que la situation d'enseignement est un déterminant crucial de cette activité⁵⁷. Il est clair que je milite ici pour une Double Approche ...

⁵⁶ Le lien entre cadres théoriques et méthodes d'analyse de l'activité a été particulièrement explicité en psychologie ergonomique par Hoc et Amalberti (1999) à propos de la gestion d'environnements dynamiques.

⁵⁷ Je renvoie aux développements exposés dans la "*La classe de mathématiques*" (versions anglaise et française de 2013).

Bibliographie

- Aebli, H. (1951). *Didactique psychologique. Application à la didactique de la psychologie de Jean Piaget*. Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.
- Aebli, H. (1978). Von Piagets Entwicklungspsychologie zur Theorie der kognitiven Sozialisation. In Steiner, G. (Hrsg.), *Die Psychologie des 20. Jahrhunderts. Band VII: Piaget und die Folgen* (pp. 604-627). Zürich: Kindler.
- Anderson, J.R. (1981). *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., & Pelletier, R. (1995). Cognitive tutors: Lessons learned. *Journal of the Learning Sciences*, 4(2), 167–207.
- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). An integrated theory of the mind. *Psychological Review*, 1036–1060.
- Ashby, W.R. (1956). *An introduction to cybernetics*. London : Chapman and Hall Ltd.
- Auvray, M., & O'Regan, J.K. (2003). L'influence des facteurs sémantiques sur la cécité aux changements progressifs dans les scènes visuelles. *L'Année psychologique*, 103, 9-32.
- Baddeley, A.D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 8, pp. 47–89). New York: Academic Press. f
- Baddeley, A.D. (2007). *Working memory, thought and action*. Oxford: Oxford University Press.
- Barbey, A.K., & Barsalou, L.W. (2009). Reasoning and problem solving: Models. *Encyclopedia of Neuroscience*, 8, 35-43.
- Barrouillet, P. (2011). Dual-process theories of reasoning: The test of development. *Developmental Review*, 31, 151-179.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2006). Le développement de la mémoire de travail. In J. Lautrey, (Éd.), *Psychologie du développement et de l'éducation* (pp. 51-86). Paris : PUF.
- Barrouillet, P., & Gaillard, V. (Eds.) (2011). *Cognitive development and working memory: A dialogue between neo-piagetian and cognitive approaches*. Hove, UK: Psychological Press.
- Barsalou, L.W. (1989). Intra-concept similarity and its implications for inter-concept similarity. In S. Vosnadiou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 76-121). New York, MA: Cambridge University Press.
- Bartlett, F.C. (1932). *Remembering: A Study in Experimental and Social Psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bastien, C. (2010). "Lautrey Jacques, Rémi-Giraud Sylviane, Sander Emmanuel & Tiberghien Andrée. Les connaissances naïves". *Revue française de pédagogie*, 170, 131-132.
- Bastien, C., & Bastien-Toniazzo, M. (2005). Du cheminement aux cheminements... *Revue française de pédagogie*, 152, 21-28

- Bateson, G. (1941). "Hilgard, E.R., & Marquis, D.G. (1940). Conditioning and Learning. New York: D. Appleton-Century Company", a review. *American Anthropologist*, 43(1), 115-116.
- Berlyne, D. E. (1960). Les équivalences psychologiques et les notions quantitatives. In D. Berlyne & J. Piaget, *Théorie du comportement et opérations. Études d'épistémologie génétique, vol.XII* (pp. 1-76), Paris : PUF.
- Berlyne, D. E. (1960b). L'apprentissage sériel et les relations d'ordre. In D. Berlyne & J. Piaget, *Théorie du comportement et opérations. Études d'épistémologie génétique, vol.XII* (pp. 77-103). Paris : PUF.
- Bideaud, J., Lehalle, H., & Vilette, B. (2004). *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*. Villeneuve d'Asq : Presses Universitaires du Septentrion.
- Blaye, A., Chevalier, N., & Paour, J.-L. (2007). The development of intentional control of categorization behaviour: A study of children's relational flexibility. *Cognition, Brain, Behavior*, 11(4), 791-808.
- Bisseret, A. (1970/71). Mémoire opérationnelle et structure de travail. *Bulletin de Psychologie*, XXIV, 5-6, 280-294.
- Bloch, I. (2005). *La sémiotique de C.S.Peirce et la didactique des mathématiques*. Communication SFIDA 24, 6 mai 2005, Turin.
- Brissiaud, R., & Sander, E. (2010). Arithmetic word problem solving: a Situation Strategy First framework. *Developmental Science*, 13(1), 92-107.
- Bronckart, J.-P. (2003). Constructivisme piagétien et interactionnisme vygotkien. Leurs apports à une conception des apprentissages et de la formation. In J.-M. Ferry & B. Libois (Éds.), *Pour une éducation postnationale* (pp. 129-147). Bruxelles : Éditions de l'Université de Bruxelles.
- Brousseau, G. (2012). Des dispositifs piagétiens ... aux situations didactiques. *Éducation et Didactique*, 6(2), 103-129.
- Bruner, J. (1955). Going beyond the information given. In : *Cambridge Conference on Psychology of Thinking* (Draft).
- Bruner, J. (1966). *Toward a theory of instruction*. Cambridge : Harvard University Press.
- Bruner, J. (1973). *Going beyond the information given*. New York: Norton.
- Bruner, J. (1983). *Le développement de l'enfant : savoir faire, savoir dire*. Paris : PUF.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Bradford Books : MIT Press.
- Carey, S. (2004). Bootstrapping and the origin of concepts. *Daedalus*, 133, 59-68.
- Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. New York: Oxford University Press.
- Carey, S. (2011). Précis of "The origine of Concepts". *Behavioral and Brain Sciences*, 34, 113-167.
- Case, R. (1998). The development of conceptual structures. In W.Damon, D. Kuhn, & R. S. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology (5th edition). Volume 2: Cognition, perception, and language* (pp. 745-800). New York : Wiley & Sons.

- Case, R., Griffin, S., & Kelly, W. M. (2001). Socioeconomic differences in children's early cognitive development and their readiness for schooling. In S. L. Golbeck (Ed.), *Psychological perspectives on early childhood education: Reframing dilemmas in research and practice* (pp. 37–63). Mahwah, NJ : Erlbaum
- Cèbe, S., Paour, J.L., & Goigoux, R. (2004). *Catego. Apprendre à catégoriser* (2ème éd.). Paris : Hatier.
- Chevalier, N., & Blaye, A. (2006). Le développement de la flexibilité cognitive chez l'enfant préscolaire : enjeux théoriques. *L'Année Psychologique*, 106, 569-608.
- Chomsky, N. (1957). *Syntactic structures*. La Haye, NL/ Mouton.
- Chomsky, N. (1959). A review of B. F. Skinner's Verbal Behaviour. *Language*, 35(1), 26-58.
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the theory of syntax* (Aspects de la théorie syntaxique. 1971. Paris : Seuil). Cambridge, MA : MIT Press.
- Cohors-Fresenborg, E. (2001). Individual differences in the mental representation of term rewriting. In J. Novotná (Ed.), *Proceedings of the Second Conference of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 457-468). Praha : Charles University. (<http://www.pedf.cuni.cz/svi/vydavatelstvi>)
- Crépault, J. (1989). *Temps et raisonnement : développement cognitif de l'enfant à l'adulte*. Presses Universitaires du Septentrion.
- Crépault, J. (1993). Temporal reasoning: What develops? *Psychologica Belgica*, 33(2), 197-216.
- Damasio, A.R. (1995) *L'Erreur de Descartes : la raison des émotions*. Paris : Odile Jacob. (1ère édition : Descartes' error: Emotion, reason and the human brain. Putnam, 1994 ; édition révisée : Penguin, 2005).
- Danis, A., Schubauer-Leoni, M. L., & Weill-Barais, A. (Éds.) (2003). Interaction, acquisition de connaissances et développement, *Bulletin de psychologie*, 56 (4).
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44 (1-2), 1-42.
- Dehaene, S. (1993). *Numerical Cognition*. Oxford : Blackwell.
- Dehaene, S. (2001). *Précis of "The Number Sense."* *Mind and Language*, 16, 16–36
- Dehaene, S. (2006). *Vers une science de la vie mentale*. Leçon inaugurale au Collège de France. <http://books.openedition.org/cdf/2854>, consulté le 21 mars 2015.
- Dehaene, S., & Brannon, E. (Eds.) (2011). *Space, time and number in the brain*. Academic Press: Amsterdam.
- Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G., & Cohen, L. (1998). Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in Neuroscience*, 21, 355-361
- Dewey, J. (1897). *Psychology* (éditions révisées : 1889, 1891). New York : Harper.
- Dewey, J. (1938). *Logic : The theory of inquiry*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Domahs, F., Moeller, K., Huber, S., Willmes, K., & Nuerk, H.-C. (2010). Embodied numerosity: Implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition*, 116, 251–266.

- Drouet, I. (2012). *Causes, probabilités, inférences*. Paris : Vuibert.
- Dupuch, L., & Sander, E. (2007). Apport pour les apprentissages de l'explicitation des relations d'inclusion de classes. *L'Année Psychologique*, 107(4), 565-596.
- Durand-Guerrier, V., Boero, P., Douek, N., Epps, S., & Tanguay, D. (2012a). Argumentation and proof in the mathematics classroom. In: G. Hanna, & M. De Villiers (Eds.), *Proof and proving in mathematics education* (pp. 349 - 367). New York: Springer.
- Durand-Guerrier, V., Boero, P., Douek, N., Epps, S., & Tanguay, D. (2012b). Examining the role of logic in teaching proof. In: G. Hanna, & M. De Villiers (Eds.), *Proof and proving in mathematics education* (pp. 369 - 389). New York: Springer.
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 5, 37-65.
- Duval, R. (1996). Quel cognitif retenir en mathématiques? *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 16(3), 349-382.
- Efklides, A., & Volet, S. (Eds.) (2005). Feelings and emotions in the learning process. *Learning and Instruction*, 15(5).
- Engeström, Y. (1993). Developmental studies of work as a testbench of activity theory. In S. Chaiklin, & J. Lave (Eds.), *Understanding practice*. Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- Engeström, Y., Miettinen, R., & Punamäki, R.L. (Eds.) (1999). *Perspectives on activity theory*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis – Verbal reports as data* (2nd ed.). Cambridge: MIT Press.
- Faverge, J.-M., Leplat, J., & Guiguet, B. (1958). *L'adaptation de la machine à l'homme*. Paris : PUF.
- Flanagan, J. C. (1954). La technique de l'incident critique. I & II. *Revue de Psychologie Appliquée*, avril 1954, 165-185 & juillet 1954, 267-297.
- Fayol, M., Barrouillet, P., & Marinthe, C. (1998). Predicting arithmetic achievement from neuropsychological performance : a longitudinal study. *Cognition*, B63-B70.
- Fessard, A. (1949). Henri Piéron. *L'année psychologique*, 50, 7-13.
- de Finetti, B. (1937). La prévision, ses lois logiques, ses sources subjectives. *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, VII, 1- 67.
- Fodor, J. (1975). *The language of thought*. Harvard University Press.
- Fodor, J., Bever, T.G., & Garrett, M. (1974). *The psychology of language*. McGraw Hill.
- Fraisse, P. (1956/1967). *Manuel pratique de psychologie expérimentale*. Paris : PUF.
- Fraisse, P. (1962). Plaidoyer pour la mémoire. *Enfance*, 15, 317-328.
- Fraisse, P. (1988). *Pour la psychologie scientifique*. Liège : Mardaga.
- Fraisse, P., & Piaget, J. (1963). *Traité de psychologie expérimentale* (9 vol.) Paris : PUF.

- Galperine, P.I. (1966). Essai sur la formation par étapes des actions et des concepts. In A. Leontiev, A. Luria & A. Smirnov (Éds.), *Recherches psychologiques en URSS* (pp. 114-132). Moscou : Éditions du Progrès.
- Garnier, C., Bednarz, N., & Ulanocskaya, I. (Eds.) (2004). *Après Vygotski et Piaget. Perspective sociale et constructiviste. Écoles russe et occidentale* (2ème éd.). Bruxelles : de Boeck.
- Garuti, R., & Boero, P. (2002). Interiorisation of forms of argumentation: A case study. *Proceedings PME-XXVI* (Vol.2, pp. 408-415). Norwich, UK: University of West Anglia.
- Gibson, J. J. (1977). The theory of affordances. In R. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, acting, and knowing*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 67-83.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gilis, D. (2008). Portrait de Pierre Gréco en acteur et penseur critique de l'art pédagogique. In D. Gilis (Éd.), *Écrits en hommage à Pierre Gréco. Un psychologue dans le 20^e siècle (1927-1988)* (pp. 319-374). Lyon : Aléas.
- Glasel, H. (2013). *Une école sans échec. L'enfant en difficulté et les sciences cognitives*. Paris : Odile Jacob.
- Goigoux, R. (2002). Analyser l'activité d'enseignement de la lecture : une monographie. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 125-134
- Goigoux, R. (2007). Un modèle d'analyse de l'activité des enseignants, *Éducation et didactique*, 1(3), 47-70.
- Gréco, P. (1965). Analyse structurale et étude du développement. *Psychologie Française*, 10, 88-100.
- Gréco, P. (1991). *Structures et significations. Approches du développement cognitif (textes réunis et présentés par D. Bassano, C. Champaud & H. Lehalle)*. Paris : Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales.
- Gréco, P., & Piaget, J. (1959). *Apprentissage et connaissance*. Paris : PUF.
- Gréco, P., Grize, J.-B., Papert, S., & Piaget, J. (1960). *Problèmes de la construction du nombre*. Paris : PUF.
- Griffin, S., Case, R., & Siegler, R. S. (1994). Right start: Providing the central conceptual prerequisites for first formal learning of arithmetic to students at risk for school failure. In K. McGilly (Ed.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice* (pp. 25-49). Cambridge, MA : MIT Press.
- Guillaume, F., Tiberghien, G., & Baudouin, J.-Y. (2013). *Le cerveau n'est pas ce que vous pensez : images et mirages du cerveau*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Hacker, W. (1985). On some fundamentals of action regulation. In G.P. Ginsburg, M. Brenner, & M. von Cranach (Eds.), *Discovery strategies in the psychology of action* (pp. 63-84). London: Academic Press.
- Hoc, J.-M., & Amalberti, R. (1999). Analyse des activités cognitives en situation dynamique : d'un cadre théorique à une méthode. *Le Travail Humain*, 62, 97-130.
- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: Object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development*, 15, 63-73.

- Houdé, O. (2004). *La psychologie de l'enfant*. Paris : PUF.
- Houdé, O., & Meljac, C. (2000). *L'esprit piagétien. Hommage international à Jean Piaget*. Paris : PUF.
- Houdé, O., et al. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children: A neo-Piagetian approach. *Journal of Experimental Child Psychology*, doi:10.1016/j.jecp.2011.04.008
- Houdé, O., & Winnikamen, F. (1992). Les apprentissages cognitifs individuels et interindividuels (Note de synthèse). *Revue Française de Pédagogie*, 98, 83-103.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology* (2 vol.). London : MacMillan and Co.
- James, W. (1912). *Essays in Radical Empiricism*. New York : Longman Green and Co.
- Jamet, F. (1997). *Raisonnement temporel : étude génétique de l'indécidabilité de l'enfant à l'expert*. Thèse de doctorat. Université Paris8.
- Jamet, F., Legros, D., & Pudenko, B. (2004). Dessin et discours : construction de la représentation de la causalité du monde physique. *Intellectica* , 38, 103-137
- Jeannerod, M. (2009). *Le cerveau volontaire*. Paris : Odile Jacob.
- Jeannerod, M. (2011). *La fabrique des idées*. Paris : Odile Jacob.
- Kahneman, D. (2011). Linda: Less is More. In : *Thinking, Fast and Slow* (pp. 156-165). New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263-291.
- Kiefer, M., & Barsalou, L.W. (2013). Grounding the human conceptual system in perception, action and internal states. In W. Prinz, M. Beisert, & A. Herwig (Eds.), *Action science: Foundations of an emerging discipline* (pp. 381-407). Cambridge, MA: MIT Press.
- Kozulin, A. (2002). O conceito de atividade na psicologia soviética: Vygotsky, seus discípulos, seus críticos. In H. Daniels (Ed.), *Uma introdução a Vygotsky*. São Paulo : Loyola.
- Kray, J., Schmitt, H., Heintz, S., & Blaye, A. (2015). Does verbal labeling influence age differences in proactive and reactive cognitive control? *Developmental Psychology*, 51(3), 378–391.
- Laborde, C. (2004). Deux usages complémentaires de la dimension sociale dans les situations d'apprentissage en mathématiques. In C. Garnier, N. Bednarz & I. Ulanovskaya (Éds.), *Après Vygotsky et Piaget : perspectives sociales et constructivistes. Écoles russe et occidentale* (2de édition) (pp. 36-54). Bruxelles : De Boeck.
- Lakoff, G., & Núñez, R. (1997). *Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being*. New York: Basic Book.
- Laurendeau, M. & Pinard, A. (1962). *La pensée causale (Étude génétique et expérimentale)*, (Préface de Jean Piaget). Paris : PUF.
- Lautrey, J. (Éd.) (1995). *Universel et différentiel en psychologie*. Paris : PUF.

- Lautrey, J. (2002). Le statut de la variabilité entre les individus en psychologie cognitive. In J. Lautrey, B. Mazoyer, & P. van Geert (Éds.), *Invariants et Variabilités dans les sciences cognitives* (pp. 103-121). Paris : Presses de la Maison des Sciences de l'Homme.
- Lautrey, J. (2006). L'approche différentielle de l'intelligence. In J. Lautrey (Éd.), *Psychologie du développement et psychologie différentielle*. Paris : PUF.
- Lautrey, J., Remi-Giraud, S., Sander, E., & Tiberghien, A. (Éds.) (2008). *Les connaissances naïves*. Paris : Armand Colin.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning. Legitimate peripheral participation*. Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- Legendre, M.-F. La notion de causalité (Présentation et citations). In M.-F. Legendre, *Piaget et l'épistémologie*. Fondation Jean Piaget (mise à jour 2015).
- Leontiev, A. (1972). *Le développement du psychisme*. Paris : Éditions Sociales.
- Leontiev, A. (1975). *Activité, conscience, personnalité*. Moscou : Éditions du Progrès.
- Leontiev, A. & Luria, A. (1972). Some notes concerning Dr Fodor's reflections on L.S. Vygotsky's thought and language. *Cognition*, 1(1), 311-316.
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail. Contribution à la psychologie ergonomique*. Paris : PUF.
- Leplat, J. (2002). *Psychologie de la formation. Jalons et perspectives. Recueil de textes*. Toulouse : Octarès.
- Leplat, J. (2013). Les gestes dans l'activité en situation de travail. Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé, *PISTES*, 15(1). (<http://pistes.revues.org/2951>)
- Leplat, J., & Cuny, X. (1977). *Introduction à la psychologie du travail*. Paris : PUF.
- Leplat, J., Enard, C., & Weill-Fassina, A. (1970). *La formation par l'apprentissage*. Paris : PUF.
- March, J.G., & Simon, H.A. (1965). *Les organisations, problèmes psycho-sociologiques* (traduit de "Organizations", 1958, Wiley & Sons). Paris : Dunod.
- Maury, L., Porro, E., & Rogalski, J. (1974-1975). Autour d'une étude génétique sur la négation conjonctive. *Bulletin de psychologie*, 314, xxviii, 213-223.
- Maury, L., & Rogalski, J. (1970). Produit cartésien et complément. Étude génétique des conduites observées dans ces situations. *L'Année Psychologique*, 70(1), 53-71.
- Maury, L., & Rogalski, J. (1979). Décalages et courbes en U. *Bulletin de Psychologie*, 340, xxxii, 533-538.
- Mayer, R.E. (1992). Cognition and instruction: Their historic meeting within educational psychology. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 405-412.
- Mehler, J., & Bever, T.G. (1967). Cognitive capacity of very young children. *Science*, 158(3797), 141-142.
- Merry, M. (Éd.) (2007). *Activité humaine et conceptualisation. Questions à Gérard Vergnaud*. Toulouse : Presses Universitaires du Mirail.
- Miller, G.A. (2003). The cognitive revolution: An historical perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 141-144.

- MMS Lorraine (2012). *Colloque : "L'épistémologie génétique a-t-elle encore une actualité?"*. Nancy.
- Maturana, H.R., & Varela, F.J. (1980). *Autopoiesis and cognition. The realization of the living*. Boston: D. Reidel.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology*. New York: Freeman.
- Neisser, U. (Ed.) (1989). *Concepts and conceptual development. Ecological and intellectual factors in categorization. (Emory symposia in cognition)*. New York, MA: Cambridge University Press.
- Nesher, P. (2015). On the diversity and multiplicity of theories in mathematics education. In E. Silver & C. Keitel-Kreidt (Eds), *Pursuing excellence in mathematics education. Essays in honor of J. Kilpatrick* (pp. 137-148). Springer.
- Newell, A., & Simon, H.A. (1972). *Human Problem Solving*. Prentice-Hall.
- Nguyen, A. (1995). Les mécanismes cognitifs d'apprentissage. *Revue Française de Pédagogie*, 112, 57-67.
- Norman, D. A. (1988). *The psychology of everyday things*. New York: Basic Books.
- Obersteiner, A., Reiss, K., & Ufer, S. (2013). How training on exact or approximate mental representations of number can enhance first-grade students' basic number processing and arithmetic skills. *Learning and Instruction*, 23, 125-135.
- Paillard, J. (1989). Dialogues sensori-moteurs et représentation mentale : un problème d'interface. In Y. Séron (Éd.), *Psychologie et cerveau* (pp. 19-51). Paris : PUF.
- Paour, J.-L., & Bailleux, C. (2009). Developing the concept of order: An example of constructivist remediation for optimizing memory and learning processes. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 8(2), 128-147.
- Paour, J.-L., Bailleux, C., & Perret, P. (2009). Pour une pratique constructiviste de la remédiation cognitive. *Développements*, 3(3), 5-14.
- Paour, J.L., & Bailleux , C., Cèbe, S., & Goigoux, R. (2012). *Ordo. Histoires en images et alignements pour développer la compréhension des relations d'ordre en Grande Section*. Paris : Hatier.
- Pariès, M., Robert, A., & Rogalski, J. (2008). Comment l'enseignant de mathématiques, en classe, met ses élèves sur le chemin des connaissances : un point de vue méthodologique en didactique des mathématiques. *Travail et Apprentissages*, 3, 95-123.
- ParisTech Review (2013). *Les quatre piliers de l'apprentissage, ou ce que nous disent les neurosciences*. École des Neurosciences de Paris Ile-de-France.
- Pascual-Leone, J., & Johnson, J. (2005). A dialectical constructivist view of developmental intelligence. In O. Wilhelm & R. Engle (Eds.), *Handbook of understanding and measuring intelligence*. Londres: Sage Publications.
- Pastré, P. (2011). *La didactique professionnelle. Approche anthropologique du développement chez les adultes*. Paris : PUF.

- Pavlov, I.P. (1927). *Conditioned reflexes: an investigation of physiological activity of the cerebral cortex* (Translated by G.V. Anrep). Oxford: Oxford University Press, Humphrey Milford.
- Peirce, C. S. (Ed.) (1883). *Studies in logic by members of the Johns Hopkins University*. Boston, MA : Little, Brown and Co.
- Perrin-Glorian, M.-J. (2009). Note critique : “Merri M. *Activité humaine et conceptualisation. Questions à Gérard Vergnaud*. Toulouse : Presses Universitaires du Mirail, 2007 ”. *Revue Française de Pédagogie*, 18, 149-154.
- Peschard, I. (2004). *La réalité sans représentation, la théorie de l'énaction et sa légitimité épistémologique*. Thèse de doctorat Humanities and Social Sciences. École Polytechnique X.
- Piaget, J. (1926). *La représentation du monde chez l'enfant*. Paris : Alcan (3ème édition identique, 1947, Paris : PUF).
- Piaget, J. (1947/2012). *Psychologie de l'intelligence*. Paris : Armand Colin.
- Piaget, J. (1960). La portée psychologique et épistémologique des essais néo-hulliens de D. Berlyne. In D. Berlyne & J. Piaget, *Théorie du comportement et opérations. Études d'épistémologie génétique*, vol. XII (pp. 105-123). Paris : PUF.
- Piaget, J. (1971). Causalité et opérations. In : *Les explications causales* (pp. 11-57). Paris : PUF.
- Piaget, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives : problème central du développement*. Paris : PUF.
- Piaget, J. (Archives Jean Piaget) <http://www.fondationjeanpiaget.ch>
- Plas, R. (2004). Comment la psychologie expérimentale française est-elle devenue cognitive? *La Revue pour l'histoire du CNRS*, 10. [En ligne, consulté le 16 juillet 2014. URL : <http://histoire-cnrs.revues.org/586>]
- Politzer, G. (2004). Reasoning, judgment and pragmatics. In I. Noveck et D. Sperber (Eds.), *Experimental Pragmatics* (pp. 94-115). Houndmills: Palgrave Macmillan.
- Politzer, G. (2007). Reasoning with conditionals. *Topoi*, 26(1), 79-95.
- Politzer, G. (2014). *Deductive reasoning under uncertainty using a water tank analogy*. (disponible sur http://jeannicod.ccsd.cnrs.fr/ijn_00867284, consulté le 9 mars 2015).
- Radford, L. (2008). The ethics of being and knowing: Towards a cultural theory of learning. In L. Radford, G. Schubring, & F. Seeger (Eds.), *Semiotics in mathematics education: Epistemology, history, classroom, and culture* (pp. 215–234). Rotterdam: Sense.
- Radford, L. (2011). Book review: " Classroom interaction: Why is it good, really? In B. Schwarz, Tommy Dreyfus & Rina Hershkowitz (Eds.), *Transformation of knowledge through classroom interaction*. Abingdon, Oxon: Routledge, 2009 ". *Educational Studies in Mathematics*, 76, 101–115.
- Radford, L., Schubring, G., & Seeger, F. (Eds.) (2008). *Semiotics in mathematics education: Epistemology, history, classroom, and culture*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Ragano, S. (Éd.) (2009). Didactique : approche vygotkienne. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 21.

- Reuchlin, M. (1967). Évolution, portée et limites de certains modèles utilisés en psychologie différentielle. In CNRS (Éd.), *Les modèles et la formalisation du comportement* (pp. 359-382). Paris : Éditions du CNRS.
- Reuchlin, M. (1999/1957). *Histoire de la psychologie* (18ème édition, actualisée). Paris : PUF.
- Ribaupierre, de, A. (2007). Modèles néo-piagétiens du développement cognitif et perspective psychométrique de l'intelligence : y a-t-il convergence ? *L'année psychologique*, 107, 257-302.
- Ricco, G. (1982). Les premières acquisitions de la notion de fonction linéaire chez des enfants de 7 à 11 ans. *Educational Studies in Mathematics*, 13, 289-327.
- Richard, J.-F. (1982). Mémoire et résolution de problèmes. *Revue Française de Pédagogie*, 60(60), 9-17.
- Richard, J.-F. (sd). HULL CLARK LEONARD - (1884-1952), *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 31 juillet 2014. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/clark-leonard-hull/février>
- Richard, J.-F. (2004). *Les activités mentales. De l'interprétation de l'information à l'action*. Paris : PUF.
- Richard, J.-F., Pastré, P., Parage, P., Sander, E., Fattersack, M., & Labat, J.-M. (2009). Analyse des stratégies de correction de défauts en plasturgie à l'aide d'un modèle de résolution de problème à base de contraintes. *Le travail humain*, 72(3), 267-292.
- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2008). *Les neurones miroirs*. Paris : Odile Jacob.
- Robert, A. (2005). Tâches mathématiques et activités des élèves. Une discussion sur le jeu des adaptations introduites au démarrage des exercices cherchés en classe de collège. *Petit x*, 62, 61-71.
- Robert, A., & Hache, C. (2013). Why and how to understand what is at stake in a mathematics class. In F. Vandebrouck (Ed.), *The mathematics classroom: student's activities and teachers' practices*. Rotterdam : Sense Publishers.
- Robert, A., & Rogalski, J. (2005). A cross-analysis of the mathematics teacher's activity. An example in a French 10th-grade class. In C. Laborde & M.-J. Perrin-Glorian (Eds.), *Beyond the apparent banality of the mathematics class-room*. *Educational Studies in Mathematics*, 59.
- Robert, A., & Vandebrouck, F. (2014) Proximités-en-acte mises en jeu en classe par les enseignants du secondaire et ZPD des élèves : analyses de séances sur des tâches complexes. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 34 (2/3), 239-285.
- Roche, P. (1996). Démocratisation de l'enseignement et orientation au XXème siècle. *SPIRALE - Revue de Recherches en Éducation*, 18, 59-77.
- Rogalski, J. (1983-1984). Problèmes conceptuels et organisation de situations didactiques pour l'introduction à la programmation informatique. *Séminaire de didactique et pédagogie des mathématiques, IMAG Grenoble*, 50, 1-21.
- Rogalski, J. (1987). *Acquisition et didactique des structures conditionnelles en programmation informatique*. *Psychologie Française*, 32(4), 275-280.

- Rogalski, J. (1988). Acquisition des structures conditionnelles : effet des prérequis logiques et des représentations du dispositif informatique. *Annales de didactique et de Sciences cognitives*, 1, 131-152.
- Rogalski, J. (2004). La didactique professionnelle : une alternative aux approches de « cognition située » et « cognitiviste » en psychologie des acquisitions. *@ctivités*, 1(2), 103-120. (En ligne : <http://www.activites.org/v1n2/Rogalski.pdf>)
- Rogalski, J. (2006). Articulation des théories de Piaget et de Vygotsky, outils pour la didactique. In C. Castela & C. Houdement (Éds.), *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques Année 2005* (pp. 237-262). Paris. ARDM et IREM PARIS7.
- Rogalski, J. (2011). Expériences et construction d'invariants : connaissances opérationnelles, schèmes d'action et « qualités ». *Travail et Apprentissages*, 7, 45-61.
- Rogalski, J. (2012). Théorie de l'activité et didactique, pour l'analyse conjointe des activités de l'enseignant et de l'élève. *JIEEM – Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática IJSME – International Journal for Studies in Mathematics Education*, 5(1). [revue électronique]
- Rogalski, J. (2013a). Les représentations en psychologie du travail, de la formation, et en didactique des disciplines scientifiques. In H. Vincent (coord.), *Les représentations en question - Recherches en Éducation*, 17, 73-88.
- Rogalski, J. (2013b). Theory of Activity and developmental frameworks for an analysis of teachers' practices and students' learning. In F. Vandebrouck (Ed.), *The mathematics classroom: student's activities and teachers' practices* (pp. 3-22). Rotterdam : Sense Publishers.
- Rogalski, J. (2014). La "Didactique psychologique. Application à la didactique de la psychologie de Jean Piaget" de Aebli, une approche et un auteur oubliés (version française, traductions en espagnol et portugais dans Laboreal). *Laboreal*, X(2). (<http://laboreal.up.pt>)
- Rogalski, J. (2015). Psychologie de la programmation, didactique de l'informatique : déjà une histoire ... In G.-L. Baron, E. Bruillard, E., & B. Drot-Delange (Éds.), *L'information en éducation : perspectives curriculaires et didactiques* (pp. 279-305). Clermont-Ferrand : Presses Universitaires Blaise Pascal.
- Rogalski, J., & Samurçay, R. (1986). Les problèmes cognitifs rencontrés par des élèves de l'enseignement secondaire dans l'apprentissage de l'informatique. *European Journal of Psychology of Education*, 1(2), 97-110.
- Rogalski, J., & Samurçay, R. (1990). Acquisition of programming knowledge and skills. In J.-M. Hoc, T. G. R. Green, R. Samurçay & D. Gilmore (Eds.), *Psychology of Programming* (pp. 157-174). London: Academic Press.
- Rogalski, J., & Vergnaud, G. (1988). Didactique de l'informatique et acquisitions cognitives en programmation. *Psychologie Française*, 267-273.
- Sander, D., & Koenig, O. (2002). No inferiority complex in the study of emotion complexity: A cognitive neuroscience computational architecture of emotion. *Cognitive Science Quarterly*, 2(3-4), 249-272.
- Savoyant A. (1979). Éléments d'un cadre d'analyse de l'activité : quelques conceptions essentielles de la psychologie soviétique. *Cahiers de Psychologie*, 22, 17-28. (repris dans

- Leplat, J. (1992). *L'analyse du travail en psychologie ergonomique* (vol.2, pp. 207-217. Toulouse: Octarès) et dans *Travail et Apprentissages*, 2010, 5, 93-107.
- Seron, X. (2004). *La neuropsychologie cognitive* (1^{ère} édition 1993). Paris : PUF.
- Sfard, A. (2008). Introduction to "thinking as communication", *TMME*, 5(2/3).
- Shayer, M. (2003). Not just Piaget; Not just Vygotsky, and certainly not Vygotsky as alternative to Piaget. *Learning and Instruction*, 13(5), 165-486.
- Shiffrin, R.M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing, II : Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, 84, 127-190.
- Simon, H. A. (1967). The use of information processing languages in psychology. In CNRS (Éd.), *Les modèles et la formalisation du comportement* (pp. 303-326). Paris : Éditions du CNRS.
- Simon, M., Saldanha, L., McClintock, E., Akar, G.K., Watanabe, T., & Zembat, I.O. (2010). A developing approach to studying students' learning through their mathematical activity. *Cognition and Instruction*, 28(1), 70-112.
- Skinner, B. F. (1953). *Science and human behavior*. NewYork : MacMillan.
- Skinner, B. F. (1958). Teaching machines. *Science*, 128, 969-977
- Sloman, S. A. (2015). Opening editorial: The changing face of cognition. *Cognition*, 135, 1-3.
- Spérandio, J.-C. (1975). Compléments à l'étude de la mémoire opérationnelle : deux expériences sur les contrôleurs de la navigation aérienne. *Le Travail Humain*, 38(1), 41-62. Re-publié in J. Leplat (Éd.), *L'analyse du travail en psychologie ergonomique* (T2, pp. 237-272). Toulouse : Octarès.
- Sperber, D., & Wilson, D. (1995). *Relevance : communication and cognition*. Oxford : Blackwell Publishing.
- Schwank, I. (1993): On the analysis of cognitive structures in algorithmic thinking. *Journal of mathematical behaviour*. 12(2), 209-231.
- Schwank, I. (1997): The assumption of predicative versus functional cognitive structures. *CC AI – The Journal for the Integrated Study of Artificial Intelligence, Cognitive Science and Applied Epistemology*. 14(4), 213-224.
- Schwank, I. (2001). Analysis of eye-movements during functional versus predicative problem solving. In J. Novotná (Ed Teresa Iuculano *, Raffaella Moro, Brian Butterworth.), *Proceedings of the Second Conference of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 489-498). Praha: Charles University. (<http://www.pdf.cuni.cz/svi/vydavatelstvi>)
- Tall, D. (2006). A Theory of mathematical growth through embodiment, symbolism and proof. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 11, 195–215.
- Thompson, E. (2005). Sensorimotor subjectivity and the enactive approach to experience. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 4, 407-427.
- Thorndike, E. (1913). *Educational psychology: The psychology of learning*. New York: Teachers College Press.

- Tversky, A. & Kahneman, D. (1983). Extensional versus intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment. *Psychological Review*, 90, 293-315.
- Valsiner, J. (2006). Dangerous curves in knowledge construction within psychology: Fragmentation of methodology. *Theory & Psychology*, 16, 597-612.
- Valsiner, J., & van der Veer, R. (1993). The encoding of distance : The concept of the Zone of Proximal Development and its interpretations. In R. R. Cocking & K. A. Renninger (Eds.), *The development and meaning of psychological distance* (pp. 35-62). Hillsdale, NJ : LEA.
- Vandebrouck, F., Hache, C., Robert, A., Rogalski, J., Chesnais, A., Cazes, C., & Abboud-Blanchard, M. (2013). Activités des élèves et pratiques des enseignants en classe de mathématiques. *Cahiers du Laboratoire de Didactique André Revuz*, n°5. Paris : IREM Paris7.
- Vandebrouck, F (Ed.), (2013). *The mathematics classroom: student's activities and teachers' practices*. Rotterdam : Sense Publishers.
- Van de Laar, T., & de Regt, H. (Eds.). (2008). Embodied embedded cognition and neurophenomenology [special section]. *Theory & Psychology*, 18, 291-403.
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1991/1993). *The Embodied Mind (L'inscription corporelle de l'esprit)*. Paris : Seuil). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Vergnaud, G. (1981). Psychologie du développement cognitif et didactique des mathématiques. Un exemple : les structures additives. *Grand N*, 38(2), 21-40.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(1), 133-170.
- Vergnaud, G. (2000). *Lev Vygotski pédagogue et penseur de notre temps*. Paris : Hachette.
- Vergnaud, G. (2002). Piaget visité par la didactique. *Intellectica*, (2)33, 107-123.
- Vergnaud, G. (2007). Note sur : “Rubinstein aujourd’hui. Nouvelles figures de l’activité humaine”. *Revue française de pédagogie*, 161, 132-135.
- Vergnaud, G. (Éd.) (1983). Didactique et acquisition du concept de volume. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 4 (numéro spécial).
- Vergnaud, G., & Durand, C. (1976). Structures additives et complexité psychogénétique. *Revue française de pédagogie*, 36, 28-43.
- Ververs, P.M., & Wickens, C.D. (1998). *Conformal flight path symbology for head-up displays: Defining the distribution of visual attention in three-dimensional space*. Final technical report, contract NASA NAG 2-1120. Savoy, Il: Aviation Research Labo Institute of Aviation, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Vidal-Gomel, C., & Rogalski, J. (2007). Conceptualisation et concepts pragmatiques. *@ctivités*, 4(1), 49-84. <http://www.activites.org/v4n1/Vidal.pdf>
- Viennot, L. (2003/1996). *Raisonnement en physique. La part du sens commun*. Bruxelles : De Boeck.
- Viennot, L., & Debru, C. (Éds.) (2003). *Enquête sur le concept de causalité*. Paris : PUF.

- Viennot, L. & De Hosson, C. (2015). From a subtractive to multiplicative approach, A concept-driven interactive pathway on the selective absorption of light. *International Journal of Science Education*, 37(1), 1-30.
- Vygotsky, L.S. (1934/1997). *Pensée et langage*. Paris : La dispute.
- Vygotsky, L.S. (1999/1927-1982). *La signification historique de la crise en psychologie*. Lausanne : Delachaux et Niestlé.
- Watson, J.B. (1913). Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review*, 20, 158–177.
- Weil-Barais, A. (Éd.) (1998). *Tutelle et médiation*. Berne : Peter Lang.
- Weil-Barais, A. (Éd.) (2001/2011). *L'homme cognitif*. Paris : PUF.
- Weil-Barais, A. (2004). *Les apprentissages scolaires*. Paris : Bréal.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*. Cambridge: MIT Press.
- Wood, D., Bruner J., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89-100
- Wulf, G., & Shea, C. H. (2002). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychological Bulletin & Review*, 9, 185-211.

Annexe 1 : Les modèles de l'activité et de l'action

C'est Léontiev, collaborateur avec Luria de Vygotsky, qui a d'abord explicité des bases théoriques sur l'activité, en mettant au centre le travail comme spécificité de l'humain. Il a mis en avant les tâches attendues de l'humain dans un travail : il s'agissait donc d'abord d'une activité finalisée particulière. Toutefois, le cadre peut être mis en œuvre pour toute activité finalisée par la visée de réalisation d'un but.

On relèvera quelques notions fondamentales du point de vue de leur pertinence pour la didactique :

- **La distinction tâche et activité :**

- la tâche est le but à atteindre dans des conditions déterminées ; elle s'exprime dans les termes de l'objet sur lequel porte l'action. Il s'agit d'un objet au sens large : pas nécessairement matériel, ni simple. Sa détermination peut appeler une analyse délicate. Il en est de même d'ailleurs dans une approche instrumentale (Rabardel, 1995), en particulier lorsque ni l'objet ni l'outil (artefact à visée instrumentale) ne sont matériels.

- l'activité est ce que déploie le sujet (au travail) pour réaliser la tâche ; elle s'exprime en termes de processus "du côté du sujet" (dont des processus cognitifs "composants" : attention, prise d'information, représentation, formation d'hypothèses, anticipation, ..., de la conceptualisation, de l'activation/inhibition de schèmes)

• **La distinction d'entités de trois niveaux : activité, action, opération**

- *l'activité est orientée par un motif / un mobile* : c'est ce qui mobilise le sujet pour s'engager dans l'action ; elle n'est pas observable en tant que telle

- l'activité s'accomplit par les *réalisations de buts, à travers des actions* sur les objets de la tâche ; les actions sont médiatisées par des *instruments*

- les *opérations sont les moyens* par lesquels l'action est réalisée : elles sont organisées dans l'action pour modifier l'objet vers le but visé : les actions et les opérations peuvent être observables dès lors qu'elles produisent des traces, sur l'objet de l'action ou sur les instruments utilisés.

• **Une distinction de trois types d'opérations** selon leur fonction dans l'action a été introduite par Galperin, dans la suite de Léontiev et Luria, pour rendre compte des apprentissages et du développement (Galperin, 1966). En fait ici le terme "opérations" ne renvoie plus tout à fait aux moyens "techniques" de la catégorisation précédente mais davantage à des composants analytiques de l'activité du même niveau que l'action. On peut noter qu'une analyse analogue a été développée - dans un cadre moins strictement lié à la théorie de l'activité de Léontiev - dans des modèles de psychologie ergonomique comme celui de Rasmussen pour la gestion des environnements dynamiques (on peut le mettre en œuvre pour l'activité de l'enseignant - cf. Rogalski, 2003).

Le statut respectif des "opérations" a été analysé par Savoyant, pour la psychologie ergonomique, et utilisé par lui en didactique professionnelle. Ce cadre peut être transposé pour l'analyse de l'activité de résolution de problème (au sens large de ce dernier terme) en didactique des disciplines scientifiques (en élargissant avec précaution la sémantique de ce qu'est un "objet" - aussi bien pour les mathématiques, qu'en physique - par exemple - pour ne pas renforcer les représentations "substantialistes" des élèves, cf. Viennot, 2003/1996).

- Les opérations d'*orientation* assurent l'analyse des conditions spécifiques de l'action, le repérage des propriétés de l'objet et la mise en rapport de ces conditions et propriétés avec les opérations d'exécution et de contrôle qu'elles déterminent ainsi que le processus d'accomplissement (leur ordre de réalisation) ;

- Les opérations d'*exécution* assurent les transformations effectives de l'objet de l'action ;

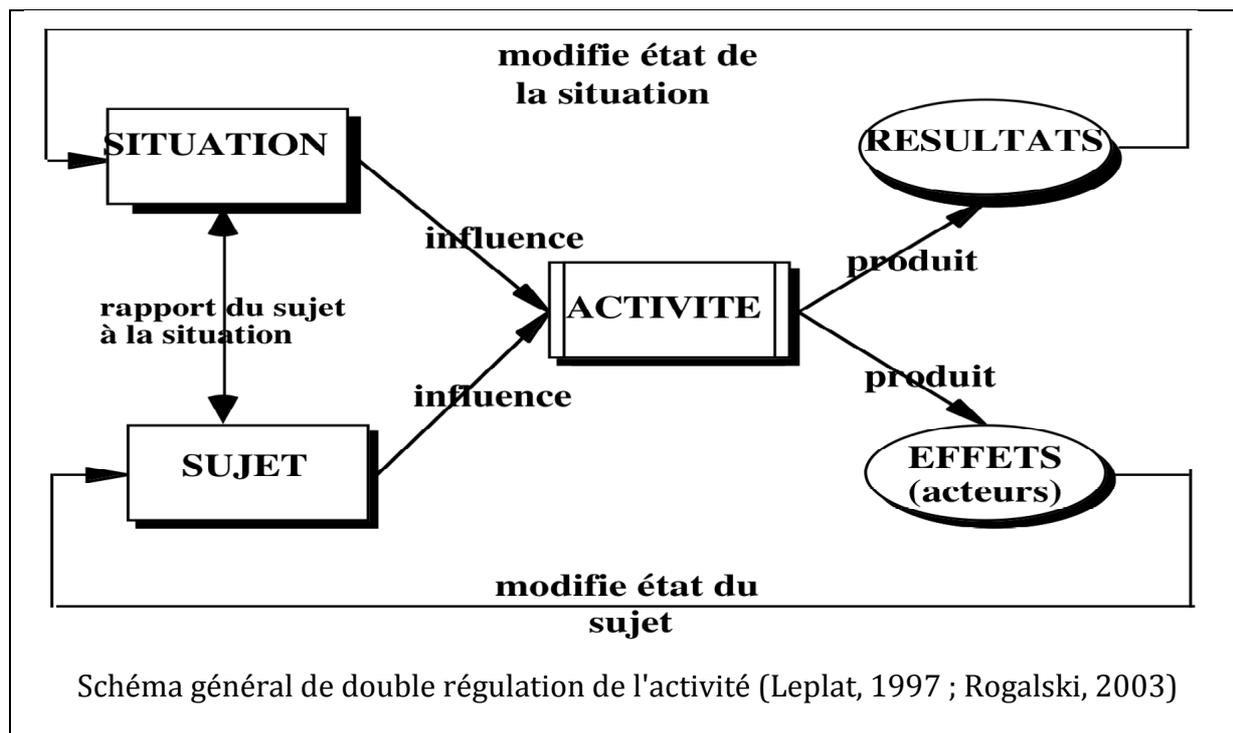
- Les opérations de *contrôle* assurent que le déroulement de l'action est conforme à ce qui est souhaité et que le produit obtenu correspond au but visé.

De ces trois fonctions, dont la présence est nécessaire dans toutes les actions, c'est l'orientation la plus essentielle, celle dont dépend en fait l'échec ou la réussite de l'action. La réalisation correcte de ces opérations d'orientation, préalable nécessaire à une bonne exécution de l'action, est fondé sur le contenu de la base d'orientation du sujet.

Annexe 2 : Double régulation de l'activité : l'articulation des boucles de régulation de l'activité de l'enseignant et de l'activité de l'élève (des élèves)

La théorie de l'activité "outil" de travail en psychologie ergonomique a été enrichie par un modèle de double régulation de l'activité, par la situation et par le sujet (initialement la tâche⁵⁸ et le sujet - cf. Leplat, 1997 ; Hacker, 1985). Dans une visée d'articulation du cognitif et du didactique, cette approche a d'abord été explicitée en didactique des mathématiques comme cadre d'analyse du travail de l'enseignant (Rogalski, 2003), puis a été développée pour introduire l'articulation de la double régulation de l'activité de l'enseignant et de celle de l'élève, chacun de ces acteurs faisant partie des déterminants de l'activité de l'autre (Rogalski, 2012).

⁵⁸ Une des premières versions de ce modèle (qui parle des conditions et des conséquences du travail) distingue les objectifs et les conditions d'exécution de la tâche (Leplat & Cuny, 1977, fig. 1, p. 55), et ne représente pas le retour sur la situation.



Pour l'enseignant, les déterminants de la situation s'analysent à plusieurs niveaux. Au plus proche de l'activité, la tâche qui consiste à faire réaliser une activité mathématique à des élèves, dans une classe donnée, à un niveau scolaire donné. Au-delà, les déterminants sont organisationnels - les collègues de la discipline, la communauté scolaire, l'établissement d'exercice, ...- institutionnels - les programmes et autres textes officiels, les inspecteurs, ..., sociaux - au sens large des attentes sociales par exemple. Les élèves sont des déterminants de l'enseignant à la fois comme "objets de l'action" et comme acteurs autonomes dans la réalisation des tâches (voire la non-réalisation ...) qui leur sont données par l'enseignant (que les situations soient ou non a-didactiques ne change pas le fait que c'est l'enseignant qui est le prescripteur des tâches ...). Réciproquement, l'enseignant est un déterminant de l'activité de l'élève au sens où l'enseignant est le prescripteur des tâches qu'ils doivent réaliser, et où il exerce une activité de médiation entre l'élève et le savoir en jeu. Une analyse similaire peut être conduite pour les effets de l'activité de l'un des acteurs sur l'autre acteur (l'enseignant agit sur l'élève - selon diverses modalités - en contribuant ainsi à ses acquisitions dans le domaine disciplinaire et ses acquisitions cognitives ; l'activité de l'élève produit des effets en retour sur l'enseignant qui adapte son activité aussi bien dans une visée didactique que dans une visée de gestion de son état personnel (fatigue, etc...), et aussi par les connaissances que l'enseignant acquiert sur les situations didactiques qu'il

organise pour les élèves (qui le conduiront à modifier ultérieurement, pour une autre classe la même année, ou pour une classe dans le futur).

Il faut souligner que le schéma est incomplet en ce qu'il ne spécifie pas la ou plutôt les temporalités selon lesquelles se produit la double régulation, temporalités dont l'analyse doit être développée (micro-temporalité d'une interaction verbale, méso-temporalité d'une séance, puis d'une séquence sur un même thème, macro-temporalité de l'année scolaire - et au-delà si on veut prendre en compte la longue durée des développements dans l'apprentissage scolaire - pour l'élève - ou dans le travail professionnel - pour l'enseignant.

Annexe 3 : En résumé, les théories de l'apprentissage

En résumé et très schématiquement, on peut contraster deux grandes orientations dans les théories de l'apprentissage actuelles dans le champ de la psychologie :

- celles qui sont centrées sur des théories de la mémoire et du traitement de l'information

- celles qui sont centrées sur le développement des connaissances (incluant la conceptualisation) par l'activité du sujet directement ou *via* la médiation d'autrui (les lignées de Piaget et Vygotsky).

• Les théories centrées sur la théorie du traitement de l'information (la métaphore informatique pour le fonctionnement du cerveau) et la mémoire correspondent, en gros, au modèle « j'apprends, j'applique ». Elles distinguent deux types de mémoire : la mémoire des éléments factuels, dite « déclarative » (apprendre les définitions mathématiques, les verbes irréguliers, ..) et la mémoire des procédures, dite donc « procédurale », (du type : « si on veut mettre un mot au pluriel alors on ajoute un s à la fin »). Selon ces théories, l'élève apprend quand il passe de la répétition d'une leçon qu'il a mémorisée (en « mémoire déclarative ») à son utilisation pour répondre à une tâche (en « mémoire procédurale ») ; il apprend aussi quand il peut généraliser une procédure (par exemple passer de l'addition des nombres entiers à l'addition des décimaux), ou la spécialiser (pour certains noms il faut mettre un x, et pas un s, pour d'autres rien); enfin, il apprend quand il peut appliquer « automatiquement » la

procédure, si elle a été renforcée parce qu'elle a été fréquemment appliquée. Ces théories disent des choses sur ce qui relève de la mémorisation et de l'automatisation.

Le point essentiel est la fréquence et la régularité de la mobilisation des acquis en cours, pour qu'ils s'intègrent dans des démarches plus complexes (savoir faire et défaire des multiplications « par cœur », pour résoudre un problème de pourcentage, contrôler des ordres de grandeurs, etc.). Elles ont donc une pertinence pour la didactique, en particulier pour questionner les processus de "consolidation" d'acquisitions et la "dextérité" de mise en œuvre de connaissances conceptuelles. C'est ce à quoi référait Gréco pour une utilisation méthodologique du behaviorisme.

Mais ces théories sur la mémoire ne disent rien de la conceptualisation : on peut mémoriser que « l'altitude du Mont Blanc est 4810 mètres » et répondre que l'altitude de la mer au Havre est de 130 mètres (on se représente que c'est beaucoup moins haut que le Mont Blanc), faute d'avoir compris la notion d'altitude, bien différente de celle familière de hauteur ; on peut savoir réciter la liste des nombres, et que ce (faux) comptage soit seulement mécanique et ne permette pas de dire combien il y a d'assiettes sur la table ; même problème quand on dit d'un enfant qu'il « connaît ses lettres ».

- Ce sont les théories développementales de nature constructiviste – issues de Piaget⁵⁹ et de Vygotsky pour le socio-constructivisme – qui mettent au centre la construction de cette « connaissance fine » : la conceptualisation. Elles posent que l'enfant, l'élève, apprend au travers de l'activité qu'il met en œuvre dans des situations « à bonne distance » de ce qu'il est déjà capable de traiter. Il faut qu'il puisse suffisamment assimiler la situation à ce qu'il connaît pour commencer à la traiter, mais sans avoir toutes les notions nécessaires pour aller tout de suite au bout (on reconnaît un composant des situations fondamentales dans la TSD de Brousseau).

Dans le passage de ces théories à la mise en œuvre en classe, il y a plusieurs voies ; brièvement, on en relèvera trois :

⁵⁹ Des chercheurs de psychologie du développement se situent dans une voie qui propose un dialogue entre les approches néo-piagésiennes et les approches cognitives (ce qui signale un ouvrage édité par Barouillet et Gaillard en 2011). Mais ils n'entrent pas dans la dimension épistémologique du cadre de Piaget, mais considèrent essentiellement les relations entre le développement cognitif "général" (la pensée et le raisonnement) et le composant central des cadres cognitivistes qu'est la mémoire de travail.

- Un constructivisme piagétien strict, pour lequel les notions visées vont naturellement émerger de l'activité : il suffit de mettre l'élève dans les bonnes situations ... C'est une interprétation de la lettre des textes de Piaget. Piaget en effet a dit peu de choses de l'appropriation des concepts qui ont été élaborés au cours de l'histoire longue de la société alors qu'il analyse finement le contenu de la conceptualisation issue de l'action quotidienne.

- Un socio-constructivisme vygotkien "strict", où la construction de savoirs nouveaux émerge des interactions en classe (en quelque sorte sur le modèle de la construction des savoirs scientifiques eux-mêmes).

- Dans une autre voie constructiviste, la théorie articule deux dynamiques référant à la fois à Piaget et à Vygotsky⁶⁰ : un mouvement de connaissance émergeant de l'activité propre de l'élève et un mouvement où c'est l'activité de l'enseignant qui « tire vers le haut » la connaissance de l'élève vers les contenus visés (pour nous les savoirs scientifiques, en mathématiques et sciences de la nature). L'enseignant « étaye » la construction de savoirs nouveaux⁶¹, non seulement en disant quoi faire et comment ("aides procédurales") mais aussi en aidant l'élève à repérer « à quoi on joue dans la situation », à identifier ce qu'il a déjà su produire, à lui donnant des outils pour réfléchir à ce qu'il a fait (les "aides constructives" dans le cadre de l'analyse de l'activité enseignante par A. Robert). Ici les cadres théoriques de Piaget et de Vygotsky sont articulés, aussi bien pour analyser le couple « enseignement / apprentissage », en donnant toute leur place à la fois à l'activité de l'élève et à celle de l'enseignant, que pour outiller la formation des enseignants. C'est ce que nous avons retenu pour le développement de la double approche (Robert & Hache, 2013 ; Rogalski, 2013b ; Vandebrouck et al., 2013).

Une voie différente est celle de l'école qui a suivi la psycho-pédagogie soviétique. La référence à la théorie de l'activité initiale, centrée sur le rôle central du travail pour l'humain et donc la dimension productive de l'activité (cf. Samurçay & Rabardel,), introduit une fonction productrice dans les tâches scolaires. La théorie du passage de

⁶⁰ C'est une voie théorique également proposée par Bronckart (2003).

⁶¹ (Bruner a parlé d'échafaudage - *scaffolding* - ; un ouvrage de Weill-Barais -1998 - analyse ces processus en termes de "tutelle" et de "médiation").

l'inter-psychique à l'intra-psychique est "implémentée" en organisation un travail collectif des élèves pour produire un effet dans le monde (on peut penser au travail sur projet, à des niveaux pré-professionnels, entre autres), les élèves devant se distribuer des tâches et coordonner leur activité (Roubsov, in Garnier, Bednarz & Ulanocskaya, 2004). On peut relever que la référence à la théorie de l'activité est alors proche de celle développée par Y. Engeström avec l'intégration du sujet dans un système d'activité.

Je relève une approche plus ancienne de la problématique des approches cognitives à l'enseignement, dans un article de Mayer (1992) présentant une analyse historique de la relation entre psychologie et éducation, qui attribue pour partie au mouvement behavioriste l'échec de la psychologie de l'éducation à contribuer à la constitution d'une science capable de guider la pratique en éducation. Mayer analyse les "métaphores de l'apprentissage" qui ont influencé les représentations de l'enseignement ("*instruction*") : l'apprentissage comme acquisition de réponse (le behaviorisme), l'apprentissage comme acquisition de connaissance (le métaphore de l'esprit comme système de traitement de l'information), et l'apprentissage comme construction de connaissance. Il présente les stratégies d'enseignement qui leur sont associées : "*drill and practice*", "*lectures and text books*", et "*knowledge construction*". Il considère que bien des problèmes ont été surmontés avec le changement de paradigme de la recherche de laboratoire vers l'étude des processus cognitifs des élèves dans leurs environnements naturels. À propos des enseignements multi-média, Mayer propose un modèle⁶² qui intègre les caractéristiques de l'élève (*learner*), les actes d'enseignement (*instructional manipulations*), les processus d'apprentissages (dont : *selecting, organizing, integrating*), et les issues en termes de performance (*external performance on test*). Le cœur du modèle est la notion de "charge cognitive" (*cognitive load*) et des moyens de contrôle de la charge cognitive dans le processus d'enseignement (particulièrement mis en œuvre pour le e-learning, avec des étudiants universitaires).

⁶² cf. [http://en.wikipedia.org/wiki/E-learning_\(theory\)](http://en.wikipedia.org/wiki/E-learning_(theory))

TITRE :

Didactique et cognition - De Vygotsky a Dehaene

AUTEUR:

Janine Rogalski

RESUME :

Ce numéro des cahiers du LDAR reprend et étend une présentation faite par Janine Rogalski en séminaire du laboratoire (décembre 2012).

Le texte présente d'abord quelques questions qui se posent sur les relations entre les processus cognitifs et les bases cérébrales. Il insiste en particulier sur la pluralité des niveaux des processus cibles des interrogations en sciences de la cognition (au sens large) et les temporalités qui sont en jeu - ce qui permet de les situer par rapport au temps de l'enseignement.

Il propose ensuite un tour d'horizon des grandes lignées théoriques en psychologie cognitive, dont l'univers scientifique a existé avant Dehaene et continue à vivre (sauf qu'on en entend moins parler dans le secteur des apprentissages des mathématiques ; les sciences expérimentales semblant plus épargnées par ce phénomène).

L'héritage des "lignées constructivistes" pour les didactiques disciplinaires - puis pour la didactique professionnelle (pertinente pour l'étude de la formation et du développement des enseignants)- est présentée en premier. Il s'agit des lignées piagétienne et vygotkiennes donnant une large place à la conceptualisation, dans laquelle se place le cadre de Vergnaud (champs conceptuels et schèmes). Le texte situe ensuite dans l'histoire de la "psychologie scientifique" des mouvements théoriques essentiellement issus de la recherche outre-atlantique : béhaviorisme puis cognitivisme (modèle de l'esprit (mind) comme système de traitement de l'information) qui ont théorisé la problématique de l'apprentissage, les réactions à ces cadres théoriques - et enfin les particularités des développements de la recherche en France.

On présente séparément les approches nativistes en psychologie et en neurosciences, défendant l'hypothèse de capacités cognitives issues de l'évolution de l'espèce, disponibles dès la naissance, dans lesquelles - schématiquement - l'apprentissage est conçu comme un "recyclage" de circuits neuronaux "déjà là". Des exemples de travaux sur le développement cognitif, étudiant le lien des apprentissages scolaires initiaux avec fonctionnement cérébral, illustrent une mise en relation de deux niveaux d'analyse de processus cognitifs, qui peut articuler approche développementale et neuropsychologie.

Le texte revient enfin sur les potentiels et limites des approches "neuro" pour les didactiques des mathématiques et des sciences de la nature ; il défend la nécessité d'une approche théorique prenant en compte les processus de conceptualisation liés aux propriétés épistémologiques de chaque domaine d'enseignement / apprentissage.

Des annexes présentent brièvement la théorie de l'activité (annexe 1) et le modèle de double régulation de l'activité (annexe 2), utilisés dans l'analyse des rapports entre l'activité de l'enseignant et des élèves (Vandebrouck, 2008, 2012, 2013a, 2013b), ainsi qu'un résumé des théories de l'apprentissage actuelles en psychologie cognitive. La bibliographie - au-delà des références présentes dans le texte - fournit des ouvertures en proposant des documents de recherche sur la diversité des thèmes abordés.

MOTS- CLES :

Psychologie cognitive, neuro-psychologie, apprentissage, niveaux de fonctionnement, didactiques des disciplines scientifiques.

Éditeur: IREM de Paris

Responsable de la publication: F. Vandebrouck

IREM de Paris 7 – Case 7018

Université Paris Diderot

75205 Paris cedex 13

irem_de_paris@univ-paris-diderot.fr

<http://www.irem.univ-paris-diderot.fr/>

Dépôt légal : 2015

ISBN : 978-2-86612-364-2