



**HAL**  
open science

# Enseignement et apprentissage : comprendre l'activité cognitive de l'élève en classe

Jean-François Hérold

► **To cite this version:**

Jean-François Hérold. Enseignement et apprentissage : comprendre l'activité cognitive de l'élève en classe. Education. Aix Marseille Université, 2020. tel-03127128

**HAL Id: tel-03127128**

**<https://hal.science/tel-03127128>**

Submitted on 1 Feb 2021

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

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

UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE  
UR 4671 ADEF

# **Enseignement et apprentissage : comprendre l'activité cognitive de l'élève en classe**

Note de synthèse proposée dans le cadre de l'obtention d'une

## **Habilitation à Diriger des Recherches**

Présentée par

**Jean-François Hérold**

Maître de Conférences en Sciences de l'Education à Aix Marseille Université

Tuteur

Jacques Ginestié

Présentée publiquement le 24/06/2020 devant le Jury :

Patrice Bellot	Aix Marseille Université
Jacques Ginestié	Aix Marseille Université
Pascal Leroux	Université du Mans
Valérie Munier	Université de Montpellier 2
André Tricot	Université de Toulouse 2



## Remerciements

*Les travaux présentés dans cette note de synthèse n'auraient pu se faire sans l'aide de celles et ceux qui, directement ou indirectement, volontairement ou non, ont apporté leur contribution, leur aide, à ma réflexion sur cette vaste problématique qui est de comprendre comment l'élève apprend en classe.*

*Aussi, je tiens à remercier, tout d'abord, les élèves, les enseignants qui ont participé aux différents dispositifs expérimentaux que j'ai pu conduire.*

*Je remercie également mes étudiants, futurs enseignants, les enseignants en formation, qui ont contribué à alimenter ma réflexion en m'interpellant avec leurs problèmes de terrain, leurs égarements, leurs difficultés à faire apprendre à leurs élèves, mais aussi en présentant leurs succès qu'ils étaient heureux de faire partager.*

*Je remercie, bien évidemment, mes collègues du laboratoire ADEF pour ces nombreux échanges lors des séminaires ou tout simplement sur le pas de la porte de nos bureaux, ou encore à la machine à café.*

*Je remercie mes doctorants pour les travaux menés ensemble qui ont grandement contribué à alimenter ma pensée scientifique.*

*Merci enfin à toutes celles et à tous ceux qui m'ont accompagné sur les chemins de la recherche en éducation, et qui ont ainsi permis de faire ce cheminement qui a été le mien.*

# SOMMAIRE

## Préambule

1. Problématique ..... 6
2. Présentation de la note de synthèse ..... 8

## Partie 1. Comprendre comment aider l'élève à apprendre.

1. Fondements théoriques de mes premiers travaux pour comprendre l'apprentissage .. 12
    - 1.1. Le constructivisme psychologique et les travaux de Bastien (1997) .....13
    - 1.2. La théorie de la charge cognitive ..... 16
    - 1.3. L'approche de la cognition située ..... 18
  2. Aider l'élève à apprendre : mes premiers travaux
    - 2.1. Analyse de l'activité cognitive d'élèves dans une tâche de traitement arithmétique ..... 20
    - 2.2. Contribution empirique : conception et réalisation d'un exerciceur ..... 24
- Synthèse ..... 32

## Partie 2. Modèles, outils pour comprendre l'apprentissage en situation d'enseignement-apprentissage

3. Eléments d'étude du fonctionnement cognitif de l'élève .....36
  - 3.1. Notion de contexte ..... 37
  - 3.2. Modèles de mémoire ..... 41
  - 3.3. Emotion et cognition
    - 3.3.1. Emotions, de quoi parle-t-on ? ..... 47
    - 3.3.2. Contribution empirique : stress et évaluation scolaire ..... 49
  - 3.4. Synthèse : proposition d'un modèle d'activation de connaissances ..... 51
    - 3.4.1. Elaboration du modèle ..... 51
    - 3.4.2. Contribution empirique : premiers éléments de validation du modèle 63
4. La situation d'enseignement-apprentissage ..... 65
  - 4.1. Tâche d'apprentissage et activité de l'élève ..... 65
    - 4.1.1. Eléments théoriques ..... 65
    - 4.1.2. Contribution empirique : une activité de conception ..... 68
  - 4.2. Savoir, connaissance ..... 70
    - 4.2.1. Revue de littérature ..... 70
    - 4.2.2. Contribution empirique : savoirs implicites et savoirs explicites ..... 74
  - 4.3. Proposition d'un modèle de la situation d'enseignement-apprentissage ..... 78
    - 4.3.1. Notion de situation d'enseignement-apprentissage ..... 81
    - 4.3.2. Comment modéliser la situation d'enseignement- apprentissage ? ..... 82
    - 4.3.3. Les différentes entités du modèle de la situation d'enseignement-

apprentissage .....	84
4.3.4. Développement : mise en œuvre du modèle .....	90
5. Outils d'analyse .....	94
5.3. Grille d'analyse de traces écrites .....	95
5.4. Outil d'analyse de traces numériques .....	98
Synthèse .....	100

### **Partie 3. Apprentissage de concepts en science et en technologie.**

6. Eléments théoriques discutés .....	104
6.1. Qu'est-ce qu'un concept ? .....	104
6.2. L'apprentissage de concepts en didactique des sciences .....	107
6.2.1. Le changement conceptuel .....	107
6.2.2. Le modèle précurseur .....	111
6.2.3. Activité de compréhension du concept .....	113
6.2.4. Synthèse sur l'apprentissage de concepts .....	113
7. Contribution empirique : comment favoriser l'apprentissage de concepts en situation d'enseignement-apprentissage ?	
7.1. Problématique.....	115
7.2. Etude exploratoire .....	117
7.3. Travaux de codirection de thèse en cours .....	119

### **Partie 4. Mes perspectives de recherche**

8. Le diagnostic automatisé .....	125
8.1. Un constat de terrain .....	125
8.2. Questions de recherche .....	127
8.3. Contexte scientifique .....	128
8.4. Recherches prévues .....	129
9. Apprentissages « complexes » .....	134
9.1. Constat .....	134
9.2. Questions de recherche .....	135
9.3. Recherches prévues .....	138

<b>Conclusion .....</b>	<b>141</b>
-------------------------	------------

# Préambule

## 1. Problématique

Un élève apprend à l'école, suite à l'enseignement d'un savoir par son enseignant, mais il peut aussi apprendre à l'école de façon implicite. L'apprentissage par enseignement, impose à l'élève de devoir faire des efforts : il doit être attentif, motivé (Musial, Pradère et Tricot, 2012). Par exemple, pendant longtemps, on a pensé pouvoir surmonter cette difficulté, le manque de perception de la valeur de l'activité proposée à un élève en classe par son enseignant·e, en proposant aux élèves des pédagogies dites « actives », où l'élève était « actif » dans son apprentissage, sans pour cela que ces pédagogies se révèlent totalement efficaces du point de vue de l'apprentissage des élèves<sup>1</sup>. Plus globalement, et en reprenant les propos de Vosniadou (2007), souvent, en enseignement, il y a confusion entre le résultat visé, faire acquérir à l'élève la connaissance relative au savoir enseigné, et le moyen mis en œuvre, élaborer un dispositif d'enseignement pour faire apprendre cette connaissance.

Mais, un élève n'apprend pas qu'à l'école. Ainsi, en France, la durée de l'enseignement, pour l'école primaire, est de 864 h par an (OCDE, 2017). De ce fait, l'élève passe plus de temps en dehors de l'école qu'à l'école. De plus, les activités que l'élève est amené à faire en classe sont souvent bien différentes de celles qu'il fait en dehors de l'école.

Ce qui veut donc dire que l'élève a élaboré des connaissances, à la suite de divers apprentissages, par enseignement ou de façon implicite, à l'école ou en dehors de l'école, dans des situations très différentes les unes des autres.

Ainsi, afin que l'élève soit en mesure de pouvoir interpréter et réaliser la tâche d'apprentissage prescrite par son enseignant·e, il faut, non seulement, qu'il dispose,

---

<sup>1</sup> Tricot (2017a) discute de cela dans le chapitre 1 de son ouvrage.

en mémoire, des connaissances permettant cette interprétation et cette réalisation de la tâche, mais aussi que ces connaissances soient alors disponibles (Tiberghien, 2011 ; Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004), ce qui impose de devoir se poser la question des conditions de la disponibilité des connaissances de l'élève à cet instant, en tenant compte, entre autres, des effets de charge cognitive (Sweller, van Merriënboer et Paas, 2019 ; Mayer, 2008).

Il s'agit de pouvoir disposer d'éléments d'informations sur le profil cognitif des élèves.

Par ailleurs, il est maintenant clairement admis que l'apprentissage n'est pas le résultat des seuls processus et mécanismes cognitifs qui sont en jeu au sein du système cognitif de l'élève, mais résulte également de facteurs relevant du registre émotionnel, à savoir les facteurs affectifs et les facteurs conatifs (Dai et Sternberg, 2004 ; Boekaerts, 2010), même si, il est vrai que cette prise en compte du rôle des émotions sur la cognition est relativement récente et pose de réels problèmes méthodologiques pour pouvoir les appréhender correctement.

Mais, l'apprentissage, comme l'enseignement, est aussi tributaire de facteurs d'ordre psychosocial, de facteurs relevant de contraintes institutionnelles, qui vont influencer les productions cognitives des élèves (Monteil et Huguet, 1993), qui co-déterminent les pratiques des enseignants (Abboud-Blanchard et Rogalski, 2017).

Enfin, la situation d'enseignement-apprentissage, qui correspond au contexte de la tâche d'apprentissage prescrite par l'enseignant (Musial et al., 2012), est aussi caractérisée par une dynamique qu'il est nécessaire de prendre en compte par l'étude du processus d'enseignement-apprentissage qui s'y déroule en son sein. Etudier ce processus nécessite de définir le mécanisme qui s'y rattache, mécanisme qui traduit le fonctionnement du système sous-jacent (voir pour cela, les définitions données par Richard [1998, 2005]), le mécanisme étant alors, pour cet auteur, une description statique, la situation d'enseignement-apprentissage, alors que le processus représente l'aspect dynamique, la « suite des événements et des états engendrés par le mécanisme » (Richard, 1998, p. 24).

Dans le cadre de mes travaux de recherche, j'ai fait le choix d'étudier les conditions de l'efficacité des dispositifs d'enseignement pour l'apprentissage des élèves. Ainsi, comprendre comment l'élève apprend à l'école, dès mes travaux de thèse, a été, aussi, comprendre comment aider l'élève à apprendre.



Pour cela, j'ai adopté un point de vue centré sur l'élève par une prise en compte des facteurs cognitifs, affectifs et conatifs ; j'ai étudié les interactions entre les différentes entités présentes dans la situation d'enseignement-apprentissage que sont enseignant·e(s), élève(s), savoirs, outil(s) didactique(s).

Deux principaux questionnements ont alors orienté mes travaux de recherche :

- Comprendre comment le système cognitif de l'élève élabore des connaissances, comment ces connaissances sont organisées en mémoire et, notamment, comment elles sont activées (mécanismes sous-jacents, conditions), activités cognitives se déroulant dans un environnement spécifique qui est celui de la classe où l'élève réalise des activités d'apprentissage.
- Comprendre les interactions en jeu au sein de la situation d'enseignement-apprentissage, leur nature, leur dynamique.

Ainsi, comprendre comment aider l'élève à apprendre en classe s'est traduit, dans mes recherches, par :

- (1) analyser l'activité de l'élève en classe, notamment en recueillant les traces écrites, les traces numériques de son activité, et comprendre pourquoi il donne telle réponse, pourquoi il fait telle action ;
- (2) tenter d'élaborer une aide à l'apprentissage réellement adaptée à l'élève, par exemple par l'intermédiaire d'un outil numérique de type exerciceur, mais aussi par le choix et la nature des tâches d'apprentissage, et cela au sein d'un apprentissage « guidé » ;
- (3) analyser les dispositifs d'enseignement pour en comprendre leur organisation, leurs finalités afin d'établir les conditions de leur efficacité pour l'apprentissage des élèves.

## **2. Présentation de la note de synthèse**

Cette note de synthèse est divisée en quatre parties.

La première partie est consacrée à mes travaux de thèse et présente, tout d'abord, les fondements théoriques qui m'ont permis de produire mes premiers résultats de

recherche. Ensuite, je présente ma contribution empirique associée à ces premiers travaux, à savoir l'analyse de l'activité cognitive des élèves de collège dans la réalisation de tâches prescrites en traitement arithmétique des nombres relatifs, et la conception, ainsi que la mise en œuvre d'un exerciceur pour l'apprentissage du traitement arithmétique des nombres relatifs.

La deuxième partie présente l'ensemble des travaux que j'ai pu mener suite à mes travaux de thèse avec, entre autres, la présentation de deux modèles pour comprendre : un modèle d'activation de connaissances en mémoire de l'élève, un modèle de la situation d'enseignement-apprentissage, et la présentation de deux outils d'analyse de traces de l'activité d'élèves. Différentes contributions empiriques sont présentées à titre d'illustration.

Dans une troisième partie, je développe un travail que je mène depuis plusieurs années sur l'apprentissage de concepts en sciences et/ou en technologie ; apprentissage qui, pour moi, fait en quelque sorte figure de synthèse des différents aspects problématiques de l'apprentissage de savoirs scolaires en classe.

La quatrième partie décrit les perspectives des recherches que j'entends diriger. Deux axes principaux sont présentés.

Le premier axe concerne une contribution possible à l'élaboration d'un diagnostic cognitif automatisé afin de proposer à l'enseignant·e des outils lui permettant une meilleure compréhension des difficultés d'apprentissage rencontrées par ses élèves lorsqu'ils sont en activité en classe dans la réalisation de tâches prescrites avec un outil numérique. Cette perspective de travaux se situe dans le courant des « *learning analytics* », tout en s'en détachant quelque peu puisque je m'appuie également sur des travaux plus spécifiques issus de la communauté EIAH<sup>2</sup> (je rejoins là, un aspect de mes premiers travaux de thèse), notamment en ce qui concerne le recueil et l'analyse des traces numériques de l'activité de l'élève.

Le deuxième axe porte sur l'étude des dispositifs d'enseignement dans le cas plus prégnant des apprentissages dits « complexes », c'est-à-dire des apprentissages qui imposent au système cognitif de l'élève de devoir intégrer, en mémoire, dans un

---

<sup>2</sup> Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain

même ensemble de connaissances, des connaissances issues de situations d'apprentissage très diverses. Ce deuxième axe se situe en prolongement direct d'un travail de thèse en cours, que je codirige, portant sur l'apprentissage de concepts en sciences et en technologie.

Etant enseignant chercheur à l'Inspé<sup>3</sup> (ex-Espé<sup>4</sup>) depuis 2014, j'ai adhéré complètement au principe d'adosser la formation des futurs et actuels enseignants à la recherche, principe porté par l'Inspé d'Aix Marseille Université. Ainsi, dans mes enseignements, j'utilise régulièrement les résultats de la recherche en éducation pour expliquer, justifier des faits, mais également pour montrer que ces résultats de la recherche permettent d'élaborer des dispositifs d'enseignement qui peuvent ainsi avoir une meilleure efficacité pour l'apprentissage des élèves.

---

<sup>3</sup> Institut National Supérieur du Professorat et de l'Education

<sup>4</sup> Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education

# **Partie 1 : Comprendre comment aider l'élève à apprendre.**

Dans le cadre de mes premiers travaux, mes travaux de thèse, j'ai souhaité étudier comment un élève apprend en classe ; plus précisément, j'ai essayé de comprendre le pourquoi de ses difficultés afin de pouvoir lui apporter une aide à l'apprentissage, aide soutenue par un outil informatique de type exerciceur (Hérol, 2006).

De mon point de vue, comprendre comment un élève apprend en classe, cela passe, tout d'abord, par comprendre comment l'élève acquiert des connaissances, comment elles sont stockées en mémoire et comment les connaissances de l'élève sont activées par son système cognitif. Ainsi, pour paraphraser Bastien & Bastien-Toniazzo (2004), on ne pourra véritablement aider l'élève à apprendre « sans une bonne compréhension des fondamentaux de leur démarche d'apprentissage ».

Ensuite, élaborer une aide à l'apprentissage véritablement efficace dans une situation d'apprentissage à base d'activités instrumentées avec un outil informatique nécessite, non seulement, de comprendre comment le système cognitif de l'élève construit, stocke et active ses connaissances, mais aussi impose de comprendre comment cette aide, par sa nature, sa forme, son instant, sa lisibilité pour l'élève, permettra effectivement une meilleure efficacité de l'apprentissage du savoir enseigné.

Ainsi, dès mes travaux de thèse, pour comprendre le processus d'enseignement-apprentissage qui se déroule au sein de la situation d'enseignement-apprentissage, j'ai défendu l'idée d'une approche centrée sur l'élève (« learner-centered approach »), afin d'essayer de comprendre pourquoi l'élève propose cette réponse, pourquoi l'élève effectue cette action, ceci en réponse à la tâche prescrite par son enseignant·e. De mon point de vue, et je suis là en plein accord avec la proposition de Schubauer-Leoni (2007), cela nécessite de faire appel non seulement aux travaux de didactique afin de définir à quelles conditions les savoirs « *prennent vie* » dans la classe, mais aussi aux travaux issus de la psychologie afin de comprendre « *comment fonctionnent les sujets* », et, par-delà, faire appel à la psychologie cognitive afin de se demander comment fonctionne le système cognitif de l'élève

(Héroul, 2008a). On retrouve ici des propositions, partagées par nombre de chercheurs, comme, par exemple, celles de Julo (1996) et plus anciennement encore celles de Vergnaud (1978).

J'ai ainsi défendu l'intérêt et la nécessité d'une approche pluridisciplinaire de la situation d'enseignement-apprentissage (Héroul, 2010b), nécessité que j'avais mis en avant dans mes travaux de thèse (Héroul, 2006) ; et, je pense, aujourd'hui, qu'il est nécessaire d'aller au-delà, vers une approche interdisciplinaire de la situation d'enseignement-apprentissage, afin de pouvoir se garantir une meilleure compréhension de cette situation complexe qu'est la situation d'enseignement-apprentissage (Rey, 2014). Je rejoins là le principe des propositions d'analyse de la situation d'enseignement-apprentissage, et du processus qui se déroule en son sein, des approches comme, par exemple, celle de Rogalski avec la Double Approche (Robert et Rogalski, 2002 ; Abboud-Blanchard et Rogalski, 2017) pour analyser les pratiques des enseignants, ou encore l'approche plurielle du processus d'enseignement-apprentissage (Altet, 2002), développée par le CREN<sup>5</sup>, même si ces deux approches sont essentiellement centrées sur les pratiques des enseignants alors que ma propre démarche est plus centrée sur l'activité de l'élève.

## **1. Fondements théoriques de mes premiers travaux**

Dans le cadre de mes travaux de thèse (Héroul, 2006), pour tenter de comprendre le processus d'apprentissage à travers l'analyse de l'activité d'un élève, c'est principalement adopter un point de vue de psychologie cognitive qui m'a servi de ligne directrice à mes premiers travaux de recherche. Ainsi, l'élaboration de mes fondements théoriques s'est effectué à partir des apports du constructivisme psychologique (Inhelder et Cellérier, 1992) et des travaux de Bastien (1997), des apports de la théorie de la charge cognitive de John Sweller, ainsi que des apports théoriques de la cognition située.

Ces premiers fondements théoriques pour une compréhension du processus d'apprentissage de l'élève m'ont alors permis d'établir (Héroul, 2006, 2007) :

- L'apprentissage est un processus de construction, d'intégration à une structure de pensée (Inhelder et Cellérier, 1992) : acquérir une nouvelle connaissance implique

---

<sup>5</sup> Centre de Recherche en Education de Nantes

d'avoir un minimum de compréhension de ce dont il s'agit ; pour que l'élève puisse apprendre, il est nécessaire qu'il ait un minimum de connaissances en mémoire afin de pouvoir donner du « sens » à la situation d'apprentissage (Bastien, 1997).

- Toute tâche d'apprentissage génère une « charge cognitive » qui va, éventuellement, gêner l'apprentissage, voire l'empêcher (Sweller, 1994 ; van Merriënboer et Sweller, 2005) ; il est donc nécessaire d'analyser la tâche prescrite au préalable afin d'identifier ce qui pourrait éventuellement générer de la charge cognitive.
- L'apprentissage est « situé », est « contextualisé » : l'accès à une connaissance en mémoire se fait par le « contexte » associé à la tâche prescrite, contexte qui permet de « situer » le système cognitif dans l'espace des connaissances en mémoire de l'élève (Bastien, 1997).

Je vais maintenant détailler quelque peu ces premiers fondements théoriques avant de montrer comment je les ai utilisés dans le cadre de mes premiers travaux.

### 1.1. Le constructivisme psychologique (Inhelder et Cellérier, 1992) et les travaux de Bastien (1997).

Bastien (1997), dans son ouvrage *Les connaissances de l'enfant à l'adulte*, reprend les propositions théoriques formulées dans l'ouvrage d'Inhelder et Cellérier (1992), propositions qui ont constitué une grande partie de mes fondements théoriques, au début de mes travaux de recherche, dans le cadre de ma compréhension de comment un élève apprend.

#### *La théorie du constructivisme psychologique*

Le constructivisme psychologique se veut complémentaire, « distinct, mais non antagoniste, du « constructivisme épistémologique » qui constitue l'objet des élaborations théoriques de Piaget » (Bastien, 1997, p. 39). Piaget parle de « connaissances générales », ce que j'appellerais « savoir » (je discuterai de cela en partie 2), alors que le constructivisme psychologique a pour objet les connaissances du sujet, plus précisément, leur organisation en mémoire, leur accessibilité et la façon dont le sujet va acquérir d'autres connaissances. Comme l'écrit Bastien

(1997), « il convient de distinguer les connaissances générales, qui constituent en quelque sorte le patrimoine cognitif de l'humanité, et les connaissances individuelles particulières » (p. 11). On passe donc de l'étude de l'organisation des connaissances générales d'un point de vue structurel, le sujet « épistémique », suite aux propositions théoriques de Piaget, à l'étude des connaissances d'un sujet individuel, le sujet « psychologique » ; on va donc s'intéresser à l'organisation des connaissances d'un sujet donné, avec un point de vue fonctionnel, c'est-à-dire comprendre comment cette organisation induit les connaissances qui sont activées lorsque ce sujet est confronté à une situation particulière, et comment le sujet va entrer en activité pour faire la tâche qui lui a été prescrite .

Pour Inhelder et Cellérier (1992), « la pensée est essentiellement un phénomène de mémoire, un mouvement d'activation des connaissances, plus ou moins dirigé de proche en proche dans cet espace sémantotopique » (p. 272). Ainsi, l'accès de proche en proche des connaissances dans l'espace sémantotopique du sujet se fait par un mécanisme que les auteurs désignent par « centration ». La « centration » correspond au champ d'attention du système cognitif pour accéder aux connaissances en mémoire, et est équivalent à la notion de focus attentionnel ou de mémoire de travail pour d'autres modèles de la mémoire (modèle de Cowan, modèle de Baddeley). A tout instant, la centration est située dans le réseau de connaissances du sujet. Comme le souligne Bastien (1997), « il n'y a donc jamais de recherche systématique étendue sur les contenus de la mémoire (...). La centration fonctionne donc comme un *situateur* » (p. 43), « *situateur* » qui permettra l'accès aux connaissances nécessaires à la réalisation de la tâche à laquelle le sujet est confronté et évitera une recherche de ces connaissances sur l'ensemble de la mémoire. La centration constitue, de ce fait, une « fenêtre » sur le réseau de connaissances présent en mémoire du sujet, « fenêtre » qui, pour Inhelder et Cellérier (1992), sera de taille variable suivant le niveau d'apprentissage du sujet et la nature de la situation, et qui donnera l'accès à un ensemble restreint de connaissances, mais connaissances qui sont immédiatement disponibles. Ce sont les caractéristiques de la situation (éléments du contexte, mais aussi représentations mentales élaborées par le système cognitif du sujet à partir de ses connaissances en mémoire) qui permettront de positionner cette « fenêtre », la centration, dans le réseau de connaissances du sujet. Ainsi, pour Bastien (1997), le contexte situationnel permet au sujet d'interpréter la situation, mais aussi permet d'évoquer

« en situation, les connaissances en mémoire utiles au traitement de la situation » (p. 25). Cet auteur conclut en disant que « l'effet du contexte porte donc sur l'interprétation même de la situation, interprétation qui devient en fait subordonnée à l'état des connaissances du sujet » (p. 25). Par rapport à ce dernier point, Bastien (1997) propose le concept de « contexte interne » qui correspond à un état des connaissances du sujet à un instant donné : « c'est le sujet qui constitue lui-même son contexte « interne », lequel dépend de ses connaissances antérieures » (p. 26). Je discuterai, par la suite, de cet aspect de la notion de « contexte » et je préciserai les différentes notions de contexte que j'ai utilisées dans mes travaux de recherche. Dans la perspective du constructivisme psychologique, l'acquisition de nouvelles connaissances ne peut se faire que si le sujet qui apprend « comprend » ce qu'il peut faire avec cette nouvelle connaissance. Ainsi, il ne sera pas possible d'acquérir une nouvelle connaissance sans avoir au préalable activé une connaissance antérieure qui permet au sujet d'avoir un minimum de compréhension de ce dont il s'agit : toute nouvelle connaissance prend donc nécessairement appui sur une connaissance antérieure qui, dans la perspective du constructivisme psychologique, est nommée « précurseur ». L'activation du « précurseur », par le système cognitif du sujet, se fait grâce aux éléments pertinents de la situation que le système cognitif a pu identifier, et permet au sujet de comprendre la situation, de lui donner du sens, d'interpréter la situation.

#### *L'organisation fonctionnelle des connaissances (Bastien, 1997)*

Pour Bastien (1997), l'organisation de nos connaissances en mémoire est une « organisation fonctionnelle, orientée par les contenus, les buts et les procédures connues pour réaliser les buts » (p. 45). Cette organisation fonctionnelle des connaissances en mémoire correspond, pour cet auteur, à un réseau fonctionnel dans lequel les liens entre les connaissances s'établissent afin de pouvoir résoudre les tâches dont les buts sont perçus comme semblables par le sujet (Clément, 2003) ; cette auteure précise que « le réseau des schèmes serait constitué des schèmes d'action reliés entre eux sur le critère fonctionnel des connaissances » (p. 80). Précisons que le « schème d'action », évoqué par Cellérier (1979a, 1979b), correspond à une unité de connaissances dont les caractéristiques correspondent à l'action que le sujet peut exercer sur l'objet dans la réalisation de la tâche.



Ainsi, les liens de ce réseau entre les connaissances s'établiraient à partir des expériences de résolution de problème du sujet apprenant, liens tout au plus typables de type « évoque » ou « permet de faire » (Bastien, 1997) suivant que l'on considère les connaissances en jeu de type « connaissances déclaratives » ou de type « connaissances procédurales » pour reprendre une catégorisation des connaissances bien utilisée. De ce fait, l'organisation des connaissances en mémoire se fait *via* l'activité du sujet en résolution de problèmes, organisation qui se veut « fonctionnelle », c'est-à-dire une organisation des connaissances du sujet qui est élaborée en fonction des types de problèmes que cette structure de connaissances est susceptible de pouvoir résoudre (Bastien et Richard, 2003). Aussi, une connaissance « fonctionnelle » est une connaissance « pour agir », organisée avec d'autres connaissances en fonction d'un but à atteindre (Tricot, 1995). L'accès aux connaissances se fait alors à partir des types de problème qu'elles sont censées résoudre (et non, à partir d'une organisation logique, qui peut être celle d'un manuel scolaire, par exemple), et ce sont les caractéristiques du problème à résoudre au sein de la tâche prescrite qui amène le sujet à mobiliser ces connaissances.

## 1.2. La théorie de la charge cognitive

La théorie de la charge cognitive est une théorie proposée par John Sweller, qui rend compte des phénomènes de surcoût cognitif dans les activités d'apprentissage, et que l'on peut résumer par le fait que toute activité mentale génère une « charge » qui va limiter la quantité de connaissances directement disponibles.

Un certain flou entoure cette notion de « charge » (Chanquoy, Tricot et Sweller, 2007). Néanmoins, cette notion caractérise le fait qu'il y a une limite dans la capacité de traitement d'une situation par le système cognitif. Aussi, il est alors nécessaire de caractériser les activités d'apprentissage pour déterminer quels types d'enseignement seraient les plus efficaces, en prenant en compte les « effets » de la charge cognitive (Sweller, 2003).

La mise en évidence des différents « effets » de la charge cognitive sur l'apprentissage découle des propositions de Sweller sur l'origine et la cause de ces différents effets. Pour cela, Sweller propose de distinguer différents types possibles de charge cognitive (van Merriënboer et Sweller, 2005 ; Sweller, 2010). Il y a tout

d'abord la « charge cognitive pertinente » (*germane cognitive load*) qui dépend des caractéristiques de l'apprenant. Ce type de charge est inhérente à tout apprentissage, à l'enrichissement des connaissances. Ensuite, Sweller distingue la « charge cognitive intrinsèque » (*intrinsic cognitive load*) qui résulte de la quantité d'informations que l'apprenant doit traiter. Pour Sweller (1994), la charge cognitive intrinsèque est fonction du nombre d'éléments de connaissances à maintenir en mémoire de travail, de leurs niveaux d'interactivité, du nombre de procédures requises pour traiter ces éléments de connaissances, du nombre de pas pour atteindre la solution, du degré de contrôle à effectuer pour élaborer la solution (Sweller, 1988). Troisième type de charge cognitive possible, c'est la « charge cognitive extrinsèque » (*extraneous cognitive load*) qui est liée à l'organisation du matériel pédagogique, à la manière de présenter les informations nécessaires à la réalisation de la tâche prescrite (Sweller, 2010).

Ainsi, dans une situation d'enseignement-apprentissage, l'enseignant·e ne dispose que de deux leviers sur lesquels agir pour diminuer la charge cognitive imposée à un élève par la tâche d'apprentissage qu'il lui a prescrite, la charge cognitive intrinsèque et la charge cognitive extrinsèque. Suivant les caractéristiques de l'élève, c'est-à-dire selon l'état de ses connaissances au moment où il est amené à devoir réaliser la tâche prescrite (son « contexte interne »), selon son état émotionnel, sa motivation, la réalisation de la tâche prescrite imposera au système cognitif de l'élève une charge cognitive pertinente qui sera plus ou moins grande. Dans la perspective des propositions de Sweller, il y aura apprentissage pour cet élève si la charge cognitive intrinsèque et la charge cognitive extrinsèque auront été suffisamment réduites par les caractéristiques et la nature de la tâche prescrite afin de permettre au système cognitif de pouvoir supporter la charge cognitive pertinente liée à l'apprentissage du savoir visé par la tâche d'apprentissage prescrite, tout en supportant la charge cognitive intrinsèque et la charge cognitive extrinsèque, les trois types de charge s'additionnant pour constituer la charge cognitive totale qui correspond au coût cognitif de l'activité cognitive du sujet à un instant donné de son activité (Sweller, 2010). De ce fait, la résolution d'un problème, par exemple, peut générer une charge cognitive importante pour le système cognitif d'un élève donné et, par voie de conséquence, ne lui permettra pas forcément d'apprendre.

### 1.3. L'approche de la cognition située

Le terme « située », dans l'approche de la cognition située (*situated cognition*), sous-tend l'idée que tout processus cognitif doit être perçu comme une réponse spécifique à un ensemble de circonstances particulières (Brown, Collins et Duguid, 1989). La cognition située pose donc le principe d'un référencement des connaissances en mémoire par rapport à un « contexte », un environnement : connaissances et « contexte » seront mémorisés et liés.

En reprenant les propos de Tricot et Bastien (1996), quelle que soit la conception que l'on peut donner au « contexte », et de son rôle sur l'activation des connaissances en situation, cette conception remet en cause la référence aux travaux de Piaget et aux apports de Vygotski, deux auteurs particulièrement référencés en sciences de l'éducation.

En effet, comme le font remarquer Bastien et Bastien-Toniazzo (2005), les apports des travaux de Piaget sur le développement cognitif ont notamment trouvé leurs limites dans leur incapacité à rendre compte des effets de contexte. Les auteurs précisent : « deux situations logiquement équivalentes peuvent être traitées de façon complètement différente (...), en fonction des connaissances que les caractéristiques de ces situations activent. Les connaissances ne sont donc pas indépendantes des conditions de leur utilisation » (*ibid*, p. 22). Précisons ici que les auteurs désignent par « connaissances », les connaissances du sujet, c'est à dire ce qui correspond au contenu de la mémoire du sujet. Comme nous le discuterons en partie 2, il m'a paru nécessaire de devoir distinguer le savoir à apprendre et la connaissance qui est construite en mémoire par l'élève en activité d'apprentissage de ce savoir.

Or, Bastien et Bastien-Toniazzo (2005) soulignent : « la confusion, en partie entretenue par Piaget, a consisté à postuler chez le sujet, le même type de connaissance et la même structuration que dans le modèle formel de référence » (p. 22). Ainsi, Piaget a, en fait, modélisé le développement de la connaissance de l'humanité (le « savoir savant ») en s'appuyant sur le développement cognitif d'un sujet épistémique, ce qui l'a amené à décrire le développement cognitif comme une structuration progressive des connaissances qui tendent vers l'abstraction (Donnadieu, Genthon et Vial, 1998). L'intérêt du modèle de développement de la connaissance (le savoir partagé) proposé par Piaget est donc d'ordre

épistémologique. C'est ce que soulignent Bastien et Bastien-Toniazzo (2005) : Piaget se voulait épistémologue, même s'il est vrai qu'il a fait appel à la psychologie pour justifier sa théorie, d'où, probablement, comme le soulignent ces auteurs, une certaine confusion sur l'utilisation qui a été faite des résultats de Piaget, notamment en didactique. Les propositions d'Inhelder et Cellérier (1992), que nous avons présentées au paragraphe 1.1., associées aux propositions de la « cognition située » (*situated cognition*), montrent que la structuration des connaissances d'un sujet cognitif se fait de manière fonctionnelle et non logique, et que ce sont les caractéristiques de la situation qui conditionnent l'activation des connaissances (Bastien, 1997 ; Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004). Ces deux ensembles de propositions mettent ainsi en évidence les limites de l'utilisation de la théorie piagétienne pour une compréhension du développement cognitif d'un sujet, puisque Piaget, notamment, ne prend pas en compte l'effet sur l'apprentissage des différences de situation.

Une autre limitation mise en avant dans la théorie piagétienne est le fait que Piaget a fortement sous-estimé les effets sociocognitifs dans le processus d'assimilation. Ce qui a amené bon nombre d'auteurs à faire référence aux propositions de Vygotski pour y palier.

En effet, Vygotski, dans ses propositions, met en avant l'importance des interactions sociales, de la médiation sociale. Le sujet apprend en grande partie grâce à des activités qu'il réalise avec des sujets proches de lui (Grangeat, 2000). Mais, Vygotski suppose que ce qui est appris dans une activité collective pourra être réinvesti lorsque le sujet se retrouvera seul (*ibid*), ce qui va à l'encontre des propositions de la « cognition située ».

L'approche socioculturelle de l'apprentissage de Vygotski se rapproche de la conception de l'apprentissage comme étant une activité assujettie à des effets sociaux, et permet ainsi de faire le lien avec les propositions de Brown, Collins et Duguid (1989), mais aussi avec les travaux de Lave, Wenger et d'autres.

## 2. Aider l'élève à apprendre : mes premiers travaux

### 2.1. Analyse de l'activité cognitive d'élèves dans une tâche de traitement arithmétique (Hérol, 2006, 2007, 2008b, 2008c, 2008d)

Dans le cadre de mes travaux de thèse, j'ai essayé d'apporter une contribution à la compréhension du fonctionnement d'élèves de 5<sup>o</sup> de Collège, en situation d'apprentissage en classe, dans le cadre de leur cours de mathématiques.

Pour cela, j'ai, tout d'abord, élaboré un dispositif de recueil de traces écrites, de type papier-crayon. La tâche proposée aux élèves, élèves de 5<sup>o</sup> de collège, consistait en 30 exercices portant sur le traitement arithmétique des nombres entiers relatifs dans le cadre de leur cours de mathématiques. Les énoncés des exercices avaient été élaborés à la suite d'un recensement auprès de quarante enseignants de mathématiques des principales difficultés rencontrées par les élèves dans l'apprentissage de ce savoir enseigné. Je me suis également appuyé sur une base de données d'évaluation en mathématiques mise en place par l'IREM<sup>6</sup> de Besançon. Ainsi, quatre types de traitements arithmétiques ont été proposés aux élèves :

- (1) Additions de deux nombres entiers relatifs
- (2) Soustractions de deux nombres entiers relatifs
- (3) Combinaisons d'additions et de soustractions
- (4) Combinaisons d'additions et de soustractions avec présence de traitements entre parenthèses (notion de priorité).

Le recueil de données a été effectué un mois après, environ, la fin de la séquence d'enseignement sur le traitement arithmétique des entiers relatifs.

La tâche de traitement proposée comportait alors 30 exercices différents. 50 élèves de 5<sup>o</sup> de collège ont participé à cette expérimentation. J'ai recensé 496 erreurs que j'ai analysées par une méthode proche de l'analyse des protocoles individuels (Richard, 1998, 2005). Car, en effet l'erreur est un indice précieux pour analyser le fonctionnement de l'élève, contrairement à la bonne réponse qui, d'une part, n'est pas nécessairement significative du fait que l'élève a effectivement acquis la connaissance visée, et d'autre part, ne fournit aucune information sur la façon dont il a procédé (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004).

---

<sup>6</sup> Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques

Quelques exemples de résultats sont donnés en Tableau 1.

Type de calculs proposés	Exemple d'énoncé	Erreur la plus fréquente	Taux d'erreurs global
Addition de 2 nombres relatifs	$-5 + 8$	-13	33 %
Soustraction de 2 nombres relatifs	$14 - (-8)$	6	48 %
Combinaison d'additions et de soustractions	$-15 + 3 - 4$	-14	56 %
Combinaison d'additions et de soustractions avec parfois notion de priorité	$(-3) - (-5 + 4)$	-4	72 %

- Tableau 1 : Exemples d'erreurs.

Ainsi, à l'énoncé «  $-5 + 8$  » (exercice de la première série), un tiers des élèves répondent faux. L'erreur la plus fréquente consiste à donner le résultat « -13 » (environ 60 % des erreurs) ou « 13 » (environ 40 % des erreurs). On peut donc proposer l'interprétation suivante : à la lecture de cet énoncé, le système cognitif de l'élève interprète et mémorise dans un premier temps le symbole « - » comme étant représentatif d'un nombre négatif. Puis, dans un deuxième temps, le système cognitif de l'élève réinterprète ce qui est pour lui de l'inintelligible, le traitement arithmétique de deux nombres relatifs. Cette réinterprétation engendre un déplacement de son focus attentionnel (ensemble des connaissances directement disponibles), de la « centration », en reprenant Inhelder et Cellérier (1992), dans l'espace-mémoire de ses connaissances, déplacement qui peut être plus conséquent qu'un déplacement de proche en proche dans l'interprétation d'une situation. Le système cognitif, dans sa réinterprétation de la situation, retient alors la connaissance procédurale de l'addition, meilleur candidat car étant bien plus familière. Dans l'élaboration de la réponse, l'élève effectue donc l'addition de « 5 » avec « 8 » ce qui donne bien « 13 ». S'il a gardé la trace de la représentation des différents symboles de l'énoncé à sa lecture de la tâche prescrite, il ajoute un signe « - » devant son résultat. Dans le cas contraire, cas où le déplacement de la

« centration » dans l'espace des connaissances du sujet a été relativement conséquent, il répond simplement « 13 », car le déplacement a été tel que l'information relative à la lecture du signe « - » n'est plus dans le focus de la « centration ».

Pour le deuxième exemple, «  $14 - (-8)$  », les élèves répondent faux à 48 % avec la proposition de réponse « 6 ». Ici, ils privilégient la procédure d'interprétation de l'opération de soustraction comme étant la différence entre 8 et 14 (la « distance » entre 8 et 14, « distance » souvent déterminée par comptage, avec incrémentation ou décrémentation par pas de un, qui, comme le souligne Fayol (1990), demeure la procédure privilégiée chez les jeunes sujets, mais qui se retrouve également chez les adultes qui y ont recours, de façon plus occasionnelle, lorsque leur système cognitif ne peut récupérer une procédure adéquate en mémoire).

Le troisième exemple proposé correspond à l'énoncé «  $5 - (-3) + 2$  » (exercice de la troisième série) pour lequel 70 % des élèves répondent faux, l'erreur la plus fréquente consistant à répondre « 4 ». Dans ce cas, il s'agissait d'une opération à deux opérateurs différents et trois opérands pas toutes du même signe. La charge cognitive supportée par le système cognitif de l'élève à la lecture de l'énoncé est donc bien plus grande que pour l'exemple précédent. Ici, la réinterprétation par le système cognitif de l'élève l'amène, ainsi, à activer des connaissances liées au processus du regroupement d'éléments, traditionnellement très « ancien », donc très familier (le mécanisme du regroupement d'éléments se construit dès le plus jeune âge, et notamment à l'école maternelle où l'élève est amené à réaliser des tâches prescrites pour lesquelles il doit établir des « collections » d'objets, de figures ...). La procédure mise en place par l'élève consiste alors, dans un premier temps, à regrouper les termes positifs, à savoir « 5 » et « 2 » ce qui donne « 7 », puis prendre l'opérande « -3 » et faire la soustraction «  $7 - 3$  » (réinterprétation de la situation en une situation « connue »), ce qui donne comme résultat « 4 ».

Enfin, pour le quatrième exemple, «  $(-3) - (-5 + 4)$  » (exercice de la quatrième série), 72 % des élèves répondent faux avec comme réponse fautive la plus fréquente « -4 ». Les élèves appliquent bien la règle de priorité, symbolisée par la présence de parenthèses, sur l'opération «  $-5 + 4$  » avec comme résultat « -1 » qu'ils additionnent avec « -3 » (activation d'une connaissance familière suite à la surcharge cognitive imposée par l'énoncé). Outre cette réponse « -4 », certains élèves répondent « 6 », ce qui veut dire qu'ils ont appliqué la règle « - - » donne

« + » sur l'opérande « 5 », ce qui les amènent à faire l'opération «  $-3 + 5 + 4$  » ce qui donne « 6 ». D'autres ont répondu « -6 », ce qui correspond donc au même traitement arithmétique, mais en gardant la trace mnésique du « - » lu en début d'énoncé. Cet exemple montre que les élèves, dans leur majorité, même s'ils répondent faux à cet exercice, ont bien mémorisé des éléments du cours fait par leur enseignant·e (ils ont donc « appris », même si leurs résultats à ce test ne le montrent pas vraiment ...).

Ainsi, j'ai pu établir que :

- Dans le cas de réponses fausses, l'élève privilégie des connaissances « familières » (par exemple, l'addition) ; c'est donc une activité de récupération de connaissances en mémoire, mécanisme essentiel de toute activité cognitive (Bastien, 1997) qui est alors effectuée ; pour réalisation la tâche prescrite (faire l'opération demandée), l'élève applique une connaissance antérieure, certes inappropriée, mais qui lui permet de répondre. Des propositions similaires sont présentées par Fayol (1990) en se référant aux travaux de Brown et Burton (1978) et à ceux de Brown et Van Lehn (1980) avec les « erreurs systématiques » qui sont dues à une défection de procédure appropriée qui met l'élève dans une impasse : « dans ce cas, au lieu d'interrompre sa résolution, le sujet devient « inventif <sup>7</sup> » (...). Pour cela, il peut recourir à différentes méthodes, plus ou moins éloignées de la procédure pertinente » (p. 133). Ainsi, ces « erreurs systématiques » se caractérisent par une logique interne qui peut être propre à un élève ou partagée par différents élèves. Mais, comme il est également fait remarquer, la théorie de Van Lehn, d'une part, ne retient que les aspects sémantiques et, d'autre part, se situe dans une perspective algorithmique afin de pouvoir établir un modèle de simulation (comme pour beaucoup de travaux de cette période). Or, pour moi, c'est l'analyse de l'activité cognitive de l'élève lorsqu'il réalise des tâches d'apprentissage en classe qui est à la base de mes propres travaux, et non une perspective algorithmique pour un éventuel modèle de simulation qui ne me semble guère approprié dans le cas de la compréhension de l'apprentissage d'un élève en classe. Aussi, et dans le cadre de la perspective théorique que j'ai retenue, le concept de connaissance « familière », de « strong knowledge », me semble plus adapté, car plus représentatif de l'activité

---

<sup>7</sup> Il est « bricoleur » au sens donné par Levi-Strauss dans son ouvrage *La Pensée sauvage*.



de l'élève lorsqu'il réalise la tâche prescrite par son enseignant·e. En effet, dans la perspective du constructivisme psychologique, Boder (1992) propose la notion de « schème familier » qu'il définit comme étant une unité cognitive privilégiée dans un certain nombre de situations et qui aura donc la particularité d'être facilement accessible. Un schème familier sera ainsi sollicité plus facilement par le système cognitif pour donner du sens à la situation : « c'est autour de ces schèmes familiaux que s'organise dynamiquement, pour le sujet, la représentation du problème et du but. C'est pourquoi (...) une tâche sera d'autant plus difficile à résoudre que le schème, initialement évoqué [car, familier], en réalité inadéquat, rend la situation plus familière aux yeux du sujet » (p. 195). Par ailleurs, Anderson propose le concept de « strong knowledge », concept qui peut être apparenter au concept de schème familier proposé par Boder. Ainsi, « knowledge become strengthened with use (and weakened with disuse). Strong knowledge can be remembered and called to attention rapidly and with some certainty (...) The relative strength of these components helps determine which strategy is used » (Ritter, Anderson, Koedinger and Corbett, 2007, p. 250). On retrouve, chez Bastien (1997), un positionnement similaire, à savoir « face à une situation qui sollicite notre activité, que ce soit pour comprendre ou pour agir, le premier processus déclenché est celui des réponses connues » (p. 146).

- Si la charge cognitive induite par l'énoncé est très importante alors le système cognitif de l'élève a recours à des connaissances « très familières », donc traditionnellement plus « anciennes » (par exemple, regrouper des « termes identiques », des éléments qui sont « semblables » du point de vue de l'élève). Plus globalement, on peut constater que le taux d'erreurs augmente avec la charge cognitive induite par la nature de l'énoncé (voir Tableau 1).

## 2.2. Contribution empirique : conception et réalisation d'un exercice pour l'apprentissage du traitement arithmétique des nombres entiers relatifs au Collège (Hérol, 2006, 2010a, 2010b, 2012a, 2012b)

Dans mes travaux de thèse, j'ai défendu l'idée qu'un apprentissage avec un outil informatisé pouvait s'avérer relativement efficace si une approche cognitive de

l'activité de l'apprenant était effectuée. Cette approche cognitive de l'activité de l'élève m'a ainsi permis d'établir les conditions qui me semblaient nécessaires pour fournir à l'élève une aide à l'apprentissage réellement adaptée, à savoir comprendre le fonctionnement cognitif de l'élève lorsqu'il réalise une tâche d'apprentissage ; prendre en compte les effets de charge cognitive en limitant la charge cognitive extrinsèque ; aider à la planification afin d'éviter les activités cognitives d'évaluation et de prise de décision, très coûteuses cognitivement ; fournir une représentation visuelle de la procédure de résolution afin d'aider l'élève dans la mémorisation de cette procédure ; fournir un feed-back immédiat à l'élève par rapport à ses actions (si elles sont non conformes), ses réponses (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004 ; Hérold, 2006, 2008b).

#### *Éléments de conception* (Hérold, 2006, 2008b)

La conception de mon exerciceur s'est faite en deux temps. Tout d'abord, j'ai conçu un premier dispositif à partir des premiers éléments de spécification que j'ai mis en évidence à partir du cadre théorique élaboré dans le cadre de mes travaux de thèse et des résultats de mon expérimentation à partir d'un dispositif « papier-crayon ». Ce premier dispositif a été testé auprès de 41 élèves de Collège (classe de 5<sup>o</sup>), ce qui m'a permis de faire une validation écologique du principe du dispositif. Puis, dans un deuxième temps, j'ai élaboré la version de mon exerciceur que je vais présenter ci-dessous. Cette version reprend, bien évidemment, les principaux éléments de la première version que j'ai pu valider, et les améliorations que j'ai apportées sur l'aide à la planification ainsi que sur l'ergonomie de l'interface pour les élèves. J'ai renforcé aussi l'implication de l'élève par modification du « contrat didactique » (comme, par exemple, en demandant à l'élève de s'identifier par son nom et son prénom, alors que ces informations ne m'étaient d'aucune utilité de par le fait que, pour cette deuxième version, j'utilisais une base de données en réseau).

#### *Construction d'une connaissance fonctionnelle*

L'analyse du fonctionnement cognitif de l'élève confronté à une tâche de traitement arithmétique des nombres entiers relatifs a montré que, pour l'élève, la fonctionnalité de l'opérateur « - » n'est pas perçue comme elle devrait l'être, à savoir la relativisation d'un nombre par rapport à un autre nombre. Dans la

conception de mon exercice, j'ai essayé de donner à l'élève les outils nécessaires à la construction de cette connaissance fonctionnelle.

Pour cela, l'idée que j'avais retenue, a été de proposer à l'élève de faire déplacer un curseur sur un axe gradué : la valeur numérique de l'opérande définit le déplacement relatif du curseur, le sens de déplacement dépendant du, ou des, signe(s) précédant ce nombre.

Par mon choix d'un outil informatisé, j'ai pu proposer à l'élève une représentation visuelle et dynamique du traitement arithmétique à effectuer :

- un axe gradué, une graduation représentant une valeur entière, sur lequel se superpose un curseur qui peut être déplacé par l'élève ; en position initiale, le curseur est sur la valeur zéro qui est située au milieu de l'axe ;
- une flèche qui s'oriente en fonction de la nature du, ou des, signes précédant l'opérande pour indiquer à l'élève dans quel sens il doit déplacer le curseur.

#### *Organisateurs utilisés*

Pour la mise en œuvre de l'IHM (Interface Homme-Machine), j'ai utilisé un certain nombre d'organiseurs de l'interface (Hérol, 2008a), comme :

- La vidéo inverse : sur l'énoncé de l'opération arithmétique proposée, l'outil met en vidéo inverse le symbole textuel en cours de lecture afin de faciliter une représentation mentale pertinente par rapport au traitement à effectuer en renforçant l'importance de cette information (aide à la planification)
- Un texte informatif : un message court et directif propre à l'action à accomplir est affiché dans une « bulle » rattachée à une image représentant le « tuteur » (aide à la planification)
- L'état des boutons de commande : une seule action est autorisée à un instant donné au niveau de l'interface, les boutons de commande n'intervenant pas dans l'action en cours sont « grisés », donc inactifs (alléger la charge cognitive en n'activant que l'information utile et ainsi limiter l'effet de dissociation de l'attention)
- Des fenêtres de type « pop-up » (fournir un feed-back à l'élève par rapport à ses réponses, ses actions) : ces fenêtres s'affichent automatiquement pour signaler à l'élève, par exemple, un mauvais choix dans le sens de déplacement du curseur (le curseur correspond à un champ de type « ascenseur ») ou pour le résultat de ses évaluations (accompagné d'un message toujours positif afin de tenir compte des facteurs conatifs et des éléments de « compétence sociale »).

### *Description du dispositif réalisé*

L'outil d'aide réalisé comporte plusieurs fenêtres. La première est une fenêtre de présentation dont l'objectif est d'expliquer à l'élève, par l'intermédiaire d'un texte court l'intérêt et le pourquoi de ce nouvel outil qu'on lui propose d'utiliser : appréhender de façon différente la notion de nombres relatifs qu'il a déjà vue en cours avec son professeur. Le deuxième écran a pour but d'acquérir des informations concernant l'élève (de façon à renseigner la table « élèves » de la base de données du dispositif), et, indirectement, de permettre à l'élève une première prise en main du logiciel (comme par exemple la nécessité de pointer avec la souris dans une zone d'édition avant de commencer à taper son texte). De plus, le fait de « s'identifier » à la machine en donnant son nom, son prénom et sa classe, peut amener l'élève à s'impliquer plus fortement dans l'utilisation de l'outil (notion de « contrat didactique » évoqué précédemment). La troisième fenêtre correspond à une séquence de prétest des connaissances de l'élève sur le traitement des nombres relatifs. L'élève est amené à faire une série d'exercices à faible niveau de difficulté (un seul opérateur et deux opérands) avec la possibilité de choisir l'énoncé de l'exercice parmi ceux proposés, de revenir en arrière, de donner plusieurs réponses à un même exercice. Les seules contraintes imposées ici par le « tuteur » du logiciel sont l'obligation d'une réponse à chaque exercice et la validation d'un nombre minimal d'exercices. Chaque réponse de l'élève est sauvegardée dans la table « élève » qui lui correspond, dans la base de données de l'application. Une fois sa série d'exercices terminée, une fenêtre d'analyse de ses résultats s'ouvre et lui donne le nombre de bonnes réponses accompagné d'un message toujours positif. La fenêtre suivante correspond à la phase d'apprentissage, la phase de construction d'une connaissance fonctionnelle. L'interface de cette fenêtre propose à l'élève un énoncé d'exercice, un texte informatif situé dans une bulle correspondant à un message court et directif propre à l'action à accomplir par l'élève à un instant donné de la procédure de mise en œuvre (voir figure 1.1) :

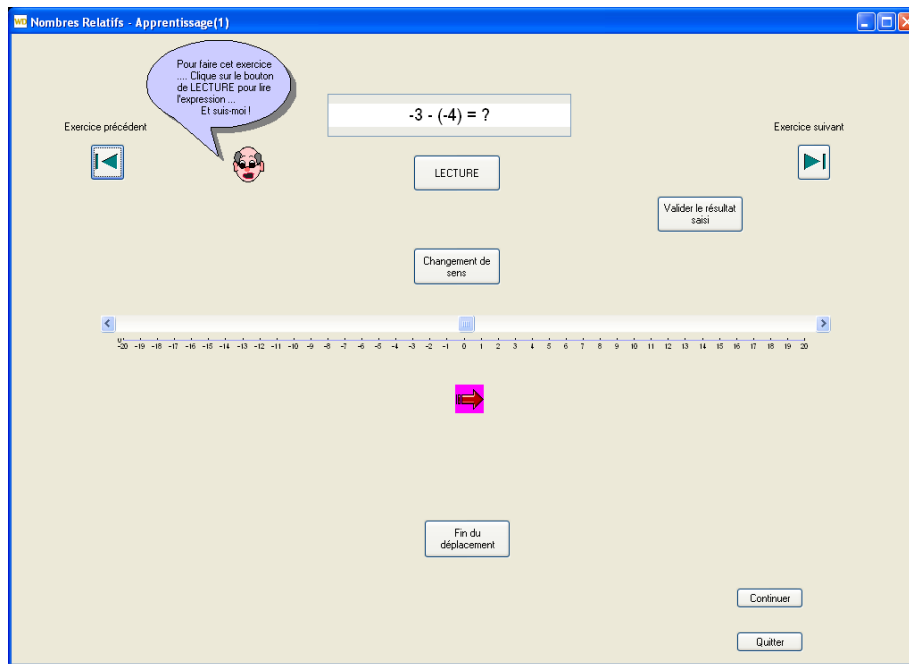


Figure 1.1 : L'élève commence un nouvel exercice. L'énoncé est affiché dans une zone d'édition ; un texte informatif l'invite à cliquer sur le bouton de commande « LECTURE »

Une fois que l'élève a cliqué sur le bouton « LECTURE », la séquencement de l'exercice s'effectue et invite, pas à pas, l'élève à réaliser les opérations correspondantes, jusqu'à la lecture du résultat, comme le montrent les figures suivantes (1.2 à 1.4) :

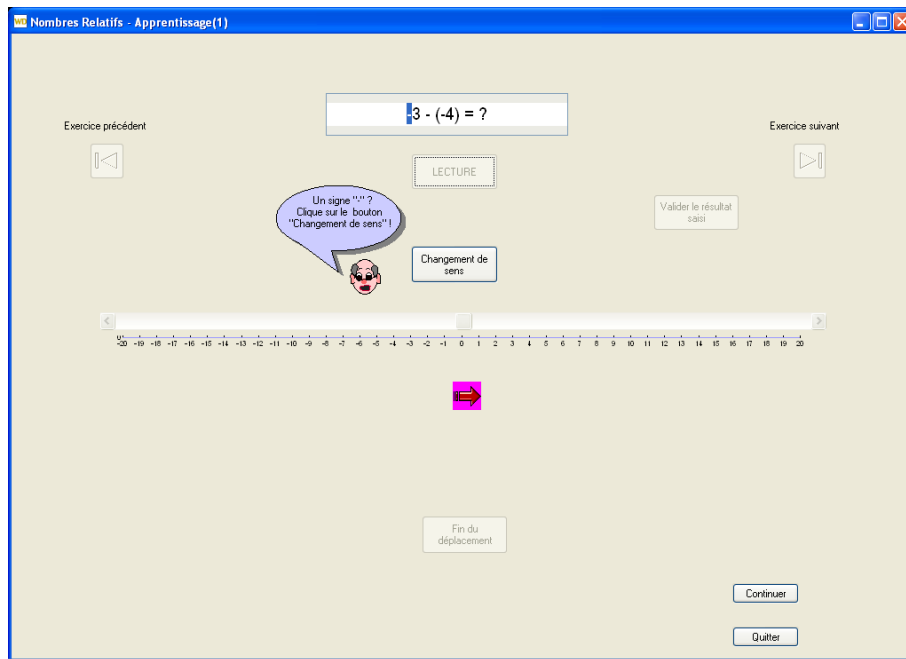


Figure 1.2 : Le curseur se positionne sur le premier symbole de l'énoncé, ici, un signe « - », qui se met en vidéo inverse afin de bien attirer l'attention de l'élève ; un texte informatif, situé près du bouton de commande à cliquer l'invite à faire l'action nécessaire. Toutes les autres commandes sont invalidées.

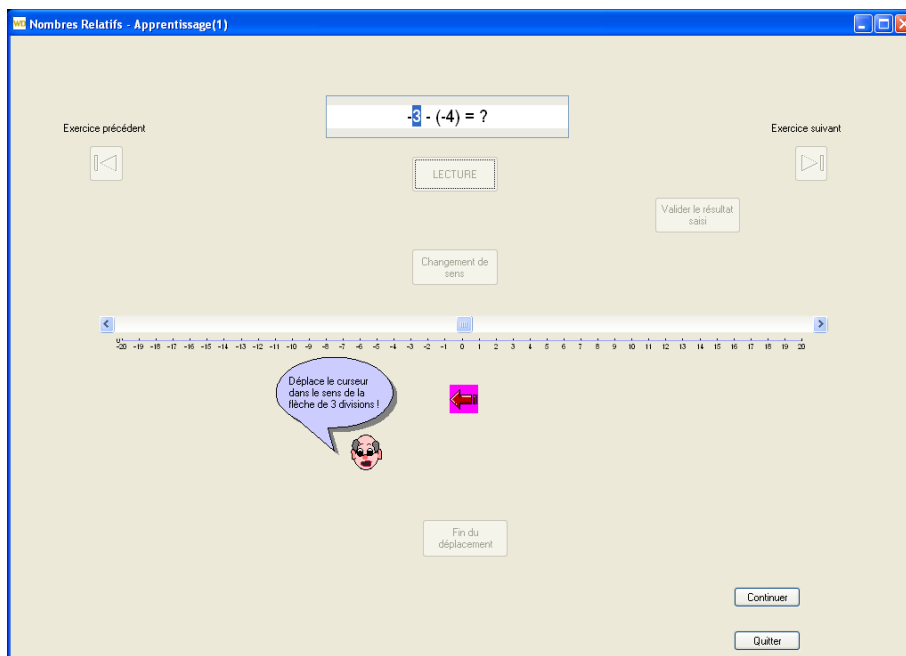


Figure 1.3 : Maintenant, l'élève est invité à déplacer le curseur dans le sens indiqué par la flèche ; le texte informatif lui indique le nombre de divisions pour le déplacement.

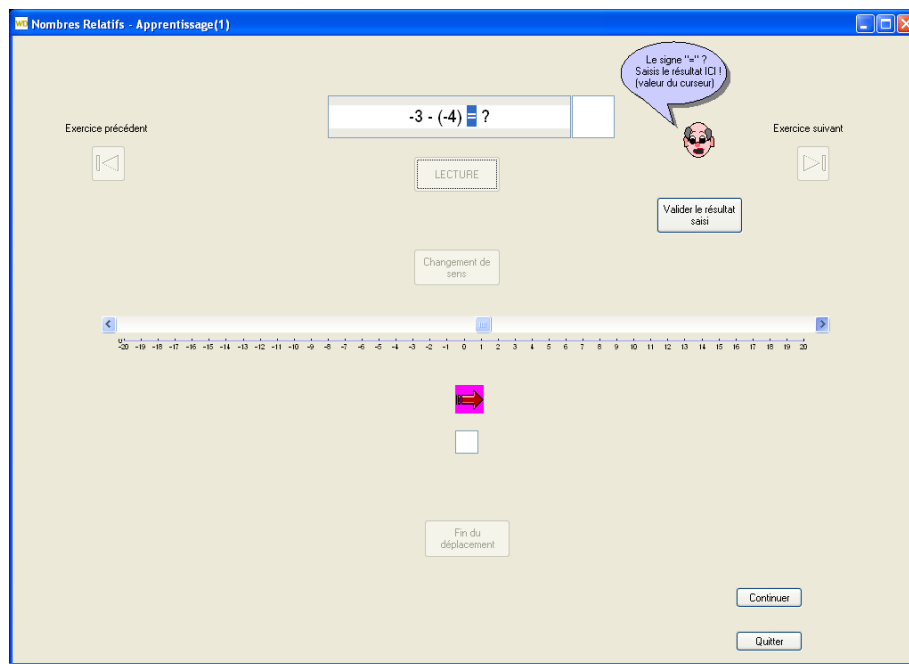


Figure 1.4 : La procédure se déroule jusqu'au signe « = » qui symbolise l'attente d'un résultat ; le texte informatif demande alors de saisir le résultat dans la zone d'édition. Un nouveau texte informatif invite l'élève à valider son résultat par bouton de commande.

Le nombre d'exercices à faire par l'élève durant cette seconde phase est fonction du nombre d'erreurs commises lors du prétest. Plus l'élève a fait des erreurs, plus l'exerciceur lui propose des exercices de remédiation. Afin de pouvoir rester cohérent avec la durée d'une séance pédagogique au Collège (55 mn), cette phase de remédiation a été « bornée » en nombre maximal d'exercices possibles afin que chaque élève ait le temps nécessaire de faire le prétest et le posttest.

24 élèves d'une classe de 5° de Collège ont participé à l'expérimentation. Ils ont travaillé en salle informatique, 1 élève par poste, pendant une durée de 40 minutes. Comme il a été dit précédemment la séquence se déroule en trois phases : une phase de prétest pendant laquelle l'élève effectue des exercices sur les relatifs en essayant d'appliquer les règles enseignées par leur professeur, une phase de remédiation de durée variable en fonction des résultats obtenus lors de la phase précédente, et une phase de posttest. Tous les résultats des exercices sont saisis informatiquement et mémorisés sur la machine (Héroid, 2006, 2007).

Seules les données de 21 élèves ont pu être sauvegardées dans la base de données de l'application (en raison de problèmes de réseau informatique). La passation s'est

faite en deux temps (la salle d'informatique du Collège ne comportant que 14 postes), sur une durée globale de 55 minutes (durée d'une tranche-horaire d'emploi du temps au Collège), présentation du dispositif par moi-même compris.

Le taux d'erreurs moyen en prétest est de 56 %, ce qui correspond à un niveau de classe relativement faible mais en accord avec la propre évaluation de leur professeur (mon recueil de données avait été réalisé trois semaines environ après l'évaluation sommative effectuée en fin de séquence) : ce n'est donc pas l'activité en elle-même qui les pénalise. Le taux d'erreurs moyen en posttest est de 37 %, donc en amélioration ce qui démontre une certaine efficacité du dispositif mis en place, d'autant que la durée d'utilisation a été finalement relativement courte (la durée de la remédiation en elle-même a duré entre 10 et 15 minutes suivant le résultat des élèves en prétest).

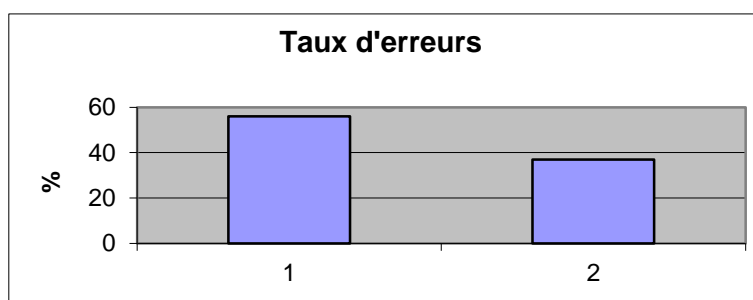


Figure 1.5 : Prétest en 1 ; posttest en 2.

L'analyse des résultats-élèves montre que pour 67 % d'entre eux leur réussite est bien meilleure pour le posttest. Ils sont 9 élèves à doubler ou plus que doubler leur nombre de bonnes réponses en posttest. 2 élèves seulement ont une performance moins bonne en posttest, comme le montre la figure 1.6 :

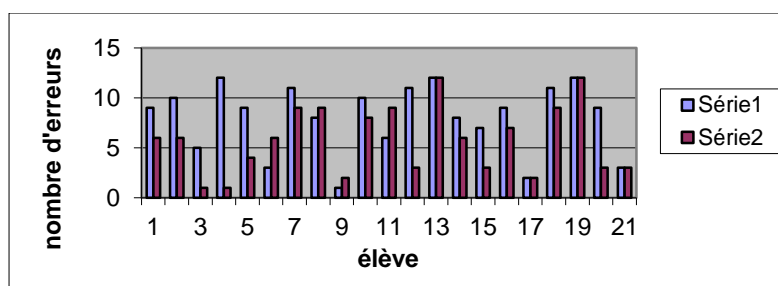


Figure 1.6 : Résultats-élèves. Prétest en série 1 ; posttest en série 2.



Une grande partie des élèves est donc en progression, et parfois de façon très nette, comme par exemple l'élève 4 qui fait 12 fautes au prétest et 1 faute en posttest (voir figure 1.7).

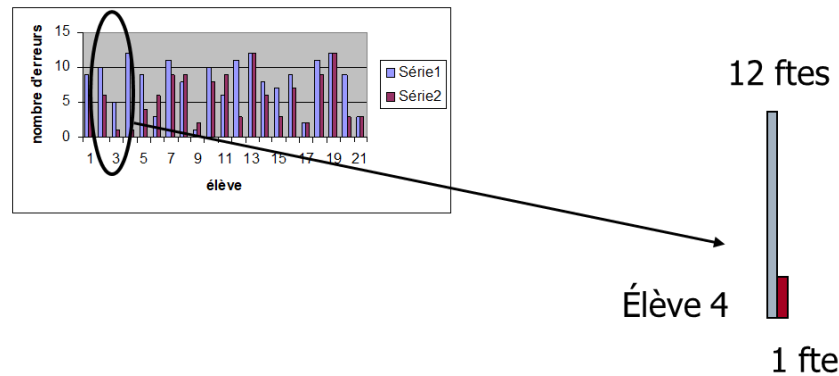


Figure 1.7 : Les résultats de l'élève 4 au prétest et au posttest.

## Synthèse

L'analyse des réponses des élèves, dans le cadre du dispositif papier-crayon comme dans le cas du dispositif numérique, m'a ainsi permis de donner une interprétation sur le fonctionnement des élèves lorsqu'ils étaient confrontés à des problèmes de traitement arithmétique de nombres entiers relatifs pour lesquels ils donnaient une réponse fautive : n'ayant pas construit la connaissance fonctionnelle adéquate, ils ont recours à des connaissances antérieures, pas toujours appropriées, mais qui leur permettent de répondre (procédure qu'il faudra donc inhiber en leur proposant de construire la connaissance fonctionnelle adéquate).

Pour analyser les réponses des élèves, j'ai eu recours au concept de « schème familier », de « strong knowledge », élément de mémoire privilégié par le système cognitif, que j'ai choisi de mettre en lien avec les effets de charge cognitive. En effet, van Merriënboer et Sweller (2005) indiquent que la charge cognitive intrinsèque dépend notamment de l'expertise du sujet (même s'il est vrai qu'ils discutent plus de l'effet dû à la quantité d'informations à traiter simultanément, donc de l'interactivité entre les différents éléments de ce qui doit être appris).

Néanmoins, Paas, Renkl et Sweller (2003) précisent bien que « the automation of these schemas so that they can be processed unconsciously further reduces the load on working memory » (p. 2). C'est pourquoi van Merriënboer et Sweller (2005) écrivent qu'un « well-designed instruction should not only encourage schema construction but also schema automation » (p. 149). De ce fait, si l'élève a recours à un « schème familier » pour produire sa réponse, c'est que le niveau d'apprentissage, auquel il se trouve au moment où il réalise la tâche prescrite, ne lui permet pas de disposer de connaissances en mémoire suffisamment automatisés. Son système cognitif, afin de « soulager » la charge cognitive, va alors activer un « schème familier » qui va réorienter la procédure d'exécution. Comme cette unité de connaissance est facile d'accès, elle est privilégiée.

De plus, j'ai pu faire le constat que plus le système cognitif de l'élève semblait en surcharge, plus la connaissance mobilisée pour réaliser la tâche était « ancienne », donc d'autant plus « familière », car, étant souvent utilisée, cette connaissance bénéficie d'un « chemin » d'accès, d'un lien dont le « poids », résultant de l'expérience du sujet, est important, ce qui en fait un lien de productivité différentielle élevée, voire très élevée (Bastien, 1997).

Enfin, j'ai mis en évidence le fait que le « contexte » du savoir enseigné permet à l'élève de donner du sens à ce savoir, ce qui facilite, de ce fait, la construction de connaissances fonctionnelles relatives à ce savoir enseigné. Aussi, une analyse du « contexte » du savoir, enseigné par l'enseignant·e, est nécessaire pour comprendre comment les connaissances de l'élève sont activées (ce « contexte » ne doit faire appel qu'à des connaissances présentes en mémoire de l'apprenant pour garantir une certaine efficacité de l'apprentissage du savoir enseigné<sup>8</sup>).

Par ailleurs, mes travaux portent sur une compréhension du fonctionnement cognitif de l'élève, mais d'un élève en classe. Mes travaux de thèse ont ainsi mis en évidence la nécessité de prendre en compte la situation d'apprentissage, et d'aller au-delà du matériel et de la tâche à réaliser, c'est-à-dire l'enseignant·e et les interactions avec l'élève, mais aussi les interactions avec les autres élèves, l'environnement (comme

---

<sup>8</sup> J'ai eu l'occasion, par la suite, de travailler avec une étudiante, Professeur des Ecoles stagiaire, dans le cadre de la direction de son mémoire de Master. Elle avait choisi comme objet d'étude la résolution de problèmes en s'appuyant sur deux exemples d'énoncés de « problèmes de la vie quotidienne » tirés du manuel de mathématiques des élèves de CM1. Les résultats montrent que, si beaucoup d'élèves sont en difficulté et ne parviennent pas résoudre les problèmes proposés, cela est essentiellement dû au fait que, pour la plupart, de ces élèves, les énoncés n'avaient pas de « sens » pour eux, en dépit du fait qu'ils étaient censés être des « problèmes de la vie quotidienne ».

par exemple la notion de « compétence sociale », très présente en classe, ou l'organisation matérielle de la salle de classe ...). Mes premiers travaux ont également mis en évidence le fait que l'apprentissage ne peut se départir de l'affect (Giordan, 1998) et nécessite un engagement de l'élève dans la tâche prescrite (comme cela a été le cas de l'élève 4, voir figure 1.7, qui a fait preuve de beaucoup d'application pendant la phase de remédiation, qui a fait abstraction du fait que son voisin avançait beaucoup plus vite dans la tâche et qui a été fort content de son résultat en posttest en l'exprimant verbalement et à haute voix).

Tout cela m'a amené à devoir préciser un certain nombre de concepts, à concevoir des outils d'analyse, à définir des modèles pour mieux interpréter, mieux comprendre ce qui se passe au sein du processus d'enseignement-apprentissage, en classe.

C'est ce que je vais présenter maintenant dans la partie 2.

## **Partie 2 : Outils, modèles pour comprendre l'apprentissage en situation d'enseignement- apprentissage**

Dès mes travaux de thèse, j'ai tenu à étudier le fonctionnement cognitif de l'élève en situation de classe. Les expérimentations que j'ai menées ou coordonnées se sont donc faites en classe, en présence de l'enseignant·e. J'ai ainsi retenu le dispositif expérimental de recueil de données en situation écologique, avec des élèves, en classe, avec leur enseignant·e. Les biais expérimentaux que j'ai alors pu constater m'ont amené à devoir travailler sur la situation d'enseignement-apprentissage, comment l'appréhender, comment la définir. Et, bien évidemment, en parallèle, à travailler sur le processus qui se déroule en son sein, à savoir le processus d'enseignement-apprentissage.

Je me suis également intéressé aux facteurs influant sur les processus d'appropriation des savoirs enseignés (structuration des contenus, complexité du savoir enseigné, lisibilité de l'outil numérique retenu par l'enseignant·e pour soutenir l'apprentissage, etc.), ainsi qu'aux facteurs qui influent sur l'activité cognitive de l'élève (facteurs affectifs et facteurs conatifs).

Plusieurs types d'études ont été portés par mes travaux ; l'interrogation des processus d'apprentissage des savoirs enseignés, l'étude des interactions qui se nouent dans la classe entre l'enseignant·e, les élèves, le savoir enseigné, le dispositif didactique mis en œuvre par l'enseignant·e pour soutenir l'apprentissage, etc. Ces travaux ont été menés en poursuivant les objectifs que je m'étais fixés dès mes travaux de thèse : analyser l'activité d'élèves réalisant en classe des tâches prescrites par leur enseignant·e avec un outil numérique, ou pas, afin de repérer les difficultés rencontrées par les élèves, de comprendre leurs comportements lorsqu'ils sont confrontés à des obstacles, d'interpréter l'évolution de leurs interprétations de la tâche (représentations mentales), afin de pouvoir définir des dispositifs d'enseignement susceptibles d'apporter une meilleure efficacité en termes d'apprentissage pour les élèves.

Ainsi, j'ai travaillé à l'élaboration de deux outils pour supporter mes travaux de recherche : une grille d'analyse de traces écrites (Hérol, 2014a), un dispositif d'identification de stratégies par analyse de traces numériques (Hérol et Montuori, 2018). Afin de mieux analyser l'activité de l'élève en classe, j'ai également élaboré deux modèles : un modèle du fonctionnement du système cognitif de l'élève en activation de connaissances, modèle construit à partir de mes premiers travaux de thèse (Hérol, 2006 ; Hérol et Ginestier, 2011), et un modèle de la situation d'enseignement-apprentissage (Hérol, 2019), dont j'ai évoqué la conception lors de différentes communications, notamment lors d'un Colloque International du CRIFPE<sup>9</sup> (Hérol, 2015a).

### **3. Eléments d'étude du fonctionnement cognitif de l'élève en classe**

Se poser la question de comment un élève active ses connaissances présentes en mémoire, c'est, dans le cadre du processus d'enseignement-apprentissage, de mon point de vue, apporter une contribution à la compréhension de comment un élève apprend à l'école.

Tout d'abord, il s'agit de se poser la question de savoir quels sont les facteurs, les mécanismes cognitifs sous-jacents au stockage d'informations en mémoire et à leur récupération (élaboration/mémorisation de connaissances, d'une part, et activation de connaissances, d'autre part). Pour cela, il est nécessaire de comprendre comment les connaissances sont organisées en mémoire afin de comprendre comment un élève apprend. Pour comprendre comment les connaissances sont organisées en mémoire, il faut comprendre comment un élève active ses connaissances.

Les premiers modèles d'organisation des connaissances en mémoire sont issus des travaux en Intelligence Artificielle : réseaux sémantiques (comme le modèle de Collins et Quillian), modèles connexionnistes (comme le modèle NETtalk de Rosenberg et Sejnowski), par exemple. Ces modèles reposent pour la plupart sur un postulat fortement partagé à cette époque, à savoir une organisation logico-mathématique des connaissances, organisation qui permettrait à un sujet de passer

---

<sup>9</sup> Centre de Recherche Interuniversitaire sur la Formation et la Profession Enseignante

du concret à l'abstrait, de l'apprentissage à l'expertise (catégorisation novices/experts).

Ce postulat se retrouve également dans les théories piagésiennes avec les limites que cela induit (voir, par exemple, les analyses de Bastien et Bastien-Toniazzo, 2005 ; ou bien celles de Johsua et Dupin, 1993).

Or, l'organisation des connaissances d'un sujet correspond à une organisation propre à chaque individu, cette organisation étant située, c'est-à-dire que les connaissances sont contextualisées (Bastien, 1997). L'accès à la connaissance, par le système cognitif, se fait à partir des éléments du contexte qui déterminent la nature du but cognitif à atteindre. De ce fait, à un même savoir peuvent donc correspondre différentes connaissances fonctionnelles situées à des endroits différents de la mémoire d'un sujet, car l'organisation des connaissances est propre à ce sujet (en fonction des problèmes à résoudre qu'il a rencontrés par le passé). Cette organisation des connaissances dépend de la nature des buts à atteindre et de leur contexte d'utilisation. Ainsi, deux situations équivalentes pourront être traitées par le même sujet de façon différente si les caractéristiques de ces situations sont différentes ; si les situations ont des caractéristiques différentes alors le contexte d'utilisation des connaissances correspondant à ces situations sera différent ; les connaissances activées seront donc différentes car fonction des contextes d'activation (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004).

### 3.1. Notion de contexte

Le concept de situation, que la situation soit didactique ou pas, est étroitement liée à la notion de contexte.

En didactique, la notion de contexte, comme le fait remarquer Reuter (2013), est relativement proche de celle de milieu (« milieu » au sens de Brousseau<sup>10</sup>). Reuter (2013) précise qu'en didactique, ces notions visent à comprendre, voire interpréter, ce que font les élèves (leurs conduites) en situation didactique. Ainsi, Bernié (2004)

---

<sup>10</sup> Brousseau (2003) donne la définition suivante pour le concept de « milieu » : « dans une situation d'action, on appelle « milieu » tout ce qui agit sur l'élève ou/et ce sur quoi l'élève agit ».

Pour Amade-Escot et Venturini (2009), le milieu comporte alors des éléments conceptuels et matériels, des éléments situationnels locaux, des éléments historico-culturels, des aspects sociaux et sémiotiques. Mais ces auteurs, font remarquer que, si cette notion est effectivement incontournable pour décrire les pratiques d'enseignement et d'apprentissage, néanmoins, il n'y a pas de théorie véritablement partagée par la communauté des didacticiens (*ibid.*).

définit le contexte par « tout ce qui fait sens pour l'élève dans l'univers social des tâches scolaires » (p. 27), même si le qualificatif « social » n'apparaît plus dans la citation faite par Reuter (2013) en référence à Bernié (2005). Globalement, Reuter (2013) met en avant le fait que, quelques soient les différences de définition possibles de ces deux notions, elles traduisent le fait qu'en situation, un certain nombre d'éléments va influencer la façon dont les « savoirs prennent vie » en classe, pour reprendre l'image proposée par Schubauer-Leoni (2007).

Pour les psychologues cognitifs, les éléments du contexte sont des éléments en mémoire du sujet, associés aux connaissances.

Ainsi que le souligne Richard (1998, 2005), les activités mentales, comme l'interprétation de la situation, le raisonnement pour l'action, sont des activités qui mettent en œuvre des connaissances situées en mémoire ; et ces activités sont des activités mentales contextualisées qui dépendent du contexte de la situation dans laquelle se produisent ces activités.

Pour Bastien (1997), « la fonction essentielle du contexte est de situer le système cognitif » (p. 43) dans l'espace-mémoire du sujet. C'est-à-dire que ce sont les éléments contextuels qui permettent « de rendre disponibles des connaissances en mémoire chez le sujet et donc de rendre compte des variations dans l'interprétation des situations » (p. 21) ; de même pour Yeh et Barsalou (2006), « Rather than having to search through everything in memory across all situations, the cognitive system focuses on the knowledge and skills relevant in the current situation » (p. 353).

Ainsi, dès les années 1970, plusieurs travaux, dont notamment ceux de Tulving, identifient le « contexte » comme jouant un rôle important dans la récupération des connaissances en mémoire, même si cette notion n'est pas encore parfaitement définie de façon univoque (voir, par exemple, l'article de Choi, van Merriënboër et Paas, [2014], même s'il est vrai que les auteurs utilisent le mot « environnement » dans la discussion). Néanmoins, les effets de contexte sont clairement démontrés pour les mécanismes de récupération d'informations en mémoire (Ericsson et Kintsch, 1995 ; Anderson, Reder et Simon, 1996 ; Bastien, 1997 ; Anderson, Greeno, Reder et Simon, 2000 ; Yeh et Barsalou, 2006).

*Mais de quel « contexte » parle-t-on ?*

Dans mon mémoire de thèse, j'avais déjà considéré le contexte situationnel comme étant multiple.

Ma réflexion sur cette notion m'a amené alors à considérer :

- Le contexte de mise en œuvre de la tâche d'apprentissage, qui, pour les situations d'apprentissage explicite en milieu scolaire, correspond à la situation d'enseignement-apprentissage (Musial, Pradère et Tricot, 2012).
- Le contexte du savoir enseigné présent dans la tâche d'apprentissage, qui peut être disciplinaire, relatif au document (forme et fond), à sa présentation, etc. Par exemple, Bastien et Bastien-Toniazzo (2004) donnent de nombreux exemples de tâches prescrites pour lesquelles des changements de formulation, le choix des éléments verbaux effectués par l'enseignant-e dans la formulation de la tâche, les dispositifs de réponse proposés aux élèves, ou tout simplement l'exemple situationnel retenu par l'enseignant-e pour définir sa tâche, peuvent conduire les élèves à se retrouver en difficulté ou pas.
- Le contexte de la situation d'enseignement-apprentissage qui englobe des éléments d'ordre matériel, comme l'établissement, l'organisation des salles de classe (cf. expérience de Godden et Baddeley, [1975], par exemple), d'ordre institutionnel, d'ordre social, sociétal, etc. (Brown, Collins et Duguid, 1989 ; Lave, 1996) ; contexte qui correspond à l'entité souvent désignée par « environnement » (voir, par exemple, Dumond et Istance, 2010)
- Le contexte interne, propre au sujet, et, dans notre cas, propre à l'élève, qui correspond à l'état de l'organisation des connaissances en mémoire de l'élève à l'instant où il réalise la tâche d'apprentissage (Bastien, 1997).
- Le contexte émotionnel, ou « mood-dependent memory », (voir, par exemple, les travaux de Lewis et Critchley [2003], qui montrent que l'activation de connaissances en mémoire est facilitée lorsque l'état émotionnel du sujet est semblable à son état émotionnel au moment de l'encode de l'information).

On peut alors catégoriser le contexte en deux composantes principales : le contexte situationnel et le contexte mental propre au sujet, donc propre à l'élève.

Le contexte situationnel comporte ainsi le contexte de la situation d'apprentissage, le contexte de la tâche d'apprentissage et le contexte du savoir enseigné.

Le contexte mental englobe le contexte interne et le contexte émotionnel.



### *Pourquoi s'intéresser au contexte ?*

Les effets de contexte sur l'activation des connaissances répondent au questionnement de nombreux·es enseignant·e·s qui ont été confronté·e·s à l'exemple de la situation suivante : comment des élèves qui réussissent parfaitement l'évaluation sommative de connaissances sur les équations différentielles du premier degré en cours de mathématiques se révèlent totalement incapables de mettre en application ces connaissances en cours de physique appliquée pour résoudre un exercice simple d'électricité (comme, par exemple, la mise en équation de la charge d'un condensateur) ?

Pourquoi un élève, qui s'avère capable de mettre en œuvre une notion d'informatique dans un TP d'informatique, avec un enseignant d'informatique donné, dans une salle d'informatique donnée, rencontre énormément de difficultés à réutiliser cette notion dans un autre TP d'informatique, avec un autre enseignant·e d'informatique, dans la salle d'informatique d'à côté ?

Pourquoi, lorsque l'on demande à cet élève comment il explique sa difficulté, il répond que l'informatique qu'il « fait » dans une salle donnée, avec un enseignant·e d'informatique donné, n'est pas la « même » que l'informatique qu'il fait avec cet autre enseignant·e d'informatique, dans la salle d'informatique d'à côté, alors que la notion d'informatique est, bien évidemment, strictement la même dans les deux cas ?

Prendre en compte les effets de contexte dans les apprentissages à l'école permet de comprendre pourquoi « deux situations logiquement équivalentes peuvent être traitées de façon complètement différentes par le même [élève], en fonction des connaissances que les caractéristiques de ces situations activent. Les connaissances ne sont donc pas indépendantes des conditions de leur utilisation (...). » (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2005, p. 22).

Pour cela, Yeh et Barsalou (2006) font l'hypothèse qu'en donnant du sens entre les connaissances en jeu dans la situation et en focalisant l'attention de l'apprenant sur certains aspects de la situation, on contribue à la mémorisation d'informations situationnelles qui peuvent favoriser l'accès à la connaissance en mémoire de l'apprenant.

Ma réflexion sur cette notion de « contexte » a imprégné mes travaux en différents aspects : élaboration d'un modèle de la situation d'enseignement-apprentissage

(Hérol, 2019) pour le contexte de mise en œuvre de la tâche d'apprentissage (voir paragraphe 4.3) ; le rôle d'une émotion (le stress) sur la cognition pour le contexte émotionnel (voir paragraphe 4.3.2) ; l'apprentissage de concepts en sciences et/ou en technologie pour le contexte de mise en œuvre de la tâche d'apprentissage et le contexte du savoir enseigné, en interaction avec le contexte interne de l'élève (voir partie 3).

### 3.2. Modèles de mémoire

Je rejoins la proposition d'Anderson (Anderson, 2000), rappelée par Tricot (2003), comme quoi l'apprentissage est essentiellement un phénomène de mémoire. En effet, il me semble difficile de pouvoir dissocier les mécanismes d'apprentissage des mécanismes de fonctionnement de la mémoire.

De ce fait, tenter d'apporter un éclairage sur comment un élève active ses connaissances m'a amené à m'intéresser aux différentes propositions de modélisations de la mémoire. Il est donc nécessaire, d'une part, de se poser la question, quelles connaissances sont accessibles à un instant donné, pourquoi celles-là, et d'autre part, par quels mécanismes cognitifs ce sont précisément ces connaissances qui sont rendues accessibles par le système cognitif à un instant donné.

Dans mes travaux de thèse, ce sont essentiellement les propositions d'Inhelder et Cellérier (1992), le modèle ACT-R d'Anderson, le modèle de Cowan (1988, 2001) et la proposition d'architecture du système cognitif de Richard (1998, 2005) qui ont été à la base de ma réflexion.

Par la suite, les analyses d'activités d'élèves que j'ai été amenées à faire dans mes différents travaux, m'ont conduit à réfléchir sur d'autres modèles de la mémoire, notamment le modèle de mémoire de travail de Baddeley (1993) et le modèle d'Ericsson et Kintsch (1995), qui servent de fondements à la théorie de la charge cognitive de Sweller (1988, 2010), théorie que j'ai fortement mobilisée dans mes travaux, ainsi que les propositions de Barrouillet, Bernardin et Camos (2004) qui m'ont aidé à expliquer le fonctionnement d'élèves en difficulté relative d'apprentissage (Hérol, 2014a).

L'ensemble des modèles proposés par la communauté des psychologues des apprentissages met en avant le fait, qu'à un instant donné, le sujet n'a accès qu'à une toute petite partie de ses connaissances en mémoire. Traduit, dans un premier temps, par le concept de mémoire à court terme, puis principalement par le concept de mémoire de travail (Baddeley, 1986), et là, je rejoins (Chanquoy, Tricot et Sweller, 2007) pour une traduction de « working memory » par « mémoire qui travaille » (p. 74), qui me semble plus proche de la description qu'en fait Baddeley. On trouve également d'autres points de vue dans des modélisations comme celle de Cowan qui parle de « focus attentionnel » ou celle d'Inhelder et Cellérier (1992) qui mettent en avant le concept de « centration ».

Deux modèles mettent en avant les effets de contexte dans la structuration des connaissances en mémoire du sujet : le modèle d'Ericsson et Kintsch (1995) qui fait la proposition de l'existence de structures de récupération d'informations en mémoire à long terme, et les propositions d'Inhelder et Cellérier (1992).

#### *Propositions d'Inhelder et Cellérier (1992)*

Les propositions d'Inhelder et Cellérier ont été à la base de la construction de mon cadre théorique de recherche, comme je l'ai présenté en partie 1. Pour ces auteurs, l'espace-mémoire où sont situés les réseaux de connaissances est considérable et ce sont les caractéristiques de la situation à laquelle est confronté le sujet qui vont gérer un « situeur » qui permettra d'activer, plus particulièrement, un réseau de connaissances. Ainsi, à tout moment, le sujet n'a accès qu'à une toute petite partie de ses connaissances. Ceci est dû au fait que le « situeur » agit sur une faible partie de la mémoire qui correspond aux connaissances immédiatement disponibles, zone-mémoire appelée « centration », et qui peut être l'équivalent de la mémoire de travail pour d'autres auteurs. Pour Inhelder et Cellérier (1992), il n'y a donc qu'une mémoire. La centration est la partie disponible de la mémoire, la zone activée, en fonction des caractéristiques de la situation. Elle peut être de taille variable selon les sujets, c'est-à-dire suivant leur niveau d'apprentissage pour un savoir donné, et selon les situations pour un sujet. Plus les connaissances sont « automatisées », plus les réseaux associés sont facilement accessibles en mémoire. L'étude du fonctionnement des experts laisse à penser que l'organisation des connaissances en

mémoire est « contextualisée » en fonction des types de problèmes que ces connaissances permettent de résoudre. De ce fait, l'organisation des connaissances en mémoire est propre à un sujet et est liée à son expérience. Cette organisation se fait en fonction des buts cognitifs que les connaissances permettent d'atteindre. Les connaissances individuelles sont donc des connaissances fonctionnelles. Elles sont organisées en mémoire en fonction des types de tâches qu'elles permettent de faire et à partir desquelles ces connaissances ont été construites (Bastien, 1997).

#### *Modèle d'Ericson et Kintsch*

La théorie de la mémoire de travail à long terme d'Ericsson et Kintsch (1995) fait l'hypothèse que la mémoire de travail est une partie activée de la mémoire dite à long terme ; la mémoire de travail est la « partie » activée de la mémoire, rendant ainsi disponibles les informations nécessaires au traitement de la tâche.

La théorie de la mémoire de travail à long terme met surtout en avant un mécanisme d'indices de récupération dans l'organisation des connaissances en mémoire. Ces indices de récupération correspondent, en fait, à des indices contextuels relatifs à la situation dans laquelle le sujet a construit les connaissances associées. Ainsi, pour pouvoir accéder rapidement aux informations disponibles en mémoire, les caractéristiques de la structure de récupération, c'est-à-dire les informations servant d'indices de récupération, permettent un focus attentionnel permettant d'activer alors les éléments de mémoire en lien avec ces indices de récupération (Guida, Tardieu, et Nicolas, 2009). Ericsson et Kintsch (1995) précisent bien que c'est la nature de l'activité du sujet en réalisation de tâche qui est à l'origine de la construction de cette structure de récupération en mémoire, et que, de ce fait, chaque activité va produire sa structure de récupération en fonction du type de tâche réalisée par le sujet, et cette construction dépendra de la nature et de l'organisation des connaissances du sujet en mémoire au moment où il réalise la tâche (Guida et al., 2009). Ainsi, les structures de récupération se construisent en interaction avec la tâche réalisée par le sujet, et sont donc le résultat d'une adaptation d'un sujet avec son profil cognitif à cet instant, à une tâche en particulier (*ibid*).

#### *Modèle de Cowan*

Pour la construction de mon cadre de recherche, la proposition de Cowan (1988, 2001) est intéressante car elle reprend un certain nombre de mécanismes présents

dans les propositions d'Inhelder et Cellérier, comme, par exemple, l'idée d'une mémoire unique, ainsi que je l'avais souligné dans mon mémoire de thèse (Hérold, 2006). Cowan propose également un mécanisme de « focus attentionnel », qui fait de son modèle un « modèle de l'attention et de la mémoire ». On retrouve là l'idée de la « centration » proposé par Inhelder et Cellérier. Ainsi, pour Cowan, face à la réalisation d'une tâche, le système cognitif du sujet rend accessible une partie des informations stockées en mémoire à long terme, et ceci, de deux façons possibles : si la connaissance correspond à un « automatisme » alors elle ne nécessite pas de focus attentionnel ; si la connaissance ne correspond pas à un automatisme alors elle sera traitée par le focus attentionnel. Le modèle de Cowan est donc un modèle de mémoire « emboîté » dans lequel la mémoire à long terme comporte un espace « activé » dans lequel se trouve un espace « focalisé » qui ne comprend qu'une partie des connaissances activées en mémoire. Suivant que la connaissance sera retenue ou non par le focus attentionnel, son traitement par le système cognitif sera différent. Cela correspond, en fait, aux deux comportements possibles en réponse aux deux catégories de situations identifiées par Vergnaud (1998) : celles pour lesquelles le sujet dispose, à un instant donné et dans un contexte donné, des connaissances relatives au traitement de la tâche à accomplir (« automatismes ») ; et celles pour lesquelles le sujet ne dispose pas de toutes les connaissances nécessaires à cette réalisation de la tâche à accomplir. Dans le premier cas, le mode de fonctionnement retenu par le système cognitif est le « mode automatique », peu coûteux cognitivement, sans contrôle, permettant le parallélisme d'actions ; dans le deuxième cas, le mode de fonctionnement est le « mode attentionnel », contrôlé par feedbacks, qui est lent, coûteux cognitivement, limité dans le temps, qui ne peut être que séquentiel, ce qui le rend difficile à mener (Besnard et Bastien-Toniazzo, 1999).

#### *Modèle de Baddeley*

Dans sa proposition de modèle de mémoire, Baddeley (1986) définit la mémoire de travail comme un ensemble constitué d'un système de contrôle (« administrateur central ») qui sélectionne les informations en mémoire (récupération d'informations en mémoire à long terme) afin de pouvoir contrôler les opérations de traitement qui correspondent en fait à des fonctions cognitives comme la planification, la coordination, l'inhibition et de deux systèmes de mémoire temporaire, l'un

consacré aux représentations langagières et désigné par « boucle phonologique », l'autre consacré aux représentations imagées et désigné par « calepin visuo-spacial » (Gavens et Cammos, 2006). Le modèle de Baddeley de la mémoire de travail correspond donc à un système qui, non seulement, stocke de l'information temporaire mais est responsable de traitement sur ces informations.

Baddeley (2000) va compléter ce modèle en lui ajoutant un nouvel élément appelé « buffer épisodique », qui permet de faire le lien entre mémoire de travail et mémoire à long terme.

De ce fait, on peut donc dire que le modèle de Baddeley propose un système de mémoire qui permet l'exécution des processus cognitifs de haut niveau à partir des informations fournies par les organes de perception et les informations contenues en mémoire à long terme dont il assure l'interface. Et si diverses interprétations ont pu être faites sur sa proposition de modèle de mémoire, Baddeley (1996) précise que son modèle de mémoire, la mémoire de travail, doit être perçu comme traduisant l'aspect du fonctionnement de la mémoire qui permet de rendre accessibles des informations à un instant donné. Aussi, pour Baddeley, la mémoire de travail est plus un modèle de « l'attention de travail » (« working attention ») et traduit le fait que le fonctionnement de la mémoire de travail a un coût cognitif qui s'exprime par sa capacité limitée de stockage d'informations : les fonctions de traitement de l'information, assurées par l'administrateur central, sont en concurrence avec les fonctions de stockage de la boucle phonologique et du calepin visuo-spacial (Gavens et Camos, 2006). La mémoire de travail traduit donc le fait que, lorsqu'un sujet réalise une tâche, les différentes fonctions cognitives, qui seront mises en œuvre pour la réalisation de la tâche, ont besoin d'informations immédiatement accessibles et que les contraintes de réalisation de la tâche imposent au système cognitif d'actualiser les informations contenues en mémoire de travail par activation de fonctions de mise à jour de l'information, d'inhibition d'informations non pertinentes par rapport à la situation de la tâche et de « shifting » (Miyake, Friedman, Emerson, Witz, Howerter et Wager, 2000).

#### *Quelques éléments de conclusion sur les modèles de mémoire*

Les quelques modèles de mémoire présentés montrent des caractéristiques communes qui me permettent alors d'établir les faits suivants :

- A tout moment, le système cognitif d'un sujet ne peut accéder qu'à une toute petite partie des informations stockées en mémoire, ce qui se traduit, selon les modèles, par les concepts de focus attentionnel, de « centration », voire de mémoire de travail.
- La mémoire n'est pas un système passif, mais permet l'exécution de différents processus cognitifs de traitement des informations stockées en mémoire, que l'on peut regrouper en deux grandes catégories : le mode non contrôlé (les « automatismes ») et le mode contrôlé (les procédures, les heuristiques). L'objet de l'enseignement est donc de favoriser l'élaboration de connaissances de type « automatisme » en mémoire afin de limiter le recours aux connaissances relevant du « mode contrôlé » dans la mise en œuvre des tâches d'apprentissage ; ceci de façon à réduire fortement la charge cognitive associée à ce mode, et ainsi libérer suffisamment de ressources cognitives pour permettre l'apprentissage de nouvelles connaissances.
- Beaucoup de travaux portent sur le rôle des indices de récupération qui rendent accessibles les connaissances qui ne le seraient pas sans cela, mais peu d'informations sont données sur la nature des indices de récupération.

Par exemple, les travaux de Tulving mettent en avant que, parfois, une connaissance, présente en mémoire, peut ne pas être accessible à un instant donné, d'où la notion d'encodage spécifique développée avec Thompson qui exprime le fait que l'accès à la connaissance dépend de la compatibilité entre la situation d'encodage de la connaissance et la situation de récupération de cette connaissance (Tulving et Thompson, 1973). Ainsi, la possibilité de pouvoir récupérer en mémoire une connaissance dépendrait de la « distance » entre le contexte d'apprentissage de cette connaissance et le contexte d'activation de cette même connaissance ; c'est-à-dire que l'efficacité d'un indice de récupération tient plus à sa proximité par rapport au contexte d'apprentissage qu'aux possibles relations sémantiques que l'indice de récupération peut avoir avec la connaissance associée (Richard, 1982). Dans le cas d'une activité de résolution de problèmes, par exemple, les indices de récupération permettent d'accéder à des éléments de connaissances qui permettent de résoudre tout ou partie du problème posé : décomposition ou non du but cognitif (le « ce qui a à faire » défini par la tâche prescrite), en sous-buts si le but ne peut pas être atteint directement par un seul ensemble de connaissances (ce qui correspond alors à un contrôle par feedbacks).

Du point de vue de l'enseignement, il est donc nécessaire de mettre l'accent sur les « liens » entre les connaissances, de façon à renforcer l'interaction de l'association. Sinon, c'est l'élève qui aura la charge de devoir « créer » ces liens au cours de son apprentissage.

### 3.3. Emotion et cognition

C'est suite à une observation faite en classe (Prokofieva et Hérold, 2020) que j'ai été amené à approfondir le rôle des émotions sur la cognition, effet que je mettais en avant, ceci dès mes travaux de thèse :

Un élève de Terminale de section Technologique (option Electronique) est désigné par son enseignant·e pour aller au tableau corriger un exercice (devoir maison). A priori, cet élève n'avait pas fait l'exercice. Il s'est ainsi retrouvé au tableau à devoir faire un exercice qu'il n'avait pas travaillé. Il est donc stressé (visible à l'observation). A un moment donné, l'exercice l'amène à devoir faire un développement arithmétique dans lequel une addition de deux nombres relationnels (fractions) est présente. Plutôt que de faire une procédure de mise au même dénominateur, le système cognitif de l'élève a fait appel à des connaissances « familières », à savoir le traitement arithmétique des nombres entiers, ce qui, bien évidemment, ne correspond pas à ce qui doit être fait. Il peut sembler étonnant qu'un élève de Terminale fasse une telle erreur. Mais, pour moi, le stress a imposé au système cognitif de cet élève une surcharge qui a conduit son système cognitif à activer des connaissances « familières ». On a, là, le même phénomène que les phénomènes de surcharge cognitive, comme je l'ai montré précédemment dans le cadre de mes travaux. Récemment, dans une synthèse sur la théorie de la charge cognitive, Sweller, van Merriënboër et Paas (2019) discutent de cette relation entre stress et charge cognitive, en faisant la forte hypothèse qu'effectivement le stress va limiter la capacité de la mémoire « qui travaille » en limitant les ressources cognitives pour la réalisation de la tâche, et, de ce fait, augmenter la charge cognitive.



### 3.3.1. Emotions, de quoi parle-t-on ?

Si, pendant longtemps les théories de l'apprentissage n'ont pas pris en compte le rôle des émotions sur le fonctionnement cognitif du sujet, probablement suite à l'héritage philosophique transmis par Platon, Kant et Descartes (d'où le titre de l'ouvrage de Damasio, *L'erreur de Descartes*), il est maintenant clairement établi que l'apprentissage n'est pas le seul produit de la cognition (élaboration de connaissances, processus cognitifs impliqués dans l'apprentissage) mais qu'il implique également motivation et émotions qui ont une influence certaine sur les performances de l'élève en classe, même s'il est vrai que, pour l'instant, peu de travaux fournissent des résultats suffisamment solides sur le rôle véritable de ces deux composantes que sont la motivation et les émotions. En effet, même si quelques auteurs, comme notamment Gardner, reconnaissent une importance dans le rôle joué par les émotions sur le fonctionnement cognitif du sujet, néanmoins, cognition et émotions demeurent, pour eux, deux domaines relativement indépendants l'un de l'autre. Ainsi, par exemple, la théorie du traitement de l'information, le modèle ACT-R d'Anderson sont des théories qui ne prennent pas en compte les émotions. Mais, il est vrai que ces théories sont issues d'un courant computationnel dans lequel le fonctionnement cognitif du sujet s'apparente fortement à celui du traitement informatique des données.

En fait, la littérature met en avant deux types de problèmes concernant l'étude du rôle des émotions sur l'apprentissage. Tout d'abord, le fait que le terme « émotions » n'est pas clairement défini, ou plutôt, comme le fait remarquer Linnenbrick (2006), il y a une grande disparité sur les façons dont les auteurs définissent l'affect, les humeurs, les émotions. Et, pour Sander et Scherer (2014), « il semble exister autant de définitions de l'émotion qu'il existe de théories de l'émotion » (p. 8). Ainsi, derrière ce concept d'émotions, on y place des notions comme l'affect, les sentiments, la motivation pour certains auteurs, le désir, la passion, les humeurs, etc. ; ce qui fait que, bien évidemment, la relation entre les concepts « émotion » et « cognition » est encore très débattue. Néanmoins, une première tentative de catégorisation peut se faire à partir de NKambou, Delozanne et Frasson (2007) qui font la distinction entre facteurs affectifs et facteurs conatifs. Les facteurs affectifs regroupent les humeurs (joie, tristesse), les états émotionnels de plus courte durée, mais qui peuvent être intenses comme le plaisir, la colère (Linnenbrick et Pintrich, 2004), alors que les facteurs conatifs regroupent tout ce

qui concerne la motivation, l'estime de soi, les facteurs qui font qu'un sujet va effectivement, ou pas, s'engager dans la tâche à laquelle il est confronté (Reuchlin, 1990 ; Ackerman et Kanfer, 2004). De ce fait, parler de relation entre « cognition » et « émotions », en reprenant le titre de l'ouvrage collectif de Channouf et Rouan (2002), reviendrait à considérer les émotions comme un ensemble construit à partir des deux sous-ensembles que sont les facteurs affectifs et les facteurs conatifs, ce qui reviendrait aussi à dire que la motivation fait partie des émotions. Aussi, en deuxième tentative de catégorisation, je préfère reprendre celle que l'on retrouve essentiellement dans la littérature anglo-saxonne, à savoir une distinction entre la motivation et les émotions comme l'indique le titre de l'ouvrage collectif de Dai et Sternberg (2004).

Ainsi, à partir des propositions de Tricot (2014), on peut écrire que l'apprentissage, par un élève en classe, d'un savoir enseigné, impose à l'élève de devoir faire des efforts, d'être attentif, car cet apprentissage est difficile, coûteux cognitivement, car non naturel : il s'agit d'un apprentissage pour lequel notre cerveau n'est pas « configuré » naturellement. C'est pour cela qu'apprendre à l'école nécessite d'être motivé. Plus l'élève sera motivé à réaliser la tâche prescrite par son enseignant·e, plus il sera à même de consacrer du temps à la réalisation de la tâche, plus il acceptera de surmonter les difficultés, ce qui augmente ses chances de réussir à faire la tâche prescrite, la réussite étant une source de motivation (Viau, 2004). Mais, pour être motivé, il faut une bonne estime de soi (voir les travaux de Bandura, notamment, la synthèse de ses travaux présentée par Brewer [2008]), percevoir la tâche prescrite comme étant « utile » du point de vue de son apprentissage (donc avoir les connaissances antérieures en mémoire pour interpréter correctement la tâche prescrite et déterminer le but à atteindre et visé par la tâche, mais aussi « être dans de bonnes conditions » sur le plan affectif, comme l'indique Viau (2004) dans ces facteurs qui influent sur la dynamique motivationnelle de l'élève en classe comme le plaisir à faire l'activité liée à la réalisation de la tâche prescrite, le climat de la classe, le fait d'avoir des amis, les relations familiales, etc. : il y a bien un lien profond entre motivation et « émotions »).

### 3.3.2. Contribution empirique : stress et évaluation scolaire

Dans le cadre de ma participation à la direction de la thèse de Prokofieva (2017), j'ai travaillé sur le rôle du stress lors d'une évaluation sommative des connaissances

en classe. Nous nous sommes alors posé la question de savoir si l'évaluation provoquait du stress chez les élèves et si, de ce fait, cela influençait la performance des élèves (Prokofieva, Brandt-Pomares, Velay, Hérold et Kostromina, 2017c, 2017d).

Malgré une abondante littérature consacrée au stress scolaire, il est assez difficile de trouver une définition claire de cette émotion. De plus, une certaine confusion existe entre cette notion de stress et celle d'anxiété scolaire qui, soit, sont considérées comme équivalentes, soit sont non différenciées. Aussi, dans un premier temps, une étude de la littérature a été effectuée ce qui nous a permis de définir le stress comme étant un phénomène émotionnel ponctuel, rattaché à une situation, alors que l'anxiété correspond à un état émotionnel qui s'établit dans la durée et qui se réfère alors à plusieurs situations (Prokofieva, Brandt-Pomares, Velay, Hérold et Kostromina, 2016, 2017b, 2017d). Le choix de cette définition nous amené à choisir comme méthode de mesure objective du stress la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC).

Une expérimentation a été élaborée pour mesurer la présence de stress chez des élèves de 6° lors d'activités d'évaluation en Technologie. La tâche proposée aux élèves était une tâche de catégorisation d'objets (objet naturel, objet technique) représentés sous forme de photographies. Un dispositif informatique proposait une séquence de 50 photographies qui apparaissaient à l'écran séquentiellement, et l'élève devait appuyer sur une touche de clavier pour effectuer son choix de catégorisation. Les images proposées ont été choisies en fonction de critères de catégorisation (par exemple, une souche d'un arbre non coupée est un « objet naturel » alors qu'un champ de lavande est un « objet technique », catégorisation qui peut être difficile à faire pour un élève ; certaines images peuvent nécessiter la prise en compte d'un certain nombre d'informations pour faire la catégorisation alors que d'autres, comme celle de l'avion par exemple, correspondent à une durée du processus de catégorisation quasi-instantanée). La tâche comportait deux moments : une phase « non-noté » et une phase « noté » annoncée par l'enseignant-e présent-e.

126 élèves ont participé à l'expérimentation. Le stress a été détecté et mesuré chez 54 élèves à partir des variations du rythme cardiaque grâce à une technique d'enregistrement télémétrique. Les instants de stress ont été ainsi détectés et leurs durées mesurées. L'expérimentation s'est faite en deux temps : une première

passation sans contrainte temporelle sur le temps de présentation de l'image, une deuxième passation avec une durée de présentation de l'image limitée à 5 s.

Les résultats montrent que les élèves, en situation d'évaluation, sont effectivement stressés, et que cela induit des performances plus faibles, notamment pour les images qui nécessitent un traitement cognitif contrôlé pour pouvoir les catégoriser, alors que l'effet du stress sur leur performance est moindre si l'image amène le système cognitif de l'élève à effectuer un traitement non contrôlé (« automatisme »). On retrouve là les résultats présentés par Sweller, van Merriënboer et Paas (2019), comme je l'ai indiqué précédemment, résultats qui mettent en avant le fait que le stress réduit la capacité de la mémoire « qui travaille ».

Mais, pour la deuxième expérimentation, celle pour laquelle le temps de présentation de l'image était limité, le facteur de limitation de temps a été un facteur de stress plus important que le fait de savoir qu'il y avait notation (la « peur » de ne pas avoir assez de temps pour réfléchir à la réponse à donner). Ainsi, il semblerait que, dans le cadre d'une évaluation scolaire, outre le fait de se savoir en évaluation, les élèves sont également (et, *a priori*, surtout) stressés par les limites temporelles instituées par le dispositif d'évaluation scolaire (Prokofieva, Brandt-Pomares, Velay, Hérold et Kostromina, 2017a).

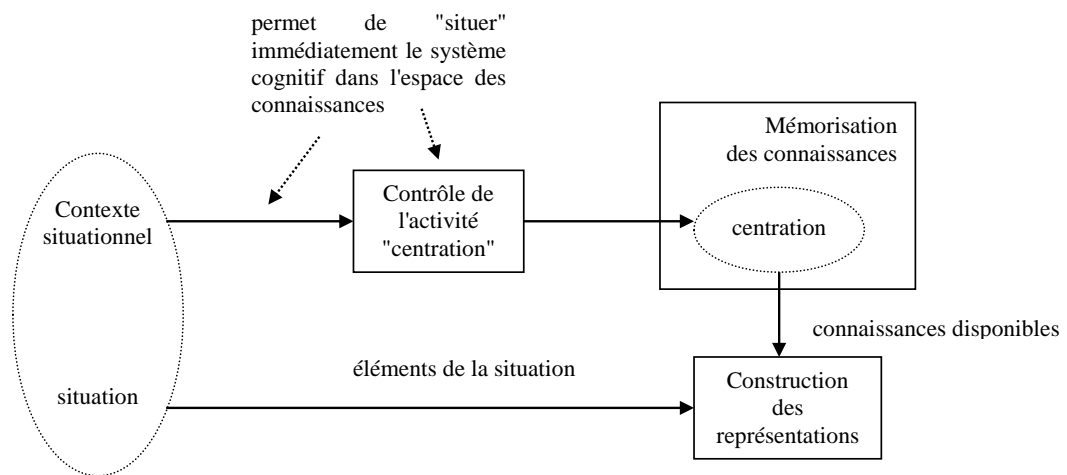
### 3.4. Synthèse : proposition d'un modèle d'activation des connaissances

#### 3.4.1. Elaboration du modèle

##### *Premiers éléments*

Les premiers éléments de proposition d'un modèle du fonctionnement cognitif de l'élève en phase d'activation de connaissances ont été élaborés lors de mes travaux de thèse (Hérold, 2006). Cette première version de proposition a comme point de départ le schéma de l'architecture cognitive présenté par Richard (1998), et reprend, bien évidemment, les principaux éléments de mon cadre théorique élaboré alors dans le cadre de ma thèse.

Ainsi, le point d'entrée du modèle correspond à la situation à laquelle l'élève est confrontée, la tâche d'apprentissage, associée à son contexte, qui est donc, ici, le contexte situationnel, c'est-à-dire le contexte de la tâche d'apprentissage (qui, je rappelle, correspond à la situation d'enseignement-apprentissage), le contexte du savoir enseigné et le contexte de la situation d'enseignement-apprentissage. Confronté à cette situation, le système cognitif effectue alors une « représentation », une « construction psychologique » transitoire déterminée par les éléments de la situation (Bastien, 1997), et ce sont les éléments de contexte situationnel qui vont rendre disponibles les connaissances qui vont intervenir dans cette construction. L'élaboration des premiers éléments de mon modèle correspond ainsi à la figure suivante (figure 2.1) :



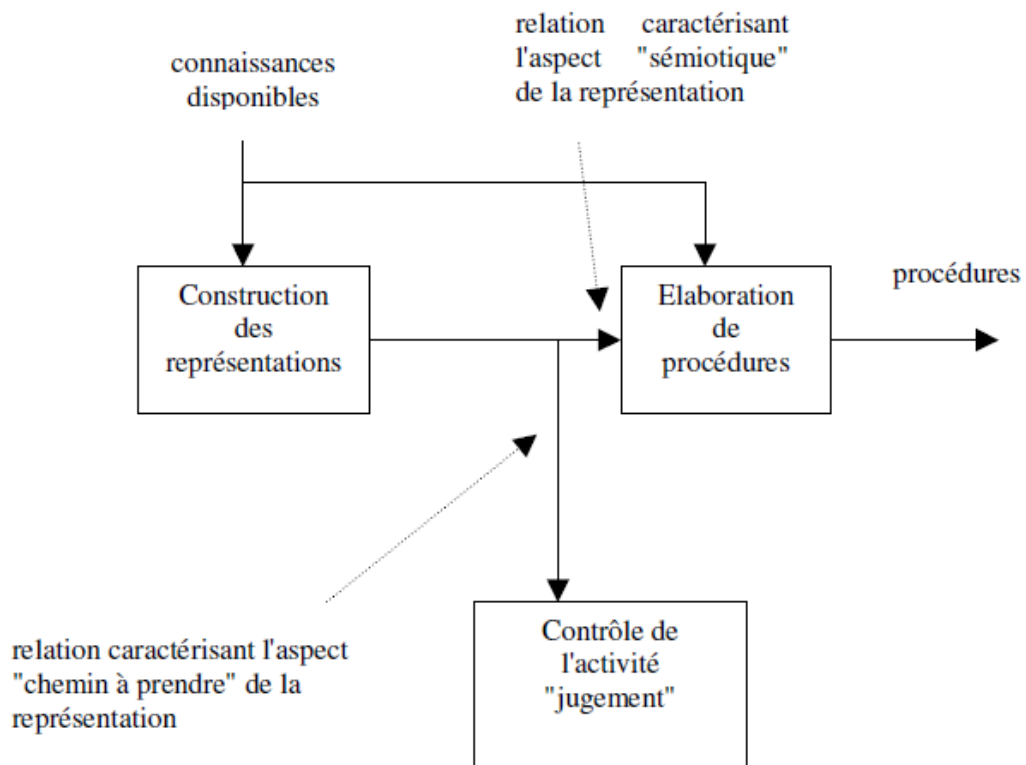
- Figure 2.1 : premiers éléments du modèle

La construction d'une représentation mentale se fait donc à partir des éléments de la situation et de connaissances en mémoire rendues disponibles grâce au mécanisme de « centration » qui s'appuie sur les éléments du contexte situationnel et permet ainsi de « situer » immédiatement l'attention, le « focus » du système cognitif dans l'espace des connaissances.

Dans la perspective théorique retenue, le constructivisme psychologique, la notion de représentation comporte deux aspects qui se veulent complémentaires : la sémiotité (« attribuer des significations ») et la possibilité pour le sujet de définir les buts et les moyens qu'ils se donne pour atteindre ces buts (représentation du « comment faire » pour résoudre le problème de la tâche prescrite), ces deux aspects définissant le « rôle fonctionnel des représentations », fonction essentiellement

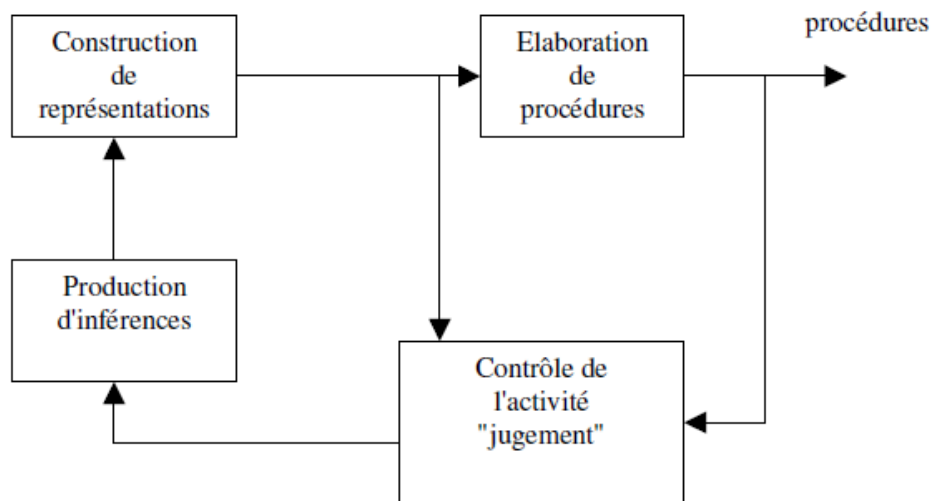
instrumentale (Inhelder et Caprona, 1992). Ainsi, pour ces auteurs, « les représentations portent par conséquent aussi bien sur les chemins à prendre que sur les résultats auxquels ils conduisent » (p. 48).

De ce fait, aux premiers éléments de modélisation déjà proposés, on peut y adjoindre les éléments suivants (figure 2.2) :



- Figure 2.2 : Le double rôle de la représentation

Sur ce schéma, apparaît une nouvelle dimension de la notion de contrôle de l'activité (Richard, 1998), à savoir la notion de « jugement » qui reflète l'aspect « mise en œuvre d'une stratégie » dans l'activité de l'élève en réalisation de tâches. Et c'est par ce contrôle de l'activité que l'activité cognitive de l'élève va être régulée. Pour Tricot (1995), cela se fait par la représentation mentale de la tâche prescrite qui est régulée par les résultats de l'activité cognitive (procédures élaborées). Le modèle a donc été complété de la façon suivante (figure 2.3) :



- Figure 2.3 : Régulation de la construction de représentations

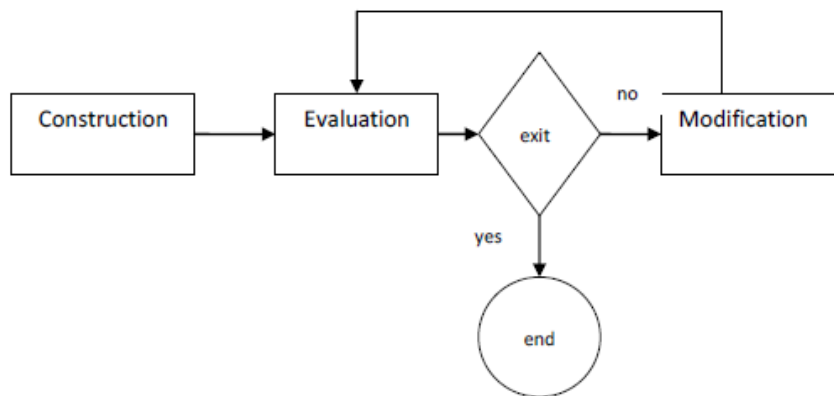
Ainsi, l'analyse par le système cognitif de la procédure élaborée peut l'amener à changer la représentation de la tâche à réaliser, changement s'opérant suite à une production d'inférences.

Ce changement de représentation correspond à un déplacement de la « centration » dans l'espace des connaissances en mémoire, symbolisé par une commande de déplacement (contrôle de l'activité).

Enfin, afin de tenir compte des éléments relatifs à la notion de charge cognitive ainsi que les éléments relatifs aux facteurs conatifs (estime de soi, motivation ...), j'ai fait le choix de porter leur action sur l'entité correspondant au contrôle de l'activité (voir Hérold (2006) pour la synthèse).

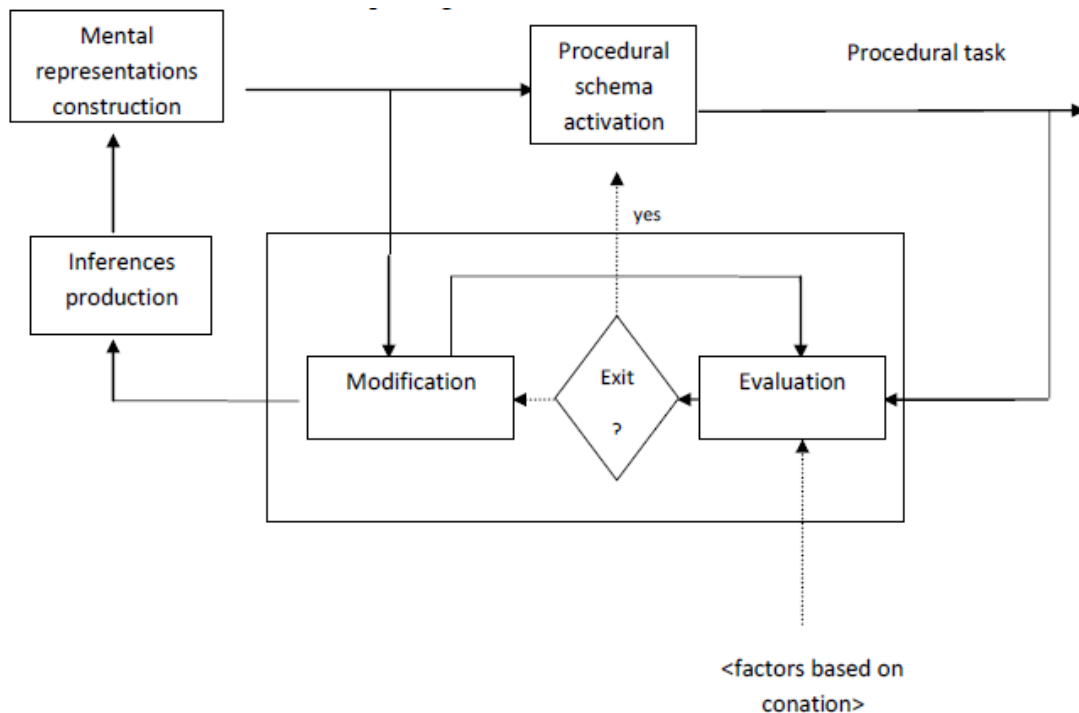
*Apport à partir de Hérold et Ginestié (2011).*

Dans Hérold et Ginestié (2011), j'ai été amené à préciser mon modèle à l'aide des propositions de Mioduser et Kiperman (2002), présentées en figure 2.4 :



- Figure 2.4 : Evaluation de l'action

Ici, l'entité « construction » correspond principalement au processus de planification qui se termine à l'instant où l'élève a un « retour » sur son action (« ça marche ! », ou « ça va pas ... »), réponse apportée par le processus d'évaluation de l'action. Si le résultat de cette évaluation ne donne pas satisfaction au sujet alors il y a modification des actions. Ces deux processus peuvent se dérouler cycliquement jusqu'à que l'élève décide que la tâche a été complètement réalisée (Mioduser et Kiperman, 2002). J'ai ainsi inséré cette proposition dans mon modèle (figure 2.5) :



- Figure 2.5 : L'évolution du modèle, d'après Hérold et Ginestié (2011).



Ainsi, à partir de la représentation mentale de la tâche à réaliser, le système cognitif peut activer une connaissance qui sera évaluée mentalement par le système cognitif. Si le système cognitif du sujet évalue que la connaissance retenue est adéquate alors le résultat de cette évaluation active la connaissance qui est donc mise en œuvre. Sinon, il y a modification sur comment mettre en œuvre cette connaissance. Si l'évaluation ne donne toujours pas satisfaction au sujet alors une modification de la mise en œuvre de la connaissance retenue ne suffit pas : il y a alors production d'inférences pour modifier la représentation mentale initiale de la tâche. Si cela ne donne toujours pas satisfaction à l'élève alors celui-ci se retrouve dans une impasse ; l'élève abandonne la mise en œuvre de la tâche prescrite (Héroul et Ginestier, 2011).

### *Derniers apports*

Plus récemment, j'ai retravaillé cette proposition de modélisation de l'activité cognitive de l'élève en activation de connaissances.

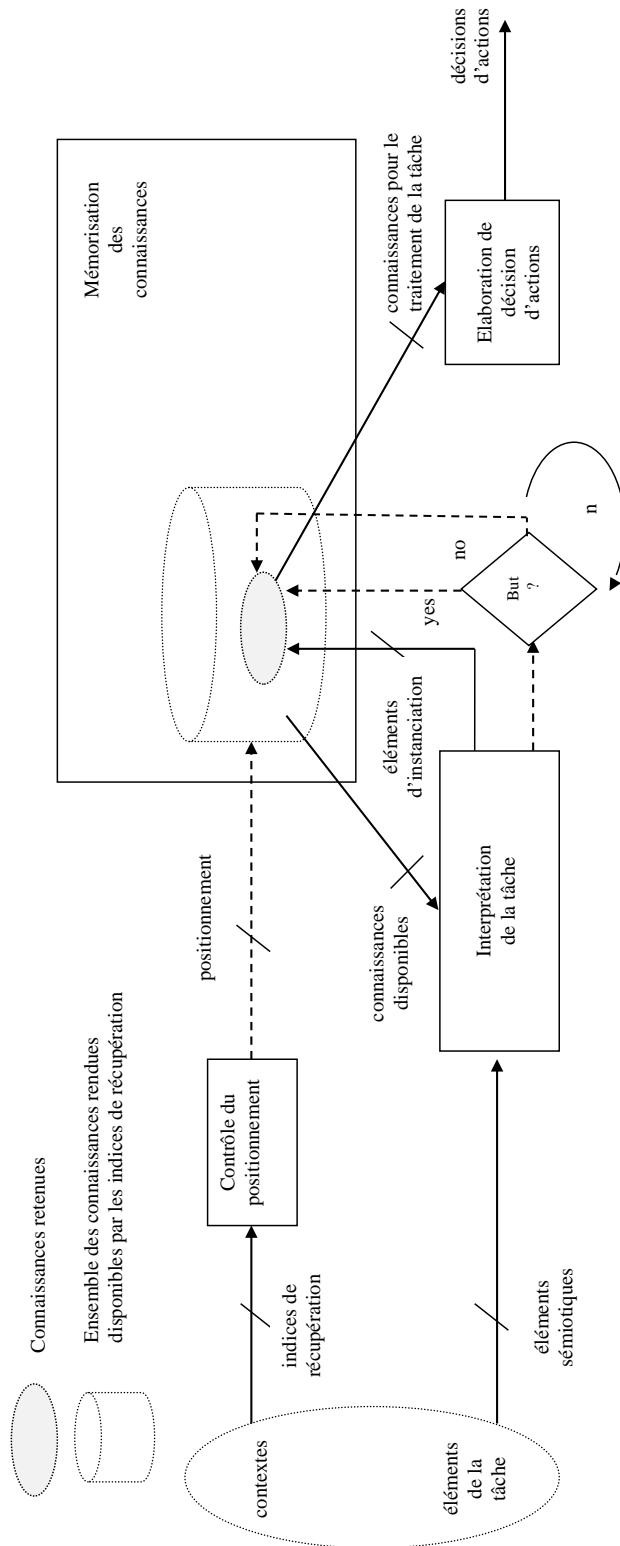
Le point de départ correspond à ce qui constitue l'objet de recherche de mes travaux : une tâche prescrite par l'enseignant·e que doit réaliser un élève en classe. De ce fait, à la tâche, est associé, comme je l'ai déjà indiqué, le contexte situationnel composé, tel qu'il a été précédemment discuté, d'éléments relevant du contexte de la tâche (la situation d'enseignement-apprentissage), d'éléments relevant du contexte du savoir enseigné porté par la tâche (par exemple, en France, l'enseignement du concept de force est introduit par les lois de Newton, mais de deux façons différentes : en Physique, par la deuxième loi de Newton, le Principe Fondamental de la Dynamique ; en Technologie au lycée, par la première loi de Newton, le Principe Fondamental de la Statique), et d'éléments relevant du contexte de la situation d'enseignement-apprentissage (« l'environnement »). Ces éléments de contexte situationnel sont en interaction avec les éléments de contextes propres au sujet, à savoir son contexte « interne » (l'état de l'organisation de ses connaissances en mémoire à cet instant) et son contexte émotionnel (dans le modèle proposé, seul l'effet du stress sera représenté : en effet, en s'appuyant sur les données de la méta-analyse pilotée par Wager, les « émotions » sont « partout » ! [Lindquist, Wager, Kober, Bliss-Moreau et Barrett, 2012]).

Ces divers éléments de contextes rendent ainsi des connaissances en mémoire disponibles pour le traitement de la tâche.

A partir des éléments sémiotiques de la tâche, le système cognitif élabore une représentation mentale de la tâche à l'aide des connaissances rendues disponibles, représentation mentale qui va permettre l'identification du but cognitif.

Les connaissances retenues par l'identification du but permettent l'élaboration mentale d'une décision d'action(s), actions qui peuvent être mentales ou physiques.

Cela correspond au schéma proposé par la figure suivante (figure 2.6) :

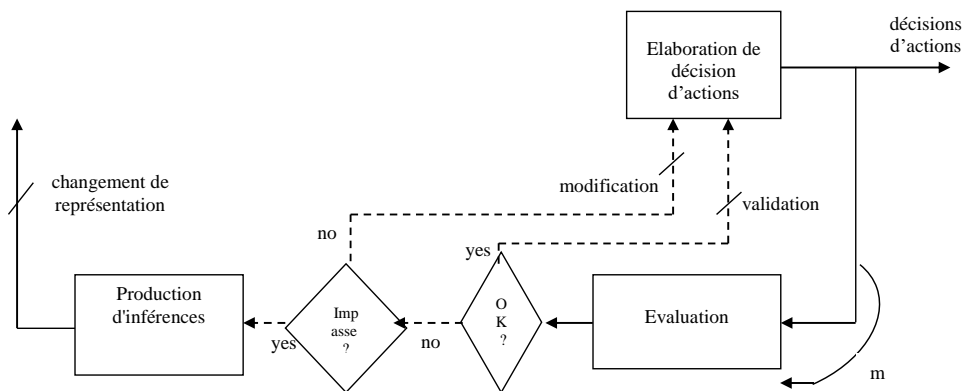


- Figure 2.6 : Premiers éléments du modèle

Une fois la décision d'action élaborée mentalement, elle peut éventuellement être évaluée par le système cognitif (l'activité « jugement » de Richard [1998]) qui soit

la valide, soit la modifie. Au bout d'un d'une certain nombre d'itérations, le système cognitif peut se retrouver dans une « impasse ». Alors, il y a : soit production d'inférences pour réinterpréter la situation (changement de représentation), ce qui va engendrer un déplacement conséquent de l'ensemble des connaissances retenues dans l'ensemble des connaissances disponibles ; soit, si le système cognitif est en surcharge cognitive à cet instant, l'élève abandonne. En effet, Richard, Poitrenaud et Tijus, (1993), cités par Hérold et Montuori (2018), précisent que, dans un état « impasse », le sujet peut *éventuellement* changer sa représentation mentale de la tâche.

L'ensemble de ces propositions est présenté à la figure suivante (figure 2.7) :



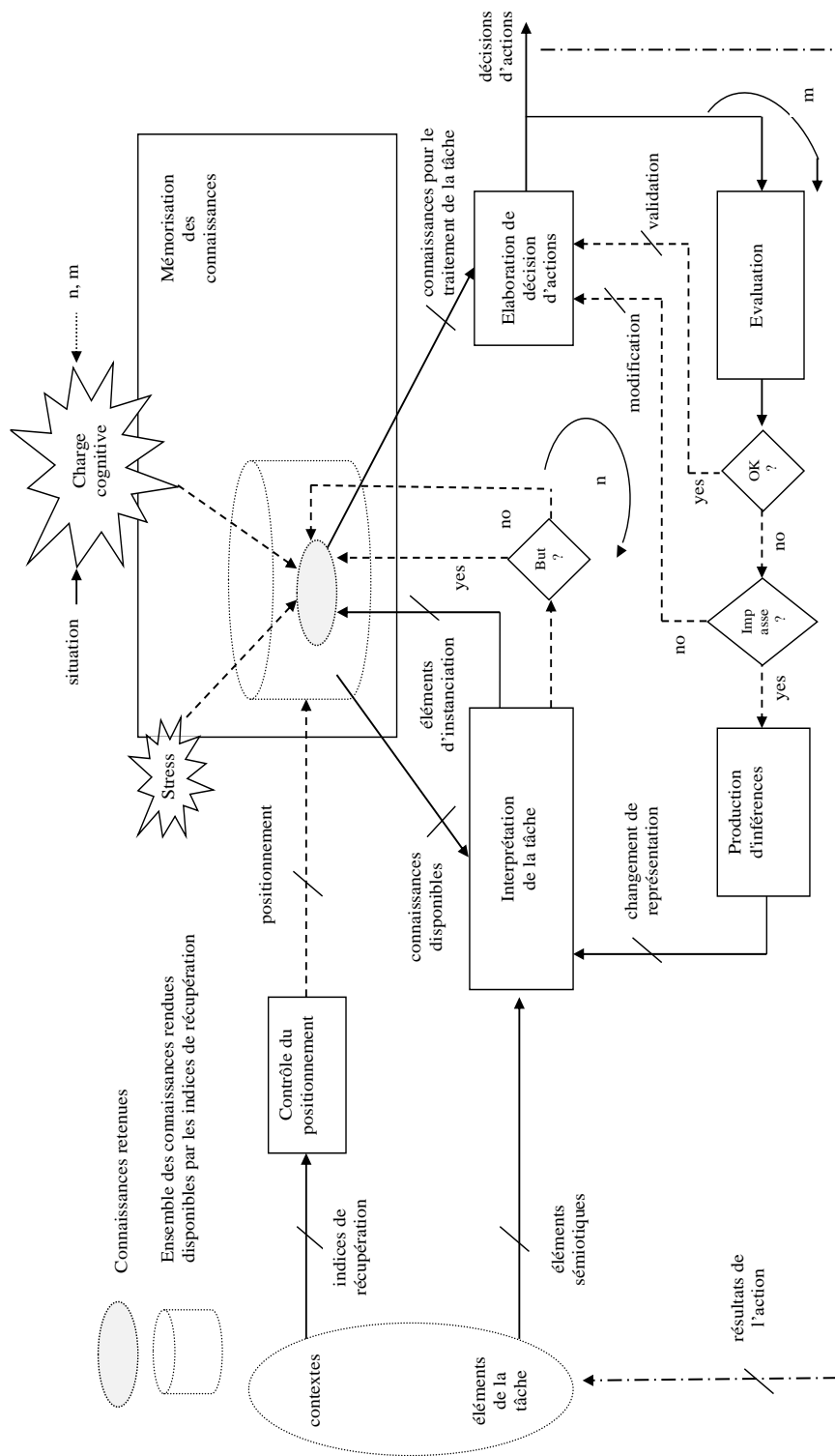
- Figure 2.7 : Eléments du modèle participant au feedback.

### *Le modèle*

Le modèle proposé est représenté en figure 2.8.

Les effets de surcharge cognitive sont symbolisés par une commande de décalage de l'ensemble des connaissances retenues pour retenir des connaissances « familières », à fort « poids » différentiel, dans l'ensemble des connaissances rendues disponibles par les éléments de contexte.

Concernant les émotions, comme il a été souligné, seul l'effet du stress est mentionné dans le modèle, puisque cet effet est similaire aux effets de surcharge cognitive (recours à des connaissances « familières »).



- Figure 2.8 : Modèle du fonctionnement cognitif en activation de connaissances.

### *Description du fonctionnement du modèle*

- A partir des éléments des différents contextes associés à la tâche que doit réaliser le sujet, les indices de récupération présents en mémoire permettent de rendre disponibles un ensemble de connaissances par un positionnement dans l'espace-mémoire des connaissances du sujet.
- Ces connaissances rendues disponibles permettent au système cognitif une interprétation, valide ou non, de la tâche à partir des éléments sémiotiques présents.
- L'interprétation de la tâche génère des éléments d'instanciation qui vont définir un ensemble de connaissances susceptibles d'être retenues : si le but cognitif est identifié alors il y a validation de cet ensemble de connaissances et ces connaissances retenues sont utilisées pour l'élaboration d'une décision d'action afin de permettre le traitement cognitif de la tâche.
- Si le but cognitif n'est pas identifié alors le focus sur les connaissances retenues se déplace pour « candidater » d'autres connaissances parmi les connaissances rendues disponibles.
- En accord avec Besnard et Bastien-Toniazzo (1999), on peut considérer deux principaux modes de fonctionnement dans la réalisation d'une tâche donnée (voir la présentation du modèle de Cowan au paragraphe 3.2) : le mode sans contrôle attentionnel (les automatismes) qui correspond à des situations bien connues et qui permet une exécution rapide ; le mode contrôlé qui est coûteux cognitivement, lent, séquentiel et nécessite une prise de décision. Cela rejoint les propositions de Rasmussen (1986) qui distingue trois niveaux de contrôle, celui des automatismes, celui des procédures et celui des heuristiques. A ces trois niveaux, Bastien et Bastien-Toniazzo (2004) y ajoutent le contrôle par l'analogie qui se situe entre le contrôle par les procédures et le contrôle par les heuristiques, sachant que le coût cognitif va croissant au fur et à mesure où on « s'élève » dans les niveaux de contrôle (Héroul, 2006). De l'ensemble de ces propositions, on peut établir que les contrôles par les procédures et par les heuristiques relèvent du mode contrôlé tel qu'il est décrit dans Besnard et Bastien-Toniazzo (1999). Ainsi, si on se place dans la perspective du modèle de Rasmussen, à savoir distinguer trois modes de contrôle possibles (automatismes, procédures et inférences), qui peuvent être rattachés à deux catégories, le mode automatique et le mode contrôlé par feedback (Besnard & Bastien-Toniazzo, 1999), alors, en reprenant l'idée exprimée par Camos et

Barrouillet (2014), à savoir un déroulement séquentiel du traitement de l'information dans le fonctionnement cognitif du sujet en activation de connaissances (deuxième hypothèse du modèle TBRS), on peut établir :

- (1) Pour le mode automatique, le séquençement sera « interprétation de la tâche » et « élaboration de décision d'actions », ce qui permet d'activer des connaissances rapidement et quasiment sans effort cognitif (correspond aux éléments du modèle représentés en figure 2.10).
- (2) Pour le mode contrôlé en activation de procédures, le séquençement sera « interprétation de la tâche », « élaboration de décision d'actions » et « évaluation ».
- (3) Pour le mode contrôlé par production d'inférences, le séquençement sera alors « interprétation de la tâche », « élaboration de décision d'actions », « évaluation » et « production d'inférences ».

On peut alors faire le constat d'un coût cognitif plus important pour le mode contrôlé car impliquant plus de traitements élémentaires que le mode automatique.

- Si le traitement de la tâche amène le système cognitif du sujet à devoir faire plusieurs itérations pour certains traitements élémentaires (exprimé au niveau du modèle par les variables « compteur d'itérations »  $n$  et  $m$ ), alors il y a risque de surcharge cognitive par une durée du traitement de la tâche trop importante pour le sujet (voir modèle TBRS<sup>11</sup>).
- S'il y a surcharge cognitive alors le système cognitif va retenir des connaissances à fort « poids » (« strong knowledge », « connaissances familières ») afin de se soulager de cette surcharge, si ces connaissances familières sont présentes dans l'espace des connaissances disponibles, et ce sont ces connaissances qui serviront à élaborer la décision d'action qui amènera le sujet à agir. Le même effet peut être produit si le sujet est stressé (voir Sweller, van Merriënboër et Paas, 2019, et l'exemple de l'observation en classe décrite au paragraphe 2.4).
- Si l'évaluation faite par le système cognitif ne permet pas de valider la décision d'action élaborée alors il y a modification de la décision d'action.
- Si les connaissances retenues pour le traitement de la tâche par l'interprétation de la tâche ne permettent pas au système cognitif de valider la décision d'action élaborée alors le système cognitif se retrouve dans une impasse qui peut amener,

---

<sup>11</sup> Time-Based Resource-Sharing

par production d'inférences, à une réinterprétation par changement de représentation de la tâche, voire à un abandon : le sujet ne cherche plus à réaliser la tâche.

### 3.4.2. Contribution empirique : premiers éléments de validation du modèle

Pour les premiers éléments de validation de ce modèle, je me suis appuyé sur des données issues des travaux de thèse de Prokofieva (2017), travaux présentés au paragraphe 3.2.2.

Je rappelle que la recherche portait sur le rôle des émotions dans les apprentissages, et, plus particulièrement, le rôle du stress dans les évaluations sommatives (voir paragraphe 3.3), et que la tâche retenue consistait à demander à l'élève d'identifier, à partir d'une photographie, si l'objet pouvait être catégorisé de naturel ou de technique. Le recueil de données s'appuyait sur un dispositif informatique qui, non seulement, enregistrait les réponses des élèves, mais aussi les temps de réponse. Ce sont ces dernières données que j'ai utilisées pour effectuer ce premier travail de validation de mon modèle d'activation des connaissances, données qui n'avaient pas été exploitées par la doctorante dans son travail de thèse, puisque ce sont les instants de stress qui importaient dans sa recherche.

De cette première analyse des temps de réponse, on peut mettre en évidence le fait que l'on peut distinguer trois ensembles de temps de réponse (un exemple de données est présenté dans le tableau 3.1 et qui correspond aux temps de réponse mesurés dans le cadre de l'activité de l'élève 77).

S77	Moyenne	SD	
3,332	<b>3,271</b>	2,020	champignon
1,022	<b>1,299</b>	1,018	Avion
1,088	<b>2,790</b>	2,491	fagot2
1,024	<b>1,462</b>	0,640	Roseau
1,023	<b>1,193</b>	0,566	Cerfvol
1,341	<b>2,045</b>	2,308	Feuille
1,022	<b>2,560</b>	2,805	Fourmil
1,660	<b>1,528</b>	1,019	Corde
2,806	<b>3,013</b>	4,606	Eau
1,214	<b>4,150</b>	5,998	Glacons
1,087	<b>1,783</b>	1,072	tambour2
8,542	<b>2,458</b>	3,130	Montagne
2,298	<b>2,351</b>	2,159	fruit2
1,978	<b>2,550</b>	3,599	diamant taille



2,424	<b>2,567</b>	3,530	Galets
2,108	<b>1,970</b>	1,384	Stalact
0,896	<b>1,208</b>	0,451	Balai
0,959	<b>1,464</b>	0,982	fruit5
1,022	<b>3,420</b>	3,070	herbe coupe
1,086	<b>1,667</b>	0,775	chaussettes
0,895	<b>3,004</b>	4,599	Miel
2,298	<b>2,212</b>	1,587	Image plastique
1,659	<b>2,440</b>	2,229	Feux
0,895	<b>1,582</b>	1,166	images fruits9
2,425	<b>4,818</b>	5,116	Corne
1,979	<b>1,978</b>	1,287	Nit
1,915	<b>2,215</b>	1,471	Bouquet
4,208	<b>3,336</b>	3,713	sable1
1,340	<b>3,707</b>	4,389	miel decoupe
1,532	<b>1,552</b>	0,986	images verre
4,144	<b>4,635</b>	6,875	image foret
0,959	<b>1,644</b>	1,182	corde nat
1,468	<b>2,727</b>	2,495	planches bois
1,023	<b>1,942</b>	1,627	souche2
1,022	<b>2,897</b>	3,869	un rocher
1,469	<b>3,344</b>	3,817	outil prehistor3
0,958	<b>1,595</b>	1,026	un gland
1,213	<b>2,836</b>	2,801	pomme pin dec
0,895	<b>1,781</b>	1,344	pot confiture
3,125	<b>5,092</b>	7,069	Cereals
4,592	<b>1,445</b>	1,057	image fruits 10
2,297	<b>1,281</b>	0,622	pot terre
0,896	<b>2,779</b>	3,874	Plume
3,699	<b>3,460</b>	4,441	Terricone
1,149	<b>1,650</b>	0,809	pates cuites
2,168	<b>1,745</b>	1,219	Vague
1,342	<b>3,379</b>	4,654	Dolmen
0,066	<b>1,643</b>	0,945	Penceau
1,914	<b>3,417</b>	2,885	os animaux
1,022	<b>2,027</b>	1,555	Stone hendge

- Tableau 3.1 : Temps de réponse pour l'élève 77.

Un temps de réponse d'une durée de 1 s environ qui correspond donc à l'activation, par le système cognitif de l'élève, d'un automatisme (par exemple, la photographie d'un avion qui permet à l'élève de catégoriser cet objet comme étant un objet technique, et qui correspond, bien évidemment, à une situation bien connue des élèves). Ensuite, un deuxième ensemble de temps de réponse d'une durée comprise entre 1,2 s et 1,6 s qui correspond, pour moi, toujours à l'activation d'un automatisme. Mais, si, pour cet ensemble de temps de réponse, la durée est un peu plus longue, cela est dû au fait que le traitement de l'image par le système cognitif

de l'élève, nécessite de prendre en compte plus d'éléments d'information présents dans l'image pour élaborer le but afin de pouvoir activer la connaissance adéquate. Cela correspond, au niveau de mon modèle, à la structure élaborée à partir du test conditionnel correspondant à une élaboration, ou non, du but.

Enfin, le troisième ensemble de temps de réponse correspond à des durées de traitement comprises entre 2s et 4s environ. Pour ces durées de traitement, on peut donc dire que le mode de fonctionnement correspond aux modes de contrôle par feedbacks.

#### **4. La situation d'enseignement-apprentissage**

Comme je l'ai indiqué précédemment, la situation d'enseignement-apprentissage correspond au contexte de mise en œuvre des tâches d'apprentissage. S'il y a mise en œuvre de la tâche au sein de la situation d'enseignement-apprentissage, alors, pour l'élève, comme pour l'enseignant·e, il y a activité.

En m'intéressant à la situation d'enseignement-apprentissage dans la perspective d'en proposer un modèle, j'ai donc été amené à devoir préciser à quoi correspondent ces deux notions dans le cadre de mes travaux.

##### **4.1. Activité de l'élève et tâche d'apprentissage**

###### **4.1.1. Eléments théoriques**

En classe, l'enseignant·e, pour enseigner un savoir, est amené à prescrire des tâches à ses élèves. En analysant l'activité de l'élève dans la réalisation de ces tâches prescrites, cela permet de d'étudier si, d'une part, la tâche prescrite permet effectivement à l'élève de pouvoir apprendre ; et d'autre part, si l'activité déployée par l'élève pour réaliser la tâche conditionne son apprentissage, et dans quelle mesure (Ginestié et Tricot, 2013) ; puisque, comme le font remarquer ces auteurs, l'activité de l'élève, lorsqu'il réalise la tâche d'apprentissage prescrite par son enseignant·e, correspond non seulement à une activité d'apprentissage de la connaissance relative au savoir porté par la tâche, mais également à l'activité de réalisation de la tâche.

Même si je ne l'expose pas explicitement, dans mes travaux de thèse, j'ai analysé l'activité des élèves, et cela, sans pour autant faire référence à une théorie de l'activité. Analyser l'activité de l'élève est pour moi un moyen de repérer les comportements et stratégies de l'élève, de mettre en évidence les difficultés rencontrées par les élèves, de comprendre le pourquoi de leurs réponses erronées. Mais, il me semble difficile de proposer « une » théorie de l'activité. Comme le fait remarquer Dieumegard (2011), les recherches menées sur ce que font les élèves se sont développées dans différentes disciplines (didactique, didactique comparée, psychologie), et le concept d'activité, celui de l'activité humaine analysée par les disciplines relevant des sciences du travail (au sens large), de la sociologie, voire de la philosophie (Venturini, 2012), a alors pris place dans le champ de l'éducation (Dieumegard, 2011).

Ainsi, je me suis appuyé sur différentes approches pour cerner ces notions de « tâche » et « activité ».

Tout d'abord, l'élève, en classe, est amené à réaliser des tâches d'apprentissages prescrites par son enseignant·e. Quand un·e enseignant·e conçoit une tâche d'apprentissage pour ses élèves, il définit, en fait, ce qu'il va leur faire faire, avec un but, celui de leur permettre d'apprendre les connaissances relatives au savoir enseigné, savoir porté par la tâche, et en précisant aux élèves comment ils doivent, ou ils peuvent, réaliser la tâche (Musial, Pradère et Tricot, 2012) ; ces conditions de réalisation de la tâche correspondent aux ressources et contraintes encadrant la réalisation de la tâche, comme cela est exposé par Rogalski (2008).

Rogalski (2008) propose d'articuler différents cadres théoriques pour analyser les pratiques enseignantes et les activités des élèves. Pour cette auteure, la théorie de l'activité qu'elle retient différencie « tâche » et « activité » de la manière suivante :

- la tâche, c'est ce qui est à faire du point de vue du sujet, c'est-à-dire, en reprenant les propositions de Leontiev, le but qu'il s'agit d'atteindre dans certaines conditions (Leplat, 2000) ; donc, dans le cas d'une tâche d'apprentissage, il s'agira d'apprendre les connaissances relatives au savoir enseigné, sous certaines conditions, c'est-à-dire en respectant les conditions de mise en œuvre de la tâche définies par l'enseignant·e ;
- l'activité, c'est ce que développe un sujet lors de la réalisation de la tâche, c'est-à-dire ses actes extériorisés, mais aussi les hypothèses que le sujet est amené à faire, les décisions qu'il prend, la manière dont il gère son temps, ses interactions

avec autrui dans la situation de la tâche. Rogalski (2008) prend également en compte l'état personnel du sujet en termes de charge de travail, de stress, de plaisir.

Cette prise en compte de l'articulation tâche-activité est également mise en avant par Pastré (2008) avec la nécessité de « comprendre l'apprentissage en cherchant à comprendre l'activité, sans les séparer » (p. 53). Ainsi, pour Pastré, l'apprentissage est inhérent à l'activité. Dès qu'un sujet agit, il apprend. Et pour analyser l'activité du sujet apprenant, il est nécessaire de prendre en compte les caractéristiques de la situation dans laquelle se fait cet apprentissage. Ainsi, si l'activité analysée correspond à une interaction entre deux acteurs (cas des situations d'enseignement, par exemple), cela implique une analyse conjointe de l'activité de l'enseignant·e et de l'activité de l'élève (Pastré, 2008). On retrouve là des propositions similaires développées dans la théorie de l'action conjointe en didactique, théorie fortement ancrée sur les propositions de Brousseau (concepts de « jeu didactique », de « milieu », de « contrat didactique »), et le triplet de genèses propre aux apports de Chevallard (Sensevy, 2007 ; Venturini, 2012).

De la proposition d'Engeström (2001), l'apprentissage expansif, une reconceptualisation de la théorie de l'activité, je retiens essentiellement le troisième principe, celui de l'historicité, que je rattache principalement à l'activité enseignante (même s'il est vrai qu'on peut aussi le faire avec celle de l'élève). Ainsi, suivant ce principe, l'activité de l'enseignant·e, étudiée à l'instant *t*, ne peut véritablement être comprise sans une prise en compte de son « histoire », plus précisément de l'histoire du système d'activité dans lequel se situe l'enseignant·e, car, pour Engeström, tout système d'activité se transforme dans le temps, et, de ce fait, a donc une « histoire » (*ibid*).

Pour Tijus (1999), la façon dont une tâche est réalisée dépend du sujet, c'est-à-dire de son niveau de connaissances (par extension, je dirais de son contexte interne et de son contexte émotionnel, donc de son contexte mental, tel que je l'ai défini précédemment), et de son activité, activité qui a des composantes observables (les actions, les comportements, qui dépendent souvent des moyens, proposés par l'enseignant·e, dont dispose l'élève pour réaliser la tâche ; parfois des verbalisations) et des composantes inobservables (connaissances activées, processus cognitifs mobilisés, émotions éventuelles, facteurs de motivation).

Tijus (1999) propose alors de distinguer deux types de situations possibles : les situations d'exécution dans lesquelles l'élève réalise une tâche nécessitant la mise en œuvre d'un savoir-faire (procédure et/ou méthode) ; les situations de résolution de problème pour lesquelles le système cognitif de l'élève n'a pas en mémoire les connaissances associées à une procédure ou à une méthode adéquate (ou parce que le système cognitif de l'élève ne peut mobiliser ces connaissances dans la situation considérée), ce qui permet d'étudier les processus d'interprétation de la tâche, d'évaluation, de changement de point de vue sur la tâche.

Ainsi, si la tâche prescrite amène le système cognitif de l'élève à pouvoir activer des connaissances relatives à des savoirs/savoir-faire alors analyser l'activité de l'élève permet d'analyser la mise en œuvre de ces savoirs/savoir-faire (voir exemple avec Hérold [2006] ou Hérold [2014a] au paragraphe 5.1) ; sinon, l'élève se retrouve en situation de résolution de problèmes (voir, par exemple, Hérold et Montuori [2018], notamment au paragraphe 5.2).

#### 4.1.2. Contribution empirique : une activité de conception d'objet technique au Lycée

Lors d'une codirection d'un Master Recherche en Education, une étude sur le rôle d'un artefact numérique (imprimante 3D) dans le cadre d'une activité de conception prototypage avec des élèves de Première et Terminale STI2D<sup>12</sup> a été menée (Ndiaye, 2016 ; Ndiaye, Hérold et Laisney, 2016a, 2016b).

L'hypothèse envisagée, pour ce travail de recherche, était que l'imprimante 3D pouvait favoriser la créativité et l'innovation dans la conception d'objets techniques en permettant aux élèves une meilleure interprétation de la tâche prescrite.

A partir du postulat que concevoir, c'est résoudre un problème (Bonnardel, 2009), nous sommes donc dans la deuxième catégorie de situations, à savoir une situation de résolution de problème, puisque, pour une tâche de conception d'objet technique, l'élève, *a priori*, n'a pas de solution.

Dans le cas présent, analyser l'activité d'élèves réalisant une activité de conception d'objet technique, consiste à : 1) analyser leur activité pendant une phase dite d'exploration pendant laquelle les élèves procèdent à une recherche de solutions en ayant recours à des esquisses réalisées « à la main » (processus d'interprétation de

---

<sup>12</sup> Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

la tâche prescrite) ; 2) analyser leur activité pendant une phase de génération de solution en ayant recours aux outils de dessin traditionnels et à l'aide du logiciel de CAO<sup>13</sup> proposé par l'enseignant-e (processus d'évaluation, de changement de point de vue sur la tâche) ; 3) analyser leur activité pendant la phase de modélisation pendant laquelle les élèves réalisent le modèle numérique précis de la solution retenue (processus d'évaluation, principalement, voire de réinterprétation de la tâche prescrite pour arriver à un choix définitif), tout en tenant compte des connaissances mobilisées relatives aux savoirs portés par la tâche prescrite (Laisney et Hérold, 2019).

Cette analyse de l'activité s'est alors faite à partir des traces écrites (documents-élèves montrant leurs représentations à main levée et des croquis de solutions envisagées), des traces numériques (intermédiaires graphiques), et des prototypes produits (impressions 3D). L'ensemble de ces données a été complété par des observations non participantes directes non armées et d'un questionnaire-élèves post-activités.

Les résultats montrent que, si pour la majorité des élèves l'imprimante 3D peut effectivement être un outil de validation, néanmoins ils ont majoritairement une approche « impression directe ». En fait, outre les effets de surcharge cognitive dus notamment aux outils numériques mis en œuvre dans la situation d'enseignement-apprentissage (notamment, le modèleur 3D), l'usage de l'imprimante 3D qui a été fait par les élèves a été celui d'un usage de type « conception-production-validation », plus connu des élèves. Il est donc nécessaire de sensibiliser les enseignants à penser une ingénierie didactique adaptée afin de permettre aux élèves de saisir ce nouvel usage offert par l'imprimante 3D, à savoir le prototypage rapide. D'autant plus, que pour les quelques élèves qui, d'eux-mêmes, se sont engagés dans un usage de l'imprimante de type « validation de solution », et ont eu la possibilité de « voir » les résultats de leurs conceptions, le système d'impression 3D a été d'un apport positif dans leur processus de conception (meilleure interprétation de la tâche, diversité des solutions proposées, meilleure prise en compte des contraintes de fabrication).

Comme le font remarquer Abboud-Blanchard et Rogalski (2017), « l'institution suppose et renforce cette idée de transparence de l'outil selon laquelle l'élève

---

<sup>13</sup> Conception Assistée par Ordinateur

travaillerait (...) avec les TICE plus aisément et plus rapidement » (p. 209), ce qui peut expliquer la posture de beaucoup d'enseignants mettant en œuvre un outil numérique en classe, à savoir une propension à se mettre en retrait en présence de l'outil en pensant que l'outil est à même de guider l'élève dans la réalisation de la tâche prescrite. Dans le cas de cette étude, les résultats montrent clairement que la situation didactique proposée par l'enseignant-e n'a pas permis aux élèves d'adopter un point de vue « prototypage rapide », car cet usage est, pour beaucoup d'élèves, nouveau pour eux. Il nécessite, de ce fait, un apprentissage, donc d'être enseigné.

## 4.2. Savoirs, connaissances

### 4.2.1. Revue de littérature

S'intéresser aux apprentissages à l'école, c'est s'intéresser à la mémoire, aux mécanismes de structuration de ses différents éléments, aux organisations possibles de ces différents éléments. Différentes approches permettent de qualifier ces mécanismes et ces organisations.

Dans la littérature anglo-saxonne, on trouve essentiellement le concept de « schéma ». Un schéma est un bloc de connaissances, une structure générale et abstraite qui s'applique à des situations concrètes différentes. Le terme est repris par Bonnardel (2006) par exemple, lorsque l'auteure cherche à décrire l'activité de conception qui ne reposerait sur aucun schéma prédéfini afin de sortir des routines (p. 28). En s'emparant d'un tel vocabulaire, l'auteure rattache de fait son propos au courant cognitiviste qui a alimenté et alimente encore la recherche sur la créativité et la conception (par exemple, Gero, 2010 ; Kelly et Gero, 2014).

Dans la littérature francophone, il est souvent fait plutôt référence au concept de « schème », développé par Piaget, notion déjà présente chez Kant ou Bergson, et dont, Piaget lui-même, donne des définitions diverses. Parmi celles-ci, on peut citer :

« Le schème d'une action n'est ni perceptible (on perçoit une action particulière mais non pas son schème) ni directement introspectible et l'on ne prend conscience de ses implications qu'en répétant l'action et en comparant ses résultats successifs »

(Piaget et Berth, 1961, p. 251).

« Un schème est la structure ou l'organisation des actions telles qu'elles se transfèrent ou se généralisent lors de la répétition de cette action en des circonstances semblables ou analogues »

(Piaget et Inhelder, 1966, p. 11).

De ces diverses définitions, on peut retenir que, pour Piaget, le schème est une conduite, qui tend à se répéter et qui peut, éventuellement, se coordonner avec d'autres conduites.

Cette « conduite » est elle-même une « totalité organisée », répétable et conservable (Bastien, 1987) : en tant que conduite, elle relie des actions ou procédures de transformation pragmatique de situations et états de problèmes à des représentations ou utilisations finalisées de connaissances pour comprendre et planifier la transformation de ces situations (*Ibid*). Le schème, en quelque sorte, est l'empreinte laissée par l'assimilation des savoir-faire. Bastien (1982) propose alors la synthèse suivante : le schème est un produit de l'assimilation, c'est-à-dire que le schème est un état provisoire que l'assimilation, qui l'a engendré, ne cesse de modifier ; le schème évolue qualitativement par accommodation (processus provoqué par la résistance des objets ou des situations auxquels il s'applique) ; un schème peut se coordonner avec d'autres schèmes pour générer des schèmes complexes. Le schème est donc un invariant temporel, généré par le processus d'assimilation ; c'est un outil de construction du monde par le sujet.

Un schéma n'est pas un schème.

Même s'il est vrai que certains auteurs font l'équivalence, néanmoins, comme le souligne Vergnaud (2001), le schéma de Bartlett (1932) ne prend pas du tout en compte l'activité gestuelle, puisqu'il ne s'agit que de blocs de connaissances déclaratives qui impliquent obligatoirement un traitement cognitif du schéma pour produire une action. Or, pour Vergnaud (2001) : « la pensée est un geste » (p. 4), c'est à dire l'action fait partie de la pensée ; il y a donc des relations très fortes entre la structure cognitive construite en mémoire et l'action. Cette dépendance étroite est notamment discutée par Cellérier (1979a, 1979b) qui resitue le « schème d'action ».

Anderson (2000) propose de distinguer connaissances déclaratives et connaissances procédurales : les connaissances déclaratives comprennent les faits, les images, les sons et nous servent à comprendre le monde ; les connaissances procédurales permettent la compréhension de comment faire les choses, d'agir sur notre



environnement. De ce fait, pour Anderson, la cognition est le résultat d'interactions entre les unités de connaissances déclaratives qui servent à interpréter la situation-problème et les unités de connaissances procédurales qui servent à résoudre le problème (Anderson, Bothell, Byrne, Douglass, Lebiere et Qin., 2004).

Musial, Pradère et Tricot (2011) affine cette catégorisation en proposant six catégories de connaissances définies selon leur domaine de validité (générales ou particulières) et leur domaine d'application (déclaratif ou procédural) :

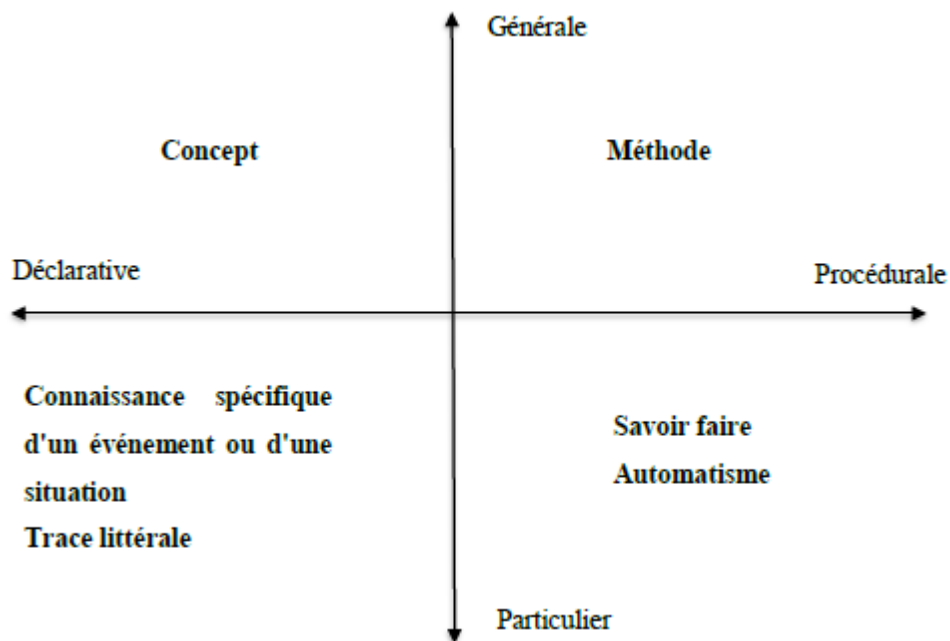
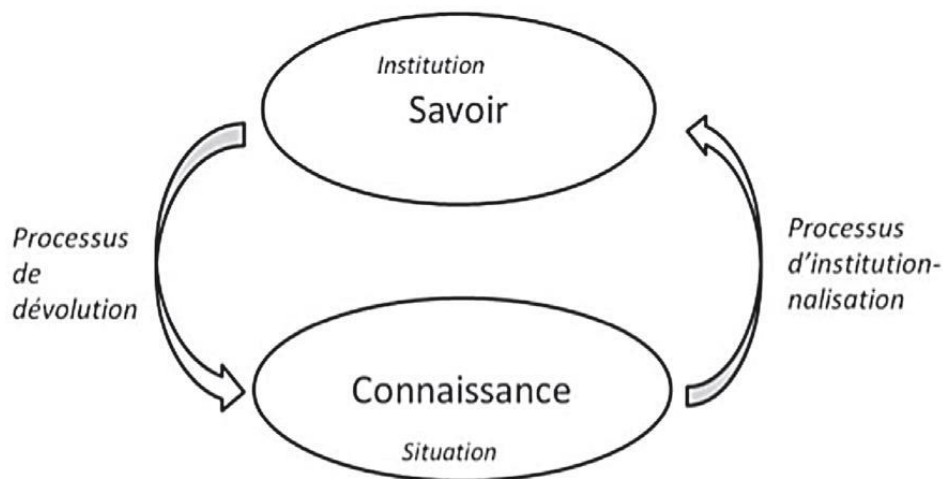


Figure 4.1 : Les 6 formats de connaissances selon Musial, Pradère et Tricot (2011).

Alors qu'Anderson hiérarchise pour aller du concret vers l'abstrait (Anderson et al., 2004), dans la proposition de catégorisation de Musial et al. (2011), il n'y a pas de hiérarchie. C'est la nature du processus cognitif activé par la situation d'apprentissage qui va permettre la construction d'un type de connaissance, ou amener à transformer une connaissance d'un format à un autre (Bellec, 2015).

Brousseau appelle « savoir » ce qui est produit par les institutions afin de « permettre le repérage, la reproduction, le contrôle, la justification et la diffusion des connaissances » (Brousseau, 1995, p.8). Pour Brousseau, la « connaissance » est alors une ressource, un moyen pour répondre aux exigences du « milieu » (notion de « milieu didactique », propre à Brousseau). Cette distinction entre savoir

et connaissance dans les travaux de Brousseau est discutée notamment par Margolinas (2012). Ainsi, pour cette auteure, Brousseau stabilise le sens qu'il donne au terme « connaissance » en définissant le concept de connaissance comme étant ce qui est « recentré en situation » (Margolinas, 2012). Elle précise également les définitions qu'elle a adoptées pour ses propres travaux : « une connaissance est ce qui réalise l'équilibre entre le sujet et le milieu, ce que le sujet met en jeu quand il investit une situation (...) un savoir est d'une autre nature, il s'agit d'une construction sociale et culturelle » (p. 7), ainsi « la connaissance vit dans une situation, alors que le savoir vit dans une institution. Pour définir une connaissance donnée, il faut donc décrire les situations fondamentales de cette connaissance » (p. 8).



- Figure 4.2 : Savoir et connaissance (Margolinas, 2012).

Quant à Roditi (2011), il précise les deux concepts en considérant les connaissances comme étant relatives aux individus et les savoirs comme relevant d'un patrimoine social. On rejoint là le point de vue de certains psychologues cognitivistes qui font la distinction entre les connaissances individuelles (donc celles qui sont présentes en mémoire du sujet) et les connaissances générales, le « patrimoine cognitif de l'humanité » (Bastien, 1997).

Ainsi, pour résumer, je considère, en reprenant les propos de Jonnaert et Vander Borgh (1999), que le savoir relève d'une discipline, et ce savoir, par transposition didactique (Chevallard, 1985, 1991), va devenir un savoir à enseigner dans le cadre de l'école (contenus des programmes scolaires, par exemple). Ensuite, au sein de la situation d'enseignement-apprentissage, ce savoir à enseigner sera enseigné par

l'enseignant·e (il devient alors un « savoir enseigné »), et cet enseignement doit amener l'élève à construire des connaissances en mémoire relatives à ce savoir enseigné. De ce fait, lorsque je parle de « connaissances », j'évoque le « patrimoine cognitif » de l'élève ; le « savoir » correspond, quant à lui, au « patrimoine de l'humanité » (Bastien, 1997), au « patrimoine social » (Roditi, 2011).

#### 4.2.2. Contribution empirique : savoirs implicites et savoirs explicites

Dans le cadre d'une codirection de thèse sur les difficultés rencontrées par les apprenants dans l'apprentissage de l'algorithmique (Ovono, 2018), j'ai été amené à proposer une définition pour les notions de savoirs « implicites » et de savoirs « explicites ».

Toute tâche d'apprentissage prescrite par un·e enseignant·e est porteuse d'un ou de plusieurs savoirs à enseigner qui, du point de vue de l'enseignant·e, deviennent alors des savoirs que l'on peut qualifier d'explicites dans la mesure où l'enseignant·e en a pleinement conscience puisque ces savoirs sont l'objet des séances d'enseignement mises en œuvre (savoirs à enseigner). En réalisant les tâches prescrites par son enseignant·e, l'élève est censé élaborer, ou activer, en mémoire les connaissances associées à ce/ces savoir(s) enseigné(s). Mais, très souvent, les tâches d'apprentissage proposées par les enseignants à leurs élèves sont aussi porteuses de savoirs que l'on peut qualifier d'implicites.

Des propositions de définition d'un « savoir implicite » énoncées par Savoyant (2008), j'ai retenu l'idée du savoir d'expérience en adoptant un point de vue centré sur l'enseignant·e. Ce savoir d'expérience fait « la différence entre débutants et expérimentés, et c'est en ce sens qu'ils contribuent à caractériser et fonder la compétence et la professionnalité des travailleurs experts » (p. 93).

Le savoir d'expérience va donc être « implicite » pour l'enseignant·e de par son expertise du domaine. Ainsi, dans bien des situations d'enseignement où l'enseignant·e va prescrire des tâches à ces élèves, l'enseignant·e prendra difficilement conscience de la présence de ces savoirs implicites dans la tâche qu'il aura prescrite. Et ces savoirs n'auront pas forcément une correspondance avec des connaissances construites en mémoire de l'élève ou avec des connaissances susceptibles d'être mobilisées par le système cognitif de l'élève dans le contexte de la tâche prescrite.

Dans le cadre de ce travail de recherche sur la problématique de l'enseignement-apprentissage de l'algorithmique à l'ENSET<sup>14</sup> de Libreville (Gabon), une étude sur la présence des savoirs implicites liés à la tâche prescrite a été effectuée (Ovono, 2018).

A partir du constat où, effectivement, traditionnellement, l'enseignement de l'algorithmique s'appuie sur des tâches d'apprentissage qui, en fait, impose à l'apprenant deux tâches à accomplir, une tâche de résolution de problème et une tâche d'élaboration de l'algorithme correspondant à la procédure de résolution du problème, il a été mis en évidence que, dans bien des cas, si l'apprenant échoue dans la tâche prescrite, cela était dû, en fait, à un déficit de connaissances (non acquises ou non mobilisables) relatives aux savoirs implicites présents dans la tâche d'apprentissage.

Pour cela, une analyse des traces écrites de 17 étudiants de 1<sup>o</sup> année de l'ENSET de Libreville a été effectuée, suite à un test comprenant quatre tâches d'élaboration d'un algorithme. Le test s'est déroulé une semaine avant les examens de semestre. Les étudiants avaient donc suivi les différents enseignements du module algorithmique de leur formation. La durée du test a été de deux heures. Les étudiants avaient le droit de consulter leurs cours, leurs notes, et pouvaient échanger entre pairs. Une observation directe non participante a complété le recueil de données.

L'analyse des quatre tâches a mis en évidence vingt-neuf savoirs/savoir-faire qui ont été qualifiés de « savoirs explicites » (comme le fait de devoir faire une déclaration de variable dans un algorithme), et quinze savoirs/savoir-faire qui ont donc été qualifiés de « savoirs implicites » (comme le fait de connaître la notion de PGCD<sup>15</sup>).

Les résultats de cette étude montrent alors qu'une grande partie des difficultés rencontrées par les étudiants dans la réalisation des tâches prescrites étaient précisément liées au fait qu'ils ne mobilisaient que très peu les connaissances liées à ces savoirs implicites (pour le cas du PGCD, tous les étudiants testés sont en échec pour cette tâche avec, pour beaucoup, aucune proposition de solution ; et bon nombre d'étudiants ont verbalisé à haute voix « Au fait, c'est quoi déjà le PGCD ? », « Comment on calcule le PGCD ? »). Globalement, pour les quinze

---

<sup>14</sup> Ecole Nationale Supérieure de l'Enseignement Technique

<sup>15</sup> Plus Grand Commun Diviseur

savoirs/savoir-faire qualifiés d'implicites, seulement quatre ont amenés l'ensemble des étudiants à mobiliser leurs connaissances associées à ces savoirs/savoir-faire. On peut alors supposer que la charge cognitive, imposée par la présence de ces savoirs implicites, a fortement pénalisé les étudiants pour la mise en œuvre de leurs connaissances relatives aux savoirs/savoir-faire explicites (sur les vingt-neuf savoirs/savoir-faire identifiés lors de l'analyse des tâches prescrites, seuls cinq ont amenés l'ensemble des étudiants à mobiliser leurs connaissances associées à ces savoirs/savoir-faire), ce qui a nui à la qualité de leurs productions lors du test, mais, aussi, probablement à leur apprentissage pendant les enseignements de ce module. En effet, traditionnellement, en début d'apprentissage de l'algorithmique, on propose aux apprenants des exercices souvent à base mathématiques comme, par exemple, « écrire l'algorithme qui calcule le PGCD » ou encore « écrire l'algorithme qui donne les racines d'une équation du 2<sup>o</sup> degré », on impose au système cognitif de l'élève une charge cognitive qui va limiter l'apprentissage de nouvelles connaissances, notamment celles, dans notre étude, relatives aux savoirs dits « explicites », comme le montrent les résultats (beaucoup de connaissances très peu mobilisées).

Aussi, le dispositif didactique qui a été élaboré dans le cadre de cette thèse, outre le fait de s'appuyer sur un éditeur d'algorithmes (« AlgoBox ») afin de réduire la charge cognitive imposée par la tâche d'élaboration de l'algorithme en apportant une aide au formalisme de l'écriture des algorithmes (Ovono, Hérold et Ginestier, 2014), a également proposé un apport d'informations par rapport aux savoirs implicites concernés par la tâche, au moment où l'étudiant commençait la tâche (principe du « supportive information » proposé par van Merriënboer dans son modèle « 4C/ID » de design pédagogique pour les apprentissages complexes).

Les résultats montrent alors une meilleure performance, lors du posttest, du groupe d'étudiants qui a bénéficié du dispositif didactique élaboré par rapport au groupe-test (Ovono, 2018).

J'avais effectué un travail similaire, mais qui ne visait pas seulement les savoirs implicites, dans le cadre de ma codirection de thèse de Carla El Hader, thèse dont l'objet de recherche portait sur les problèmes de démonstration en géométrie dans l'environnement *GeoGebra*, classe de 6<sup>o</sup> de Collège au Liban.

Nous avons alors élaboré un dispositif didactique permettant de mettre en œuvre un guidage « guidé » pour aider l'élève à mobiliser les connaissances nécessaires à la résolution d'un problème de démonstration en géométrie. Ce dispositif didactique a été construit à partir de l'analyse du fonctionnement cognitif de l'élève (connaissance non mobilisée, connaissance inadéquate mobilisée, connaissance adéquate partiellement mobilisée, connaissance adéquate mobilisée) pour des tâches de démonstration en géométrie dans un environnement papier-crayon (analyse de traces écrites), associée à une mesure de la charge cognitive (mesure subjective effectuée par le sujet par auto-évaluation de l'effort mental ressenti en faisant la tâche, technique introduite par Paas [1992]). Le dispositif didactique s'appuyait, d'une part, sur le logiciel *GeoGebra* pour soulager la charge cognitive liée à la construction des figures géométriques et à la mise en œuvre des raisonnements déductifs (en permettant, notamment à l'élève de développer des stratégies de type « essai-erreur »), d'autre part sur un document-élève d'aide à l'élaboration de démonstrations en géométrie qui s'appuie sur le schéma de structuration du raisonnement déductif (schéma de l'ATS<sup>16</sup> proposé par Duval). Ce document-élève proposait un guidage du raisonnement à travers des consignes, des tâches précises à accomplir (aides à la mobilisation des connaissances procédurales adéquates à la tâche prescrite), des explicitations sémantiques sur les relations géométriques ...

Les résultats montrent alors une meilleure mobilisation des connaissances adéquates pour la mise en œuvre des raisonnements déductifs, et notamment une meilleure mobilisation des connaissances procédurales. La stratégie de guidage mise en place au sein du dispositif didactique conçu a permis une charge cognitive ressentie plus faible, ce qui s'est traduit, dans l'analyse des traces écrites des élèves, par une meilleure mobilisation des connaissances procédurales adéquates pour la réalisation des tâches prescrites (El Hader, 2016).

Ce problème de la non prise en compte des savoirs implicites dans la prescription de tâches d'apprentissage s'est également présenté dans une autre de mes recherches qui consistait à analyser l'activité d'élèves de 2<sup>o</sup> Professionnelle

---

<sup>16</sup> Arc Transmissif de Substitution. Voir Duval et Egret (1989), Duval (1993), entre autres.

Bureautique mettant en œuvre des tâches prescrites avec le progiciel Excel de Microsoft © (Hérolde et Montuori, 2018 ; Hérolde, 2014b).

Ainsi, pour une des tâches que les élèves avaient à faire, les élèves avaient été amenés à devoir interpréter l'écriture des nombres relationnels. En effet, dans l'environnement papier-crayon (bien plus familier aux élèves), la représentation d'un nombre relationnel (fraction) a recours à une barre horizontale (-) pour séparer numérateur et dénominateur, alors que dans l'environnement Excel, la représentation utilise une barre oblique (/). De ce fait, certains élèves ont eu des difficultés à interpréter l'aide contextuelle du progiciel lorsqu'ils ont été amenés à devoir choisir le format de représentation de la donnée dans la cellule (aide qui utilise, bien évidemment, la barre oblique), comme le montre l'extrait d'enregistrement audio d'un échange entre deux élèves : « Et '2/3', c'est quoi ? ». Ainsi, en faisant abstraction de la difficulté que certains élèves pouvaient rencontrer en étant confrontés à un système d'écriture des nombres relationnels pour lequel ils étaient peu familiers, alors qu'ils étaient très familiers avec un autre système d'écriture, le prescripteur de la tâche, par une non prise en compte de ce savoir implicite présent dans la tâche prescrite, a induit une charge cognitive extrinsèque qui, pour certains élèves, a généré, a priori, une surcharge cognitive qui les a effectivement pénalisés dans la mise en œuvre de cette tâche (Gunther, Hérolde et Zarouf, 2020).

#### 4.3. Proposition d'un modèle de la situation d'enseignement-apprentissage (Hérolde, 2019)

Afin de mieux appréhender l'analyse de l'activité de l'élève en classe, j'ai été amené à développer un modèle de compréhension de la situation d'enseignement-apprentissage. L'objectif, pour moi, a été de me doter d'un outil me permettant de mieux comprendre le fonctionnement de l'élève confronté à l'apprentissage d'un nouveau savoir enseigné, en classe.

Je rejoins Clanet (2012) sur le fait que l'étude d'une situation d'enseignement-apprentissage en classe est un objet de recherche complexe. Cette complexité est liée à la nature de la situation d'enseignement-apprentissage, qui met ensemble enseignant·e(s) et élèves en activité, dans un même espace et pendant une certaine

durée (Jonnaert et Vander Borgh, 1999). Personnellement, je défends l'idée que faire des recherches en conditions écologiques doit permettre de prendre en compte cette complexité (Wang et Hannafin, 2005), sans pour autant la simplifier (Morin, 1990), afin d'appréhender véritablement la réalité de la situation d'enseignement-apprentissage. Pour cela, même s'il semble vain de pouvoir prétendre tout prendre en compte de la complexité d'une situation d'enseignement-apprentissage, néanmoins, comme le soulignent Sanchez et Monod-Ansaldi (2015) on peut prétendre à en identifier les différentes entités, à caractériser leurs relations, afin d'établir des modèles permettant de mieux comprendre les situations d'enseignement-apprentissage en classe. Car, comprendre comment et pourquoi le ou les processus qui se déroule(nt) au sein de la situation d'enseignement-apprentissage fonctionnent, permet d'appréhender les conditions de leur efficacité (Ginestié et Tricot, 2013) et ainsi poser la question de l'efficacité des actions de l'enseignant·e en y apportant des éléments de réponse, ce au travers des apprentissages des élèves.

Pour Pastré (2008), aller sur le terrain, observer ce que font les acteurs d'une situation, c'est analyser l'activité produite par ces acteurs. Analyser l'activité de l'enseignant·e passe par une identification des savoirs enseignés, par une caractérisation des stratégies mises en œuvre, par l'identification et l'étude des ajustements effectués par l'enseignant·e en classe entre tâches prévues et tâches effectuées, par l'identification et l'étude des éléments de régulation des apprentissages que l'enseignant·e met en œuvre pour aider l'élève à apprendre. Et je rappelle, analyser l'activité de l'élève, en classe, doit permettre de comprendre comment il utilise ses connaissances pour réaliser la tâche prescrite par son enseignant·e.

Mais, étudier comment ces deux registres d'activité interagissent pose un certain nombre de problèmes, notamment d'ordre méthodologique. Ginestié et Tricot (2013) recensent différentes propositions d'études : décrire les deux registres d'activité, celle de l'enseignant·e (ce qui avait été prévu d'être fait en comparaison avec l'activité effective de l'enseignant·e), et celle des élèves (ce que devait faire l'élève et ce qu'il fait réellement); rendre compte d'un agir commun entre activité de l'enseignant·e et activité des élèves en s'appuyant sur la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2007 ; Venturini, 2012); neutraliser un des deux registres d'activité, celui de l'enseignant·e ou celui de l'élève.



C'est cette idée de neutralisation que j'ai repris dans ma proposition de modélisation de la situation d'enseignement-apprentissage, c'est-à-dire, choisir un instant particulier qui permet une neutralisation des effets de certaines relations entre entités de la situation d'enseignement-apprentissage, soit parce qu'à cet instant, certaines entités ne sont pas actives, soit parce qu'on peut estimer que l'interaction avec certaines entités est suffisamment faible pour être négligeable, ce qui permet une réduction de l'objet étudié sans véritablement le dénaturer.

Par le passé, pour l'étude et la compréhension de la situation d'enseignement-apprentissage, différentes propositions de modélisation ont été effectuées, comme le modèle de Dunkin et Biddle (1974) ou le modèle de Gage (1978), mais ces modèles délimitent un ensemble qui va bien au-delà de la situation d'enseignement-apprentissage telle que je l'ai définie ci-après. Puis ont été développés des modèles articulant plusieurs types de variables concernant à la fois l'enseignant·e, l'apprenant et la situation (Altet et Guibert, 2014), modèles qui mettent l'accent sur les interactions afin de mieux comprendre les processus interactifs en jeu (Altet, 2014). C'est cette dernière perspective que j'ai retenue dans mon approche de la situation d'enseignement-apprentissage : identifier précisément les interactions actives à l'instant choisi pour analyser la situation.

Le problème, alors, est de déterminer quelle forme de modèle permet effectivement de prendre en compte des données de recherche en conditions écologiques et d'apporter des éléments de compréhension suffisamment pertinents du fonctionnement de la situation d'enseignement-apprentissage, avec un point de vue centré sur l'activité de l'élève en classe, sans pour cela dénaturer la situation par excès de simplification ou la rendre difficilement compréhensible par excès d'informations.

J'ai retenu un modèle mixte, en reprenant la classification proposée par Tiberghien (1988), c'est-à-dire un modèle permettant de rendre compte du fonctionnement de cet objet complexe qu'est la situation d'enseignement-apprentissage, et aussi permettant d'en formaliser la structure. Aussi, ma démarche de modélisation s'est appuyée sur une perspective systémique, prenant en compte, de ce fait, les interactions entre les différentes entités de la situation (aspect structurel), et l'aspect dynamique de la situation (aspect fonctionnel).

L'idée retenue est alors de s'intéresser aux interactions entre les différentes entités de la situation d'enseignement-apprentissage, en s'appuyant sur la dimension

séquentielle de cette dernière, ce qui permet une neutralisation *de facto* de certaines interactions par le choix d'un instant *t* de la séquence d'enseignement, ce qui facilite son étude et l'analyse du flux informationnel porté par les interactions retenues.

L'objectif est donc, en reprenant les propos de Rey (2014), de pouvoir disposer de données de recherche pertinentes qui correspondent véritablement aux situations d'enseignement-apprentissage ordinaires et non à des situations relevant de situations à caractère expérimental, en privilégiant une approche combinant différents points de vue pour la compréhension de ce système qu'est la situation d'enseignement-apprentissage (voir Haspékian [2006] pour un exemple de recensement de travaux).

#### 4.3.1. Notion de situation d'enseignement-apprentissage

En classe, un élève, pour apprendre le savoir enseigné, est amené à réaliser des tâches d'apprentissage prescrites par son enseignant·e. Ces tâches sont porteuses du savoir enseigné et sont soutenues par un ou plusieurs dispositifs didactiques. Dans la salle de classe, un élève n'est pas seul, il est parmi d'autres élèves. L'ensemble de ces conditions de réalisation de la tâche par l'élève correspond à ce qu'on peut appeler le *contexte de la tâche* d'apprentissage (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004), et en reprenant la proposition de Musial, Pradère et Tricot (2012), ce contexte de mise en œuvre de la tâche d'apprentissage élaborée par l'enseignant·e correspond à la situation d'enseignement-apprentissage (voir ma discussion sur la notion de contexte au paragraphe 3.5).

Ainsi, une situation d'enseignement-apprentissage est un ensemble d'acteurs, un·e enseignant·e et des élèves dans une salle de classe, mais est aussi un ensemble conjoint de contraintes et de ressources (Tupin et Dolz, 2008). C'est une entité en soi, dynamique, changeante, qui permet de rendre compte des conditions et des processus dans et avec lesquels l'activité de l'enseignant·e et l'activité des élèves sont en interaction (Bru et Clanet, 2011). Dans une situation d'enseignement-apprentissage, l'enseignant·e met en œuvre une séance d'enseignement, cette séance ayant son existence de par le fait que l'enseignant·e a défini, à partir des textes prescriptifs, programmes ou référentiels, un ou plusieurs savoirs à enseigner. Dans la situation d'enseignement-apprentissage, le ou les savoirs à faire acquérir sont des savoirs enseignés. Pour faire apprendre à ses élèves les connaissances

associées à ce, ou ces, savoir(s), l'enseignant·e met en œuvre des tâches d'apprentissage pour ses élèves. Les conditions de mise en œuvre de ces tâches ne sont pas du libre choix de l'enseignant·e qui doit donc composer avec un certain nombre de contraintes (Musial et al., 2012) : planification du temps, gestion de l'espace de la classe, choix du lieu de l'apprentissage, organisation des tâches d'apprentissage (classe entière, élèves travaillant seul, en binômes, en groupes), choix des supports et des matériels pour faciliter l'apprentissage. De ce fait, une situation d'enseignement-apprentissage sera toujours singulière, événementielle, expérientielle (Pastré, 2011). En classe, les élèves interagissent entre eux, pour collaborer dans leurs activités, pour échanger. Les bénéfices de ces interactions pour collaborer à la mise en œuvre de la tâche prescrite se traduisent en termes d'efforts consentis par les élèves et d'engagement dans la tâche (Fenouillet, 2016 ; Reeve, 2017). Au cours d'une séance d'enseignement, l'activité des élèves est soutenue par un ou plusieurs outils didactiques : documents papier, outils informatiques, instruments de laboratoire, etc. Enfin, l'élève, dans son apprentissage en classe, est aussi en forte interaction avec un « environnement » complexe (complexe car constitué de multiples et diverses variables) qui influe sur ses performances cognitives. En effet, un élève réalise la tâche prescrite par son enseignant·e dans une classe où sous-tendent de nombreuses sources d'influence provenant, bien évidemment, d'éléments propres au contexte de la tâche d'apprentissage (comme, par exemple, l'agencement matériel de la salle de classe choisi par l'enseignant·e), donc propres à la situation d'enseignement-apprentissage, mais aussi provenant d'autres sources d'influence relevant du *contexte de la situation* d'enseignement-apprentissage (organisation sociale, institutions, etc.).

#### 4.3.2. Comment modéliser la situation d'enseignement-apprentissage ?

Classiquement, la situation d'enseignement-apprentissage, au sein de laquelle le processus d'enseignement-apprentissage va se réaliser, est décrite par la relation triangulaire qui s'établit entre l'enseignant·e, le savoir à enseigner et un élève qui est alors pris au sens générique du terme (Johsua et Dupin, 1993).

Mais, comme le fait remarquer Jonnaert et Vander Borgh (1999), l'analyse didactique de la situation d'enseignement-apprentissage exige plus que cela. En

effet, si ces trois éléments que sont l'enseignant·e, le savoir à enseigner et l'élève définissent un triangle dans cette description symbolique de la situation d'enseignement-apprentissage, ces auteurs mettent en avant le fait que l'analyse didactique s'intéresse bien plus aux rapports entretenus entre ces éléments qu'à l'un d'entre eux pris isolément, et que, de ce fait, le triangle didactique symbolise plus une surface d'*interactions* entre trois catégories de variables (celles relatives à l'enseignant·e, celles relatives au savoir à enseigner, celles relatives à l'élève). De ce fait, une relation didactique est en fait déterminée non seulement par les différentes composantes de cette relation mais également, voire essentiellement, par les interactions présentes au sein de cette relation (*ibid*).

Par ailleurs, Dumont et Istance (2010) mettent en avant la dynamique et les interactions entre quatre entités que sont l'apprenant, l'enseignant·e, le contenu (le ou les savoir(s) à enseigner) et les équipements (les outils didactiques) ; chacune de ces entités pouvant répondre aux questions, qui apprend, et avec qui, quoi apprendre, et avec quoi. Dans une situation d'enseignement-apprentissage, en classe, les équipements utilisés dans la situation d'enseignement-apprentissage sont de nature diverse : documents-papier, outils informatiques (ordinateur, vidéoprojecteur, tableau blanc qui peut être interactif ...), matériel de mesure, dispositifs de travaux pratiques ... Ces équipements constituent le matériel didactique mis en œuvre par l'enseignant·e au sein de son dispositif de situation d'enseignement-apprentissage, les ressources didactiques de l'enseignant·e.

Une situation d'enseignement-apprentissage est également caractérisée par son *contexte*, ou encore un *environnement de choses* dans lequel va s'insérer différents actes (Rey, 2005).

Ainsi, on peut établir qu'une situation d'enseignement-apprentissage doit être appréhendée comme un ensemble complexe constitué de différents acteurs, de différents éléments matériels, et qui est caractérisé par la dynamique des interactions qui s'établissent entre les différentes entités de cet ensemble (Mayen, 2001) ; cet ensemble complexe générant une activité finalisée pour l'enseignant·e qui est d'enseigner un savoir, et une activité finalisée pour les élèves qui est de construire les connaissances relatives à ce savoir.

Dans la perspective d'une meilleure compréhension de cet ensemble complexe qu'est la situation d'enseignement-apprentissage, j'ai fait l'hypothèse qu'un modèle, élaboré via une approche systémique, permet, dans le cadre de recherches

écologiques, de mieux tenir compte de cette complexité ; et si l'aspect dynamique de la situation est pris en compte, cette complexité peut être modélisée mais non réduite, car la modélisation effectuée doit permettre de ne pas dénaturer la situation modélisée (Clanet, 2012).

Il s'agit de pouvoir appréhender la situation d'enseignement-apprentissage comme un système, c'est-à-dire un ensemble d'entités, organisé, qui possède une dynamique temporelle en évoluant dans le temps (Berbaum, 1982). Ce système interagit avec son environnement, ce qui induit ses limites et impose une entité d'interface dans le système, représentative de ces liens entre la situation d'enseignement-apprentissage et les différents acteurs qui influent sur l'apprentissage des élèves : système éducatif ; environnement immédiat (classe, établissement scolaire) ; environnement socio-économique ; environnement culturel ; environnement familial, autres ... (Johsua et Dupin, 1993 ; Jonnaert et Vander Borght, 1999).

#### 4.3.3. Les différentes entités du modèle de la situation d'enseignement-apprentissage

*Première entité : un élève (parmi les élèves de la classe)*

De nombreuses recherches montrent que l'enseignement doit être centré sur l'élève afin de véritablement pouvoir répondre à ses besoins en termes d'apprentissage (Watson et Reigeluth, 2008). Cette perspective, de type *learner-centered instruction*, qui place l'élève au centre de la situation d'enseignement-apprentissage, largement portée par le *National Research Council*, comme le montre l'ouvrage de synthèse *How People Learn*<sup>17</sup>, est aussi défendue par des auteurs comme Mayer (2010), ou encore, pour les francophones, par Bastien et Bastien-Toniazzo (2004), par exemple, pour qui, il est nécessaire comprendre les fondamentaux des démarches d'apprentissage des élèves afin de permettre de rendre plus efficace le processus d'enseignement-apprentissage.

L'élève peut être caractérisé par son profil cognitif, à savoir l'état de ses connaissances à un instant donné du processus qui se déroule au sein de la situation

---

<sup>17</sup> Disponible en ligne à l'URL : <http://www.nap.edu>

d'enseignement-apprentissage. Si pendant de nombreuses années, l'étude du fonctionnement d'un apprenant en situation d'enseignement-apprentissage s'est limitée à l'étude des connaissances activées par l'apprenant, aux processus cognitifs mobilisés lors de la mise en œuvre de la tâche prescrite, aujourd'hui, il est difficile de nier le rôle joué par les émotions sur le fonctionnement cognitif du sujet (Channouf et Rouan, 2002 ; Dai et Sternberg, 2004 ; voir discussion au paragraphe 3.3). Ainsi, au profil cognitif de l'élève, il est nécessaire (Bellec, 2015), pour une meilleure compréhension des fondamentaux de ses démarches d'apprentissage, de lui adjoindre un profil affectif (composantes relevant du plaisir, du stress et/ou de l'anxiété ...) et un profil conatif qui regroupe les composantes relevant de la motivation, de l'estime de soi, de la propension à un engagement dans la tâche (Bandura, 1993 ; Fenouillet, 2016 ; Reeve, 2017).

#### *Autres élèves*

Dans ma proposition de modélisation, je considère la situation d'enseignement-apprentissage au niveau classe, terme synthétique qui implique des groupes plus importants que l'apprenant unique (Dumont et Istance, 2010).

Apprendre en classe, c'est aussi apprendre en groupe, c'est-à-dire en interactions avec d'autres élèves. A travers ces interactions, l'élève, parmi les autres élèves de la classe, va se construire une perception de lui-même par comparaison avec les autres élèves (Huguet, 2006).

Or, Huguet, Brunot et Monteil (2001) ont montré que les représentations de soi, chez les élèves, suite à ces comparaisons, influençaient fortement leurs productions cognitives. En fait, il semble maintenant bien établi que les productions cognitives des élèves en classe sont largement dépendantes de facteurs d'ordre psychosocial qui peuvent contribuer soit à produire des différences entre les élèves, soit à favoriser l'apprentissage suivant les conditions de réalisation des tâches (caractéristiques de la tâche, composition du groupe d'élèves ...), et qu'il est donc nécessaire de pouvoir caractériser plus précisément ces interactions afin de pas limiter la compréhension de la situation d'enseignement-apprentissage uniquement sous l'angle des productions cognitives des élèves (Dutrévis, Toczek et Buchs, 2015).

### *L'enseignant·e*

Au sein de la situation d'enseignement-apprentissage, l'enseignant·e est le médiateur du savoir à enseigner, objet de la situation d'enseignement-apprentissage. L'enseignant·e va agir pour mettre en œuvre son enseignement à partir de ses connaissances, de son histoire, sur la manière dont il pense qu'un élève apprend, en fonction des prescriptions institutionnelles qui le contraignent (Johsua et Dupin, 1993). De ces contraintes institutionnelles, qui vont fortement induire la façon et la manière dont l'enseignant·e va enseigner le ou les savoir(s) porté(s) par la situation d'enseignement-apprentissage, l'enseignant·e va déterminer quelles activités il va proposer aux élèves, quelles tâches il va pouvoir prescrire à ses élèves afin qu'ils puissent réaliser les activités plus ou moins suggérées par les documents institutionnels d'accompagnement (Ginestié, 2008). L'enseignant·e est donc amené à concevoir des tâches pour que les élèves puissent mettre en œuvre des apprentissages afin de construire des connaissances nouvelles à partir du, ou des, savoirs enseignés (Musial, Pradère et Tricot, 2012). L'enseignant·e est donc un organisateur des conditions d'apprentissage de ses élèves (Talbot, 2012), et c'est suivant la façon dont l'élève va traiter le savoir enseigné par l'enseignant·e qui fera que l'élève apprendra ou n'apprendra pas. Aussi, l'enseignant·e est amené à réguler l'activité d'apprentissage des élèves, à varier ses actions, et est aussi amené à devoir contrôler, évaluer si les élèves ont effectivement élaboré les nouvelles connaissances relatives au(x) savoir(s) visé(s) par la situation d'enseignement-apprentissage (Musial et al., 2012).

Pour Altet (2009), l'enseignant·e assure une double fonction : pédagogique, par une médiation entre le savoir et l'élève, par sa gestion de la classe ; didactique, par sa gestion des apprentissages, ceci dans un contexte particulier, la classe, qui lui est contraint et dynamique de par la nature des relations au sein de la situation d'enseignement-apprentissage. Et, pour cette même auteure, la spécificité du travail de l'enseignant·e s'analyse à partir des interactions avec les élèves afin de pouvoir mettre en évidence ce qui fonctionne, ce qui fait apprendre les élèves, grâce au type de médiation retenu par l'enseignant·e, mais aussi grâce au choix des adaptations, des compromis mis en œuvre par l'enseignant·e (Altet, 2002). Il y a donc des interactions entre le savoir à enseigner et l'élève, mais aussi des interactions avec l'élève et les autres élèves de la classe, et des interactions avec un « environnement » (ce qu'Altet appelle *contexte singulier, contraint, dynamique*).

### *Le, ou les, savoir(s) à enseigner*

A la suite des travaux de Verret (1975) en enseignement de la philosophie, Chevallard (1985, 1991) décrit le processus de transformation, pour les mathématiques, du savoir dit « savant », savoir produit par une communauté scientifique clairement identifiée et reconnue, au savoir dit « enseigné » (ou objet d'enseignement), qui est le savoir porté par l'enseignant·e au sein de la situation d'enseignement-apprentissage et qui découle du savoir dit « à enseigner » qui correspond, lui, au savoir défini par les textes prescripteurs. Si la transposition didactique est née de la didactique des mathématiques, son utilisation dans les diverses didactiques des disciplines a, bien évidemment, largement été effectuée (Perrenoud, 1998).

Le savoir à enseigner est caractérisé par son histoire, sa place dans un cursus de formation (Joshua et Dupin, 1993). Il est le produit d'une première transposition, appelée *transposition didactique externe*, qui correspond à la transformation des savoirs, savants et/ou experts (savoirs experts, suite aux propositions de Joshua (1996) pour les disciplines dans lesquelles les savoirs savants sont moins mis en avant que les savoirs issus des pratiques), ayant cours dans la société en savoirs à enseigner, tels qu'ils sont présents dans les programmes scolaires. Le savoir enseigné, quant à lui, est le résultat d'une deuxième transposition, appelée *transposition didactique interne*, qui transforme le savoir à enseigner en savoir enseigné, cette dernière transposition relevant donc fortement de l'interprétation du savoir à enseigner par l'enseignant·e, de ses connaissances, de ses croyances, des contraintes de mise en œuvre de son enseignement en classe (organisation matérielle de la classe, possibilités ou non d'avoir recours aux technologies numériques de la communication, nature des activités-élèves possibles, organisation dans le temps ...).

### *Ressources didactiques*

La mise en œuvre de tout enseignement de savoirs s'appuie sur un certain nombre de ressources didactiques, diverses et variées, et de nature différente, notamment depuis le développement de l'usage du numérique en classe. Les interactions entre l'élève et ses ressources didactiques peuvent s'avérer complexes à étudier, notamment avec l'utilisation des TICE en classe (Hérol, 2015b), utilisation qui se



développe fortement et se généralise. Ainsi, un certain nombre de problèmes peuvent émerger ; notamment, par exemple, le fait que, très souvent, les élèves, lorsqu'ils utilisent une ressource didactique (même très simple comme un document-papier, par exemple), n'apprennent pas forcément ce que l'enseignant·e avait prévu au départ (Tricot, 2014). Par exemple, dans le cas typique de l'utilisation des TICE en classe, les élèves peuvent utiliser, au bout du compte, de façon très différente l'outil proposé par l'enseignant·e, et ce fait, ne pas apprendre ce que l'enseignant·e espérait qu'ils apprennent. Rabardel (1995) justifie cela avec le concept d'instrumentation et d'instrumentalisation. Il propose le concept de genèse instrumentale, processus d'appropriation d'un objet par le sujet pour en faire un instrument. Les instruments, au sens de Rabardel, mis en œuvre dans la situation d'enseignement représentent alors les matériels d'enseignement mais aussi les tâches qui seront réalisées par les élèves avec ces instruments.

Ainsi, l'étude et l'analyse de l'interaction élève-ressource(s) didactique(s) nécessite de mettre en œuvre des cadres théoriques qui peuvent être pluridisciplinaires car fortement corrélés à la nature de la ressource didactique utilisée par l'enseignant·e au sein de la situation, ressource, par essence, de nature très diverse.

### *Environnement d'apprentissage*

Je reprends, là, la proposition de Dumond et Istance (2010) qui considère comme *environnement d'apprentissage*, le contexte immédiat de toute situation d'apprentissage ; l'apprentissage s'entendant, maintenant, comme étant contextualisé (voir paragraphe 3.1). Ainsi, pour moi, l'environnement d'apprentissage prend en compte, non seulement les cadres physiques ou technologiques, les organisations topologiques de la classe, la vie sociale de la classe, mais aussi les influences sociales, culturelles, familiales, communautaires, institutionnelles, qui interagissent sur l'élève et/ou l'enseignant·e (Dumond et Istance, 2010), et vont, de ce fait, conditionner l'apprentissage de l'élève en classe. De par sa nature, cette entité constituera l'interface avec l'environnement de la situation d'enseignement-apprentissage.

### *Les interactions entre les différentes entités*

Une situation d'enseignement se présente ainsi comme un ensemble d'éléments : un élève avec son profil cognitif, affectif et conatif ; un·e enseignant·e ; d'autres

élèves ; un ou plusieurs savoirs à enseigner, objets de l'apprentissage ; des ressources didactiques, représentant les dispositifs mis en œuvre par l'enseignant·e, pour soutenir le processus d'enseignement-apprentissage ; un environnement inhérent à la situation d'enseignement-apprentissage. Ces différents éléments sont en *interaction*, et l'ensemble se comporte comme un système, au sens de de Rosnay (1975), pour qui un système est un ensemble d'éléments en interaction ; et de Morin (1990), qui définit le système comme une unité globale d'interrelations entre les éléments du système. Dans le cas d'une situation d'enseignement-apprentissage, les interactions entre les différents éléments sont de nature très variée, et sont porteuses de flux informationnels de nature diverse. Ainsi, par exemple, Dessus (2008) met en avant, dans l'activité d'enseignement, une activité relationnelle de coopération impliquant l'enseignant·e et un (ou des) élève(s), une activité de communication entre l'enseignant·e et un (ou des) élève(s). Ces interactions peuvent être unidirectionnelles ou bidirectionnelles. De même, Altet (2002), qui, dans son approche du processus d'enseignement-apprentissage retient un point de vue centré sur l'enseignant·e, met l'accent sur les interactions entre l'enseignant·e et les élèves, et les caractérise par leur nature diverse : pédagogique, didactique, psychologique, sociale. Il y a aussi les interactions entre l'élève et le dispositif didactique retenu par l'enseignant·e : suivant la nature de ce dispositif, la nature de l'interaction sera différente ; le flux informationnel porté par cette interaction ne peut alors être analysé de façon identique s'il s'agit d'un travail écrit à faire par l'élève ou s'il s'agit d'une tâche prescrite dans un environnement informatique.

De plus, un système évolue dans le temps : des événements se produisent et en modifient l'organisation ; un système se définit ainsi également *par sa relation au temps* (Jonnaert et Vander Borgh, 1999).

Dans notre approche de la situation d'enseignement-apprentissage, l'élève est au centre du système. Le point de vue adopté sur la situation d'enseignement se fait à l'instant  $t$  ; il s'agit donc d'un élève parmi les élèves de la classe. A l'instant  $t+1$ , le système se modifie. Il peut, par exemple, s'agir alors d'un autre élève de la classe. Ainsi, à chaque instant  $t$ , il est possible de faire correspondre un état du système constitué des différentes modalités des variables portées par les différentes interactions (voir pour cela, par exemple, Bru [2002] avec des travaux centrés sur l'activité).

#### 4.3.4. Développement : Mise en œuvre du modèle

Une vision globale du modèle de la situation d'enseignement-apprentissage est présenté Figure 4.3 :

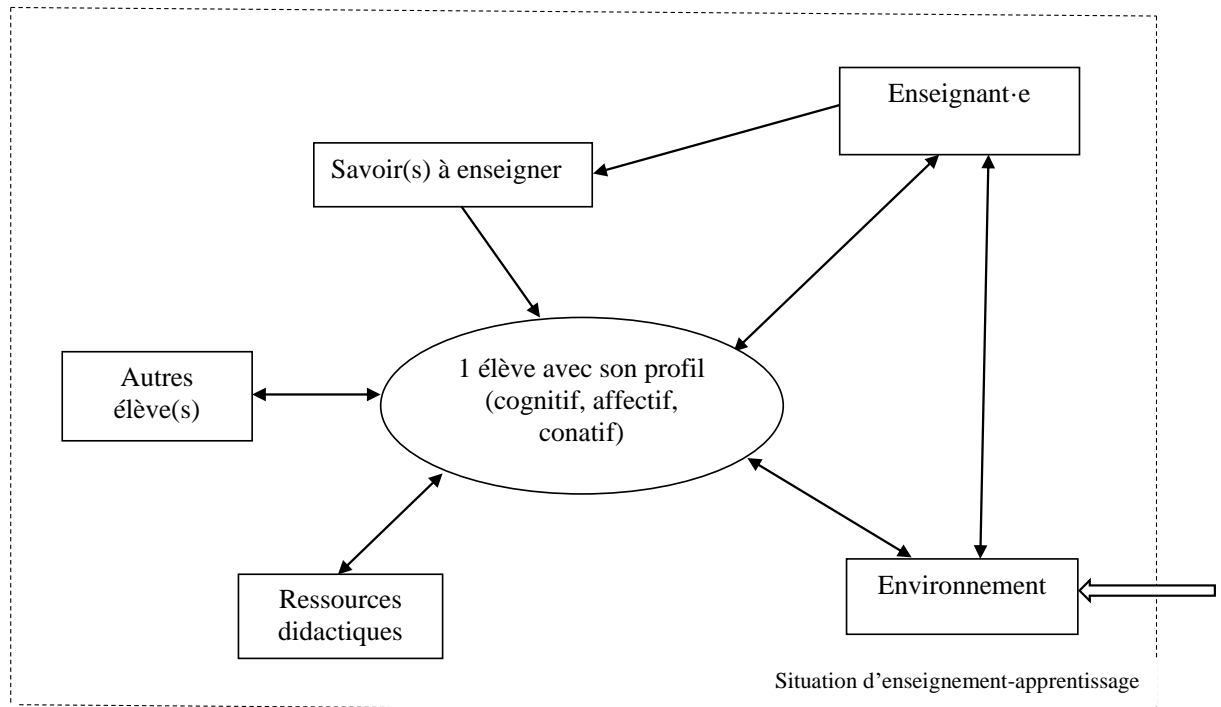


Figure 4.3 : Une vision globale du modèle de la situation d'enseignement-apprentissage.

Une prise en compte de la globalité du modèle correspond, par exemple, aux instants où un·e enseignant·e, en position frontale, fait cours (modèle transmissif), et, à un instant  $t$ , un élève sollicite son enseignant pour avoir un supplément d'explications. Il y a donc interaction, bien évidemment entre l'élève et l'enseignant·e.

L'élève est confronté au savoir enseigné (flux porté par l'interaction entre l'élève et le savoir à enseigner) de par l'action de l'enseignant·e sur le savoir à enseigner. L'élève est en interaction avec la ressource didactique retenue par l'enseignant·e pour mettre en œuvre sa séance d'enseignement (qui peut être le tableau, une vidéo-projection ...). L'élève, en classe, est également en interaction avec les autres élèves de la classe : il pose une question devant les autres élèves. Enfin, l'élève est en interaction avec l'environnement, interaction quasi-toujours présente.

On peut aussi s'appuyer sur cette forme du modèle si l'instant retenu correspond, par exemple, à une phase de débat organisé par l'enseignant·e. A l'instant  $t$ , le modèle fait le focus sur un élève (avec son profil) ; à l'instant  $t+1$ , c'est un autre élève qui prend la parole (et cet élève a, bien évidemment, un profil différent).

Avec le modèle pris dans sa globalité, on peut faire le constat que l'analyse du fonctionnement de la situation d'enseignement-apprentissage, sa compréhension, s'avèrent difficile à effectuer de par l'importance des interactions, leur diversité et leur variété.

En s'appuyant sur le postulat énoncé précédemment, à savoir prendre en compte la dynamique du système en retenant des phases où un certain nombre d'interactions sont inhibées de par la nature de l'activité qui est mise en œuvre, à ces instants, au sein de la situation d'enseignement-apprentissage, on peut rendre plus accessible l'analyse du fonctionnement par simplification du modèle sans pour cela dénaturer la situation d'enseignement-apprentissage étudiée, comme le montre l'exemple d'utilisation du modèle proposé en Figure 4.4. Il ne s'agit pas d'ignorer certaines interactions, mais de mettre en évidence celle(s) qui joue(nt) un rôle prépondérant dans l'instant retenu.

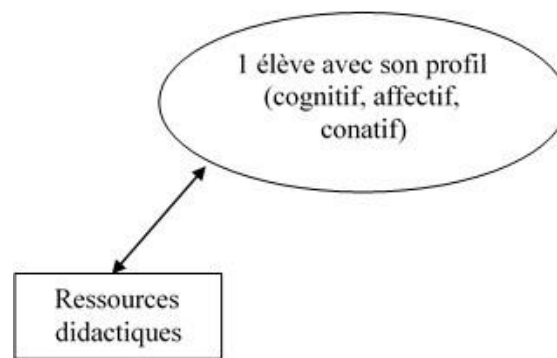


Figure 4.4 : Un instant  $t$  de la situation à faibles interactions.

Un instant  $t$  à faibles interactions correspond, par exemple, à un contrôle de connaissances avec un document-écrit. A cet instant, l'élève répond aux questions établies par l'enseignant·e, fait les exercices proposés. L'élève est alors dans une phase d'activation de connaissances, activation conditionnée par la nature de la tâche prescrite. L'élève travaille seul puisqu'il s'agit d'un contrôle de connaissances, sans intervention de l'enseignant·e. On peut également admettre

que, pour cette phase d'activité, l'interaction entre l'élève et l'environnement est quasi-nulle. Dans ce cas, l'analyse de l'activité de l'élève pourra s'appuyer sur une analyse de ses traces écrites, voire, si possible, un entretien individuel posttest (voir Hérold [2014a] pour un exemple de travaux).

On peut avoir la situation où l'élève travaille également seul, mais avec un outil informatique. Dans ce cas, la situation d'enseignement-apprentissage correspond à une utilisation du modèle correspondant au schéma de la Figure 4.5 :

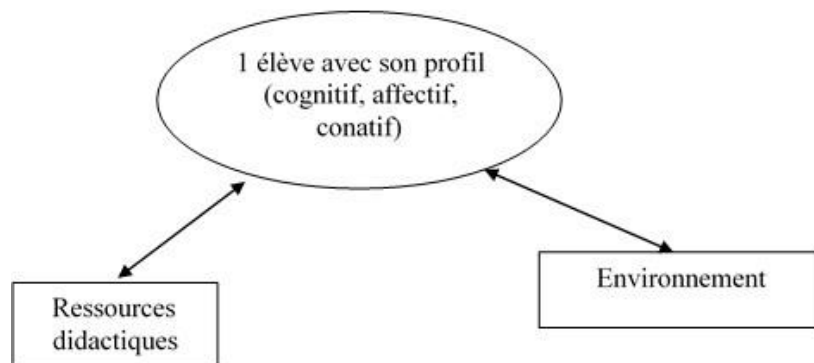


Figure 4.5 : Une activité d'un élève, seul et en autonomie, avec un outil informatique.

Si l'observation de la situation d'enseignement-apprentissage permet effectivement d'établir qu'il est possible de s'affranchir de l'interaction de l'enseignant-e (il s'abstient d'intervenir durant l'activité de l'élève) ainsi que de l'interaction avec les autres élèves (les élèves ne communiquent pas entre eux), alors il est possible de retenir cette mise en œuvre du modèle pour la situation proposée. Cette fois-ci, il est nécessaire de prendre en compte l'interaction avec l'entité *environnement* du système : d'une part, l'usage des outils informatiques n'est pas neutre socialement, et d'autre part, l'utilisation d'outils informatiques en classe induit sur l'organisation spatiale et matérielle de la classe ; par ailleurs, les outils informatiques sont aussi des supports véhiculant un apprentissage implicite : l'élève a donc construit des connaissances, en dehors de l'école, soit sur l'utilisation de l'outil informatique retenu par l'enseignant-e pour la mise en œuvre de sa séquence d'enseignement (parce que l'élève a déjà eu l'occasion de travailler avec cet outil à l'école ou en dehors de l'école), soit sur le dispositif informatique lui-même (connaissances des règles de mise en œuvre de l'environnement informatique imposées par la nature

du système d'exploitation de la machine utilisée). L'analyse de l'activité de l'élève pourra alors se faire à partir de l'analyse des traces numériques, des comportements de l'élève avec l'outil (par vidéo-souris, par exemple), reflète des stratégies retenus par le système cognitif de l'élève. Des entretiens individuels pourront compléter les observations indirectes de la situation analysée, ce qui permettra une triangulation des données recueillies (voir Hérold et Montuori [2018] pour un exemple de travaux). Par contre, à un autre instant de la séquence, l'élève peut demander une aide à son enseignant·e. Nous sommes donc toujours dans la même configuration mais avec une interaction supplémentaire qui est celle avec l'enseignant·e, comme le montre la Figure 4.6 :

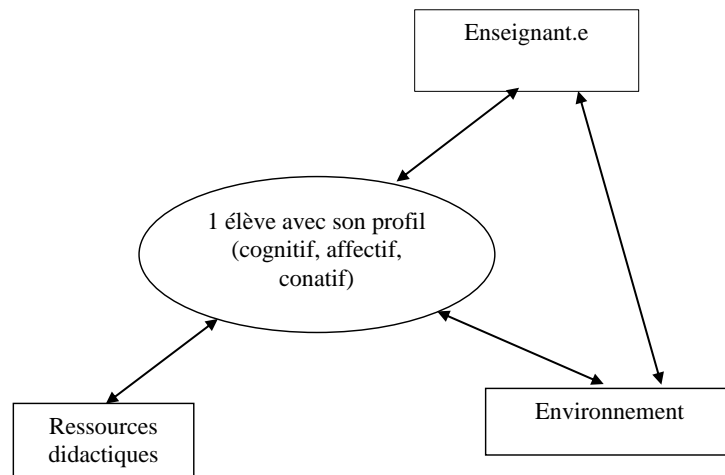


Figure 4.6 : Une activité d'un élève avec une intervention de l'enseignant·e.

En classe, l'élève ne travaille pas toujours seul. Bien évidemment, les travaux de groupe sont souvent mis en place par l'enseignant·e, comme, par exemple, dans la démarche de projet. Dans ce cas de situation, la mise en œuvre du modèle correspond à la proposition de la Figure 4.7 :

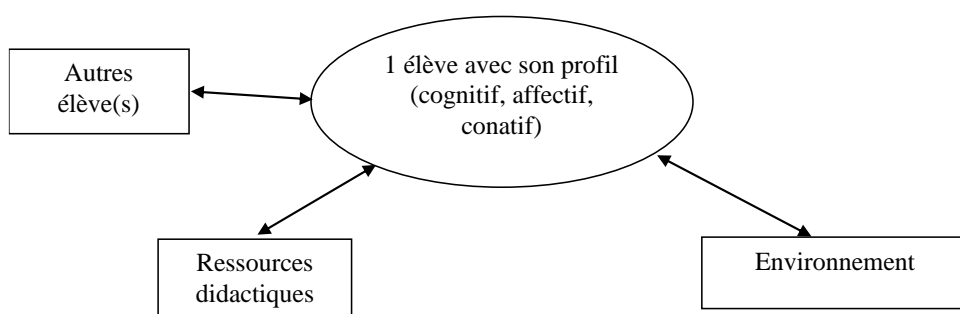


Figure 4.7 : Une activité d'un élève en travail de groupe, dans le cadre d'une démarche de projet.

Dans ce cas, l'instant  $t$  retenu correspond à l'activité d'un élève au sein d'un groupe d'élèves en démarche de projet. On retient un instant où l'enseignant·e ne fait pas d'intervention. Les élèves, dans leur activité, sont principalement en phase d'activation de connaissances : ils mobilisent des connaissances pour réaliser la tâche prescrite. Le recueil de données pour cette situation devra ainsi comporter un recueil par observation directe qui pourra être armée (enregistrement audio et/ou vidéo) si l'instant retenu correspond à des échanges verbaux entre l'élève et les autres élèves (voir Ndiaye, Hérold et Laisney [2016a, 2016b, 2017b] ou Laisney et Hérold [2019], pour des exemples de travaux).

Si l'instant  $t$  retenu comprend une intervention de l'enseignant·e, alors que les élèves sont toujours en démarche de projet, le modèle se modifie en intégrant une entité supplémentaire, celle de l'enseignant·e. L'étude n'est alors plus la même et porte également sur l'analyse des interactions enseignant·e/élèves (voir Bernard, Boulc'h et Arganini [2013] pour un exemple de travaux).

## 5. Outils d'analyse

Afin de pouvoir analyser l'activité des élèves par une approche cognitive, je me suis doté de deux outils d'analyse : un outil d'analyse de traces écrites (Hérold, 2014a), et un outil d'analyse de traces numériques (Hérold et Montuori, 2018).

## 5.1. Grille d'analyse de traces écrites

Dans la continuation de mes travaux de thèse, j'ai analysé les traces écrites de travaux d'élèves de 4<sup>o</sup> de Collège, suite à une évaluation sommative en mathématiques. L'évaluation portait sur le traitement arithmétique des nombres relatifs avec un nombre conséquent d'opérations à multiples opérandes et présences de parenthèses. L'évaluation avait été élaborée par l'enseignant·e qui s'était appuyé sur les propositions d'exercices du manuel scolaire des élèves.

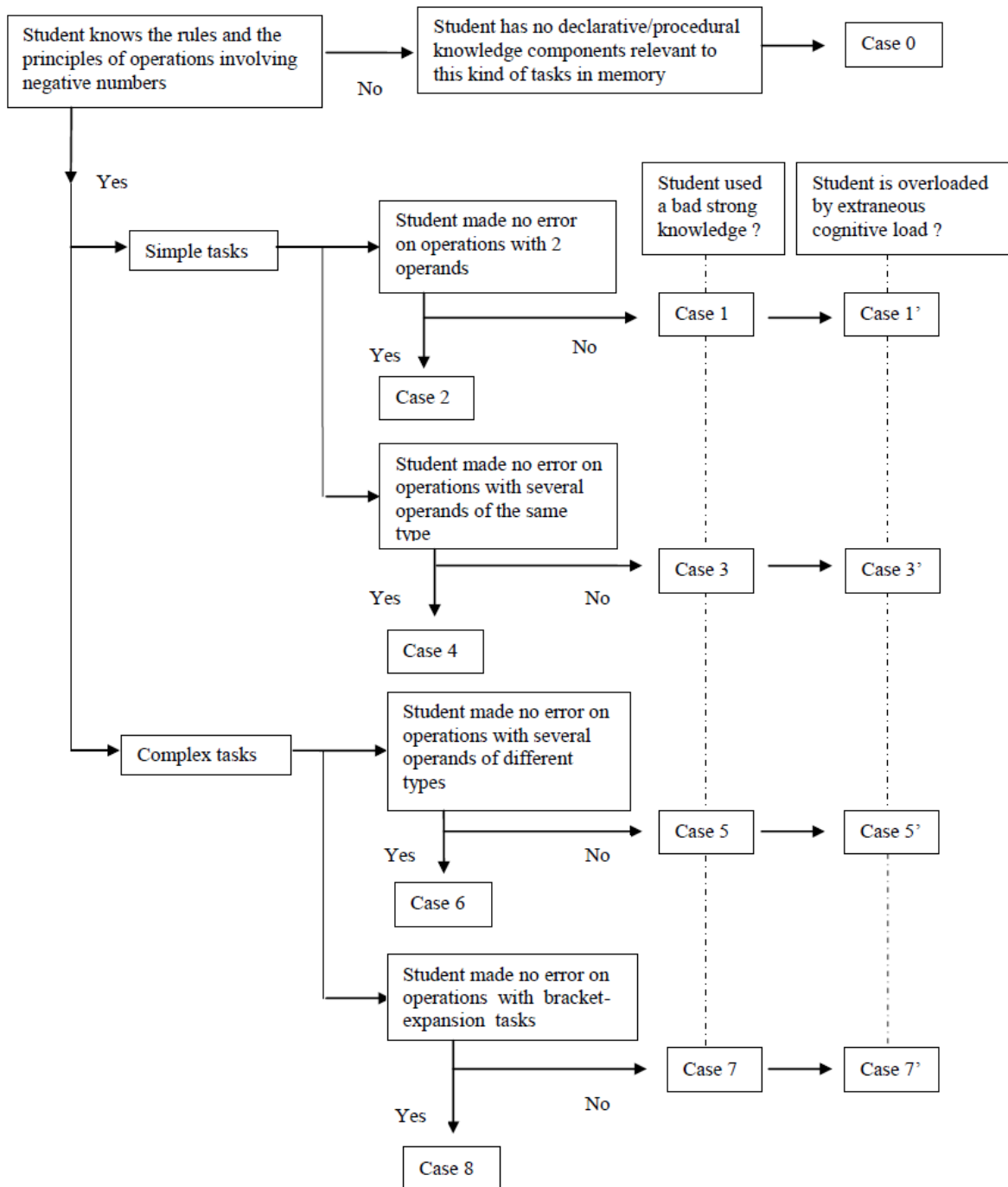
J'ai donc analysé les erreurs des élèves afin de déterminer quelles connaissances leur système cognitif avait mobilisées pour élaborer leurs réponses.

Ensuite, en m'appuyant sur de précédents travaux (Hérol, 2006, 2012a, 2012b), j'ai établi des « profils » d'apprenants à partir d'une catégorisation à trois niveaux :

- Si l'élève ne répond pas ou s'il répond en réinterprétant l'énoncé de la tâche prescrite en utilisant des connaissances « familières » alors l'élève est en difficulté et n'a pas construit les connaissances nécessaires au traitement de la tâche.
- Si l'élève répond en réinterprétant l'énoncé de la tâche prescrite en utilisant des connaissances « familières » uniquement pour des tâches impliquant plusieurs pas de résolution (« tâches complexes ») alors l'élève est en cours d'apprentissage et une stratégie d'enseignement adaptée par réduction de la charge cognitive intrinsèque (voir Mayer [2008] pour des éléments de mise en œuvre) peut être envisagée.
- Si l'élève répond en réinterprétant l'énoncé de la tâche prescrite en utilisant des connaissances « familières » seulement pour quelques tâches impliquant plusieurs pas de résolution (« tâches complexes ») alors l'élève a quasi-appris et nécessite juste un accompagnement sur l'interprétation des énoncés.

Pour l'analyse des traces écrites, j'ai élaboré une grille d'analyse (Figure 5.1), spécifique à ce type de tâches, mais qui doit pouvoir se généraliser (grille « générique ») pour ensuite pouvoir être spécifiée à d'autres types de tâches (par une analyse de la tâche prescrite). La mise en œuvre de la grille nécessite alors d'identifier les connaissances que le système cognitif devra mobiliser (analyse *a priori* de la tâche).





- Figure 5.1 : grille d'analyse de traces écrites (Hérol, 2014a).

Un exemple de mise en œuvre de la grille est donné par la figure 5.2 :

	Procedural knowledge component 1			Procedural knowledge component 2			Procedural knowledge component 3			Procedural knowledge component 4				
	0	1	1'	2	3	3'	4	5	5'	6	7	7'	7''	8
A		X	X											
B				X										
C					X	X								
D							X							
E					X	X								
G							X							
F								X	X					
H									X					
J													X	
K														
L														
M													X	
N													X	
O													X	

- Figure 5.2 : un exemple d'analyse pour un élève (Hérol, 2014a). Les zones grisées correspondent aux réponses correctes.

Par contre, un élève m'a particulièrement posé problème. Une de ses réponses est donnée en Figure 5.3 :

$$C = (+3) - (+7) - (-10)$$

$$3 \quad -7 \quad +10$$

$$+10 \quad +3 \quad -7$$

$$-4$$

$$+20$$

- Figure 5.3 : une réponse problématique

Lorsqu'on analyse la réponse de cet élève, on peut faire le constat qu'il connaît les règles de manipulation des entiers relatifs (« moins », « plus » donne « moins » ; « moins », « moins » donne « plus »), qu'il a retenu la procédure enseignée par son professeur de mathématiques (« on regroupe les termes de même signe »), qu'il

effectue bien la somme des opérands de même signe. Mais, arrivé au troisième pas de résolution, il met en œuvre une connaissance « familière », l'addition, qui l'amène à additionner les deux derniers termes, sans tenir compte du signe du deuxième opérande, pour produire sa réponse. Cet élève reproduira la même erreur à chaque exercice de ce type (exercice à trois pas de résolution). Pour expliquer sa réponse, je me suis appuyé sur le modèle proposé par Barrouillet qui prend en compte la durée de l'activité du sujet pour effectuer la tâche (Barrouillet, Bernardin et Camos, 2004). En effet, ces auteurs indiquent : « for a given period of time, the cognitive cost that a given task involves is a function of the time during which it captures attention » (p. 86). Ainsi, cet élève, suite à mon analyse de son activité cognitive, a un profil correspondant à un élève qui a « presque » appris et qui aurait nécessité quelques exercices supplémentaires pour consolider ses connaissances sur le traitement arithmétique des nombres entiers relatifs. Malheureusement pour lui (il a eu 04 à son évaluation), la forme des exercices proposés par son enseignant·e, par rapport à son profil de connaissances au moment de cette évaluation, l'a mis en échec. De ce fait, le résultat de son évaluation est très loin de refléter la réalité de son apprentissage.

## 5.2. Outil d'analyse de traces numériques (Héroid et Montuori, 2018)

Pour ce travail de recherche, j'ai été amené à analyser l'activité d'élèves de 2<sup>o</sup> Professionnelle Bureautique mettant en œuvre des tâches prescrites avec le progiciel Excel de Microsoft © (tableur). L'objectif de cette recherche était d'identifier et de mettre en évidence des indicateurs de comportements et de stratégies mises en œuvre par les élèves afin de pouvoir établir une catégorisation et en déduire leur niveau d'apprentissage.

Cette recherche fait suite au projet « DidaTab » porté par l'équipe STEF de l'ENS Cachan, projet qui avait pour objectif d'étudier les usages et les compétences des élèves avec le tableur. Dans la synthèse des résultats du projet « DidaTab », il est mis en avant le fait que, pour une grande majorité des élèves, leur maîtrise du tableur est embryonnaire, que la plupart des élèves butent sur les aspects spécifiques du tableur et qu'ils privilégient des formes de « bricolage », de « bidouille » dans leur utilisation du progiciel.

En préliminaire de cette analyse de l'activité des élèves, je me suis appuyé sur le résultat proposé par Amadiou et Tricot (2006), à savoir qu'un élève qui réalise un exercice avec un progiciel est amené à devoir traiter une double tâche : la tâche à réaliser et la tâche d'utilisation du progiciel. De ce fait, si l'une ou l'autre de ces tâches n'est pas complètement automatisée alors le contrôle attentionnel imposé pour la réalisation de ces tâches requiert des ressources qui peuvent être élevées pour un élève donné. Aussi, si l'élève échoue à un exercice tableur, cela peut être dû au fait que son interprétation de la tâche prescrite ne lui permet pas d'activer les connaissances adéquates, ou bien au fait que l'élève, à cet instant, ne dispose pas en mémoire des connaissances relatives à la mise en œuvre des fonctionnalités du progiciel (connaissances « tableur »). Pour répondre à cela, j'ai donc effectué une analyse de l'activité de l'élève réalisant des tâches prescrites en classe avec le tableur pour essayer de comprendre son fonctionnement.

Les données recueillies sur lesquelles j'ai travaillé comportaient des enregistrements vidéo des traces numériques de l'écran (enregistrements faits à l'aide du logiciel Camtasia Studio © de TechSmith), des observations indirectes et des entretiens-élèves posttest.

Le test, élaboré par des didacticiens du projet « DidaTab », comportait onze questions (1 question par feuille) qui couvraient l'ensemble des savoirs enseignés en 2<sup>o</sup> Professionnelle. La durée du test a été, en moyenne, de 40 mn.

J'ai analysé l'enregistrement de 12 élèves. La retranscription de ces enregistrements m'a permis d'identifier les principaux « épisodes » de leur activité et mettre en évidence les indicateurs retenus (élaboration de représentation mentale, séquence d'actions relatives à une « impasse », activation d'une connaissance antérieure inadéquate, stratégie essai-erreur, exploration, enfermement dans la recherche d'information).

Un exemple de retranscription est donné en Figure 5.4 :

Step	Start Time	Action/Event	Comment	Duration
		No mouse move	Reconstruction of her mental representation of the problem-situation.	19"
9	5' 36"	Goes back to the "Format" thumbnail. The window "Format" pops up. She hesitates again and then closes it.		8"
10	5' 44"	Deletes "0,666" and writes the value again.		12"
11	5' 56"	Clicks on "Format" thumbnail again, looks at the available types, chooses another type and confirms.  No mouse move.	Reconstruction of her mental representation of the problem-situation.	2"  18"
12	6' 16"	Starts the same procedure again: "Format", "Fraction"...	All in all, for this exercise, the student has clicked on "Format" 8 times.	1' 46"
13	8' 02"	Mouse moves on the screen.	Ends up getting lost and abandoning it.	22"

- Figure 5.4 : un exemple de retranscription

A partir de l'analyse de ces retranscriptions, j'ai pu alors établir des éléments de diagnostic. Ainsi, à partir de la retranscription donnée en exemple, cela donne :

Si « impasse »

Si « abandon » de la tâche

Alors élève en difficulté vis-à-vis de la tâche prescrite

Dans ce cas présent, la difficulté rencontrée par l'élève est principalement liée au fait que l'élève devait faire le lien entre la valeur numérique « 0,666 » et «  $\frac{2}{3}$  » et comprendre le format proposé par le progiciel, l'aide contextuelle proposée par Excel pour le format de cellule, option « Fraction » étant loin d'être explicite pour un élève de 2<sup>o</sup> Professionnelle (Gunther, Hérold et Zarouf, 2020).

L'ensemble des analyses m'a permis d'établir des tableaux de diagnostic à partir des indices utilisés (voir Table 2 et Table 3 en Partie 4).

## Synthèse

L'analyse du fonctionnement de la situation d'enseignement-apprentissage en classe couvre un champ d'observables de natures très diverses. Les interactions, suivant l'instant d'observation retenu, peuvent être nombreuses et sont porteuses, dans certains cas, de flux de nature variée dont l'analyse peut nécessiter de

mobiliser des registres théoriques, voire méthodologiques, spécifiques. Des approches trop disciplinaires risquent d'entraîner un réductionnisme épistémologique qui va amener le travail de recherche à répondre à des questions qui n'apportent pas suffisamment d'explications sur la situation analysée et sa complexité. Une première réponse à ce problème peut être l'approche pluridisciplinaire, dans laquelle chaque discipline porte son regard sur la situation (Develay, 2004). Mais, souvent menées de manière indépendante, les approches pluridisciplinaires risquent d'occasionner des mélanges de genres qui appauvrissent fortement les possibles en termes de résultats de recherche (Rey, 2014). Pour aller au-delà de cette simple juxtaposition d'approches disciplinaires, certains travaux de recherche s'appuient sur une *analyse plurielle* de la situation d'enseignement-apprentissage. Cette analyse plurielle confronte des cadres théoriques différents (didactique, psychologie, sociologie, psychopédagogie, etc.), pour analyser des situations d'enseignement-apprentissage en classe (Altet, 2002, 2009; Rogalski et Robert, 2015), cette analyse se faisant par plusieurs chercheurs en sciences de l'éducation issus de disciplines différentes afin, en reprenant les propos de Altet (2002), de s'affranchir de l'impossibilité constatée sur le terrain d'une approche multi référentielle effectuée par un seul chercheur (Ardoino, 1990).

Aussi, une voie prometteuse semble être l'approche interdisciplinaire, à plusieurs chercheurs. En orientant les travaux de recherche vers ce type d'approche, on peut espérer pouvoir éclairer cet objet commun, la situation d'enseignement-apprentissage en classe, qui ne peut être complètement expliquée et comprise par une approche uniquement disciplinaire (Rey, 2014).

En outre, j'ai fait l'hypothèse qu'une étude s'inspirant de l'approche systémique de la situation d'enseignement-apprentissage peut permettre la construction d'un modèle suffisamment explicite, un modèle pour comprendre cette situation. Si, par le passé, il est vrai que la démarche systémique avait déjà été mise en œuvre en éducation, bien souvent, il s'agissait d'actions de formation (Berbaum, 1982), correspondant de ce fait à des systèmes aux frontières qui allaient bien au-delà de la situation d'enseignement-apprentissage que j'ai retenue dans mon approche. Aussi, de mon point de vue, en délimitant un système trop vaste, on multiplie les composantes, on multiplie les interactions et leur diversité, ce qui rend l'analyse comportementale du système très difficile à appréhender, et ce qui peut expliquer le peu d'échos de ces approches dans le champ de l'éducation. En délimitant le

systeme à la situation d'enseignement-apprentissage, on réduit le système aux observables possibles. On peut alors favoriser les études explicatives et surtout compréhensives afin de permettre d'identifier ce qui fonctionne du point de vue de l'apprentissage des élèves et de comprendre pourquoi cela fonctionne et à quelles conditions cela fonctionne.

## Partie 3 : Apprentissage de concepts en science et en technologie

C'est la direction d'un mémoire de Master MEEF<sup>18</sup>, parcours Professeur des Ecoles, lors de mon intégration à l'ESPE<sup>19</sup> en 2012, qui m'a amené à m'intéresser plus particulièrement au problème de l'apprentissage de *concepts* en sciences et/ou en technologie. En effet, dans son mémoire, l'étudiante abordait les difficultés de mise en œuvre du processus d'enseignement-apprentissage dans le cadre de la thématique des changements d'états de l'eau avec des élèves d'Ecole Primaire. Sa démarche a été de s'appuyer sur les *conceptions* initiales des élèves et de mettre en œuvre un dispositif pédagogique élaboré à partir des principes énoncés par la théorie du *changement conceptuel*, version issue des travaux de Vosniadou (1992) avec son approche « framework theory ».

Dès lors, j'ai mené une réflexion sur ce problème de l'apprentissage des concepts, réflexion qui a imprégné une grande partie de mes travaux de recherche, depuis et encore aujourd'hui.

Par ailleurs, après cette direction de mémoire de Master, un travail de thèse a été mis en œuvre au laboratoire, thèse dont l'objet de recherche était l'apprentissage du concept d'évolution du vivant et les difficultés rencontrées par les élèves de Collège pour appréhender un tel concept (et, bien évidemment, les difficultés des enseignants pour l'enseigner). J'ai été alors amené à collaborer avec la doctorante et sa codirectrice de thèse sur cette problématique de l'apprentissage de concepts scientifiques, et, notamment, sur la question de savoir comment prendre en compte les conceptions initiales des élèves pour un apprentissage plus efficace des concepts par les élèves. Pour cela, elles avaient retenu le *modèle précurseur* tel qu'il est présenté par Lemeignan et Weil-Barais (1993). Ce travail de collaboration m'a donc conduit à analyser ce modèle, utilisé en didactique des sciences. C'est pourquoi j'ai choisi d'en faire un sous-paragraphe spécifique.

---

<sup>18</sup> Métiers de l'Enseignement, de l'Education et de la Formation

<sup>19</sup> Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education



Aujourd'hui, je poursuis ce travail de recherche sur l'enseignement-apprentissage de concepts en sciences et/ou en technologie dans le cadre d'une codirection de thèse. Le postulat établi, dans le cadre de ce travail de thèse, est que l'apprentissage d'un concept amène le système cognitif de l'apprenant à élaborer en mémoire un réseau de connaissances, que l'on a qualifié de « complexe », car ce réseau est construit à partir de connaissances qui peuvent être nombreuses et « situées » à divers endroits en mémoire, ce qui implique au système cognitif, de ce fait, pour l'apprentissage du concept, de devoir établir des « liens » entre les différents îlots de connaissances correspondant au concept.

Ici, je vais alors présenter mon cheminement pour aborder ce problème de l'enseignement-apprentissage des concepts en sciences et/ou technologie, en présentant tout d'abord comment la didactique des sciences, notamment, depuis plusieurs années maintenant, aborde le problème. Le point de vue, qui est le mien aujourd'hui, résulte de cette analyse de travaux en didactique des sciences et de mon cadre théorique sur le fonctionnement de la mémoire, tel que je l'ai présenté précédemment.

## **6. Eléments théoriques discutés**

### **6.1. Qu'est-ce qu'un concept ?**

Pour Weil-Barais (1999), deux conceptions du concept sont possibles. Une conception *empiriste*, pour laquelle les connaissances sont des acquisitions de l'expérience : les concepts sont caractérisés par des éléments ou « attributs » invariants. Former un concept revient alors à identifier ces invariants et les associer à un mot, « l'étiquette » du concept. Pour certains auteurs, cette conception est inadaptée si on s'intéresse à la formation de concepts scientifiques (Gréco, 1967), et font alors référence à une conception *rationaliste* (la connaissance vient de la raison) du concept pour laquelle le « concept est une entité mentale élaborée en vue de pouvoir expliquer et agir » (Weil-Barais, 1999, p. 456).

Lemeignan et Weil-Barais (1993) définissent ainsi ces deux conceptions du concept (voir page 53 et pages suivantes) :

- les concepts catégoriels, les concepts qui ont des points communs et peuvent donc être décrits par un ensemble d'attributs ; ils sont qualifiés de catégoriels car ils se réfèrent à des catégories d'objets définis par des propriétés intrinsèques et peuvent être représentés de manière hiérarchique car il est toujours possible de définir des sous-catégories. Le processus de formation des concepts catégoriels débute par une identification des invariants qui caractérisent les attributs définissant le concept (qu'il s'agisse de propriétés ou de fonctions) et se poursuit par une mise en association à une étiquette verbale afin de pouvoir l'utiliser pour désigner les objets caractérisables à l'aide du concept.
- les concepts formels, ou concepts issus de la pensée, qui sont le résultat de l'abstraction d'une idée (et non l'abstraction d'un objet comme pour les concepts catégoriels); ils correspondent à des ensembles de propositions et de relations postulées comme invariantes, mais qui sont le fruit de la pensée. Le processus de formation des concepts formels correspond à une construction d'un modèle permettant de sortir du contexte de son élaboration ; cette construction répond à la nécessité de trouver une démarche globale pour une grande variété de problèmes. La construction des concepts formels repose sur la démarche hypothétique.

On retrouve également cette proposition de définition des concepts dans Chi (2008) qui indique que, classiquement, la littérature relative à ce domaine fait la distinction entre un concept « isolé » (« static concept ») et un concept catégoriel.

Barth (1987), en référence notamment aux travaux de Bruner, sur la façon dont les individus cherchent à organiser le monde qui les entoure, définit le concept « comme une relation entre le *mot*, ce à quoi le mot se réfère, c'est-à-dire les *situations réelles* dans lesquelles ce mot est utilisé, et les caractéristiques ou les *attributs* qui permettent d'identifier ce à quoi on se réfère » (p. 34). La conceptualisation est alors un processus proche de la catégorisation et relève d'une conception empiriste de la notion de concept.

Pour d'autres auteurs, le concept est défini essentiellement comme étant « une représentation en mémoire d'une catégorie » (définition donnée par Bastien [1997], p. 22), conception reprise par un certain nombre d'auteurs (Anderson, 2000 ; Mayer, 2008).

Gelaes et Thibaut (2004) reprennent la proposition de Medin et Coley (1998) qui définissent un concept « comme la représentation mentale d'une catégorie dont les multiples fonctions sont catégoriser, comprendre le monde, tirer des inférences, expliquer et raisonner, apprendre, communiquer et combiner » (p. 597).

Musial, Pradère et Tricot (2012), à partir de la proposition de Barth (1987), définissent le concept comme étant une connaissance « déclarative » à caractère général, c'est-à-dire une connaissance pouvant être utilisée dans de nombreuses situations, la spécificité « déclarative » de la connaissance faisant référence aux propositions d'Anderson (2000).

Bastien (1997) fait remarquer que le caractère universel des concepts catégoriels a été fortement remis en cause par un certain nombre de travaux (cf. Bastien (1997), p. 22 pour une revue de détails), et que, de ce fait, le rôle de l'expérience individuelle dans la formation des catégories est primordial (voir également Richard (1998, 2005) pour d'autres développements).

Par exemple, les travaux de Barsalou montrent que non seulement les catégories peuvent varier d'un sujet à l'autre suivant l'expérience du sujet, mais peuvent également varier pour un même sujet suivant le contexte de la situation (Barsalou, 1982). Il fait également le constat que le contexte situationnel est absent des théories sur les concepts, alors que « concepts are not abstracted out of situations but instead are situated » (Yeh et Barsalou, 2006). Ainsi, pour Barsalou, «Instead of viewing long-term memory as being divided into invariant concepts, it may make more sense to view long-term memory as containing large amounts of highly interrelated and "continuous" knowledge that is used to construct concepts in working memory. Instead of viewing concepts as invariant structures that are retrieved intact from long-term memory when needed, it may make more sense to view concepts as temporary constructs in working memory that are tailored to current situations. According to this view, long-term memory contains the knowledge from which concepts in working memory are constructed rather than containing invariant concepts that are used to represent categories across all possible situations» (Barsalou, 1987, p. 120).

## 6.2. L'apprentissage de concepts en didactique des sciences

Traditionnellement, au niveau de la recherche, on considère deux types d'approches pour l'apprentissage des concepts : le changement conceptuel et les approches basées sur une activité de compréhension du concept. Un grand pan de la littérature, tant française qu'anglo-saxonne, traitant du changement conceptuel s'appuie sur la notion de *conception*. Nous commencerons alors ce paragraphe par une présentation de cette notion telle qu'elle est appréhendée en didactique des sciences.

### 6.2.1. Le changement conceptuel

#### *Notion de conception en didactique des sciences*

Giordan (1998) indique qu'il est difficile de définir avec précision cette notion de *conception*. En effet, cela peut être un « modèle explicatif » élaboré par le sujet pour comprendre le monde qui l'entoure, cela peut être simplement une image d'une quelconque réalité. Comme le font remarquer Johsua et Dupin (1993), on trouve, dans la littérature, pour définir cette notion de conception, des termes comme « modèle implicite », « cadre de référence », etc. En fait, il semblerait que ce terme de conception ait été retenu afin de ne pas utiliser la terminologie de *représentation* qui, pour certains, comme le soulignent Lemeignan et Weil-Barais (1993), est relativement ambigu (représentation mentale ? représentation sociale ? représentation graphique réalisée par un sujet pour matérialisée une idée ?) car fortement dépendante de la discipline scientifique à laquelle le chercheur se rattache. Ces auteurs définissent alors la conception comme étant un « modèle explicatif », utilisé par le sujet, pour réaliser, mettre en œuvre une production (activité, raisonnement). Cette proposition est proche de celle de de Vecchi (1990), pour qui, ce « modèle explicatif » élaboré par un élève, est relativement simple, en relation avec son vécu, cohérent pour l'élève (même si le modèle est faux). De part ces caractéristiques, une conception est donc « tenace », difficile à remettre en cause.

C'est à l'aide de cette notion de conception qu'un élève va se construire une compréhension du monde qui l'entoure ; conception élaborée à partir de ses connaissances, à un instant donné, et qui correspond à un « modèle explicatif »

permettant à l'élève de s'expliquer tel ou tel phénomène physique. Et très souvent, bien évidemment, ce « modèle explicatif » est très éloigné du modèle scientifique relatif au savoir savant qui va être enseigné en classe. C'est pourquoi, il est souvent qualifié de « naïf », de « faux ».

Et, comme nous l'avons dit précédemment, une conception, élaborée par un élève, est difficile à remettre en cause, d'où les grandes difficultés rencontrées par les élèves dans l'apprentissage des concepts en sciences et/ou en technologie, et, par voie de fait, l'abondante littérature scientifique traitant de ces difficultés. Une des réponses proposées par la recherche pour surmonter ces difficultés, et fort présente en didactique des sciences, est le *changement conceptuel*.

### *Le changement conceptuel*

C'est Kuhn (1962) qui propose la notion de changement conceptuel. Elle a été introduite dans le domaine de l'éducation par Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982). Le changement conceptuel correspond alors à un processus d'apprentissage qui permet à l'apprenant de changer ses conceptions initiales, qui, comme il a été mentionné précédemment, être qualifiées de "naïves" ou de "fausses, en conceptions plus scientifiques.

Pour Posner et al. (1982) "there are four fundamental conditions that need to be fulfilled before conceptual change can happen: (1) there must be dissatisfaction with existing conceptions, (2) there must be a new conception that is intelligible, (3) the new conception must appear to be plausible, and (4) the new conception should suggest the possibility of a fruitful program" (Vosniadou, 2007, p. 9). L'approche de Posner et al. (1982) s'appuie sur le conflit cognitif qui doit se produire chez l'apprenant.

Cette approche du changement conceptuel a été fortement critiquée sur différents aspects (changement conceptuel vu comme une activité sociale, rôle de la motivation, existence de différents types de changement conceptuel, nature et rôle des préconceptions dans l'apprentissage des concepts) et amène d'autres interprétations du changement conceptuel (Vosniadou, 2007). Cette auteure propose l'approche « framework theory » dans laquelle, contrairement à l'approche classique "the theories that need to be changed are not students' misconceptions, but the naïve, intuitive, domain-specific theories constructed on the basis of everyday experience under the influence of lay culture." (p.10). Ainsi, Vosniadou

considère les conceptions naïves des élèves comme des modèles mentaux, présents en mémoire de l'élève, élaborés à partir de « théories » issues de l'expérience du sujet, de ses interprétations du monde qui l'entoure, de ses croyances. L'enseignant·e, pour aider l'élève à apprendre un concept, doit donc « modifier » ces « théories ». Pour cela, Vosniadou propose de soumettre des problèmes aux élèves et, avec le matériel associé, leur faire exprimer leurs modèles mentaux, les inviter à débattre-discuter pour qu'ils prennent conscience de leurs modèles mentaux. Ensuite, l'enseignant·e propose de comparer les propositions des élèves avec celles d'un expert scientifique. Pour finaliser l'apprentissage du concept, l'enseignant·e prescrit alors des tâches aux élèves qui permettront aux élèves, à travers l'activité produite pour réaliser ces tâches, de réorganiser leurs connaissances en mémoire en « théories » plus scientifiques (Vosniadou, Vamvakoussi et Skopeliti, 2008). Ces auteurs mettent donc l'accent sur l'interaction sociale, entre pairs ou entre enseignant·e et élèves afin d'inciter les élèves à réellement entreprendre une modification de leur « théorie, et sur la nécessité de varier le matériel d'apprentissage afin de permettre aux élèves de pouvoir élaborer en mémoire la « théorie scientifique » en manipulant, testant des hypothèses.

L'approche de diSessa (1993, 2008) est différente. Il explique la difficulté à apprendre des concepts scientifiques par le fait qu'en mémoire du sujet existent des structures de connaissances composés d'éléments simples, les « primitives phénomélogiques » ou « p-prims » qui sont éparpillés en mémoire. L'apprentissage d'un concept scientifique pour diSessa implique donc une réorganisation de ces « p-prisms » afin de les mettre en accord avec le concept scientifique. Cette réorganisation implique d'établir des relations entre les différentes structures de connaissances en mémoire. Etablir ces relations nécessitent du temps, c'est pourquoi, pour diSessa (1993), les conceptions initiales des élèves ont tendance à persister au cours de leurs apprentissages. Ainsi, dans cette perspective, comme le font remarquer Schneider et Hardy (2013), l'élaboration en mémoire d'une structure conceptuelle de connaissances est influencée, d'une part, par la fragmentation des connaissances, relatives au concept, en mémoire de l'apprenant au moment où il doit apprendre le concept, et, d'autre part, par la nécessité de devoir intégrer des connaissances en une structure plus large, afin d'élaborer une structure de connaissances qui permettra à l'apprenant d'avoir un point de vue cohérent sur

le concept à apprendre. Dans cette perspective, pour enseigner un concept, l'enseignant·e doit mettre l'accent sur les aspects qualitatifs des concepts (relation de cause à effet, par exemple). Pour aider les élèves à structurer leurs « p-prims », diSessa (2008) incite les enseignants à, tout d'abord, identifier les « p-prims » des élèves à travers leurs interprétations de différentes situations où s'exprime le concept à enseigner. Ensuite, l'enseignant·e amène les élèves à structurer autrement les « p-prims » des élèves et doit veiller à renforcer cet apprentissage en proposant aux élèves des contextes applicatifs différents du même concept.

Dans une synthèse qui date maintenant un peu, mais qui prend en compte les deux points de vue présentés ci-dessus, celui de Vosniadou et celui de diSessa, Scott, Asoto et Driver (1991) passent en revue différentes stratégies pédagogiques basées sur l'apprentissage vu comme un changement conceptuel en les regroupant en deux groupes : les stratégies pédagogiques basées sur le conflit cognitif et sa résolution, les stratégies pédagogiques fondées sur les idées initiales des élèves. L'efficacité des stratégies pédagogiques basées sur le conflit cognitif dépend beaucoup de l'engagement de l'élève à admettre le conflit et surtout à le résoudre. Pour les stratégies pédagogiques fondées sur les idées initiales des élèves, les élèves adoptent une nouvelle conception s'ils peuvent la comprendre. Dans les deux cas, pour l'ensemble des stratégies, les auteurs font remarquer que l'un des points communs à ces différentes stratégies est la nécessité d'une réelle implication des élèves dans leur apprentissage. Ils font également remarquer, en conclusion de l'article, que pour qu'il y ait changement, l'enseignant·e doit prendre en compte le fait que l'élève sera amené, au cours de son apprentissage, à devoir mobiliser différentes connaissances.

Ainsi, de façon générale, pour appréhender le processus de changement conceptuel, Lemeignan et Weil-Barais (1993) résume la problématique du changement conceptuel en didactique des sciences en distinguant trois types d'approches. Il y a tout d'abord l'*éradication* où on considère les conceptions initiales des élèves comme fausses ; les élèves doivent donc les abandonner pour en adopter de nouvelles dont la référence est le savoir savant enseigné. Cette approche s'apparente à ce qu'écrit Mayer (2008) qui la décrit comme étant « an abrupt replacing of one model with another » (p. 210). Ensuite, on a la *confrontation* qui correspond à une prise de conscience par l'élève de la limite de validité de ses conceptions initiales en le confrontant à des situations où, effectivement, elles

s'avèrent inefficaces. Enfin, la troisième façon d'aborder le processus de changement conceptuel correspond à une approche développementale de l'apprentissage, désignée par *évolution*, dans laquelle le changement conceptuel est envisagé en termes d'évolution du modèle initial élaboré par l'élève, approche plus ou moins proche de l'approche décrite par Mayer (2008) qui indique que « in some cases, conceptual change may involve repairing an incorrect model in changing some its features » (p. 210). C'est l'approche « mental model transformation » de Chi (2008) qui s'apparente à la « bridging strategy » proposée, notamment, par Brown (1992), à laquelle, bien évidemment, on peut rattacher les propositions de Vosniadou.

Toujours en didactique des sciences, Giordan et de Vecchi (1987) proposent un modèle de changement conceptuel, désigné par *modèle allostérique*, en référence aux protéines allostériques qui changent de configuration selon leur environnement. Le modèle met ainsi en évidence le fait que l'apprentissage d'un concept résulte d'une transformation de conceptions. Apprendre, pour ce modèle, c'est transformer ses conceptions (Giordan, 1998). L'élève « ne part pas de zéro » mais dispose dans sa mémoire de conceptions plus ou moins justes du savoir conceptuel enseigné. A partir de son activité, l'élève va être amené à produire du sens en fonction des situations rencontrées et, par voie de fait, à modifier ses conceptions initiales. L'élève apprend alors par adaptations successives en étant confronté aux différentes situations d'apprentissage mises en place par son enseignant·e. Dans sa mise en œuvre didactique, le modèle allostérique reprend l'idée du conflit cognitif, puisque pour Giordan (1995), l'enseignant·e doit créer des « dissonances » qui vont perturber le système cognitif de l'élève et l'amener à changer de conceptions. Et, pour cet auteur, ce sont les choix didactiques de l'enseignant·e qui, par leur pertinence, vont permettre à l'élève de prendre du recul par rapport à ses conceptions initiales en le confrontant à des situations susceptibles de le perturber dans ses conceptions, en l'incitant à reformuler ses conceptions par une mise en confiance, en lui donnant l'occasion de réfléchir sur ses conceptions, et, enfin, à véritablement les intégrer dans son système de pensée, par exemple, via des activités d'argumentation, qui vont permettre à l'élève de lui donner la possibilité de mobiliser les conceptions élaborées.



### 6.2.2. Le modèle précurseur

En didactique des sciences, Lemeignan et Weil-Barais (1993) ont proposé le modèle précurseur comme outil pour élaborer des dispositifs didactiques susceptibles de véritablement favoriser le processus de changement conceptuel chez les élèves. L'idée retenue est la prise en compte des représentations/conceptions naïves des élèves, dont l'identification servira à élaborer un modèle, qualifiée de « précurseur » car devant amener l'élève vers d'autres modèles, voire le modèle savant. Il s'agit donc de construire un modèle à l'aide d'éléments qui soient compréhensibles par les élèves tout en demeurant compatible avec le modèle savant (Boilevin, Delserieys, Jegou, Ravanis et Jameau, 2016), et qui permet d'accompagner les élèves dans leur changement conceptuel. A partir de ce modèle précurseur, il est alors possible de construire des propositions didactiques qui prennent ainsi en compte les représentations/conceptions des élèves et d'analyser, par la suite, l'évolution, le changement de ces représentations/conceptions.

J'ai été amené à échanger sur la construction du cadre théorique, même si, par la suite, je n'ai pas eu l'occasion de participer au dispositif de recueil de données, d'un travail de recherche mené, notamment, par deux collègues du laboratoire, sur l'apprentissage de la formation des ombres avec des élèves d'école maternelle (Delserieys, Jégou, Boilevin et Ravanis, 2018).

L'intérêt de cette approche est la prise en compte des connaissances antérieures des élèves et la mise en place d'un dispositif didactique qui s'appuie sur ces connaissances. Néanmoins, de mon point de vue, une limite importante à cette approche est le fait de considérer que le dispositif didactique mis en place, en droite filiation aux propositions de Piaget de de Vygotski, va amener à la même structuration des connaissances chez les élèves (la construction d'un modèle explicatif, proche du modèle savant), par déstabilisation des conceptions naturelles des élèves, et permettre à l'élève d'élaborer un modèle de pensée logico-mathématique, ce qui, dans les faits, s'avère loin d'être le cas (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2005). Mon approche est quelque peu différente : comprendre ce que fait l'élève, et non pas seulement identifier ce que fait l'élève, et pourquoi il le fait ainsi. De plus, certains résultats de travaux de neurosciences vont plus dans le sens d'un processus de type inhibition-mémorisation pour le processus d'apprentissage plutôt que l'existence d'un processus de déstabilisation (Masson et Brault-Foissy, 2012). De ce fait, l'apprentissage peut être plus efficace s'il s'appuie sur une aide à

construire des connaissances fonctionnelles, ce qui peut contribuer au processus d'inhibition, plutôt que de tenter de déstabiliser des conceptions erronées

Par contre, j'adhère pleinement à l'idée du principe du dispositif didactique élaboré à partir du modèle précurseur : il a permis, dans cette étude, la mise en œuvre d'un apprentissage « guidé », aspect qui me semble fondamental pour une meilleure efficacité du processus d'enseignement-apprentissage.

### 6.2.3. Activité de compréhension du concept

Pour un exemple d'approche basée sur l'activité de compréhension, il y a bien évidemment le modèle pédagogique de Barth (1987). Essentiellement inspirée des travaux de Bruner pour qui, construire des concepts en mémoire correspond à la façon dont un sujet cherche à comprendre le monde qui l'entoure, l'approche de Barth s'appuie sur le fait de considérer la compréhension comme un processus de conceptualisation, c'est-à-dire un processus d'élaboration et d'utilisation de concepts.

Pour aider les élèves à élaborer un concept, il est nécessaire, dans un premier temps, que l'enseignant·e analyse le savoir : identification des « attributs », détermination du niveau de complexité du concept, recensement des activités qui permettront aux élèves d'appréhender, de percevoir ces « attributs ». Le choix des activités, des exemples, voire des contre-exemples, doit prendre en compte ce que l'apprenant sait déjà. Pour Barth, cela permet à l'apprenant « de donner une signification au contenu exposé », car « ce n'est pas le contenu exposé qui informe d'abord l'apprenant, mais ce qu'il sait » (p.35). Enfin, pour Barth, l'apprentissage d'un concept est effectif si l'élève est capable d'utiliser dans une autre situation le concept qu'il vient d'élaborer. Elle qualifie alors cette phase d'abstraction. Elle se situe ainsi, comme elle l'indique, « dans une perspective néo-constructiviste de l'apprentissage » (p.80), « néo » pour se différencier du constructivisme piagétien, car, comme elle le précise, elle met l'interaction plutôt que l'action dans la construction du savoir.

### 6.2.4. Synthèse sur l'apprentissage de concepts

La plupart des travaux sur l'apprentissage de concepts en sciences et/ou en technologique, notamment ceux en didactique des sciences, mettent en avant le fait qu'il est nécessaire de prendre en compte les conceptions (pour reprendre le terme

usité en didactique) des élèves et leur diversité pour enseigner plus efficacement un concept. Dans cette approche, on considère, en effet, les conceptions des élèves comme un « frein » à l'apprentissage du concept visé. En reprenant les termes utilisés par de Vries (2002), « prior knowledge constitutes the first barrier to learning science concepts » (p. 66). Ainsi, pour cette auteure, qui situe sa proposition dans le cadre des théories du changement conceptuel, l'enseignement-apprentissage d'un concept scientifique doit alors, notamment, exploiter la diversité des conceptions des élèves, après les avoir identifiées, et encourager leur mutualisation par une réflexion coopérative sur les explications et l'argumentation de ces « misconceptions ». C'est ainsi que l'élève pourra comprendre le concept à apprendre.

Les différentes approches présentées fournissent bon nombre de propositions pertinentes pour la compréhension de l'apprentissage de concepts par les élèves en classe. Néanmoins, de mon point de vue, elles présentent un certain nombre de limites :

- Ces différentes approches, dans leur grande majorité, relèvent d'une perspective constructiviste, voire socioconstructiviste pour tenir compte des interactions sociales dans l'apprentissage, qui suggère que l'évolution des connaissances d'un sujet tend vers l'abstraction. C'est une vision de l'apprentissage qui relève plus de l'épistémologie des connaissances de l'humanité ou savoirs savants, que de la psychologie des apprentissages qui s'intéresse aux connaissances individuelles (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004). Ainsi, pour ces approches, la construction de concepts en mémoire reposerait principalement sur une activité de compréhension.
- Prendre en considération les conceptions initiales des élèves ou établir un modèle précurseur est tout à fait louable du point de vue de l'efficacité du processus d'enseignement-apprentissage, mais leur mise en œuvre me semble très difficile à mettre en œuvre en classe pour un·e enseignant·e, car ils demeurent des outils pour la recherche.
- S'il y a prise en compte des conceptions initiales des apprenants, néanmoins leur traitement se fait globalement, et non en relation avec un élève particulier. Cela sous-entend alors que l'élève est un élève générique. Or, nous avons montré (voir chapitre 1) la nécessité de prendre en compte le caractère individualisé de

l'apprentissage : il y a plusieurs « cheminements » possibles pour élaborer une connaissance, pour reprendre les termes d'Inhelder et Cellérier (1992).

- Les mises en œuvre didactiques associées à ces différentes approches imposent à l'élève, de mon point de vue, une charge cognitive importante : intrinsèque de par le nombre d'éléments de connaissances à traiter pour permettre à l'élève de modifier sa conception, extrinsèque au regard des situations proposées pour permettre à l'élève de modifier ses conceptions.

## **7. Comment favoriser l'apprentissage de concepts en situation d'enseignement-apprentissage ?**

### **7.1. Problématique**

Le processus de conceptualisation, c'est-à-dire l'activation par le sujet d'un processus d'élaboration d'un concept, donc d'une connaissance générale non attachée à une situation particulière, est un processus long et difficile, car coûteux cognitivement (Musial et al., 2012) ; aussi se pose la question de comment accompagner ce processus d'apprentissage dans une situation d'enseignement-apprentissage de concepts à l'école.

En d'autres termes, apprendre un concept à l'école doit-il s'appuyer sur la mise en œuvre du processus de conceptualisation qui, à l'école, s'appuie essentiellement, voire uniquement, sur une activité de compréhension (processus, qui peut aussi se faire de façon implicite, ce qui amène souvent l'enseignant-e à être moins vigilant sur les difficultés rencontrées par les élèves) ; ou, au contraire, relever d'un autre processus pour véritablement favoriser l'apprentissage du concept.

Pour diSessa (2017), la connaissance en mémoire est un système complexe formé de nombreux types d'éléments de connaissances. En s'appuyant sur le concept de « Knowledge in Pieces » (KiP) proposé par diSessa (2017) qui part de l'idée selon laquelle les connaissances, en mémoire, consistent en une multitude de morceaux de connaissance fragmentés et non-articulés entre eux, l'apprentissage d'un concept en sciences et/ou en technologie s'apparente alors à l'élaboration d'une structure de connaissances « complexe » en mémoire, « complexe » car résultant de la mise en relation de différents éléments de connaissance fragmentés. Cet auteur voit alors

l'apprentissage comme une modification de cette structure complexe dans le système de connaissances de l'élève.

Par ailleurs, diSessa (2008) souligne l'importance du contexte dans l'apprentissage, en faisant remarquer qu'il est nécessaire de comprendre comment les connaissances dépendent du « contexte ». Il fait ainsi référence à l'approche « cognition située » (*situated cognition*) avec, notamment, Brown, Collins, et Duguid (1989), et les travaux de Jean Lave. diSessa met également en avant la nécessité, pour une réelle efficacité du processus d'enseignement-apprentissage, de faire « créer des liens » entre les éléments de connaissances par le système cognitif de l'élève.

En didactique des sciences, on retrouve une approche similaire avec le point de vue défendu par Tiberghien (2011) qui valide l'hypothèse de (Roth, Garnier, Chen, Lemmens, Schwille et Wickler, 2011), si l'enseignant·e établit des liens entre les différents éléments de savoirs constituant le savoir à enseigner alors l'apprentissage du savoir à enseigner est favorisé. Pour l'enseignant·e, dans la phase de conception de sa séquence, il est donc nécessaire de « décomposer » le savoir à enseigner en éléments de savoirs afin de favoriser un meilleur apprentissage du savoir à enseigner par les élèves.

Aussi, j'ai été amené à établir le postulat suivant : un concept (une fois qu'il a été appris) est un ensemble, plus ou moins complexe, de connaissances en mémoire, reliées ensemble. A un savoir enseigné de type concept correspondra alors, dans la mémoire de l'apprenant, une structure de connaissances qui pourra être qualifiée de « complexe » de par le fait qu'elle sera constituée d'éléments de connaissances plus ou moins éparpillés en mémoire, car connaissances résultant d'un apprentissage dans différentes situations, donc relevant de contextes spécifiques différents. C'est aussi en créant des liens entre les contextes situationnels que cette structure de connaissances sera disponible. Cette disponibilité permettra d'accéder aux connaissances de l'ensemble correspondant au concept.

Ainsi, si nous reprenons cette proposition de définition du concept, l'apprentissage d'un concept correspond à l'apprentissage d'un ensemble de connaissances. Ces connaissances sont reliées entre elles par un lien qui, tout au plus, selon Bastien (1997), peut-être de type « évoque » et/ou « permet de faire ».

Je fais alors l'hypothèse que l'apprentissage d'un concept peut se faire si on aide l'apprenant à construire l'ensemble des connaissances du concept et si l'apprenant, par son expérience, crée des liens entre ces différentes connaissances caractérisant

le concept, liens de type « évoque », voire de type « permet de faire », pour construire le réseau (« complexe », car ce réseau peut comprendre de nombreuses connaissances, situées à différents endroits dans l'espace sémantotopique de la mémoire de l'élève) de connaissances du concept.

## 7.2. Etude exploratoire

Une expérimentation, de type étude exploratoire, a été élaborée à partir d'une séance d'enseignement du concept de variable informatique avec douze élèves de première année de BTS IRIS (Brevet de Technicien Supérieur en Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services).

L'apprentissage de ce concept de variable informatique pose toujours beaucoup de problèmes pour les élèves qui ont du mal à interpréter correctement la notion<sup>20</sup>. Ainsi, les élèves associent souvent le contenu de la variable avec ce qui est édité lors de l'écriture du programme. Par exemple, suite à l'écriture de l'instruction «  $x = -3 ;$  », les élèves font souvent l'interprétation suivante : « *en mémoire, dans un emplacement il y a le '-' puis dans un autre emplacement le '3'* », '-' et '3' étant considérés alors comme des caractères typographiques.

En informatique, l'apprentissage du concept de variable informatique pose déjà problème de par le nom retenu, variable, que les élèves ont déjà appréhendé dans leur scolarité, notamment en mathématiques. Or, en informatique, la notion de variable n'a pas tout à fait le même statut qu'en mathématiques. Une variable informatique correspond à un emplacement-mémoire de la machine qui exécute le programme. De par la structure et l'organisation matérielle de la machine, la variable correspondra à un certain nombre d'octets de la mémoire de la machine. Pour un langage informatique, ce nombre d'octets dépend du *type* de la variable, type défini par le programmeur. Ainsi, le type d'une variable va permettre de déterminer le nombre d'octets pour sauvegarder le contenu de la variable (donc, indirectement, va aussi définir la valeur maximale que peut prendre cette variable). C'est l'aspect principal de cette notion de variable, qui est mis en avant dans les ouvrages spécialisés, donc, par voie de fait, dans la plupart des enseignements de

---

<sup>20</sup> Dans un article, dont j'ai pris connaissance récemment, Lagrange et Rogalski (2017) discutent de ce problème de l'apprentissage du concept de variable pour les débutants en informatique. Par ailleurs, les auteurs défendent la pertinence d'un double point de vue (ici, celui d'une psychologue cognitive et celui d'un didacticien des mathématiques) sur le même objet de recherche ... (voir alors, notamment, ma conclusion).

ce concept. Or, le type de la variable joue également un autre rôle : permettre au compilateur d'interpréter, comme le souhaite le programmeur, le contenu de l'emplacement-mémoire correspondant à la variable, aspect du fonctionnement du processus de compilation qui est rarement explicité par les enseignants. Ainsi, si nous reprenons notre exemple ci-dessus de l'instruction «  $x = -3 ;$  », cette instruction amène le compilateur à interpréter le contenu comme étant une valeur négative, donc à exécuter le traitement correspondant d'interprétation du contenu de l'emplacement-mémoire.

Ainsi, apprendre le concept de variable informatique, c'est apprendre qu'une variable informatique désigne un emplacement de la mémoire de la machine (c'est donc une *adresse* du point de vue informatique), que le contenu de cet emplacement (la *donnée* d'un point de vue informatique, c'est-à-dire une suite de '1' et de '0' correspondant à des niveaux de tensions électriques si on se situe à un niveau matériel du point de vue de la technologie) peut changer au cours du temps (c'est pourquoi on utilise le mot *variable*), qu'une variable informatique est *typée*, son *type* permettant au compilateur d'interpréter correctement le contenu, donc en fait de pouvoir exécuter les procédures de traitement adéquates (par exemple, pour interpréter des contenus correspondant à des représentations de nombres à virgule, à un caractère, à un nombre entier, etc.). Du point de vue du savoir à enseigner, le concept de variable informatique est donc lié à un sous-concept, le concept de « type » de variable dont les attributs (pour reprendre la sémantique de Barth) permettent de coder le contenu de l'emplacement-mémoire, correspondant à la variable, dans le système informatique, et de l'interpréter selon la représentation souhaitée par le programmeur. Cet apprentissage, de mon point de vue, pour être efficace, a tout intérêt à être porté par l'apprentissage de savoirs technologiques.

Pour apprendre le concept de variable informatique, il faut donc proposer aux élèves des activités d'apprentissage qui leur permettent d'élaborer en mémoire les connaissances associées aux différents « attributs » (qui seraient alors des connaissances fonctionnelles en mémoire) du concept de variable informatique (emplacement-mémoire, type, interprétation du contenu), et de construire les liens de type « évoque » entre ces différents îlots de connaissances.

J'ai ainsi élaboré une séance, que j'ai proposée à un enseignant de BTS IRIS 1<sup>o</sup> année (Brevet de Technicien Supérieur Informatique et Réseaux pour l'Industrie et

les Services), comportant une tâche d'étude (voir Musial, Pradère et Tricot, 2012) supportée par un diaporama et des études de cas (exécution de programmes avec affichage du contenu et de l'adresse de variables, utilisation du mode « pas à pas » du compilateur pour voir l'évolution du contenu des variables, pour lire les valeurs d'adresses des variables). Suite à cette tâche d'étude, les élèves avaient à remplir un tableau où ils devaient interpréter le contenu d'une variable informatique dans différents cas. Cette tâche de restitution de connaissances avait été élaborée à partir d'une tâche similaire utilisée par l'enseignant afin d'avoir un point de comparaison sur les réponses des élèves par rapport aux années antérieures. La séance a duré quatre heures.

Sur les douze élèves, onze ont répondu correctement à l'ensemble des interprétations du tableau, le douzième élève faisant une seule erreur ; ce qui, pour l'enseignant, correspond à une très bonne performance au regard de son expérience des années passées. De plus, selon l'enseignant, pour les élèves, le fait d'avoir, a priori, pu élaborer un réseau fonctionnel de connaissances en mémoire relatif au concept de variable informatique, leur a facilité, par la suite, l'apprentissage d'autres concepts informatiques comme le concept de pointeur, de passage de paramètres, concepts qui posent toujours énormément de problèmes aux élèves.

### 7.3. Travaux de thèse en cours (codirection)

Cette recherche porte sur l'apprentissage de concepts en sciences et en technologie, plus particulièrement, sur l'apprentissage du concept de force en physique et en mécanique.

Je rappelle que si on part du constat que les connaissances associées à un concept sont éparpillées en mémoire, car ces connaissances sont issues d'apprentissages antérieurs, alors il faut donc, par apprentissage, que le système cognitif du sujet établisse des liens entre ces différents îlots de connaissances en mémoire, pour élaborer une structure de connaissances, que l'on pourra, de ce fait, qualifier de « complexe », car constituée de différentes connaissances « élémentaires », reliées entre elles par un lien de type « évoque » et/ou « permet de faire ». Si on laisse au système cognitif de l'élève la charge de ce travail d'établissement de liens alors, effectivement, le processus de conceptualisation sera long et difficile. Pour rendre cet apprentissage plus efficace, il faut donc que le processus d'enseignement



contribue à la création de ces liens entre connaissances élémentaires du concept en mémoire. Il faut alors concevoir une aide à l'élaboration d'une structure, d'un réseau de connaissances, « complexe » (Ndiaye, Hérold et Laisney, 2017a). C'est l'objet de ce travail de thèse.

Pour les didacticiens de la physique, un point fondamental dans l'enseignement des concepts scientifiques est de, rapidement, faire prendre conscience aux élèves la distinction entre le raisonnement dit « naturel », celui qui est fait dans le quotidien du sujet, et qui s'appuie sur des relations de « cause(s) à effet(s) », et la seconde démarche, la démarche scientifique, qui consiste à s'appuyer sur un « modèle » élaboré à partir de constats scientifiques, d'une représentation de nature hypothétique, de calculs scientifiques, et qui permet de faire de la prédiction (Lemeignan et Weil-Barais, 1993).

Par ailleurs, tout apprentissage s'appuie sur les connaissances antérieures de l'apprenant. Dans la perspective de l'approche de diSessa, cela nécessite d'analyser les productions des élèves (leurs « représentations » élaborées à partir de leurs connaissances antérieures), pour déterminer les éléments de connaissances activés par le système cognitif de l'élève (diSessa, 2008).

De ce fait, le dispositif didactique élaboré pour des élèves de Lycée comprend les tâches suivantes :

- Tâches d'activation des connaissances antérieures des élèves (ce qu'ils « savent » du concept de force) par questionnement, des échanges, un travail collaboratif sur un exemple ...
- A partir des réponses des élèves, mise en œuvre d'un brainstorming piloté par l'enseignant·e pour engager les élèves dans une remise en question de leurs « conceptions »
- Tâches multiples sur les différents éléments du savoir à enseigner.

La mise en œuvre du dispositif s'inspire des principes du modèle 4C/ID (Kirschner et van Merriënboer, 2008). Le modèle 4C/ID s'appuie sur des tâches d'apprentissage, c'est-à-dire, l'apport de connaissances se fait à travers l'activité des élèves en réalisation de tâches, puisqu'énoncer des contenus ne suffit pas pour faire apprendre aux élèves (Lemeignan et Weil-Barais, 1993, entre autres).

Ainsi, par exemple, une des premières tâches d'apprentissage, qui a été retenue dans ce travail de recherche, consiste à s'appuyer sur la relation «  $P = m.g$  » où le concept de « poids » sera contextualisé dans le domaine de la physique (dans le quotidien

du sujet, le « poids » correspond à la masse « m » dans le modèle scientifique). Ainsi, l'enseignant·e amènera le système cognitif de l'élève à créer des « liens » de type « évoque » entre les concepts de « masse » (m), d'attraction (g) et de « poids » (P) qui sont des connaissances déclaratives, en donnant du sens à ces trois notions (recours à un environnement informatique de simulation). Ensuite, des tâches sont proposées aux élèves pour introduire le modèle scientifique (représentation, calculs scientifiques qui conduisent l'enseignant·e à réactiver les connaissances des élèves relatives à la représentation vectorielle).

Pour chaque tâche, il faut définir le savoir porté par la tâche. Par exemple, si l'animation de l'obus tiré par un canon est l'outil didactique retenu pour une tâche (cas de la première tâche), alors il faut indiquer précisément le savoir à enseigner porté par cette tâche (donc, ici, la 2<sup>o</sup> loi de Newton). Ensuite, il faut analyser la tâche du point de vue de l'élève (et donc de ses « misconceptions »). Ici, par exemple, la plupart des élèves diront (et c'est vrai) qu'il y a deux phases dans le mouvement de l'obus : la phase montante pour laquelle, intuitivement, on aurait tendance à dire qu'il y a au moins deux forces, celle qui fait monter l'obus et le poids qui s'y oppose ; et la phase descendante, où il n'y a plus que le poids (cela correspond en fait à la première étape du changement conceptuel : identifier une « anomalie », car comme le montre clairement l'animation, il n'y a, ici, qu'une seule force en jeu, si on néglige les frottements de l'air). Si on s'appuie sur la 2<sup>o</sup> loi de Newton, il faut alors dire à l'élève que pendant la première phase, l'accélération est négative et pendant la deuxième phase, elle est positive, ce qui explique son mouvement et la forme de la courbe. Il s'agit donc bien, ici, d'une « modélisation » scientifique pour interpréter un événement (deuxième étape du changement conceptuel : construire un « nouveau » modèle), voire pour pouvoir le prédire, et non une explication d'une quelconque réalité physique. Il faut donc des tâches pour réactiver les connaissances déjà apprises ou pour permettre d'élaborer de nouvelles connaissances, connaissances qui correspondent aux connaissances « élémentaires » associées au concept visé. Dans un deuxième temps, il faut des tâches qui vont permettre au système cognitif de l'élève de créer des « liens » entre ces différents éléments de connaissances « élémentaires » et les différents éléments de contexte associés à ces connaissances « élémentaires ».

Ensuite, il faut identifier des tâches (« part-task practice » du modèle 4C/ID) où l'élève devra mobiliser ce qu'il a appris (utiliser le « nouveau modèle », ce qui

correspond à la troisième étape du changement conceptuel, si on se réfère à l'approche de Vosniadou, voir par exemple [Vosniadou et Verschaffel, 2004]).

Des tâches d'élaboration de connaissances procédurales qui permettront de créer des liens de type « permet de faire » sont alors proposées aux élèves (par exemple, le drone en vol stationnaire : permet de justifier le modèle scientifique par la deuxième loi de Newton et ce que l'on peut faire de ce modèle, c'est-à-dire dimensionner les hélices du drone et leur vitesse de rotation par rapport au poids du drone, donc en fait sa masse, sa quantité de matière, et le fait que le vol stationnaire s'effectue sur un astre particulier, la Terre).

La composante « supportive information » du modèle comprend des documents-élèves écrits, des documents numériques de type multimédia, des fiches-procédures, des outils numériques (modeleur 3D, outil de simulation) ; chaque élément de cette composante étant adapté à la nature de la tâche réalisée par l'élève (« learning task », « part-task practice »).

Le recueil de données suit un protocole de type ABA à 1 groupe d'élèves (car N, faible), et comprend des traces écrites et des traces numériques de l'activité des élèves, mais aussi des observations directes non participantes armées (enregistrements audio), ainsi que des entretiens-élèves posttest. La condition de référence (A) est définie par un prétest qui s'appuie sur le FCI (« Force Concept Inventory »)<sup>21</sup> qui permet de mesurer la « compréhension » du concept de force par les élèves (test individuel). Le dispositif didactique (B), élaboré, comme il a été souligné précédemment, à partir de la mise en œuvre des composantes du modèle 4C/ID, a pour but de contribuer à l'élaboration de la structure « complexe » de connaissances, en mémoire de l'élève, structure associée au concept enseigné (dans le cas de notre étude, le concept de force). Les élèves travaillent en binômes, peuvent échanger entre eux, interagir entre binômes. Quatre groupes d'élèves ont participé au dispositif, deux groupes d'élèves de 1<sup>o</sup> STI2D<sup>22</sup> et deux groupes d'élèves de Terminale STI2D (N1 = 12, N2 = 9, N3 = 5, N4 = 4). Le dispositif didactique s'appuie sur 8 séances de 3h chacune. Enfin, la condition de contrôle (A) est définie à l'aide d'un posttest individuel qui comprend des items du FCI et, également, des éléments du MBT (« Mechanics Baseline Test »)<sup>23</sup>, ce dernier

---

<sup>21</sup> Voir Hestenes, Wells et Swackhamer (1992) et Nieminen, Savinainen et Viiri (2010) pour la version R-FCI.

<sup>22</sup> Sciences et Technologie de l'Industrie et du Développement Durable

<sup>23</sup> Voir Hestenes et Wells (1992).

permettant de mesurer des habiletés dans des activités de résolution de problèmes mettant en œuvre le concept de force (ce qui permet, dans le cas de notre étude, de faire une première appréciation de la « création des liens » entre connaissances élémentaires).

Les premières analyses des données recueillies ont été effectuées et portent sur les données relatives à 5 élèves. Les résultats montrent alors une meilleure compréhension du concept de force chez les élèves et le traitement statistique indique que certains « liens » entre les connaissances élémentaires ont été élaborés. Ainsi, l'analyse statistique sur les groupements de réponses (« Exploratory Factor Analysis ») met en évidence l'élaboration d'une structure de connaissances chez les élèves avec des liens forts entre les différentes forces, l'énergie et l'accélération.

## Partie 4 : Mes perspectives de recherche.

Les perspectives de recherche que j'envisage visent à produire des résultats pour promouvoir une meilleure efficacité du processus d'enseignement-apprentissage, du point de vue de l'apprentissage de connaissances pour les élèves, en enseignement scientifique et technologique, et en mathématiques.

Pour cela, je privilégie deux axes de recherche :

- Le premier axe a comme objectif de contribuer à une élaboration d'un diagnostic cognitif automatisé afin de proposer à l'enseignant-e des outils lui permettant une meilleure compréhension des difficultés rencontrées par ses élèves lorsqu'ils sont en activité en classe lorsqu'ils réalisent des tâches prescrites avec un outil numérique.
- Le deuxième axe porte sur comment organiser les enseignements dans le cas plus prégnant des apprentissages dits « complexes », c'est-à-dire des apprentissages qui imposent au système cognitif de l'élève de devoir intégrer, en mémoire, dans un même ensemble de connaissances, des connaissances issues de situations d'apprentissage très diverses.

Ces perspectives de recherche sont dans le droit prolongement des travaux de recherche que j'ai mené depuis ma thèse.

De par mes travaux de recherche, de même, de par mon expérience d'enseignement, je me suis toujours intéressé à la problématique de l'enseignement de savoirs en sciences, en technologie, et en mathématiques. C'est donc tout naturellement que je me suis intéressé au développement de la logique pluridisciplinaire STEM (pour *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), qui émerge dans les prescriptions institutionnelles<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> Voir, par exemple, le nouveau programme de la terminale STI2D sur le site du Ministère de l'Éducation Nationale.

Enfin, il me semble important de préciser que les résultats de recherche visés doivent pouvoir alimenter la formation des enseignants, pour accompagner leur pratique sur le terrain, afin que les enseignants puissent mettre en œuvre des aides à l'apprentissage véritablement efficaces.

## **8. Le diagnostic automatisé**

### **8.1. Un constat de terrain : le numérique en classe**

A l'école, dans les enseignements STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), les outils numériques, sous différentes formes, sont massivement présents. Mais, on peut faire le constat que les effets de ces outils numériques sur l'efficacité du processus d'enseignement-apprentissage restent encore à démontrer (Tamim, Bernard, Borokhovski, Abrami, et Schmid, 2011) ; et surtout, les conditions de cette efficacité, s'il y a efficacité, sont rarement mises en évidence.

En classe, l'enseignant·e a beaucoup de difficultés à suivre l'avancement individuel de chaque élève lors d'activités numériques, de par la nature même de ces activités : difficultés à identifier clairement l'ensemble des savoirs qui sont en jeu, et pas uniquement les savoirs à enseigner (Ovono, Hérold et Ginestié, 2014 ; Ovono, 2018), difficultés relevant de la nature et des spécificités de l'outil numérique mis en œuvre dans la situation d'enseignement-apprentissage (Hérold, 2014b, El Hader, 2016 ; Ndiaye, Laisney et Hérold, 2016a, 2016b ; Hérold et Montuori, 2018), difficultés propres à l'organisation matérielle des salles de classe lors des activités numériques, etc.

En effet, lorsqu'un·e enseignant·e choisit de mettre en œuvre un outil numérique, un logiciel par exemple, dans une séance d'enseignement, en classe, nos nombreuses observations de séances d'enseignement, nous permettent la présentation descriptive synthétique ci-après.

Suivant l'équipement de l'établissement, les élèves vont travailler avec le logiciel seul ou en binômes. Beaucoup d'organisations matérielles des salles de classe équipées en machines informatiques correspondent à des structures en U où les ordinateurs sont posés sur des tables disposées le long des murs de la salle de classe. Dans la partie ouverte du U, se situe le bureau de l'enseignant·e qui, parfois, dispose

d'un poste informatique dédié et qui, dans de rares cas, lui permet d'avoir une vision des écrans des postes-élèves (écran partagé). Pour mettre en activité les élèves, l'enseignant·e propose aux élèves un ensemble de tâches prescrites soit sous la forme d'un document papier, soit sous forme numérique. Après avoir introduit la séance et expliquer le travail à faire, l'enseignant·e met ses élèves en activité. Dans cette organisation, les élèves, pour la plupart, ne peuvent regarder l'enseignant·e, et difficilement le tableau, généralement situé derrière le bureau de l'enseignant·e : ils sont face à leur écran. Souvent, les élèves ne disposent pas d'un espace important. Ils sont donc relativement à proximité des uns et des autres. L'activité de l'enseignant·e, au cours de ce type de séance d'enseignement, consiste principalement à répondre aux sollicitations des élèves qui peuvent demander une explication sur une tâche prescrite, sur l'utilisation du logiciel, sur la nature du travail qui est à rendre. Parfois, l'enseignant·e est amené à devoir intervenir pour des problèmes de fonctionnement du logiciel, voire de matériel pour certains types d'enseignements, comme ceux de physique ou de technologie. Globalement, de ce fait, pendant ce genre de séance, l'enseignant·e peut difficilement analyser l'avancée de chaque élève. De plus, la seule trace de l'activité des élèves dont il bénéficiera en fin de séance sera constituée, dans la majorité des cas, du compte-rendu de l'élève (le compte-rendu de TP, les solutions aux exercices dans le cadre d'un TD), classiquement demandé. Suivant la nature des tâches prescrites, l'enseignant·e peut disposer également du résultat produit par le logiciel. Mais, l'enseignant·e, dans bien des cas, a très peu d'informations sur ce qui s'est passé entre l'instant où il prescrit sa tâche et l'instant où l'élève lui remet les résultats de son activité, qui sont des traces majoritairement de nature écrite (et qui correspondent souvent à des réponses à des questions), et très peu de nature numérique. De ce fait, l'enseignant·e, dans bien des cas, ne sait pas comment l'élève a fait et encore moins si l'élève a appris ou non, et ce qu'il a réellement appris. Ainsi, on peut faire le constat que l'enseignant·e, dans sa pratique, de par les contraintes de la situation d'un enseignement avec un outil numérique, prend en compte seulement le fait que l'élève est parvenu, ou non, à réaliser la tâche prescrite avec l'outil numérique. Ainsi, il lui est difficile de prendre en compte les difficultés que peuvent rencontrer certains élèves dans la réalisation de la tâche, de pouvoir bénéficier de données suffisamment pertinentes sur l'apprentissage des élèves.

L'enseignant·e ne peut, dans ces conditions, que trop rarement proposer des parcours d'apprentissage véritablement adaptés aux besoins de l'apprenant.

## 8.2. Questions de recherche

Dans un premier temps, il s'agit d'étudier les conditions d'enseignement des savoirs utilisées par les enseignants lorsqu'ils s'appuient sur un outil numérique en situation d'enseignement-apprentissage.

Dans un deuxième temps, l'objectif est de permettre le recueil des traces numériques liées à l'activité de l'élève avec l'outil numérique, de proposer une analyse automatisée de ces traces numériques afin d'offrir à l'enseignant·e la possibilité de suivre l'avancement de chaque élève dans leur apprentissage. Il s'agit alors, à partir des usages actuels du numérique en classes de STEM, d'apporter une aide aux enseignants avec l'élaboration de dispositifs pédagogiques véritablement adaptés aux besoins de l'apprenant en s'appuyant sur un « diagnostic » automatisé, élaboré à partir des données d'apprentissage de l'apprenant, en classe, et ainsi, par la suite, pouvoir proposer à l'apprenant des tâches d'apprentissage qui correspondent à son niveau d'apprentissage à cet instant donné. L'objectif est ainsi de concevoir un guidage spécifique à l'apprenant pour soutenir véritablement son apprentissage, en s'appuyant sur la façon dont les élèves apprennent (Héroid et Ginestie, 2017 ; Mayer, 2010 ; Bastien et Bastien-Toniazzo, 2004) et de pouvoir apporter des éléments de réponse à la question : comment suivre l'avancement de chaque élève dans son apprentissage lorsque celui-ci est soutenu par un dispositif numérique ?

Bien évidemment, se pose également la question de l'évaluation des solutions de guidage qui seront élaborées et proposées aux élèves.

En reprenant les propos de Pascal Huguet dans Testard-Vailland (2016), « *demain, la pédagogie sera massivement assistée par des machines qui délivreront non pas des notes, mais des évaluations-diagnostic extrêmement fines et recentreront l'élève sur certains apprentissages* », l'axe de recherche vise ainsi à défricher un chemin qui se veut novateur dans la conception des parcours d'apprentissage conçus à partir de l'analyse des données d'apprentissage des élèves et de leurs traces numériques en activité à l'école.



### 8.3. Contexte scientifique

Le principe d'un recueil et d'une analyse des données d'apprentissage, des traces numériques d'apprentissage, relève d'une approche anglo-saxonne, intitulée *learning analytics*, qui consiste à analyser les traces numériques laissées par les apprenants afin d'analyser et de mieux comprendre les apprentissages dans les environnements numériques<sup>25</sup>.

Chatti, Dyckhoff, Schroeder et Thüs (2012) propose de définir cette approche, à partir de la proposition présente sur le site Web de la première conférence internationale sur « learning analytics and knowledge »<sup>26</sup>, comme étant un processus de mesure, de recueil, d'analyse et d'interprétation des données relatives aux apprenants et à leurs contextes. On retrouve là les principales étapes du processus d'enseignement-apprentissage, telles qu'elles sont décrites par Campbell, DeBlois et Oblinger (2007), auxquelles ces auteurs ajoutent une étape qui consiste à apporter des améliorations au dispositif d'enseignement (notion de « self-improvement »). Ainsi, l'approche « learning analytics » s'insère parfaitement dans la démarche d'ingénierie didactique (Musial, Pradère et Tricot, 2012), démarche que j'ai fait mienne, et pour laquelle la conception, la mise en œuvre d'une séquence d'enseignement est un processus qui suit différentes étapes : la spécification des besoins (les savoirs à enseigner et les processus d'apprentissage associés), la conception de la séquence (son organisation, les documents à réaliser, le matériel didactique qui va être utilisé ...), la mise en œuvre de la séquence d'enseignement et l'évaluation par l'enseignant·e du déroulement de la séquence afin de pouvoir y apporter les améliorations nécessaires.

Mais, pour pouvoir apporter des améliorations qui soient véritablement efficaces afin de permettre à tous les élèves d'apprendre dans une situation d'enseignement-apprentissage avec un outil numérique, l'enseignant·e a besoin de données sur l'activité de ses élèves.

La plupart des travaux recensés dans le domaine des « learning analytics » concernent l'enseignement universitaire afin de pouvoir personnaliser la formation

---

<sup>25</sup> <http://www.sup-numerique.gouv.fr/cid113065/learning-analytics-une-tendance-emergente-dans-l-education.html>

<sup>26</sup> <https://tekri.athabascau.ca/analytics/>

des étudiants (Dietz-Uhler et Hurn, 2013). Les principaux outils de recueil de données mis en œuvre dans ce type d'environnement s'appuient essentiellement sur les environnements numériques de travail en usage dans l'établissement universitaire (tableau de bord, réseau social, environnements de type « Moodle », etc.). De ce fait, les données recueillies sont essentiellement les traces numériques laissées par les étudiants lorsqu'ils accèdent à l'environnement de travail de l'établissement, comme le type de ressources consultées, le nombre de fois où l'étudiant a accédé à cette ressource, la date et l'heure de cet accès, le nombre de discussions entre étudiants et/ou avec l'enseignant·e, etc. (ibid).

Pour Wise (2014), il s'agit là d'une approche qui se situe à un niveau « macro », donc loin de la situation d'enseignement-apprentissage qui demande une approche se situant à un niveau « micro », qui permettrait alors de recueillir des données suffisamment pertinentes pour permettre à l'enseignant·e de prendre les décisions nécessaires à un guidage plus approprié de l'apprenant. Mais, cette auteure précise, qu'au recueil de données pertinentes, doit être associé un modèle d'apprentissage qui correspond à l'environnement de la séance d'enseignement. Les quelques travaux que j'ai pu alors recenser concernent, dans leur grande majorité, des environnements numériques d'apprentissage, de type EIAH<sup>27</sup>, comme, par exemples, Roll, Aleven et Koedinger (2010) ou bien Chaachoua, Croset, Bouhineau, Bittar et Nicaud (2007).

Aussi, l'objectif de ces recherches serait, alors, de s'intéresser à une séance d'enseignement, en classe, avec un·e enseignant·e, des élèves de collège ou de lycée, et un outil numérique qui ne soit pas un environnement numérique d'apprentissage spécifique, mais un artefact médiateur pour l'apprentissage du savoir visé par l'enseignant·e.

#### 8.4. Recherches prévues

Je copilote actuellement un projet de recherche qui porte sur des activités d'apprentissage en mathématiques avec des élèves de Lycée. L'équipe comprend des enseignants-chercheurs en mathématiques et en didactique des mathématiques. Un premier travail a été effectué et a consisté à définir une tâche d'apprentissage

---

<sup>27</sup> Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain

porteuse du savoir enseigné retenu (théorème du cercle circonscrit à un triangle rectangle pour des élèves de 4°/3°, identifier si un nombre est premier pour des élèves de 2°, élaboration d'équations du premier et du second degré à partir d'un problème à résoudre pour des élèves de 1°), dans deux environnements différents, l'un avec un dispositif de type « papier-crayon » (tâche prescrite réalisée « à la main » par l'élève), l'autre avec un outil informatique de type Maple (voire Geogebra, si Maple est non disponible), le recours à l'outil informatique étant contraint par la nature de la tâche (procédure trop fastidieuse, voire impossible à faire manuellement). Un premier recueil de données a été effectué (observation directe, entretiens enseignants).

Je travaille actuellement sur les algorithmes de diagnostic cognitif en m'appuyant sur les outils que j'ai élaborés lors de précédents travaux : une grille d'analyse de réponses des élèves (Héroid, 2014a) ; un outil d'analyse des comportements et des stratégies mises en œuvre par les élèves en activité avec un outil numérique en classe (Héroid et Montuori, 2018 ; Héroid et Ginestié, 2011) ; une méthodologie pour élaborer des profils cognitifs d'apprenants (Héroid, 2006, 2008a, 2012a, 2012b).

En voici quelques exemples :

Si actions directes, de courtes durées, mettant en œuvre des connaissances procédurales

Alors on peut admettre que l'élève a construit des connaissances relatives au savoir visé

(l'élève a appris)

Si actions relèvent d'une « encapsulation in information seeking »

Alors interprétation construite ne permet pas au système cognitif de l'élève d'activer des connaissances lui permettant d'agir

(l'élève n'a pas de connaissances disponibles pour réaliser la tâche)

Une synthèse est présentée par les tableaux 2 et 3, pages suivantes.

Les travaux à mener seraient alors :

- Compléter les outils d'analyse de l'activité (recensement des traces possibles à retenir).
- Affiner les algorithmes de diagnostic (afin de permettre leur implémentation informatique).
- Prendre en compte l'affect et la motivation (par reconnaissance faciale à l'aide d'une caméra Web).

Il s'agira ainsi de produire des résultats de recherche qui pourront fournir des éléments de réponse aux questions de comment suivre l'avancement individuel dans l'apprentissage de chaque élève lors d'un apprentissage en classe avec le numérique ; de comment prendre en compte les difficultés rencontrées par les élèves dans ce type de situation d'enseignement-apprentissage ; de comment exploiter ces résultats de recherche pour pouvoir définir des parcours d'apprentissage, des progressions véritablement adaptées aux élèves et permettant, ainsi, une meilleure efficacité du processus d'enseignement-apprentissage du point de vue de l'apprentissage des connaissances des élèves.

Indicateurs retenus pour l'analyse de l'activité									
	Construction of a mental representation of the task	Systematic use	Deadlock's state	Using inadequate prior knowledge	Trial-and-error	Rigid exploration	Encapsulation in information seeking	Cognitive overload effects	Diagnostics
	X	X							1
	X	X		X					2
	X	X		X				X	3
	X	X		X	X				4
	X					X			5
	X				X			X	6
	X		X		X				7
	X						X		8
	X		X						9

- Table 2 : indicateurs utilisés pour la mise en œuvre du diagnostic (Héroul et Montuori, 2018 ; Héroul et Ginestie, 2011).

Diagnostiques	Commentaires	Profil
1	<i>A priori</i> , l'élève a construit les connaissances associées à la tâche prescrite. L'élève a appris.	++
2	L'élève a besoin d'un complément d'apprentissage, avec un focus sur la mise en œuvre des procédures nécessaires à la réalisation de la tâche prescrite.	
3	La charge cognitive extrinsèque imposée par la tâche prescrite semble être trop importante.	
4	La représentation mentale de la tâche prescrite élaborée par le système cognitif de l'élève ne permet pas d'activer les connaissances adéquates à la réalisation de la tâche prescrite. L'élève a besoin d'un complément d'apprentissage de connaissances spécifiques à la tâche.	
5	La représentation mentale de la tâche prescrite élaborée par le système cognitif de l'élève ne permet pas d'activer les connaissances adéquates à la réalisation de la tâche prescrite, mais, ici, les difficultés de l'élève semblent être plus importantes.	
6	L'élève a besoin d'être confronté à d'autres tâches similaires pour être capable d'activer les connaissances adéquates et ne plus activer la stratégie d'essais-erreurs.	
7	Si les états d'impasse aboutissent à des phases d'essais-erreurs alors on peut dire que l'élève a des connaissances en mémoire relatives au(x) savoir(s) portés par la tâche prescrite, mais l'apprentissage doit être consolidé (meilleure représentation de la tâche afin d'activer les connaissances adéquates à la réalisation de la tâche).	
8	L'élève a probablement besoin d'informations supplémentaires soit pour élaborer une représentation de la tâche efficiente, soit pour construire les connaissances procédurales nécessaires à la réalisation de la tâche, voire les deux.	
9	Si les états d'impasse sont fréquents et ne permettent pas d'aboutir à la mise en œuvre d'une stratégie, même inefficace, alors l'élève est en grande difficulté et a besoin d'un apprentissage pour construire les connaissances nécessaires à la réalisation de la tâche prescrite.	

- Table 3 : diagnostics établis à partir de l'interprétation des indicateurs de la Table 2

## 9. Apprentissages « complexes »

### 9.1. Constat

C'est suite à une remarque d'un·e enseignant·e de construction métallique, confronté au fait qu'une grande partie de ses élèves de BTS<sup>28</sup> avaient été incapables de mobiliser une connaissance « ancienne » (le théorème de Pythagore) dans une tâche de dimensionnement de structure que j'ai éprouvé la nécessité de travailler sur la notion de « transfert » des connaissances, comme le désignent les didacticiens, même si je rejoins Jonnaert (2002) sur le fait que la notion de transfert ne se résume pas à une simple correspondance des connaissances entre deux tâches.. Si activer des connaissances correspond à déplacer la « centration », le « focus attentionnel » du système cognitif dans l'espace des connaissances en mémoire, alors apprendre de nouvelles connaissances implique l'élaboration « d'îlots de connaissances » suffisamment « proches » les uns des autres pour permettre à la « centration », au « focus » de se déplacer de proche en proche en mémoire. Cet aspect de « proximité » se traduit, en fait, par la nécessité de pouvoir créer des « liens » avec des îlots de connaissances qui peuvent être éloignés les uns des autres dans l'espace des connaissances de l'élève, car résultant, notamment, d'une construction dans des contextes différents. Comment alors aider l'enseignant·e à élaborer des tâches d'apprentissage qui permettent ce cheminement, cheminement adapté aux besoins de l'élève ? Quels sont les éléments à prendre en compte ? Comment spécifier alors les interactions « enseignant·e-élève » du modèle de la situation d'enseignement-apprentissage pour réguler ces apprentissages afin de pouvoir leur garantir une certaine efficacité ? Comment utiliser les ressources numériques pour soutenir cet apprentissage ?

Ces questions sont importantes de par le constat que l'on peut faire au niveau des organisations curriculaires des savoirs à enseigner, organisations qui sont souvent parcellaires et très cloisonnées dans les différentes disciplines scolaires. Ainsi, en France, on enseigne des savoirs rattachés à des disciplines relativement « étanches » les unes vis-à-vis des autres. Même s'il est vrai que des dispositifs pédagogiques, comme l'EIST (« Enseignement Intégré des Sciences et de la Technologie ») ont

---

<sup>28</sup> Brevet de Technicien Supérieur

été mis en œuvre, on peut faire le constat qu'au sein de ces dispositifs, très souvent, l'enseignant·e de Physique enseigne de la physique, l'enseignant·e de SVT<sup>29</sup> enseigne la SVT. De plus, force est de constater également, que le contexte du savoir enseigné est souvent « pauvre » en informations (par exemple, en mathématiques, on apprend à l'élève à déterminer si un nombre est premier ou pas, et seulement cela). De ce fait, suite à l'enseignement de ces savoirs, le système cognitif de l'élève a construit des « îlots de connaissances » en mémoire (les « KiPs » de diSessa, par exemple), dont l'accès se fait par les éléments de contexte (voir modèle d'Ericsson et Kintsch, la contextualisation des connaissances pour Bastien), sans pour cela qu'il y ait des liens entre ces différents « îlots de connaissances » qui sont donc relativement épars en mémoire de l'élève. Et, très souvent, la mise en réseau de ces différents « îlots de connaissances » est laissée à la seule charge de l'élève : son système cognitif peut se retrouver alors en surcharge cognitive, d'où les difficultés d'apprentissage de ces savoirs (concepts, apprentissages « complexes ») rencontrées par les élèves.

Dans cette perspective, il s'agira de développer des recherches qui feront suite, notamment, aux travaux en cours que je codirige dans le cadre de la thèse sur l'apprentissage de concepts en sciences et/ou en technologie, en allant au-delà de l'apprentissage de concepts, puisque je souhaite m'intéresser aux apprentissages dits « complexes » (« complex learning »).

## 9.2. Questions de recherche

Les apprentissages complexes correspondent à des apprentissages qui amène le système cognitif de l'élève à devoir intégrer des connaissances, des habiletés et des attitudes relatives aux savoirs, savoir-faire et savoir-être enseignés en classe ; ce, dans l'objectif de pouvoir transférer ce qui a été appris à l'école dans la vie professionnelle ou dans la vie de tous les jours (Kirschner et van Merriënboer, 2008).

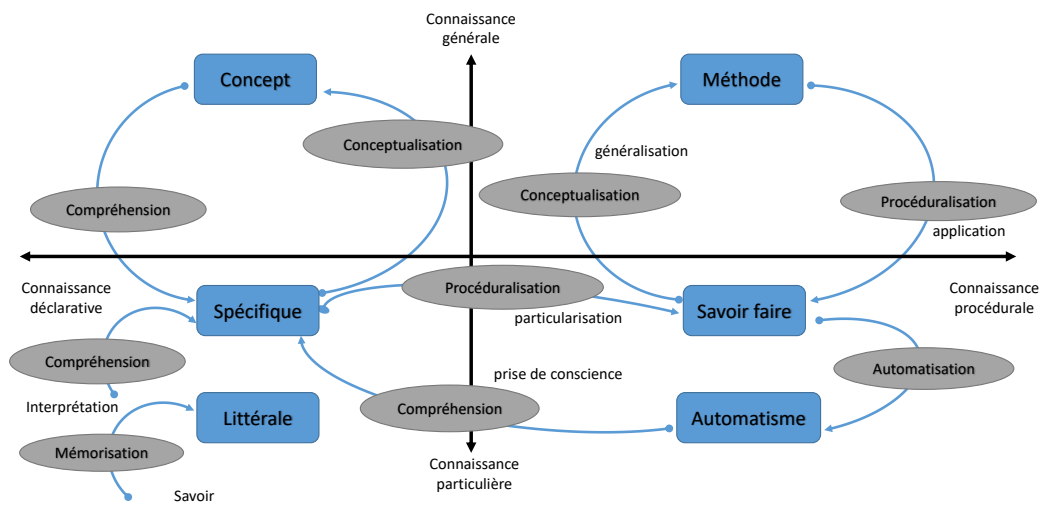
Musial, Pradère et Tricot (2012) donnent quelques exemples d'apprentissages complexes : apprendre à rédiger une rédaction, faire un diagnostic en médecine, faire une recherche d'information en droit.

---

<sup>29</sup> Sciences et Vie de la Terre



Par ailleurs, ces auteurs présentent également un cadre de référence didactique des différents formats de « connaissances » et des processus d'apprentissage associés (Figure 9.1). Outre le fait que, de mon point de vue, ce qui est désigné par « connaissance » dans ce cadre de référence didactique correspond, pour moi, plus à des « savoirs » (voir, en Partie 2, ma discussion au paragraphe « savoirs et connaissances »), je m'interroge également sur les processus d'apprentissage qui sont mentionnés : est-ce que les processus présentés correspondent aux processus « naturellement » mis en œuvre par le système cognitif pour apprendre et ce sont ceux-là qui se déroulent en classe, donc, enseigner revient à favoriser ces processus pour permettre à l'élève d'apprendre ? Ou alors, enseigner efficacement du point de vue de l'apprentissage de l'élève consiste-t-il à mettre en œuvre d'autres processus qui s'appuie sur les mécanismes d'apprentissage, processus qui sont alors pilotés par le processus d'enseignement ?



- Figure 9.1 : Cadre de référence didactique proposé par Musial, Pradère et Tricot (2012).

Dans les enseignements de sciences, et notamment dans les enseignements de technologie, les démarches pédagogiques prescrites par l'institution comme la démarche d'investigation, la démarche de résolution de problème, la démarche de projet, correspondent, de mon point de vue, à des apprentissages complexes dans la mesure où, au sein de ces démarches, l'élève, effectivement, devra compiler des connaissances relatives aux trois registres précités, c'est-à-dire des connaissances

relatives à des savoirs, des savoir-faire et des savoir-être. De plus, dans les enseignements de technologie, notamment au lycée, dans la filière STI2D<sup>30</sup>, ces apprentissages ont une visée « pouvoir transférer ce qui a été appris dans un contexte professionnel », même si, personnellement, je pense qu'il est nécessaire de discuter de la réalité effective de ce « transfert ». Comme je pense qu'il est aussi nécessaire de discuter de l'efficacité de ces dispositifs pédagogiques. En effet, sans pour cela entrer dans le débat initié<sup>31</sup> par l'article de Kirschner, Sweller et Clark (2006), article dans lequel les auteurs écrivent clairement que ces dispositifs sont relativement peu efficaces du point de vue de l'apprentissage des élèves, je pense qu'il est nécessaire de retenir de leurs propos, et qui est clairement mis en avant dans le titre, à savoir qu'un enseignement peu guidé ne fonctionne pas.

Ainsi, si apprendre des concepts, a priori, amène le système cognitif à devoir créer des liens entre des « îlots de connaissances » qui sont relativement proches les uns des autres dans l'espace des connaissances en mémoire de l'élève, par contre, je fais le postulat que ce n'est pas le cas pour les apprentissages dits « complexes ». Dans ce cas, les connaissances en mémoire de l'élève associées aux champs de savoirs relatifs à des apprentissages « complexes » sont « éloignées » les unes des autres, de par le fait que, soit ces connaissances résultent de contextes très différents, soit l'élève les mobilise peu dans ses activités cognitives, soit elles résultent d'un apprentissage de savoirs, apprentissage « ancien » dans l'histoire personnelle de l'élève. L'idée sous-entendue est alors la suivante : la création de liens entre les différents « îlots de connaissances » dans le cas d'un apprentissage « complexe » résulte d'une activité cognitive autre que celle mise en œuvre lors de l'apprentissage d'un concept scientifique et/ou technologique. Dis autrement, la création de liens entre les différents « îlots de connaissances » dans le cadre d'un apprentissage complexe résultera d'un enseignement qui devra prendre en compte l'éparpillement en mémoire de l'élève des « îlots de connaissances » impliqués dans cet apprentissage « complexe ».

---

<sup>30</sup> Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

<sup>31</sup> Pour de plus amples détails, on peut éventuellement consulter Tricot (2017a), chapitre 2, pp. 28-39 ; ainsi que Sweller, Kirschner et Clark (2007) qui est une réponse aux commentaires et réactions faites, suite à leur article de 2006.

### 9.3. Recherches prévues

Les recherches à mener devront donc déterminer comment aider l'enseignant·e à élaborer des enseignements efficaces du point de vue de l'apprentissage de l'élève, et cela passe, non seulement par des recherches sur comment définir les tâches d'apprentissage, mais aussi par des recherches qui devront analyser et spécifier les interactions enseignant·e-élève(s) dans ces apprentissages qui peuvent s'avérer être longs et coûteux cognitivement pour l'élève. Il s'agit là de pouvoir définir les conditions de l'efficacité du processus d'enseignement-apprentissage en apportant les éléments nécessaires à la mise en œuvre d'un enseignement suffisamment guidé qui doit permettre à l'élève de traiter le nouveau savoir pour pouvoir construire les connaissances relatives à ce savoir, c'est-à-dire que l'enseignant·e doit montrer explicitement à l'élève comment il doit faire et comme il faut faire (Kirschner, Sweller et Clark, 2006). Pour cela, un certain nombre de synthèses sont disponibles, comme, par exemple : les 25 principes de l'apprentissage pour guider la pédagogie, publié par l'université de Memphis<sup>32</sup> ; les principes d'enseignement et d'apprentissage, publié par l'université de Carnegie-Mellon<sup>33</sup> ; le booklet de Walberg et Paik, *Effective educational practices*<sup>34</sup> ; ou encore, le booklet de Vosniadou, *How children learn*<sup>35</sup> ; ou bien encore, parmi d'autres, Merrill (2002, 2013).

L'objectif de ces recherches sera aussi d'identifier des ressources numériques susceptibles de supporter les tâches d'apprentissage, de tester ces ressources numériques dans des apprentissages dits « complexes » qui amène le système cognitif de l'élève à pouvoir établir des liens entre des « îlots de connaissances » éparpillés en mémoire, d'analyser les interactions enseignant·e-élève(s) dans les situations d'enseignement-apprentissage mettant en œuvre ces tâches d'apprentissage afin de pouvoir les spécifier plus finement.

Un premier travail exploratoire a été effectué dans le cadre de mes codirections de mémoire de Master avec l'apprentissage de l'algorithmique, l'idée retenue était de

---

<sup>32</sup> Voir : <http://psyc.memphis.edu/learning>

<sup>33</sup> Voir : <https://www.cmu.edu/teaching/principles/index.html>

<sup>34</sup> Disponible sur le site de l'UNESCO à l'URL : [www.ibe.unesco.org/fileadmin/user\\_upload/archive/Publications](http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user_upload/archive/Publications)

<sup>35</sup> Disponible à l'URL : <http://www.curtin.edu.au/curtin/dept/smec/iae>

soutenir cet apprentissage avec un dispositif de robotique. Les hypothèses formulées portaient sur le fait que la tâche d'apprentissage réalisée avec le robot devait faciliter l'apprentissage de l'algorithmique et favoriser la motivation des élèves par un meilleur engagement de leur part dans la tâche. En effet, très souvent, la séquence d'enseignement consacrée à l'apprentissage de l'algorithmique laisse les élèves circonspects et les met souvent en difficulté (voir remarques faites à partir de la thèse d'Ovono (2018) sur l'enseignement-apprentissage de l'algorithmique dont j'ai assuré, en grande partie, la direction). Les hypothèses n'ont pas pu vraiment être testées dans le cadre de ce mémoire de Master (nombreux problèmes techniques, formulation de la tâche prescrite par les étudiants à revoir), mais l'expérience va être reconduite, notamment dans le cadre d'un projet DAFIP<sup>36</sup> dont je suis co-responsable. L'idée serait alors de proposer aux élèves de décrire le fonctionnement du robot en réalisation d'une tâche de résolution de problème (activité-élève classique en cours de Technologie, notamment au Collège). A partir des descriptions établies par les élèves, l'enseignant·e mettra alors en évidence les mots-clés, les formulations syntaxiques propres au langage algorithmique, mots-clés et formulations syntaxiques qui apparaîtront dans leurs descriptions, soit de façon directe (notamment, pour la structure conditionnelle), soit de façon indirecte (ce qui est souvent le cas pour les structures itératives), afin de leur montrer qu'un algorithme est en fait la formulation de la résolution d'un problème exprimé dans un langage partagé par une communauté, langage qui rend, comme tout langage, la description de la résolution du problème compréhensible et intelligible, et rédigée dans une forme qui facilite sa traduction dans un autre langage qui, lui, sera un langage informatique. On s'éloigne ainsi de la séance traditionnelle de présentation du langage algorithmique, telle qu'elle est encore fortement pratiquée en classe<sup>37</sup>, séance pendant laquelle l'enseignant·e présente les différentes unités syntaxiques de la programmation structurée, les mots-clés, et le formalisme d'écriture de ces éléments de langage. D'un point de vue méthodologique, le recueil de données se fera à partir d'une analyse des traces écrites des élèves, d'observations non participantes directes pour pouvoir analyser les interactions enseignant·e-élève(s).

---

<sup>36</sup> Délégation Académique à la Formation et à l'Innovation Pédagogique

<sup>37</sup> Voir, par exemple, les ressources proposées sur cette thématique par le site « mysti2d » de la communauté des enseignants de STI2D, à l'URL suivante : [www.mysti2d.net](http://www.mysti2d.net)

En résumer, plus globalement, il s'agirait de questionner la pertinence de la « supportive information », c'est-à-dire comment mettre en œuvre les supports nécessaires : quel format faut-il privilégier ? Le format papier étant à limiter, quel nature de format numérique retenir : lien sur URL ? QR code ? (usage qui peut, dans certains cas, être un élément moteur de motivation pour l'élève) ; quelle forme donner à cette information ? quel contenu ? à quel moment ?, telles sont les questions qui pourraient être traitées pour contribuer à une meilleure efficacité de l'apprentissage des élèves.

Par ailleurs, en reprenant le postulat pour lequel l'apprentissage est un processus d'inhibition-mémorisation (Tricot, 2003), postulat *a priori* validé par certains résultats de travaux en neurosciences (voir, par exemple, Masson et Brault-Foisy, [2012] ; Brault Foisy, Potvin, Riopel et Masson, [2015]), et notamment par les travaux, en France, d'Olivier Houdé ; postulat qui sous-entend alors qu'il y a coexistence, dans la mémoire de l'apprenant, des connaissances mobilisées de façon intuitive (les connaissances « erronées ») pour traiter la situation et des connaissances élaborées en structures adéquates relatives au savoir enseigné, on peut poser la question de comment favoriser ce processus d'inhibition afin d'amener le système cognitif de l'élève à systématiquement privilégier la structure de connaissances adéquate. Il s'agirait, notamment, de questionner le fait de faire apprendre à l'élève une connaissance fonctionnelle, amener son système cognitif à créer des liens « fonctionnels » entre les connaissances, alors est-ce que cela peut-il contribuer à une meilleure inhibition de ces connaissances « erronées » ?

## Conclusion

Au terme de cette note de synthèse, en conclusion, je souhaite mettre en avant quelques « lignes de force » caractérisant les travaux que j'ai menés durant ces dernières années.

Tout d'abord, mes travaux de recherche s'appuient sur une approche centrée sur l'élève : j'essaie de comprendre comment un élève apprend en classe, pourquoi il rencontre des difficultés dans la réalisation de la tâche prescrite par son enseignant·e, en essayant de déterminer qu'elles peuvent être les variables qui sont à l'origine de ses difficultés. Dans le domaine des sciences de l'éducation, ces dernières années, peu de travaux sont centrés sur l'élève, sur la problématique de ses apprentissages à l'école : on étudie essentiellement l'enseignant·e et ses pratiques, on analyse beaucoup l'interaction avec les institutions, et souvent celle avec l'environnement social. Mais, peu de travaux, véritablement consacrés à la compréhension du fonctionnement de l'élève en apprentissage à l'école, émergent de ce domaine.

Ensuite, je défends, depuis mes travaux de thèse, l'idée de la nécessité d'une approche pluridisciplinaire, voire interdisciplinaire, de cet objet de recherche qu'est la compréhension du processus d'enseignement-apprentissage qui se déroule au sein de la situation d'enseignement-apprentissage. Ainsi, les travaux que j'ai conduits, et notamment mes codirections de thèse, se sont toujours appuyés sur les apports, les résultats scientifiques issues de plusieurs disciplines, voire sur des collaborations avec des chercheurs de différentes disciplines : la psychologie des apprentissages, bien évidemment, mais aussi la didactique, la psychologie sociale, les neurosciences.

Enfin, mon cadre applicatif, les situations de classe que j'ai été amenées à étudier au sein desquelles j'ai effectué mes recherches, relève de la perspective STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*). Cette logique

pluridisciplinaire<sup>38</sup> permet de considérer le savoir à enseigner, non plus comme un savoir relevant d'une discipline, mais comme un savoir partagé par plusieurs disciplines, l'objectif de la démarche STEM étant d'amener l'élève à mobiliser ses connaissances pour résoudre des problèmes, et non plus seulement en réponse à un savoir disciplinaire. C'est donc par la résolution de problèmes, problèmes d'ordre scientifique et/ou technologique, que l'élève sera amené à construire ses connaissances. Et c'est pour résoudre un problème, présent au sein de la tâche prescrite par son enseignant·e, que l'élève sera amené à activer ses connaissances.

---

<sup>38</sup> Le rattachement à la perspective STEM est clairement affiché dans la dernière version du référentiel STI2D (Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable) du Ministère de l'Éducation Nationale.

## Références

- Abboud-Blanchard, M. & Rogalski, J. (2017). Des outils pour analyser l'activité de l'enseignant ordinaire utilisant des technologies. *Revue de Didactique des Mathématiques*, 37(2-3), 161-216.
- Ackerman, P. L. & Kanfer, R. (2004). Cognitive, affective, and conative aspects of adult intellect within a typical and maximal performance framework. In D. Y. Dai & R. J. Sternberg (Eds.), *Motivation, Emotion and Cognition* (pp. 119-142). Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante : l'analyse plurielle. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 85-93.
- Altet, M. (2009). De la psychopédagogie à l'analyse plurielle des pratiques. In A. Vergnion (Ed.), *40 ans des sciences de l'éducation. L'âge de la maturité ? Questions vives* (pp. 31-47). Caen, France : Presses Universitaires de Caen.
- Altet, M. (2014). Les enseignants et leurs pratiques professionnelles. In J. Beillerot & N. Mosconi (Eds.), *Traité des sciences et des pratiques de l'éducation* (pp. 291-303). Paris, France : Dunod.
- Altet, M., & Guibert, P. (2014). Construire un curriculum européen à partir de l'observation et l'analyse des pratiques enseignantes. In L. Paquay, P. Perrenoud, M. Altet, R. Etienne, & J. Desjardins (Eds.), *Travail réel des enseignants et formation* (pp. 79-96). Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.
- Amade-Escot, C., & Venturini, P. (2009). Le milieu didactique : d'une étude empirique en contexte difficile à une réflexion sur le concept. *Education et Didactique*, 3(1), 7-43.
- Amadiou, F., & Tricot, A. (2006). Utilisation d'un hypermédia et apprentissage : deux activités concurrentes ou complémentaires ? *Psychologie française*, 51, 5-23.
- Anderson, J. R. (2000). *Learning and Memory : An Integrated Approach*. New York, NY: Wiley.
- Anderson, J. R., Greeno, J. G., Reder, L. M. & Simon, H. A. (2000). Perspectives on learning, thinking and activity. *Educational Researcher*, 29, 11- 13.
- Anderson, J.R., Bothell, D., Byrne, M.D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). An integrated theory of mind. *Psychological Review*, 111(4), 1036-1060.
- Anderson, J. R., Reder, L. M. & Simon, H. A. (1996). Situated learning and education. *Educational Researcher*, 25(4), 5-11.
- Ardoino, J. (1990). Les postures (ou impostures) respectives du chercheur, de l'expert et du consultant. *Les nouvelles formes de la recherche en éducation*, 2, 79-87.



- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford, GB: Clarendon/Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1993). Working memory or working attention? In A. D. Baddeley & L. Weiskrantz (Eds.), *Attention: Selection, Awareness and Control* (pp. 152-170). Oxford, GB: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49(1), 5-28.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component or working memory? *Journal of Experimental Psychology*, 129, 126-145.
- Bandura, A. (1993). Perceived Self-Efficacy in Cognitive Development and Functioning. *Educational Psychologist*, 28(2), 117-148.
- Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology*, 133(1), 83-100.
- Barsalou, L. W. (1982). Context-independent and context-dependent information in concepts. *Memory & Cognition*, 10(1), 82-93.
- Barsalou, L. W. (1987). The instability of graded structure: implications for the nature of concepts. In U. Neisser (Ed.), *Concepts and conceptual development: ecological and intellectual factors in categorization* (pp. 101-140). Cambridge, GB: Cambridge University Press.
- Barth, B. M. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris, France : Retz.
- Bartlett, F. (1932). *Remembering a study in experimental and social psychology*. New-York, NY: Cambridge University Press.
- Bastien, C. (1997). *Les connaissances de l'enfant à l'adulte*. Paris, France : Armand Colin.
- Bastien, C. (1987). *Schémas et stratégies dans l'activité cognitive de l'enfant*. Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Bastien, C. (1982). *La résolution de problèmes chez l'enfant*. (Thèse pour le doctorat d'état, document imprimé), Université de Provence, Aix-en-Provence.
- Bastien, C., & Bastien-Toniazzo, M. (2005). Du cheminement aux cheminements. *Revue Française de Pédagogie*, 152, 21-28.
- Bastien, C., & Bastien-Toniazzo, M. (2004). *Apprendre à l'école*. Paris, France : Armand Colin.
- Bastien, C., & Richard, J. -F. (2003). La résolution de problèmes. In R. Ghiglione & J. -F. Richard (Eds.), *Cours de psychologie. Processus et applications* (pp. 379-413). Paris, France : Dunod.
- Bellec, D. (2015). *Apprentissage par enseignement à partir d'environnements complexes : effets de l'isolement en interaction et en séquençage de la présentation*. (Thèse de doctorat, document imprimé), Université de Toulouse le Mirail, Toulouse, France.

Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01284008>.

- Berbaum, J. (1982). *Etude systémique des actions de formation*. Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Bernard, F. X., Boulc'h, L., & Arganini, G. (2013). Utilisation de tablettes numériques à l'école. Une analyse du processus d'appropriation pour l'apprentissage. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation*, 20(1), 513-529.
- Bernié, J.-P. (2005). Les « situations différées » de Francis Ruellan : fécondité et zones d'ombre d'un espace de problématisation. In Y. Reuter (Ed.), *Pédagogie du projet et didactique du français. Penser et débattre avec Francis Ruellan* (pp. 141-168). Villeneuve d'Ascq, France : Presses Universitaires du Septentrion.
- Bernié, J.-P. (2004). L'écriture et le contexte : quelles situations d'apprentissage ? Vers une recomposition de la discipline « français ». *Lynx*, 51, 25-39.
- Besnard, D., & Bastien-Toniazzo, M. (1999). Expert error in trouble-shooting: an exploratory study in electronics. *International Journal of Human-Computer Studies*, 50, 391-405.
- Boder, A. (1992). Le schème familial, unité cognitive procédurale privilégiée. In B. Inhelder & G. Cellérier (Eds.), *Le cheminement des découvertes de l'enfant* (pp. 217-302). Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Boekaerts, M. (2010). Motivation et émotion, deux piliers de l'apprentissage en classe. In H. Dumont, D. Istance & F. Benavides (Eds.), *Comment apprend-on ? La recherche au service de la pratique*, (pp. 97-120). Paris, France : Editions OCDE.
- Boilevin, J. -M., Delserieys, A., Jegou, C., Ravanis, K., & Jameau, A. (2016). Un cadre précurseur pour expérimenter les sciences en maternelle. *Cahiers pédagogiques*, 533. Retrieved from [www.cahiers-pedagogiques.com/Un-cadre-precurseur-pour-enseigner-les-sciences-en-maternelle](http://www.cahiers-pedagogiques.com/Un-cadre-precurseur-pour-enseigner-les-sciences-en-maternelle)
- Bonnardel, N. (2006). *Créativité et conception, approches cognitives et ergonomiques*. Marseille, France : Solal.
- Braut Foisy, L.-M., Potvin, P., Riopel, M. & Masson, S. (2015). Is inhibition involved in overcoming a common physics misconception in mechanics ?. *Trends in Neurosciences and Education*, 4(1), 26-36.
- Brewer, S. S. (2008). Rencontre avec Albert Bandura : l'homme et le scientifique. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 37(1), 29-56.
- Brousseau, G. (1995). Les mathématiques à l'école. *Bulletin APMEP*, 400, 831-850.
- Brousseau, G. (2003). *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques*. Retrieved from [http://perso.orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire\\_Brousseau.pdf](http://perso.orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf).

- Brown, D.E. (1992). Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics : factors influencing conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), 17-34.
- Brown, J. S., & Burton, R. R. (1978). Diagnostic model for procedural bugs in basic mathematical skills. *Cognitive Science*, 2, 155-192.
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Research*, 18(1), 32-42.
- Brown, J. S., & Van Lehn, K. (1980). Repair theory: a generative theory of bugs in procedure skills. *Cognitive Science*, 4, 379-426.
- Bru, M. (2002). Pratiques enseignantes : des recherches à conforter et à développer. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 163-173.
- Bru, M., & Clanet, J. (2011). La situation d'enseignement-apprentissage : caractères contextuels et construits. *Recherches en Education*, 12, 26-34.
- Camos, V. &Barrouillet, P. (2014). Le développement de la mémoire de travail : perspectives dans le cadre du modèle de partage temporel des ressources. *Psychologie Française*, 59(1), 21-35.
- Campbell, J. P., DeBlois, P. B., & Oblinger, D. G. (2007). *Academic Analytics: A New Tool for A New Area*. EDUCAUSE Review, July/August, 41-57.
- Cellérier, G. (1979a). Structures cognitives et schèmes d'action I. *Archives de psychologie*, 47(180), 87-104.
- Cellérier, G. (1979b). Structures cognitives et schèmes d'action II *Archives de psychologie*, 47(180), 107-122.
- Chaachoua, H., Croset, M. C., Bouhineau, D., Bittar, M., & Nicaud, J. -F. (2007). Description et exploitations des traces du logiciel d'algèbre Aplusix. *Revue STICEF*, 14, 22-48.
- Channouf, A., & Rouan, G. (2002). *Emotions et cognition*. Bruxelles, Belgique : Editions de Boeck.
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive. Théories et applications*. Paris, France : Armand Colin.
- Chatti, M. A., Dyckhoff, A. L., Schroeder, U., & Thüs, H. (2012). A reference model for learning analytics. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 4(5-6), 318-331.
- Chevallard, Y. (1985, 1991). *La transposition didactique du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, France : La Pensée Sauvage.
- Chi, M.T.H. (2008). Three types of conceptual change : belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82). New-York, NY: Routledge.
- Choi, H.-H., van Merriënboer & Paas, F. (2014). Effects of the physical environment on cognitive load and learning : towards a new model of cognitive load. *Educational Psychology Review*, 26, 225-244.

- Clanet, J. (2012). L'efficacité enseignante, quelle modélisation pour servir cette ambition ?. *Questions Vives*, 6(18), 15-37.
- Clément, E. (2003). L'analyse de l'activité dans la résolution de problèmes. *Psychologie et Psychométrie*, 24(4), 25-36.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention and their mutual constraints within the human information processing system. *Psychological Bulletin*, 104(2), 163-191.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-time memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 87-114.
- Dai, D. Y., & Sternberg, R. J. (2004). Toward an integrated understanding of intellectual functioning and development. In Y. D. Dai & R. J. Sternberg (Eds.), *Motivation, emotion, and cognition: Integrative perspectives on intellectual functioning and development* (pp. 3-40). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Delsérieys, A., Jégou, C., Boilevin, J. -M., & Ravanis, K. (2018). Precursor model and preschool science learning about shadows formation. *Research in Science & Technological Education*, 36(2), 147-164.
- de Rosnay, J. (1975). *Le microscope, vers une vision globale*. Paris, France : Seuil.
- de Vecchi, G. (1990). La construction du savoir scientifique passe par une suite de ruptures et de remodelages. *Recherche et Formation*, 7, 35-46.
- de Vries, E. (2002). Computer-mediated epistemic dialogue: explanation and argumentation as vehicles for understanding scientific notions. *Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 63-103.
- Dessus, P. (2008). Qu'est-ce que l'enseignement ? Quelques conditions nécessaires et suffisantes de cette activité. *Revue Française de Pédagogie*, 164, 139-168.
- Develay, M. (2004). *De l'apprentissage à l'enseignement*. Paris, France : ESF.
- Dietz-Uhler, B., & Hurn, J. E. (2013). Using analytics to predict (and improve) student success: a faculty perspective. *Journal of Interactive Online Learning*, 12(1), 17-26.
- Dieumegard, G. (2011). Dimensions cognitives et sociales dans l'étude de l'activité des élèves. *Education & Didactique*, 5(3), 33-60.
- diSessa, A.A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2 et 3), 105-225.
- diSessa, A. A. (2008). A bird's eye view of the "pieces" vs. "coherence" controversy (from the "piece" side of the fence). In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 35-60). New-York, NY: Routledge.
- diSessa, A. A. (2017). Une introduction accessible à la « Connaissance par Morceaux » : Modélisation des types de connaissances et de leurs rôles dans l'apprentissage. *Education & Didactique*, 11(2), 215-232.

- Donnadieu, B., Genthon, M., & Vial, M. (1998). *Les théories de l'apprentissage : quel usage pour les cadres de santé ?* Paris, France : Elsevier.
- Dumont, H., & Istance, D. (2010). Analysing and designing learning environments for the 21 st century. In H. Dumont, D. Istance, & F. Benavides (Eds.), *The nature of learning :using research to inspire practice* (pp. 19-34). Paris, France : OECD Publishing.
- Dunkin, M., & Biddle, B. (1974). *The study of teaching*. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston.
- Duval, R. & Egret, M. A. (1989). L'organisation déductive du discours. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 2, 25-40.
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 5, 37-65.
- Dutrévis, M., Toczek, M. C., & Buchs, C. (2015). Régulation sociale des apprentissages scolaires. In M. Crahay & M. Dutrévis (Eds.), *Psychologie des apprentissages scolaires*. Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- El Hader, C. (2016). *L'effet du guidage dans l'environnement GeoGebra et au niveau du raisonnement déductif : une propédeutique à la résolution de problèmes de démonstration de géométrie plane en 6° dans les écoles libanaises francophones homologuées*. (Thèse de doctorat, document imprimé), Aix Marseille Université, Marseille (France).
- Engeström, Y. (2001). Expansive learning at work: toward an activity theoretical reconceptualization. *Journal of Education and Work*, 14(1), 133-155.
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Bulletin*, 102, 211-245.
- Fayol, M. (1990). *L'enfant et le nombre*. Neuchâtel, Suisse : Delachaux & Niestlé.
- Fenouillet, F. (2016, 2° édition). *Les théories de la motivation*. Paris, France : Dunod.
- Gage, N. L. (1978). *The scientific basic of the art of teaching*. New York, NY: Teachers College Press.
- Gavens, N., & Camos, V. (2006). La mémoire de travail : une place centrale dans les apprentissages fondamentaux. In P. Dessus & E. Gentaz (Eds.), *Apprentissage et enseignement. Sciences cognitives et éducation* (pp. 91-103). Paris, France : Dunod.
- Geleas, S., & Thibault, J. P. (2004). L'apprentissage de concepts chez l'enfant : facteurs cognitifs, structure des catégories et théories naïves. *L'année psychologique*, 104(3), 597-636.
- Gero, J. S. (2010). *Generalizing Design Cognition Research*. Paper presented at the Design Thinking Research Symposium 8, Sydney, Australia. <http://www.dab.uts.edu.au/research/conferences/dtrs8/docs/DTRS8-Gero-2.pdf>
- Ginestié, J. (2008). Une ballade entre plusieurs mondes - réels, virtuels, modélisés, maquettisés ... *Skholê*, 14, 43-56.

- Ginestié, J., & Tricot, A. (2013). Activité d'élèves, activité d'enseignants en éducation scientifique et technologiques. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 8, 9-22.
- Giordan, A. (1995). New models for the learning process: beyond constructivism? *Prospects*, 25(1), 101-118.
- Giordan, A. (1998). *Apprendre !* Paris, France : Armand Colin.
- Giordan, A., & de Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir*. Neuchâtel, Suisse : Delachaux et Niestlé.
- Godden, D. R., & Baddeley, A. D. (1975). Context-dependent memory in two natural environments: on land and under water. *British Journal of Psychology*, 66, 325-331.
- Grangeat, M. (2000, 2<sup>e</sup> édition). Lev S. Vygotski. In J. -C. Ruano-Borbalan (Ed.), *Eduquer et Former* (pp. 103-121). Paris, France : Editions Sciences Humaines.
- Gréco, P. (1967). Epistémologie de la psychologie. In J. Piaget (Ed.), *Logique et connaissance scientifique* (pp. 927-991). Paris, France : Gallimard.
- Guida, A., Tardieu, H., & Nicolas, S. (2009). Mémoire de travail à long terme : quelle est l'utilité de ce concept ? Emergence, concurrence et bilan de la théorie d'Ericsson et Kintsch (1995). *L'année psychologique*, 109, 83-122.
- Gunther, F., Hérold J.-F. & Zarouf, R. (2020). Langages techniques, langages mathématiques. In M. Chatoney & M. Impédovo (Eds.), *Regards sur le processus d'enseignement apprentissage* (pp. 35-52). Paris, France : L'Harmattan.
- Haspekian, M. (2006). *Intégration d'outils informatiques dans l'enseignement des mathématiques : Etude du cas des tableurs*. (Thèse de doctorat, document imprimé), Université Paris Diderot - Paris VIII, Paris, France. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011388>.
- Hérold, J. -F. (2006). *Fonctionnalisation des connaissances et EIAO : conception et validation d'un logiciel d'aide à l'apprentissage des mathématiques au collège*. (Doctorat, document imprimé), Université d'Aix-Marseille I, Aix-en-Provence, France.
- Hérold, J. -F. (2007, 28-31 août). *Un outil informatisé d'apprentissage : validation d'une méthodologie et conception*. Paper presented at the Congrès AREF, Strasbourg (France).
- Hérold, J. -F. (2008a). Conception et réalisation d'un outil informatisé d'aide à l'apprentissage. In M. Sidir, G.-L. Baron, & E. Bruillard (Eds.), *Journées Communication et Apprentissages Instrumentés en Réseau* (pp. 265-276). Paris, France : Hermès.
- Hérold, J. -F. (2008b, 05-07 mai). *Aider tous les élèves à apprendre : proposition d'un dispositif de médiation à l'apprentissage de l'arithmétique des nombres relatifs*. Paper presented at the 29<sup>e</sup> Journées Internationales sur la

Communication, l'Education et la Culture Scientifique, Technique et Industrielle, Chamonix (France).

- Hérol, J. -F. (2008c, 18-20 septembre). *Elaboration de situations d'apprentissage : une proposition de mise en oeuvre dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire*. Paper presented at the Les didactiques et leurs rapports à l'enseignement et à la formation, Bordeaux (France).
- Hérol, J. -F. (2008d, 02-03 avril). *L'outil informatisé : une aide à l'apprentissage ?*. Paper presented at the the 13° Rencontres de l'Orme/CRDP, Marseille (France).
- Hérol, J. -F. (2010a, 21-23 juillet). *Conception d'un outil informatisé d'aide à l'apprentissage du traitement arithmétique des nombres relatifs pour des élèves de 13-14 ans dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire*. Paper presented at the 11° Colloque International sur la Robotique Pédagogique, Kaslik (Liban).
- Hérol, J. -F. (2010b, 31 mai-04 juin). *Une approche pluridisciplinaire de la situation d'enseignement : de la nécessité de nouvelles pratiques éducatives à travers l'exemple français de l'usage des nouveaux outils numériques à l'école*. Paper presented at the Colloque "Perspectives futures sur la recherche en éducation scientifique et technologique" du 16° Congrès mondial des Sciences de l'Education, Monterrey (Mexique).
- Hérol, J. -F. (2012a). Analyse cognitive de l'activité de l'élève pour une personnalisation d'un environnement numérique d'apprentissage. *Revue Sticef*, 19, 285-307.
- Hérol, J. -F. (2012b, 26-28 avril). Enseigner autrement : éléments de régulation des démarches d'apprentissage des élèves. Paper presented at the Colloque SIEST, Tunis (Tunisie). In C. Ben Kilani, J.M. Boilevin & K. Ravanis (Eds.), *SIEST Méditerranée, Skholê*, 137-142.
- Hérol, J. -F. (2014a). A cognitive analysis of students' activity: an example in mathematics. *Australian Journal of Teacher Education*, 39(1), 137-158.
- Hérol, J. -F. (2014b). Learning with an IT tool: analysis of the student's activity. In ACM (Ed.), *Interaccion Conference* (pp. 320-324). Tenerife, Spain: ACM.
- Hérol, J. -F. (2015a, 30 avril-01 mai). *De la nécessité d'intégrer véritablement la recherche en éducation dans la formation des enseignants : une approche interdisciplinaire du processus enseignement-apprentissage*. Paper presented at the 2° Colloque International en éducation du CRIFPE "Enjeux actuels et futurs de la formation et de la profession", Montréal (Canada).
- Hérol, J. -F. (2015b, 20-22 mai). *Utilisation de dispositifs de robotique pédagogique en classe : un regard sur l'activité des élèves*. Paper presented at the Première école d'été en Expérimentation Assistée par Ordinateur : ExAO, Rabat (Maroc).
- Hérol, J. -F. (2019). Un modèle de la situation d'enseignement-apprentissage pour mieux comprendre l'activité de l'élève en classe. *Revue des Sciences de l'Education*. 45(1), 82-100.

- Hérolde, J. -F., & Ginestié, J. (2011). Help with solving technological problems in project activities. *International Journal of Technology and Design Education*, 21, 55-70. doi:10.1007/s1007/s10798-009-9106-8
- Hérolde, J. -F., & Ginestié, J. (2017). Using ICT in STEM Education: A Help or a Hindrance to Student Learning? In I. Levin & D. Tsybulsky (Eds.), *Digital Tools and Solutions for Inquired-Based STEM Learning* (Vol. 2, pp. 197-220). Hershey (PA): IGI Global.
- Hérolde, J. -F., & Montuori, C. (2018). Analyse of students' activity in using spreadsheet in class. *Review of science, mathematics and ICT education*, 12(1), 85-108.
- Hestenes, D. & Wells, M. (1992). A mechanics baseline test. *The Physics Teacher*, 30(3), 159-166.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.
- Huguet, P. (2006). Apprendre en groupe : la classe dans sa réalité sociale et émotionnelle. In E. Bourgeois & G. Chapelle (Eds.), *Apprendre à faire apprendre* (pp. 153-167). Paris, France : Presses Universitaire de France.
- Huguet, P., Brunot, S., & Monteil, J. -M. (2001). Geometry versus drawing: Changing the meaning of the task as a means to change performance. *Social Psychology of Education*, 4(3), 219-234.
- Inhelder, B., & Cellérier, G. (1992). *Le cheminement des découvertes de l'enfant*. Neuchâtel, Suisse : Delachaux et Niestlé.
- Inhelder, B., & de Caprona, D. (1992). Vers le constructivisme psychologique : structures ? procédures ? Les deux indissociables. In B. Inhelder & G. Cellérier (Eds.), *Le cheminement des découvertes de l'enfant*. Neuchâtel, Suisse : Delachaux et Niestlé.
- Jonnaert, P. (2002). Une notion tenace. *Les Cahiers Pédagogiques*, 408, 11-12.
- Jonnaert, P., & Vander Borgh, C. (1999). *Créer des conditions d'apprentissage : Un cadre de référence socioconstructiviste pour une formation didactique des enseignants*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Université.
- Johsua, S. (1996). Le concept de transposition didactique n'est-il propre aux mathématiques ?. In C. Raïsky & M. Caillot (Eds.), *Au-delà des didactiques, le didactique. Débats autour de concepts fédérateurs* (pp. 61-73). Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Johsua, S., & Dupin, J. -J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Julo, J. (1996). Psychologie et ingénierie didactique. In A. Lieury (Ed.), *Manuel de psychologie de l'éducation et de la formation*. Paris, France : Dunod.
- Kelly, N., & Gero, J. S. (2014). Interpretation in design: modelling how the situation changes during design activity. *Research in Engineering Design*, 25(2), 109-124.



- Kirschner, P.A., Sweller, J., & Clark, R.E. (2006). Why minimal guidance does not work : an analyse of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. J. G. (2008). Ten steps to complex learning: A new approach to instruction and instructional design. In T. L. Good (Ed.), *21st century education: A reference handbook* (pp. 244-253). Thousand Oaks (CA): Sage.
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolution*. Chicago : University of Chicago Press.
- Lagrange, J. -B. & Rogalski, J. (2017). Savoirs, concepts et situations dans les premiers apprentissages en programmation et en algorithmique. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 22, 119-156.
- Laisney, P., & Hérold, J.-F. (2019). Analyse de l'activité d'élèves dans une tâche de conception d'objet en éducation technologique. In J. Didier & N. Bonnardel (Eds.), *Didactique de la conception* (pp non définies). Belfort (France) : Presses de l'Université de technologie de Belfort et Montbéliard.
- Lave, J. (1996). Teaching, as learning, in practice. *Mind, Culture and activity*, 3(3), 149-164.
- Leplat, J. (2000). L'environnement de l'action en situation de travail. *L'analyse de la singularité de l'action*, 107-132.
- Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris, France : Hachette.
- Lewis, P. A., & Critchley, H. D. (2003). Modd-dependent memory. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7(10), 431-433.
- Linnenbrik, E. A. (2006). Emotion research in education: theoretical and methodological perspectives on the integration of affect, motivation and cognition. *Educational Psychological Review*, 18, 307-314.
- Linnenbrik, E. A. & Pintrich, P. R. (2004). Role of affact in cognitive processing in academic contexts. . In D. Y. Dai & R. J. Sternberg (Eds.), *Motivation, Emotion and Cognition* (pp. 57-88). Mahwah, NJ : Lawrence Elbaum Associates.
- Lindquist, K. A., Wager, T. D., Kober, H., Bliss-Moreau, E. & Barrett, L. F. (2012). The brain basis of emotion: a meta-analytic review. *Behavioral and Brain Sciences*, 35(2), 121-143.
- Margolinas, C. (2012). Connaissance et savoir. Des distinctions frontalières ?. In *Sociologie et didactiques : vers une transgression des frontières* (pp. 17-44). Lausanne, Suisse : Haute Ecole Pédagogique de Vaud.
- Masson, S., & Brault Foisy, L. M. (2012). Les conceptions erronées des élèves ne disparaissent peut-être jamais de leur cerveau. *Spectre*, 42, 15-17.

- Mayen, P. (2001). Dynamique de la pensée et processus d'élaboration pragmatique. In G. Vergnaud (Ed.), *Qu'est-ce que la pensée ? Les compétences complexes dans l'éducation et le travail* (pp. 30-41). Paris, France : Hachette.
- Mayer, R.E. (2010). Unique contributions of eye-tracking research to the study of learning with graphics. *Learning and instruction*, 20(2), 167-171.
- Mayer, R. E. (2008). *Learning and Instruction*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Medin, D. L. & Coley, J. D. (1998). Concepts and categorization. In J. Hochberg (Ed.), *Perceptions and cognition at century's end* (pp. 403-439). San Diego, CA : Academic Press.
- Merrill, M. D. (2013). *First principles of instruction*. San Francisco, CA : John Wiley & Sons.
- Merrill, M. D. (2002). First principles of instruction. *Educational Technology, Research and Development*, 50(3), 43-59.
- Mioduser, D., & Kiperman, D. (2002). Evaluations/modifications cycles in junior high students. *International Journal of Technology and Design Education*, 8(2), 167-184.
- Miyake, A., Friedman, N., Emerson, M., Witzki, A., Howerter, A., & Wager, T. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41, 49-100.
- Monteil, J. -M. & Huguet, P. (1993). The influence of social comparison situations on individual tasks performance : experimental illustrations. *International Journal of Psychology*, 28(5), 627-643.
- Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. Paris, France : ESF.
- Musial, M., Pradère, F., & Tricot, A. (2012). *Comment concevoir un enseignement ?*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.
- Musial, M., Pradère, F., & Tricot, A. (2011). Prendre en compte les apprentissages lors de la conception d'un scénario pédagogique. *Recherche & formation*, 68(3), 15-30.
- Ndiaye, Y. (2016). *L'imprimante 3D, outil d'aide à l'activité de conception créative en lycée technologique*. (Mémoire de Master, document imprimé), Aix Marseille Université, Marseille, France.
- Ndiaye, Y., Hérold, J. -F., & Laisney, P. (2016a). Apprendre avec l'imprimante 3D : pour une meilleure efficacité de l'activité de conception créative d'objets. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 2, 179-188.
- Ndiaye, Y., Hérold, J. -F., & Laisney, P. (2016b). *L'imprimante 3D, outil d'aide à l'apprentissage des élèves dans l'activité de conception créative en lycée technologique*. Paper presented at the Colloque international francophone "Eduquer et Former au monde de demain", Clermont-Ferrand (France).

- Ndiaye, Y., Hérold, J. -F., & Laisney, P. (24-27 octobre, 2017a). *Approche de la complexité d'un savoir, d'une connaissance en enseignement technologique*. Paper presented at the 5<sup>o</sup> Colloque International du RAIFFET, Douala (Cameroun).
- Ndiaye, Y., Hérold, J. -F., & Laisney, P. (2017b). *Efficiency of 3D printer in design activity in class of STI2D in France. A contribution to help the use of 3D printer in less-favored areas*. Paper presented at the Triennale ADEA, Marrakech (Maroc).
- Nienimen, P., Savinainen, A. & Viiri, J. (2010). Force Concept Inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency. *Physics Education Research*, 6(020109), 1-12.
- NKambou, R., Delozanne, E., & Frasson, C. (2007). Editorial du numéro spécial Les dimensions émotionnelles de l'interaction dans un EIAH. *Revue STICEF*, 14. ISSN : 1764-7223, mis en ligne le 29/02/2008, <http://sticef.org>
- OCDE (2017). *Regards sur l'éducation 2017 : Les indicateurs de l'OCDE*. Éditions OCDE. Téléchargé à partir de : <http://dx.doi.org/10.1787/eag-2017-fr>
- Ovono, M. (2018). *L'apport d'un logiciel de simulation d'algorithmes dans le processus d'enseignement-apprentissage de l'algorithme chez des apprenants débutants : cas de l'ENSET de Libreville*. (Thèse de doctorat, document imprimé), Aix Marseille Université, Marseille, France.
- Ovono, M., Hérold, J. -F., & Ginestié, J. (29-31 octobre, 2014). *Introduction d'un logiciel de simulation d'algorithmes dans le processus d'enseignement-apprentissage de l'algorithmique chez les apprenants débutants de l'ENSET de Libreville*. Paper presented at the 4<sup>o</sup> Colloque International du RAIFFET "Education technologique, formation professionnelle et formation des enseignants", Marrakech (Maroc).
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics : a cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84, 429-434.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: recent developments. *Educational Psychologist*, 38, 1-4.
- Pastré, P. (2008). Apprentissage et activités. In Y. Lenoir & P. Pastré (Eds.), *Didactique professionnelle et didactiques disciplinaires en débat* (pp. 53-79). Toulouse, France : Editions Octarès.
- Pastré, P. (2011). Situation d'apprentissage et conceptualisation. *Recherches en Education*, 12, 12-25.
- Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir des pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation*, 24(3), 487-514.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant*. Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. & Berth, W. (1961). *Epistémologie des mathématiques et psychologie*. Paris, France : Presses Universitaires de France.

- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Prokofieva, V. (2017). *Rôle des facteurs émotionnels dans le processus d'enseignement-apprentissage : stress de l'évaluation scolaire et son influence sur la performance scolaire*. (Thèse de doctorat, document imprimé), Aix Marseille Université, Marseille, France.
- Prokofieva, V. & Hérold J.-F. (2020). Facteurs émotionnels et motivationnels dans les processus d'enseignement-apprentissage. In M. Chatoney & M. Impédovo (Eds.), *Regards sur le processus d'enseignement apprentissage* (pp. 137-154). Paris, France : L'Harmattan.
- Prokofieva, V, Brandt-Pomares, P., Velay, J. -L., Hérold, J. -F., & Kostromina, S. (2017a). *L'évaluation en situation d'enseignement-apprentissage : comment évaluer son efficacité ?* Paper presented at the Colloque ADMEE, Dijon (France).
- Prokofieva, V., Brandt-Pomares, P., Velay, J. -L., Hérold, J. -F., & Kostromina, S. (2017b). *L'évaluation provoque-t-elle du stress et influence-t-elle la performance des élèves ? Une approche interdisciplinaire*. Paper presented at the Printemps de la Recherche des ESPE, Paris.
- Prokofieva, V., Brandt-Pomares, P., Velay, J. -L., Hérold, J.-F., & Kostromina, S. (2017c, 11-14 juillet). *Stress generated by class sessments and its influence on cognitive tasks in young school children*. Paper presented at the European Congress of Psychology, Amsterdam (Netherlands).
- Prokofieva, V., Brandt-Pomares, P., Velay, J. -L., Hérold, J.-F., & Kostromina, S. (2017d). Stress de l'évaluation scolaire : un nouveau regard sur un problème ancien. *Recherches & Educations*, 17(2), 141-156.
- Prokofieva, V., Brandt-Pomares, P., Velay, J. -L., Hérold, J.-F., & Kostromina, S. (2016). *Un nouveau regard sur la problématique du stress d'évaluation scolaire*. Paper presented at the Congrès Actualité de la Recherche en Education et Formation (AREF), Mons (Belgique).
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, une approche cognitive des instruments contemporains*. Paris, France : Armand Colin.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier & North Holland.
- Reeve, J. (2017). *Psychologie de la motivation et des émotions*. Louvain-la-Neuve, Belgique : De Boeck supérieur.
- Reuchlin, M. (1990). *Les différences individuelles dans le développement conatif de l'enfant*. Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Reuter, Y. (2013, 3<sup>o</sup> édition). Contexte – Milieu. In Y. Reuter (Ed.), *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques* (pp. 49-54). Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.

- Rey, B. (2005). Les compétences professionnelles et le curriculum : des réalités conciliables ?. In Y. Lenoir & M. H. Bouillier-Oudot (Eds.), *Savoirs professionnels et curriculum de formation* (pp. 85-110). Québec, Canada : Presse de l'Université Laval.
- Rey, O. (2014). Entre laboratoire et terrain : comment la recherche fait ses preuves en éducation. *Dossier de veille de l'IFE*, 89.
- Richard, J.-F., Poitrenaud, S. & Tijus, C. (1993). Problem-Solving Restructuration: Elimination of Implicit Constraints. *Cognitive Science*, 17, 497-529.
- Richard, J. -F. (1982). Mémoire et résolution de problèmes. *Revue Française de Pédagogie*, 60, 9-17.
- Richard, J. -F. (1998, 2005). *Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris, France : Armand Colin.
- Ritter, S., Anderson, J. R., Koedinger, K. R., & Corbett, A. (2007). Cognitive tutor: applied research in mathematics education. *Psychometric Bulletin & Review*, 14(2), 249-255.
- Robert, A. & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *La Revue Canadienne de l'enseignement des Sciences, des Mathématiques et des Technologies*, 2(4), 505-528.
- Roditi, E. (2011). *Recherches sur les pratiques enseignantes en mathématiques : apports d'une intégration de diverses approches et perspectives*. (Mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches, document imprimé), Université de Paris Descartes, Paris (France).
- Rogalski, J. (2008). Théorie de l'activité et cadres développementaux pour l'analyse liée des pratiques des enseignants et des apprentissages des élèves. In F. Vandebrouck (Ed.), *La classe de mathématiques : activité des élèves et pratiques des enseignants* (pp. 237- 280). Toulouse, France : Octarès.
- Rogalski, J., & Robert, A. (2015). De l'analyse de l'activité de l'enseignant à la formation des formateurs. Le cas de l'enseignement des mathématiques dans le secondaire. In V. Lussi-Borer, M. Durand, & F. Yvon (Eds.), *Analyse du travail et formation dans les métiers de l'éducation* (pp. 93-113). Louvain-la-Neuve, Belgique : De Boeck Supérieur.
- Roll, I., Alevan, K., & Koedinger, K. R. (2010). The Invention Lab : using a hybrid of model tracing and constraint-based modeling to offer intelligent support in inquiry environments. In V. Alevan, J. Kay, & J. Mostow (Eds.), *ITS 2010, Part I, LNCS 6094* (pp. 115-124). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Roth, K. J., Garnier, H. E., Chen, C., Lemmens, M., Schwille, K., & Wickler, N. I. Z. (2011). Videobased lesson analysis: Effective science PD for teacher and student learning *Journal of Research in Science Teaching*, 48(2), 117-148.
- Sanchez, É. et Monod-Ansaldi, R. (2015). Recherche collaborative orientée par la conception : Un paradigme méthodologique pour prendre en compte la complexité des situations d'enseignement-apprentissage. *Education et Didactique*, 9(2), 73-94.

- Sander, D., & Scherer, K. R. (2014). La psychologie des émotions : survol des théories et débats essentiels. In D. Sander & K. R. Scherer (Eds.), *Traité de psychologie des émotions* (pp. 11-50). Paris, France : Dunod.
- Savoyant, A. (2008). Quelques réflexions sur les savoirs implicites. *Travail et Apprentissages, 1*, 92-100.
- Schneider, M., & Hardy, I. (2013). Profiles of inconcistent knowledge in children's pathways of conceptual change. *Developmental Psychology, 49*(9), 1639-1649.
- Schubauer-Leoni, M. -L. (2007). Raisonement sous contrat : l'articulation d'analyses didactiques et psychologiques. In M. Merri (Ed.), *Activité humaine et conceptualisation : questions à Gérard Vergnaud* (pp. 185-192). Toulouse, France : Presses Universitaires du Mirail.
- Scott, P. H., Asoko, H. M., & Driver, R. H. (1991). Teaching for conceptual change: a review of strategies. *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*, 310-329.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble : l'action conjointe du professeur et des élèves* (pp. 13-49). Rennes, France : Presses Universitaires de Rennes.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: effects on learning. *Cognitive Science, 12*, 257-285.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction, 4*, 295-312.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. Ross (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 43, pp. 216-266). San Diego, CA: Academic Press.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous and germane cognitive load. *Educational Psychology Review, 22*, 123-138.
- Sweller, J., van Merreinboer, J. G. V., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture ans instructional design. *Educational Psychology Review, 10*(3), 251-296.
- Sweller, J., Kirschner, P. A. & Clark, R. E. (2007). Why minimally guided teaching techniques do not work : a reply to comentaries. *Educational Psychologist, 42*(2), 115-121.
- Sweller, J., van Merreinboer, J. G. V., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design : 20 years later. *Educational Psychology Review, 31*(2), 261-292.
- Talbot, L. (2012). Les recherches sur les pratiques enseignantes efficaces. *Questions Vives, 6*(18), 129-140.
- Tamim, R. M., Bernard, R. M., Borokhovski, E., Abrami, P. C., & Schmid, R. F. (2011). What forty years of research says about the impact of technology on learning a second-order meta-analysis and validation study. *Review of Educational Research, 81*(1), 4-28.

- Testard-Vailland, P. (2016). Comment mieux évaluer le travail des élèves ?. *Le journal du CNRS*. Disponible à l'URL : <https://lejournal.cnrs.fr/articles/comment-mieux-evaluer-le-travail-des-eleves>
- Tiberghien, A. (2011). Modélisation des savoirs dans la classe en didactique de la physique. *Recherches en Education*, 29, 72-87.
- Tiberghien, G. (1988). Modèles de l'activité cognitive. In J.-P. Caverni (Ed.), *Psychologie cognitive, modèles et méthodes* (pp. 13-26). Grenoble, France Presses Universitaires de Grenoble.
- Tijus, C. (1999). L'analyse des tâches. In R. Ghiglione & J.-F. Richard (Eds.), *Cours de Psychologie : Mesures et analyses* (pp. 304-313). Paris, France : Dunod.
- Tricot, A. (1995). *Modélisation des processus cognitifs impliqués par la navigation dans les hypermédias*. (Thèse de doctorat, document imprimé), Université d'Aix-Marseille I, Aix-en-Provence (France).
- Tricot, A. (2003). *Apprentissage et recherche d'information avec des documents électroniques*. (Mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches, document imprimé), Université de Toulouse 2, Toulouse, France.
- Tricot, A. (2014). Le sujet cognitif de l'apprentissage. *Recherches en Education*, 18, 79-90.
- Tricot, A. (2017). *L'innovation pédagogique*. Paris, France : Editions Retz.
- Tricot, A. (2017). Les contraintes spécifiques des apprentissages scolaires. *Psychologie & Education*, 1, 68-82.
- Tricot, A., & Bastien, C. (1996). La conception d'hypermédias pour l'apprentissage : structurer des connaissances rationnellement ou fonctionnellement ? In E. Bruillard, J. M. Baldner, & G. L. Baron (Eds.), *Hypermédias et Apprentissages 3* (pp. 57-72). Paris, France : Presses de l'INRP/EPI.
- Tulving, E., & Thompson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Bulletin*, 80, 352-373.
- Tupin, F., & Dolz, J. (2008). Du périmètre des situations d'enseignement-apprentissage. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 19, 141-156.
- van Merriënboer, J. G. V., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning : recent developments and future direction. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177.
- Venturini, P. (2012). Action, activité, « agir » conjoints en didactique : discussion théorique. *Education & Didactique*, 6(1), 127-136.
- Vergnaud, G. (1978). Structure de la matière enseignée, histoire des sciences et développement conceptuel chez l'élève. *Revue Française de Pédagogie*, 45(7-15).
- Vergnaud, G. (1991). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*, 10(2-3), 133-170.

- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *The journal of mathematical behavior*, 17(2), 167-181.
- Vergnaud, G. (2001). Piaget visité par la didactique. *Intellectica*, 33.
- Vergnaud, G. (2007). Représentation et activité : deux concepts étroitement associés. *Recherches en Education*, 4, 9-22.
- Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Paris, France : Librairie Honoré Champion.
- Viau, R. (mars, 2004). *La motivation : condition au plaisir d'apprendre et d'enseigner en contexte scolaire*. Paper presented at the 3<sup>o</sup> congrès des chercheurs en éducation, Bruxelles (Belgique).
- Vosniadou, S. (1992). Knowledge acquisition and conceptual change. *Applied Psychology: An International Review*, 41(4), 347-357.
- Vosniadou, S. (2007). The cognitive-situative divide and the problem of conceptual change. *Educational Psychologist*, 42, 55-66.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 3-34). New York, NY: Routledge.
- Vosniadou, S. & Verschaffel, L. (2004). Extending the conceptual change approach to mathematics learning and teaching. *Learning & Instruction*, 14, 445-451.
- Wang, F. & Hannafin, M. J. (2005). Design-Based Research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5-23.
- Watson, S. L., & Reigeluth, C. M. (2008). The learner-centered paradigm of education. *Educational Technology Research and Development*, 48(5).
- Weil-Barais, A. (1999, 5<sup>o</sup> édition). *L'homme cognitif*. Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Wise, A. F. (2014, 24-28 mars). *Designing pedagogical interventions to support students use of learning analytics*. Paper presented at the Proceedings of LAK'14, Indianapolis (USA).
- Yeh, W., & Barsalou, L. W. (2006). The situated nature of concepts. *American Journal of Psychology*, 119(3), 349-384.