



Actes de la première
Journée d'étude IRDENa



**Variation des approches pour optimiser
l'apprentissage ?**

18 décembre 2018

Table des matières

I	Conférences plénières	4
1	L'enseignement par projets : en informatique et au-delà Gilles DOWEK ¹	4
2	Émotion et créativité dans l'apprentissage Françoise BERDAL-MASUY ²	6
3	L'approche par compétences pour cadrer, entraîner et évaluer l'intégration des savoirs Marianne POUMAY ³	20
4	Le Côté Obscur de la Compétence : pourquoi le Pacte prône-t-il un meilleur équilibre entre savoir et compétences Marc ROMAINVILLE	20
5	Les TICE, des outils (pas) comme les autres ?/! Éric WILLEMS	20
II	Communications et ateliers des membres de l'IRDENa	24
1	Un dispositif d'EEE accompagné et personnalisé à la faculté d'informatique Fanny BORAITA	24
2	Lorsqu'un protocole d'analyse de l'activité réunit recherche et accompagnement Sephora BOUCENNA ⁴	24
3	Faut-il « démathématiser » l'équation chimique ? Jérémy DEHON	25
4	Physique et défis : une activité d'apprentissage par projet qui ne manque pas de punch Matthieu DONTAINE, Jim PLUMAT, Johan TIRTIAUX	25
5	De l'usage de capsules vidéo pour apprendre à penser ? Matthieu DONTAINE, Jim PLUMAT	25
6	« If you never change your mind, why have one ? » (Edward DE BONO) - Les six chapeaux de la réflexion de DE BONO dans le cadre d'une pédagogie coopérative François-Xavier FIÉVEZ	26

1. Chercheur à l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique - France

2. Premier maître de langues à l'UCLouvain

3. Professeur à l'ULiège

4. Professeur à l'UNamur

7	Projet de thèse : la régulation émotionnelle dans l'apprentissage Line FISCHER	26
8	Studying the evolution of the understanding of core programming concepts among freshers Julie HENRY	26
9	La classe inversée en TP : Croyances des étudiants et mise en place d'un dispositif Tony LECLERQ et Fanny BORAITA	27
10	L'utilisation du portfolio au service de l'apprentissage et de l'évaluation dans deux cours organisés par la faculté d'informatique Cédric LIBERT et Fanny BORAITA	27
11	Ingénierie didactique mise en œuvre pour construire un parcours pédagogique sur l'écriture de résultats expérimentaux en sciences Céline PICRON et Philippe SNAUWAERT	27
12	Place et rôle du cercle trigonométrique dans l'apprentissage de la trigonométrie Marie PIERARD et Valérie HENRY	33
13	Neurodidactique en sciences physiques : premières approches à l'UNamur Jim PLUMAT, Cédric VANHOOLANDT et Charly MOBERS	38
14	Pourquoi le processus de mitose est maintenu au programme ? Maxime REGNIER	46
15	Neurosciences cognitives et didactique : comprendre le chemin pour mieux guider l'apprenant Bénédicte WILLAME	46

Première partie

Conférences plénières

1 L'enseignement par projets : en informatique et au-delà

Gilles DOWEK⁵

L'enseignement par projets appartient à la vaste famille de méthodes pédagogiques actives qui, partant du constat que nous apprenons mieux en faisant qu'en écoutant, cherchent à mettre les apprenants en activité.

Une autre méthode de cette famille consiste, pour les apprenants, à faire des exercices, mais l'enseignement par projets s'en distingue par le fait que les apprenants y sont associés à la définition même des objectifs de leur projet. Un apprenant qui, dans un exercice, dépasse la consigne voit, en général, son travail qualifié de « hors sujet ». Dans l'enseignement par projet, en revanche, même si l'enseignant leur donne une consigne initiale, les apprenants doivent se la réapproprier, la reformuler, en restreindre les objectifs s'ils les jugent trop ambitieux ou, au contraire, en définir de nouveaux s'il les atteignent rapidement.

L'enseignement par projets est une méthode ancienne, déjà promue par John DEWEY et Célestin FREINET, mais s'il est utilisé dans l'enseignement de l'informatique, c'est sans doute surtout parce qu'il décalque les méthodes de construction des logiciels. Dans la construction d'un logiciel également, les objectifs se définissent peu à peu et le cahier des charges initial est souvent transformé par les développeurs et les utilisateurs.

L'enseignement par projets se distingue aussi d'une autre méthode active, utilisée dans l'enseignement des sciences de la nature - la physique, la chimie, la biologie... - : la démarche d'investigation. Là où cette méthode confronte les apprenants à un objet ou à un phénomène de la nature - les phases de la Lune, la photosynthèse... - l'enseignement par projets leur fait construire un objet - un programme, un robot... L'informatique est à la fois une activité scientifique au cours de laquelle nous apprenons que certaines choses sont vraies et une activité technique au cours de laquelle nous construisons des objets. C'est naturellement ce second aspect qui est mis en avant dans l'enseignement par projets.

Les succès de l'enseignement par projets, notamment en ce qui concerne la motivation des apprenants, nous mène à nous demander si nous ne pourrions pas l'utiliser dans d'autres disciplines que l'informatique. Nous pouvons par exemple enseigner la musique en proposant aux apprenants de composer une symphonie, la littérature en leur proposant d'écrire un roman, la trigonométrie en leur proposant de construire un cadran solaire... Bien entendu, ces méthodes pédagogiques sont déjà utilisées en musique, en littérature ou en trigonométrie, mais elles pourraient l'être de manière plus systématique.

L'enseignement par projets permet de développer les compétences des apprenants : ils y apprennent à construire des objets. Mais leur permet-il d'acquérir des connaissances, par exemple des connaissances scientifiques ? Il mène, en fait, souvent les apprenants à se poser des questions de nature scientifique, mais rarement à y répondre. Un apprenant qui construit un programme pour trier des données peut se poser la question de l'existence d'un algorithme dont le temps d'exécution est linéaire en la taille des données à trier, mais il est peu probable qu'il redécouvre, par lui-même, et sans guide, le résultat selon lequel il n'existe pas de tel algorithme. De manière plus générale, un apprenant, sans guide,

5. Chercheur à l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique - France

a peu de chance de redécouvrir, par lui-même, la relativité restreinte, la théorie de l'évolution ou le petit théorème de FERMAT. L'humanité a mis des siècles à construire ces connaissances qu'il n'est pas possible de redécouvrir dans la brève durée d'une vie humaine. La méthode par projets ne saurait donc être exclusive. De même qu'il est indispensable au chercheur de s'informer sur ce qu'ont fait les autres chercheurs avant lui, il est indispensable que l'enseignement par projets soit complété par un enseignement plus transmissif. La richesse des articulations entre sciences et techniques permet d'imaginer une grande variété d'articulations entre un enseignement par projets et un enseignement plus transmissif.

Par exemple, les apprenants peuvent commencer par construire, par eux-mêmes, des programmes pour chiffrer et déchiffrer des messages. Il est probable qu'ils utilisent alors des algorithmes de chiffrement trop naïfs - par exemple consistant à substituer chaque lettre de l'alphabet par une autre - voire qu'ils prennent conscience de la facilité de la cryptanalyse de leurs messages. C'est alors le bon moment, pour leur faire lire le chapitre d'un livre consacré à l'algorithme de RIVEST, SHAMIR et ADLEMAN - qu'ils ont peu de chances de découvrir par eux-mêmes -, ou de leur enseigner cet algorithme au tableau. Ils pourront alors construire un programme mettant en œuvre cet algorithme, mais aussi s'interroger sur la raison pour laquelle il fonctionne, ce qui les mènera à s'intéresser au petit théorème de FERMAT... C'est ce mélange de séquences au cours desquelles les apprenants travaillent par projets au cours desquelles ils acquièrent des connaissances qu'il revient aux enseignants d'orchestrer.

2 Émotion et créativité dans l'apprentissage

Françoise BERDAL-MASUY⁶

Avant-propos

Cette conférence a vu le jour grâce à la réflexion menée en commun avec d'autres chercheurs internationaux issus de disciplines diverses et réunis dans un groupe de contact créé en 2012 avec le soutien du FNRS (Affects et acquisition des langues), devenu en décembre 2017 le réseau ECLE (Emotion and creativity in Language Education) de l'AILA (Association of Applied Linguistics)⁷.

J'ai voulu garder le style volontairement direct d'une conférence et indique à la fin de celle-ci les sources qui m'ont permis de la rédiger. Je ne présente pas ici des travaux personnels récents, mais propose une synthèse originale de nombreuses études faites sur le sujet. Je tiens donc à signaler les apports déterminants des personnes suivantes pour chacun des thèmes abordés :

- Neurosciences : Jacqueline PAIRON, Jean-Michel GUÉRIT et Marc CROMMELINCK
- Créativité et pédagogie de la créativité : Marion BOTELLA et Isabelle CAPRON-PUOZZO
- Emotions dans l'enseignement : Jean-Marc DEWAELE et Jane ARNOLD
- Place du corps dans l'apprentissage : Joëlle ADEN

Conférence

Au cœur de cette conférence se trouvent une passion et une idée. Ma passion, c'est le monde des émotions, que j'explore depuis plusieurs années dans le cadre de mon métier de professeur de langues. Quant à mon idée, elle est très simple : j'estime que les émotions sont au cœur de l'enseignement / apprentissage, qu'elles sont indispensables pour un enseignement de qualité, et que leur rôle n'a pas été jusqu'ici reconnu à sa juste valeur. De même pour la créativité.

Pour défendre cette idée, mon exposé comporte les trois parties présentées dans le titre : la première traite des émotions, la deuxième, de la créativité et la dernière, de l'enseignement en établissant le lien entre les émotions et la créativité.

Mon objectif est double : d'une part, vous parler des émotions et de leur impact sur l'apprentissage ; d'autre part, arriver à vous faire considérer d'une façon nouvelle et différente le rôle joué dans l'apprentissage par les émotions et la créativité.

En guise d'introduction, je vais dire quelques mots sur chacun des trois concepts.

Introduction

L'**émotion** est au cœur de nos vies quotidiennes, émotions individuelles ou collectives. Mais il existe un endroit où elles sont interdites de séjour... L'institution scolaire, en raison d'une longue tradition de prédominance de la raison. Moïra MIKOLAJCZAK, une collègue de l'Université de Louvain, a présenté en juillet 2017 (lors du colloque « Emotissage » organisé à Louvain-La-Neuve) les résultats d'une recherche

6. Premier maître de langues à l'UCLouvain

7. Les membres du réseau sont : Fabienne BAIDER (University of Cyprus), Françoise BERDAL-MASUY (Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve), Marion BOTELLA (Paris V, Descartes), Cristelle CAVALLA (Paris III, Sorbonne-Nouvelle), Simon COFFEY (King's College London), Jean-Marc DEWAELE (Birbeck College - University of London), Laurence METTWIE (Université de Namur), Jacqueline PAIRON (Maître de langue, émérite de l'Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve), Christian PLANTIN (Professeur émérite de Lyon 2), Isabelle PUOZZO (Haute Ecole Pédagogique Lausanne).

montrant la place des différentes compétences à l'école : 83% du temps est consacré au développement intellectuel, 8% au développement physique, 8% au développement artistique et 1% seulement au développement socio-émotionnel.

Quant à la **créativité**, notre société a un grand besoin d'hommes et de femmes créatifs pour relever les nombreux défis sociétaux de notre monde complexe et en rapide évolution, qu'il s'agisse de l'environnement, les migrations ou la pauvreté. Selon Ken ROBINSON (2011), développer la créativité signifie permettre aux individus de vivre avec une plus grande sérénité émotionnelle à travers les changements complexes de la société. Il est donc essentiel d'acquérir la souplesse cognitive et émotionnelle nécessaire pour s'adapter, pour changer ou pour le provoquer de façon autonome ou responsable (CRAFT 2005, cité dans CAPRON-PUOZZO, 2018, p. 157).

Quant au monde de l'**éducation**, il a également connu une révolution, la révolution numérique, modifiant complètement la relation au savoir. Si pendant longtemps, l'accès au savoir était réservé aux maîtres, désormais, il est également accessible aux élèves. On passe d'une position asymétrique dans l'accès au savoir à une position symétrique. C'est la fin de l'ère du savoir monopolisé par les enseignants. Le philosophe français Michel **Serres** dans son ouvrage « Petite Poucette » (2012) (qui fait référence à l'envoi de SMS avec les deux pouces) désigne ce phénomène sous le terme de « présomption de compétence ». La posture enseignante change radicalement. L'enseignant n'est plus le seul à avoir accès au savoir, il doit faire preuve de créativité pour redéfinir son rôle en tant que médiateur de savoirs.

Émotion

Émotion vs raison

Pendant longtemps, l'émotion a été la grande absente de la pensée critique, car objet de méfiance, voire d'exclusion : « L'esprit est toujours la dupe du cœur » (Maxime 102 de LA ROCHEFOUCAULD). C'est à SOCRATE que nous devons cette tradition de la primauté de la raison sur l'émotion. Il a voulu étendre l'esprit logique, la pure raison à tous les aspects et tous les domaines de la vie. De même, DESCARTES, le père du rationalisme ne reconnaissait que l'autorité de la raison et prenait celle-ci pour une fin. Or, cette pensée rationnelle se veut « alexithymique » (ce terme désigne « un langage d'où est banni toute expression des sentiments et des émotions »).

Dans la construction théorique de DESCARTES, où la pensée a la suprématie, le corps était nuisible, car il était vecteur des émotions, inextricablement liées à la nature humaine. Pour maintenir l'indépendance de la pensée sur le corps, il fallait bien connaître ses émotions pour savoir les contrôler. En cela, DESCARTES était le précurseur de l'intelligence émotionnelle (conférence de Joëlle ADEN donnée le 7 juillet 2017 lors du colloque « Emotissage »).

Mais les années 2000 marquent un changement de cap et l'émotion est désormais intégrée dans de nombreuses disciplines comme objet digne de recherches.

Les découvertes faites en neurosciences⁸

Avec l'ouvrage de Antonio DAMASIO, *L'erreur de Descartes* (1995), nous assistons à un tournant épistémologique qui amène les scientifiques à reconsidérer fondamentalement la relation entre trois composantes : émotion - raison - imagination. Ce neuroscientifique prouve qu'il existe un lien étroit entre affectivité et réflexivité, que les deux sont indissociables, qu'il est impossible de les penser de façon séparée.

Le neurologue Jean-Michel GUÉRIT du Chirec (Centre hospitalier inter régional Edith Cavell, Belgique) définit l'émotion par trois éléments : elle est d'abord un facteur de régulation interne (homéostasie, ou valeurs physiologiques optimales et en équilibre), elle est ensuite une réaction automatique du système nerveux autonome à une stimulation externe, enfin, elle est aussi une réaction à des événements extérieurs d'ordre affectif.

« Liées à un état d'éveil physiologique, les émotions ont une traduction corporelle perçue par l'univers sensori-moteur des autres. Il s'ensuit une modification des organes pouvant éventuellement être perçue de façon consciente ou susceptible d'être remarquée par un spectateur extérieur, comme une modification de la mimique » (GUÉRIT, 2004). Exemple : la sensation de peur : battements accélérés, le souffle court, les lèvres tremblantes, les membres faibles, le mal de ventre. . .

Selon le neurologue Antonio DAMASIO, les émotions « constituent le moyen naturel pour le cerveau et l'esprit d'évaluer l'environnement à l'intérieur et hors de l'organisme et de répondre de façon adéquate et adaptée » (DAMASIO, 2003 : 59).

Trois découvertes faites en neurosciences sont déterminantes pour l'enseignement/apprentissage : les marqueurs somatiques, les neurones miroirs et la neuroplasticité cérébrale.

Les marqueurs somatiques

DAMASIO (1995, 2001, p. 279) pose l'hypothèse qu'à chaque fois que nous sommes confrontés à un événement, un objet, un épisode donné, une partie de notre cerveau (système limbique) associe automatiquement à cet épisode une émotion, qu'elle soit de valence positive ou négative (images du lapin ou de l'araignée). Cette association, la plupart du temps inconsciente, est ensuite stockée dans notre cerveau. Et le jour où nous nous trouvons confrontés à un épisode semblable, cette émotion est automatiquement réactivée. C'est précisément cette émotion qui nous permet de rapidement et automatiquement prendre une décision en faveur ou en défaveur d'un comportement. C'est en quelque sorte le petit coup de pouce qui nous permet de nous décider efficacement et rapidement quand c'est nécessaire.

Quelle est l'implication de cette découverte pour l'enseignement / apprentissage ?

Il est absolument nécessaire de créer des ancrages affectifs et symboliques dans la nouvelle matière, de faire le lien avec le vécu, avec le connu afin d'ancrer l'apprentissage de la nouvelle matière dans d'autres situations liées à l'expérience. Il est également important de créer et de favoriser la participation à des événements ou « épisodes » associés à des émotions positives.

8. Cette partie s'inspire largement de la publication suivante : PAIRON, Jacqueline, en collaboration avec F. BERDAL-MASUY. 2014. Des messages entre les lignes. Quelle place accorder à l'implicite et à l'émotionnel dans la force de conviction et/ou de persuasion ? L'apport des neurosciences et des arts de la scène. *Le langage et l'homme*, XLIX.2, 91-106.

Les neurones miroirs constituent une classe particulière de neurones initialement identifiés par RIZZOLATI (RIZZOLATI et SINIGAGLIA 2008) dans le cortex précentral du macaque et ensuite, chez les hommes⁹.

La caractéristique principale de ces neurones miroirs est de s'activer aussi bien lorsque le singe effectue une action spécifique que lorsqu'il observe un autre individu en train d'exécuter la même action. Ainsi un tel neurone s'active quand le singe saisit un objet donné, ou lorsqu'il voit l'expérimentateur saisir le même objet.

Une de leurs fonctions essentielles est la compréhension de l'action. En effet, la seule observation visuelle, sans implication du système moteur, ne donne qu'une description des aspects visibles du mouvement, sans informer sur ce que signifie réellement cette action. La compréhension de l'action ne se fait que si l'action observée est transcrite dans le système moteur de l'observateur. L'activation du circuit miroir est ainsi essentielle pour donner à l'observateur une compréhension réelle et expérientielle de l'action qu'il voit.

Au-dessus de cette fonction de base, d'autres fonctions dépendent elles aussi du mécanisme des neurones miroirs. L'une d'elles est l'imitation, dans ses deux aspects que sont la capacité de reproduire une action observée et la capacité d'apprendre une nouvelle action par l'observation. Ainsi, le système des neurones miroirs est impliqué tout à la fois dans la répétition immédiate des actions de l'autre et dans l'apprentissage par imitation.

En observant des actions effectuées par un autre, deux classes d'informations peuvent être obtenues : l'une est « ce » que l'acteur fait et l'autre, « pourquoi » il le fait, l'intention.

Ce qui fonctionne pour les gestes fonctionne également pour les émotions. Comme nous l'avons vu, les émotions proviennent du corps et peuvent être exprimées de façon plus ou moins discrète en fonction de la personne ou de la culture. Mais dès qu'une émotion est exprimée ne fût-ce qu'un peu, les neurones miroirs aident à ce nous comprenions le ressenti, éventuellement imitions la personne en face de nous, et comprenions ses intentions. L'empathie peut alors survenir, cette capacité à identifier les émotions de l'autre et à les ressentir.

Quelle est l'implication de cette découverte pour l'enseignement / apprentissage ?

On sait depuis les années 80 que la communication repose à un peu plus de 90% sur le non verbal (ton de la voix et langage corporel). Avec la découverte de neurones miroirs, on sait désormais que la communication passe également par l'implicite. Les neurones miroirs nous donnent, si l'on veut bien écouter ses émotions, la capacité de ressentir ce que l'autre ressent, car dans la majorité des cas, les émotions s'expriment, ne fût-ce que de façon très discrète.

Ainsi, le fait d'observer un individu en train de faire un geste ou de ressentir une émotion ne constitue pas une expérience passive. Si nous sommes confrontés à une personne qui rit ou qui souffre, nos neurones miroirs entrent en jeu. Nous ressentons alors le fait de rire ou de souffrir.

Les neurones miroirs seraient donc impliqués dans le mécanisme de notre compréhension d'autrui. En tout état de cause leur existence démontre combien les liens qui nous unissent aux autres sont

9. L'Italien Giacomo RIZZOLATTI de l'Université de Parme a mis en évidence dès les années 1990, à travers des expériences sur le singe, que des neurones situés dans le cortex préfrontal, nous permettent de nous mettre dans la peau des autres. Par la suite le neurobiologiste Jean DECETY de l'Université de Chicago a mis en évidence en 2010 grâce à l'imagerie cérébrale que l'homme sollicitait les mêmes zones du cerveau pour imaginer une action et l'exécuter.

profondément enracinés en nous et donc à quel point nous sommes en « reliance » : « La découverte des neurones miroirs, utilisée parfois au-delà de sa véritable signification, a supprimé la distance entre soi et autrui. Elle pose de façon aigüe la question de notre interdépendance par rapport aux autres. Elle relance aussi le caractère fondamental de l'intersubjectivité comme fondement de notre personnalité » (BERTHOZ 2013 : 69).

Ce qui est vrai pour les émotions, l'est aussi pour l'intention.

Si vous dites « je suis très content d'être ici » et que votre langage corporel et votre état d'esprit ne correspondent pas du tout à vos paroles, votre public se rend compte immédiatement de votre réel état d'esprit. Idem si vous êtes contents d'être là, sans nécessairement le dire avec des mots. L'enseignant doit être conscient de l'impact des neurones miroirs sur l'état émotionnel des auditeurs. De nombreux messages passent de façon subtile et implicite. . .

La neuroplasticité

La neuroplasticité désigne la capacité du cerveau humain à se réorganiser en fonction des résultats d'une expérience.

Notre cerveau comprend une multitude de voies neuronales. Chacune de nos habitudes, de nos façons de nous comporter ou de penser peut être envisagé(e) sous la forme de voies neuronales.

Lorsque nous posons un nouveau comportement ou une nouvelle façon de penser, une nouvelle voie neuronale est créée. Au début, celle-ci est très fine et peu développée, constituée seulement d'une poignée de neurones. Mais au fur et à mesure que nous cultivons ce comportement ou ce type de pensée, cette voie se développe. En grandissant, la probabilité que de plus en plus d'expériences passent par cette voie augmente également. Le circuit se renforce de lui-même.

Nos neurones sont un peu comme une forêt où l'on fait circuler de l'information. À force de prendre le même chemin dans une forêt, il se crée un sentier. Et ce sentier est d'autant plus facile à trouver qu'il s'est profondément creusé à force d'être emprunté.

Le cerveau est donc en perpétuel remaniement, et la plasticité suggère un grand jeu de construction et de démolition. Gerald EDELMAN, prix Nobel de médecine en 1972, parle de darwinisme neuronal. En effet, parmi tous les chemins neuronaux possibles entre deux aires cérébrales, le plus efficace sera sélectionné et consolidé en vue d'une réutilisation ultérieure.

Les conséquences de cette découverte pour l'apprentissage sont importantes : à force d'entraînement, nous pouvons véritablement transformer notre cerveau et acquérir des compétences nouvelles. L'enseignant doit donc encourager l'état d'esprit de développement chez ses élèves et leur partager son intime conviction que « tout est possible ».

Pour conclure cette partie consacrée à la place de l'émotion dans l'enseignement/apprentissage, citons Jane Arnold (conférence du 5 juillet 2017 lors du colloque « Emotissage ») : « Without emotion, does no attention, no memory, no learning. It's the reason to pay attention to affects ».

La créativité¹⁰

On dit souvent que « la créativité, c'est l'intelligence qui s'amuse ».

10. Cette deuxième partie s'inspire des écrits de Marion BOTELLA et Isabelle CAPRON-PUOZZO (voir bibliographie en fin de texte).

Une définition plus scientifique est donnée par Todd LUBART, dont le cadre théorique est celui de l'approche multivariée en psychologie différentielle (LUBART, 2015). La créativité est définie comme la capacité à produire un produit ou un processus « nouveau » et « adapté » au contexte (2015 : 3)¹¹.

Les macro- et microprocessus créatifs

Il existe deux grandes approches pour décrire le processus créatif : l'un décrit les étapes du (macro) processus tandis que l'autre cherche à identifier les mécanismes de la création d'idées (microprocessus).

Les macroprocessus

Dans le macroprocessus créatif, il y a généralement quatre étapes, liées à différents réseaux cérébraux : la préparation, l'incubation, l'illumination et la vérification¹².

La première étape est l'idée de préparation, c'est l'idée qu'on « se plonge » dans le domaine. La deuxième étape est celle de l'incubation. C'est à ce moment-là que toutes les informations recueillies durant la première étape commencent à mûrir dans le subconscient. Il s'agit d'une étape très importante dont la durée est extrêmement variable : de quelques jours, à plusieurs semaines, voire des mois ou même des années. La troisième étape est ce qui est couramment perçu comme un signe d'une personne créative, ce qu'on appelle l'étape de l'illumination. C'est vraiment l'idée du moment « Eureka ». C'est probablement la plus petite partie des quatre étapes, mais c'est sans doute l'une des parties les plus importantes. Et puis nous avons l'étape finale. C'est ce qu'on appelle la vérification : l'idée est autoévaluée et testée. Ici se vérifie la célèbre citation de Thomas EDISON : « le génie c'est 1% d'inspiration et 99% de transpiration ».

Signalons que les études récentes en neurosciences montrent que les processus créatifs ne sont pas localisés dans une région ou dans un hémisphère mais qu'ils sollicitent différentes régions du cerveau en fonction de l'étape du processus et de la nature même de l'objet de la création. En effet, trois principaux réseaux neuronaux sont impliqués dans la réalisation d'une tâche créative : le réseau du contrôle de l'attention, le réseau de l'imagination (*Default network*) sollicite la mémoire procédurale, les expériences personnelles passées et le réseau de flexibilité attentionnelle.

Les microprocessus

Plusieurs microprocessus ont été identifiés dans la littérature scientifique. À l'instar de Marion BOTTELLA (2016), nous en décrivons trois.

Tout d'abord, la pensée divergente est définie comme la capacité à générer des idées diverses et nombreuses. Elle s'évalue grâce à trois principaux indices : la fluidité (nombre d'idées différentes qu'un individu peut produire dans une tâche) ; l'originalité (caractère inhabituel, non usuel, non conformiste) ; la flexibilité (ou aptitude à appréhender un seul objet, une seule idée sous des angles différents, ce qu'on appelle également l'ouverture d'esprit).

Ensuite, la pensée associative consiste à combiner, regrouper, fusionner, associer deux informations

11. Il s'agirait en fait d'une idée « potentiellement » nouvelle et adaptée. Cet ajout offre une perspective dynamique et éducative à la définition de la créativité où il devient possible que l'idée puisse être améliorée ou considérée comme créative par la suite.

12. La description de ces étapes est tirée du site <https://www.jamestaylor.me/creative-process-five-stages/>

pourtant sémantiquement et/ou conceptuellement distinctes : si une production est originale et créative, c'est parce qu'il y a eu la combinaison inédite de deux ou plusieurs éléments à priori indépendants (exemple d'une étudiante qui apprend le français et qui compare les notions d'antériorité, de simultanéité et de postériorité avec l'œuf, le poussin, la poule et le poulet rôti dans l'assiette).

Enfin, la pensée convergente permet de réduire l'ensemble des idées possibles à une seule idée amenant ainsi à fournir une bonne ou une mauvaise réponse. Elle permettrait d'évaluer la qualité des idées au regard des contraintes de la tâche.

Outre cette approche en termes de macro et micro processus, il existe deux modèles principaux pour décrire ce phénomène complexe qu'est le processus créatif : l'approche multivariée de Todd LUBART et le modèle systémique de Mihaly CSIKSZENMIHALYI (PICCARDO 2016). Ce dernier modèle représente la créativité comme résultant des interactions d'un système composé de trois éléments : une culture dotée de règles symboliques, une personne qui introduit une nouveauté dans ce domaine symbolique et des experts qui reconnaissent et valident l'innovation (CSIKSZENMIHALYI, 2006 : 12).

Dans l'approche multivariée de LUBART, différents facteurs influencent le potentiel créatif présent dans différents domaines tels que les arts, la littérature, les sciences, le commerce et autres disciplines. Ce potentiel peut ensuite s'exprimer dans des productions concrètes. C'est cette approche que nous souhaitons présenter de façon plus détaillée.

L'approche multivariée de LUBART

Selon LUBART (2015), les processus créatifs se construisent autour de quatre facteurs : cognitifs, conatifs, environnementaux et émotionnels.

Les facteurs cognitifs renvoient à tout ce qui relève de la connaissance. Parmi ces facteurs, nous trouvons des capacités telles que : identifier et définir un problème, relever des informations en rapport avec le problème (encodage sélectif), observer des similitudes entre des domaines différents pour éclairer le problème (analogies, métaphores, comparaisons sélectives), regrouper des éléments divers d'information pour former une nouvelle idée (combinaison sélective), générer plusieurs possibilités (pensée divergente), auto-évaluer ou encore explorer de nouvelles pistes (flexibilité). A ces facteurs, s'ajoutent le quotient intellectuel et les connaissances.

Les facteurs conatifs comprennent les traits de la personnalité comme la persévérance (qui aide à surmonter les multiples difficultés et obstacles), la tolérance à l'ambiguïté (faculté d'accepter les idées, les stimuli, les situations ambiguës), l'ouverture à de nouvelles expériences (curiosité vis-à-vis du monde extérieur et du monde intérieur), la prise de risques, l'individualisme / l'indépendance (une individualité bien affirmée est souvent la garantie de l'indépendance de jugement), à cela s'ajoute les styles cognitifs (style global – largeur de vue – et intuition) et la motivation (plutôt de type intrinsèque).

Les facteurs environnementaux ont un impact sur la créativité : les différents environnements avec lesquels le sujet interagit influencent la créativité, que ce soit la famille, le milieu scolaire, professionnel, culturel ou social, mais aussi des aspects tels que le sentiment de sécurité, la stimulation intellectuelle, l'influence des moyens d'information, la présence plus ou moins grande des outils technologiques.

Être dans un processus créatif implique en effet de passer par des états émotionnels variables. En général, on démarre le processus avec beaucoup d'enthousiasme, on passe ensuite par une phase de difficulté, plus stressante à vivre, et on termine par une phase de nouveau positive avec un sentiment de satisfaction ou de fierté du travail accompli.

Les facteurs émotionnels jouent donc eux aussi un rôle important dans la créativité et cela sur des plans différents.

Tout d'abord, les états émotionnels positifs ainsi que le plaisir favorisent généralement la créativité alors que les émotions négatives ont un effet plus ambivalent. Il a été prouvé que le niveau de compétence émotionnelle influence la sécrétion de cortisol (hormone de stress) à la fois avant et pendant une situation stressante (MIKOLAJCZAK *et al.*, 2007). A l'inverse, certaines recherches ont permis de constater l'effet bénéfique de l'émotion positive : cette dernière agirait sur l'attention de l'individu et faciliterait la perception des différents aspects et qualités des objets présents dans la tâche. L'effet des émotions positives sur la créativité survient grâce à la sécrétion de la dopamine¹³. L'état émotionnel positif induit chez les individus une certaine décontraction.

Ensuite, les émotions sont en lien avec le niveau d'éveil. En effet, c'est la présence même des émotions qui favoriserait la créativité plutôt qu'un état neutre.

Enfin, les émotions entrent en jeu à travers les expériences passées qui contribuent à l'accès aux concepts et à l'association créative des concepts : à chaque concept stocké en mémoire sont associées des traces d'expériences émotionnelles vécues par l'individu (« endocepts ») et, par un mécanisme de résonance émotionnelle, ces traces sont activées à travers de nouvelles expériences et émotions.

Le modèle de résonance émotionnelle propose que les aspects émotionnels des expériences passées contribuent à l'accès et à l'association créative de concepts émotionnellement proches, même s'ils sont cognitivement distants.

Créativité et émotion

Facteurs émotionnels en lien avec la créativité

Dans une recherche-action menée en 2017, Marion BOTELLA et Isabelle CAPRON PUOZZO ont mesuré les facteurs émotionnels liés à une formation en créativité : elles ont observé que les émotions à valence négative (déception, épuisement, frustration, stress) sont en moyenne assez faibles, alors que les émotions à valeur positive (satisfaction, fierté) et les émotions d'activation (éveillé, inspiration) sont plus fortes. Le niveau de stress maximal est atteint lors de la présentation d'une fiction créative et la fin de la formation se termine avec une touche de fierté lors de la mise en place d'un atelier expérientiel (CAPRON-PUOZZO 2018).

Des études ont été faites sur le lien entre la créativité et les émotions, entre émotion et cognition ou entre créativité et apprentissage, mais la triade émotion-créativité-apprentissage est peu analysée simultanément.

Selon Isabelle CAPRON-PUOZZO (2018), penser à ces trois facteurs simultanément ouvre une toute nouvelle question d'innovation pédagogique en intégrant une autre forme d'apprentissage où plusieurs solutions sont envisagées. Cela permet à la fois de réfléchir sur la flexibilité cognitive tout en intégrant l'impact positif des émotions.

Certaines recherches montrent que les ondes alpha (le rythme du cerveau pris par l'électroencéphalogramme) sont plus synchronisées dans les tâches qui favorisent le processus créatif. Plus les vagues sont synchronisées, plus nous sommes en divergence ; plus nous sommes en convergence, plus la synchronisation est faible (CAPRON PUOZZO, 2018, p. 145).

13. Un chercheur nommé KAUFMAN a pu observer, lors d'expériences menées en 1997, que, dans une tâche de pensée divergente, les individus en situation émotionnelle positive émettaient davantage d'idées que ceux en situation négative.

Les neurosciences ont également mis l'accent sur le lien entre les effets positifs et la créativité. La recherche (ROWE, HIRSH & ANDERSON, 2007) a mis en évidence le lien entre un effet positif (induit par la vision d'une scène comique) et la recherche de solutions. Un effet positif augmente le niveau de dopamine dans le cerveau (toujours dans l'hémisphère droit) favorisant la génération d'idées.

Néanmoins, comme le signale Isabelle CAPRON-PUOZZO, il est toujours sage de rester très prudent avec ce type de résultat. Les chercheurs eux-mêmes à l'origine de l'expérience (FINK & BENEDEK, 2013, p. 223) soulèvent la difficulté d'être créatif avec des électrodes sur la tête dans une cabine ou couché dans un scanner. . . La créativité demeure actuellement un « mystère neuroscientifique » (BODEN 2013).

Pour une pédagogie de la créativité

Isabelle CAPRON-PUOZZO (2016 : 24) propose d'encourager une pédagogie de la créativité :

Dans une perspective socio-cognitiviste (BANDURA, 1986), une pédagogie de la créativité consiste à concevoir et mettre en œuvre des dispositifs d'enseignement/apprentissage qui favorisent des processus et des performances créatifs par une démarche de production, dans le but de tisser une passerelle entre l'objet de savoir et l'apprenant (PUOZZO CAPRON & MARTIN, 2014) et favoriser ainsi un apprentissage créatif (CRAFT, 2005).

L'objectif à long terme devient celui de développer un nouveau rapport au savoir : l'apprenance, comme la compétence et l'envie d'apprendre tout au long de sa vie (CARRÉ, 2005).

Elle repère trois types d'interventions pédagogiques de la créativité, entre processus créatif et performance :

1. L'enseignement créatif (*creative teaching*) : lorsqu'un enseignant utilise différentes méthodes d'enseignement qui sont plus imaginatives pour « rendre l'apprentissage plus intéressant » (CRAFT, 2005, p. 22).
2. L'enseignement pour développer la créativité (*teaching for creativity*) : lorsque l'enseignant a l'intention de développer la créativité de l'élève.
3. L'apprentissage créatif (*creative learning*) : un processus par lequel les élèves apprennent un nouveau sujet au moyen de la créativité. « Elle implique l'apprenant dans l'utilisation de son imagination et de son expérience pour développer l'apprentissage » (CRAFT, 2015, p. 23).

Pour conclure, donnons la parole à Marion BOTELLA et Isabelle CAPRON-PUOZZO : « Nous proposons de considérer un nouveau paradigme qui serait celui de la 'CRÉATIVANCE' comme la compétence et la motivation d'être créatif tout au long de sa vie » (BOTELLA et CAPRON-PUOZZO, 2018, p. 157).

Émotion et enseignement

L'enseignement/apprentissage des langues

Faisons un petit détour par la didactique des langues, qui est mon domaine de spécialité. En effet, certaines découvertes faites dans ce domaine peuvent être aisément transposables dans l'enseignement /apprentissage d'autres disciplines.

De nombreux chercheurs sont d'accord pour dire combien les émotions sont cruciales en classe de langue :

Emotions are like ‘the elephant in the room’. Everyone is aware of them but they reflect an unspoken truth : that they have a significant impact on what has happened in the past, what is happening now, and what will happen in the future (SWAIN, 2013).

Jean-Marc DEWAELE s’est particulièrement intéressé à deux émotions aux valences opposées : l’anxiété et la joie et a créé les concepts de FLE (*Foreign Language Enjoyment*) et FLAC (*Foreign Language Anxiety in Class*).

Il a mené de nombreuses recherches quantitatives auprès d’échantillons très importants (jusqu’à 1736 personnes) pour établir les résultats suivants.

- Les enseignants doivent créer une atmosphère positive en classe, les enseignants sont comme des directeurs, à l’écoute de l’interaction dynamique de leurs propres émotions et de celles de leurs élèves, c’est-à-dire des membres de leur orchestre.
- Les enseignants devraient rendre l’environnement de la classe de FL suffisamment imprévisible, surprenant et stimulant pour les élèves.
- Les enseignants ne devraient pas s’inquiéter outre mesure de l’anxiété, si eux-mêmes ne semblent pas en être la cause principale.

Une toute récente enquête (ZUNIGA et RUEB 2018), menée auprès de 424 étudiants de niveau postsecondaire de Montréal suivant un cours de français langue étrangère, montre qu’il n’y a pas de différence dans l’intensité de l’expérience optimale ou flow¹⁴ selon le niveau de compétence des apprenants.

Les résultats suggèrent que l’expérience optimale est également accessible aux apprenants ayant un niveau de compétence plutôt faible, à condition que l’activité soit stimulante et se déroule dans la zone équilibrée entre défi et compétence.

Des facteurs importants augmentent l’intensité de l’expérience optimale en classe : le jeu, la présence d’un élément de compétition, l’interaction et... le mouvement. On observe en effet un pic significatif dans l’intensité de l’expérience optimale vécue dans les activités impliquant du mouvement. Le mouvement ajoute ainsi un autre élément de spontanéité à l’activité, éveillant l’intérêt et l’attention, et générant le flux.

Pour Jane Arnold, ce qui est impliqué dans la dimension affective de l’apprentissage des langues se reflète dans l’affirmation d’Earl STEVICK, il y a des années, selon laquelle « le succès du processus d’enseignement/apprentissage des langues dépend moins de choses comme les matériaux et les techniques que de ce qui se passe à l’intérieur et entre les personnes impliquées ».

Par « à l’intérieur », il se référerait aux facteurs individuels de l’apprenant, tels que la motivation, le concept de soi, le style d’apprentissage, l’anxiété..., et par « entre » les relations dans le groupe, entre les élèves et entre les élèves et le professeur.

Avec l’affect, il y a deux principes : éviter les émotions négatives qui entravent l’apprentissage et créer des émotions positives qui favorisent l’apprentissage.

Pour Jane ARNOLD, se connecter au cerveau de l’apprenant consiste à : mettre à l’aise les apprenants et les intéresser, appliquer l’écoute active (pour vraiment écouter les élèves et montrer de l’intérêt), favoriser une grande estime de soi (de type « Je vais bien », les croyances des apprenants sont d’une importance capitale dans l’apprentissage) ; intégrer le mouvement corporel, inclure l’intelligence du

14. Le *flow* correspond à une période de concentration intense, vécue en perdant la notion du temps, dans l’oubli de soi, tendu vers un but précis et clair, sans se focaliser sur l’accomplissement de cet objectif, animé par le sentiment de contrôler la situation avec aisance et compétence, ce qui donne l’impression d’agir sans effort.

corps (exemple : « si la réponse est a), levez la main droite, si la réponse est b) levez la main gauche, si c), vos deux mains, si d) baissez vos mains, si e) applaudissez »); stimuler à la fois l'intelligence visuelle (il est impossible de penser sans images) et l'emploi des métaphores.

Pour conclure à nouveau avec une citation de Jane ARNOLD « FUNdeMENTAL : Fun comes before mental » (conférence lors du colloque « Emotissage », juillet 2017).

L'enseignement / apprentissage de façon générale

Francisco MORA TERUEL est à la fois neuroscientifique et pédagogue. Son but est de connaître le cerveau pour mieux enseigner. Selon lui, l'acquisition de connaissances partage des substrats neuronaux avec d'autres comportements qui conduisent à la recherche de l'eau, de la nourriture ou de la sexualité. Je passerai les explications neuroscientifiques pointues pour présenter directement les conclusions pour l'enseignant.

Pour ce pédagogue, « *la emoción es la energía que mueve el mundo* » (l'émotion est l'énergie qui fait bouger le monde). Selon lui, en tant qu'enseignant, nous devons d'abord « allumer » l'émotion.

Tout ce que nous voyons dans le monde entre dans le système émotionnel par les sens : vision, ouïe, goût, odorat et toucher.

Nous devons transmettre ce que nous enseignons par le tamis de l'émotion et éveiller la curiosité de nos auditeurs, car l'enseignant doit rendre curieux ce qui est enseigné. La curiosité est ce qui réveille : si une girafe passe derrière moi, vous détournerez votre attention de ce que je dis et vous la regarderez tous. Le maître doit être transformé en girafe.

Les émotions suscitent et maintiennent la curiosité et donc l'intérêt pour la découverte de tout ce qui est nouveau.

Selon lui, « la curiosité enflamme l'émotion et avec l'émotion ouvre les fenêtres de l'attention, le foyer nécessaire pour la création de la connaissance ».

La capacité de capter l'attention des élèves naît de la capacité de l'enseignant à transformer la classe en une histoire, une histoire qui crée un emballage curieux et attrayant quel que soit le sujet.

Et, dernier point très important, faites une pause pendant les cours... Le cerveau la réclame.

Enseignement et empathie

Entre 2006 et 2016, des chercheurs de trois universités finlandaises ont suivi la carrière de plusieurs milliers d'enfants, en se concentrant sur les interactions avec leurs enseignants, ainsi que sur la coopération entre parents et enseignants (PAKARINEN *et al.*, 2014).

Selon les premiers résultats de l'enquête, l'attitude empathique et chaleureuse de l'enseignant a un effet positif sur la motivation et les compétences des enfants, tant en lecture qu'en écriture et en calcul.

Inversement, un faible soutien émotionnel entraîne des comportements passifs et d'évitement. En fin de compte, l'interaction enseignant-élève a une plus grande incidence sur le rendement scolaire que les outils pédagogiques ou la taille des classes.

L'empathie est la clé du succès.

Pour conclure cette partie avec deux citations de Francisco MORA : « *Solo se aprende aquello que se ama* » (On ne peut apprendre que ce qu'on aime) et « *sin alegría no hay aprendizaje* » (sans joie, il n'y a pas d'apprentissage).

Conclusion

Il est temps de conclure.

Nous avons découvert la place essentielle des émotions dans l'apprentissage.

Nous avons également compris le besoin impératif de développer la créativité en nous-mêmes et chez nos élèves.

Un nouveau paradigme est en train de prendre forme, laissant de côté la transmission des connaissances qui se ferait d'un cerveau à l'autre, mais favorisant une approche holistique de l'enseignement et de l'apprentissage qui intègre la tête, le corps et le cœur.

Ma réflexion actuelle porte sur la place des sentiments et du corps dans la triade émotion-création-apprentissage.

Dans son dernier livre (*L'ordre étrange des choses*, 2017), Antonio DAMASIO affirme que les sentiments (le processus mental qui suit la réponse émotionnelle) sont les déclencheurs de l'intelligence créative.

Quant à Joelle ADEN, elle tente d'appliquer la théorie de l'énaction de Francisco VARELA dans la formation des professeurs de langues (énaction ou Cognition incarnée). Cette théorie développe l'idée que l'expérience du monde est le résultat d'une interaction mutuelle entre les capacités sensorimotrices de l'organisme et son environnement. Elle emprunte à Eva THOMPSON¹⁵ la métaphore de l'oiseau pour expliquer cette idée.

Here is an analogy : A bird needs wings to fly but the bird's flight is not inside its wings, the flight is the relation between the whole animal and it's environnement. Flying is a kind of embodied action. We need a brain to think and to perceive, but our thinking and perception are not inside our brain, they are a relation between us and the outer world.

Vous souvenez-vous de ce que j'ai dit au début de ce discours ? Mon objectif est double : regarder d'une manière différente la place des émotions et de la créativité dans la salle de classe ; démontrer que l'attention portée à l'affect rend notre enseignement plus efficace.

J'aimerais conclure par une invitation : conscients du rôle que jouent les émotions et la créativité dans notre métier d'enseignant, augmentons notre qualité de présence en tant qu'enseignant, comme le fait Maria ABRAMOVIC dans un spectacle intitulé « L'artiste est présent » https://www.youtube.com/watch?v=M4so_Z9a_u0 Extrait (7'12 à 8'56).

Références

Aden, J. 2016. Créer, innover par le théâtre : pour une pédagogie éactive des langues. In Capron-Puozzo, I. (dir.) La créativité en éducation et formation : perspectives théoriques et pratiques (pp. 107-117). Louvain-La-Neuve : De Boeck Supérieur.

Aden, J. 2017. Corps, émotions et affects dans l'apprentissage des langues. Conférence du vendredi 7 juillet 2017 au colloque « Emotissage » (Louvain-la-Neuve, Belgique).

Arnold, J. 2017. EMO-COG : How attention to affect can promote more effective learning. Conférence du jeudi 6 juillet 2017 au colloque « Emotissage » (Louvain-la-Neuve, Belgique).

Berthoz Alain, 2013, La Vicariance. Paris : Odile Jacob.

Boden, M. A. (2005). The creative mind. Myths and mechanisms (2e ed.). New York : Routledge.

Botella, M., Zenasni, F. & Lubart, T. 2011. A dynamic and ecological approach to the artistic creative process of arts

15. Propos d'Eva THOMPSON lors d'une conférence en 2016, cités par Joëlle ADEN au colloque « Emotissage » (2017).

- students : an empirical contribution. *Empirical studies of the arts*, 29(1), 17-38.
- Botella, M. 2015. Les émotions en psychologie : définitions et descriptions. *Langage et l'homme*, 2, 9-22.
- Botella, M. 2016. Les macro- et microprocessus créatifs. In Capron Puozzo, I. (dir.) *La créativité en éducation et en formation* (pp. 33-46). Bruxelles : De Boeck Supérieur.
- Brown, R.T (2010). Creativity. What are we to measure? In J.A Glover, R.R Ronning & C.R. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity* (pp. 3-32). New York : Plenum Press.
- Capron Puozzo, I. 2015. Emotions et apprentissage dans une pédagogie de la créativité. *Langage et l'homme*, 2, 95-114.
- Capron Puozzo, I. 2016. La créativité en éducation et formation : perspectives théoriques et pratiques. Louvain-La-Neuve : De Boeck.
- Capron-Puozzo, I. & Botella, M. 2018. Emo-learning et créativité : Questions théoriques et pratiques. In Berdal-Masuy F. (Ed), *Emotissage. Les émotions dans l'apprentissage des langues* (pp.143-161). Louvain-la-Neuve : PUL.
- Craft, A. 2005. *Creativity in schools. Tensions and dilemmas*. New York : Routledge.
- Craft, A. 2011. *Creativity and education futures. Learning in a digital age*. Stoke-on-Trent : Trentham Book.
- Cros, F. 2002. L'innovation en éducation et en formation : topiques et enjeux. In N. Alter (Ed.), *Les logiques de l'innovation* (pp. 211-240). Paris : La Découverte.
- Csikszentmihalyi, M. 2006. *La créativité. Psychologie de la découverte et de l'invention* (C-C. Farny, trad.). Paris : Robert Laffont. (Original publié 1996).
- Damasio, A. 1995. *L'erreur de Descartes? La raison des émotions*. Paris : Odile Jacob.
- Damasio, A. 1999. *Le sentiment même de soi : corps, émotions, conscience*. Paris : Odile Jacob.
- Dewaele, J.-M. & MacIntyre, P. 2014. The two faces of Janus? Anxiety and Enjoyment in the Foreign Language Classroom. *Studies in Second Language Learning and Teaching*, 4, 237-274.
- Dewaele, J.-M. 2015. Postface : les émotions au cœur de toute activité langagière. *Langage et l'homme*, 2, 199-201.
- Dewaele, J.-M. 2017. Emotions in foreign language learning. Conférence du mercredi 5 juillet 2017 au colloque « Emotissage » (Louvain-la-Neuve, Belgique).
- Guerit, J.-M. 2004. *Emotion et apprentissage. Propos recueillis par Jacqueline Pairon, Université catholique de Louvain* (notes internes au Département de français), Louvain-la-Neuve.
- Lubart, T., 2010. *Psychologie de la créativité*. Paris : Armand Colin.
- Lubart, T., Mouchiroud, C., Tordjman, S. & Zenasni, F. 2015. *Psychologie de la créativité* (2^e ed.). Paris : Armand Colin.
- Mikolajczak, M. et alii. 2007. The Moderating Impact of Emotional Intelligence on Free Cortisol Responses to Stress. *Psychoneuroendocrinology*, 32, 1000-1012.
- Mikolajczak, M. Quoidbach, J., Kotsou, I. et D. Nelis. 2009. *Les compétences émotionnelles*. Paris : Dunod.
- Mikolajczak, M. 2017. De l'intérêt de l'apprentissage des compétences émotionnelles à l'école et dans les cours de langues. Communication présentée au colloque Emotissage (5-7 juillet 2017), Louvain-la-Neuve.
- Mora, F. 2013. *Neuroeducación*. Madrid : Alianza Editorial.
- Pairon, J., en collaboration avec F. Berdal-Masuy. 2014. Des messages entre les lignes. Quelle place accorder à l'implicite et à l'émotionnel dans la force de conviction et/ou de persuasion? L'apport des neurosciences et des arts de la scène. *Le langage et l'homme*, XLIX.2, 91-106.
- Pakarinen, E., Aunola, K., Kiuru, N., Lerkkanen, M.-K., Poikkeus, A.-M., Siekkinen, M., & Nurmi, J.-E. 2014. The cross-lagged associations between classroom interactions and children's achievement behaviors. *Contemporary Educational Psychology*, 39, 248-261.
- Piccardo, E. 2016. Créativité et complexité : quels modèles, quelles conditions, quels enjeux? In Capron Puozzo, I. (dir.) *La créativité en éducation et en formation*. Bruxelles : De Boeck Supérieur.
- Puozzo Capron, I. 2014. Pour une pédagogie de la créativité en classe de langue. Réflexion théorique et pratique sur la

triade : créativité, émotion, cognition. Voix Plurielles, 11-1, 101-111.

Robinson, K. 2011. Out of our Minds. Learning to be creative (2nd ed.). West Sussex : Capstone.

Serres, M. 2012. Petite Poucette. Paris : Le Pommier.

Swain, M. 2013. The inseparability of cognition and emotion in second language learning, Language teaching, 46.2, 195-207.

Wallas, G. 1926. The Art of Thought. Nex-York : Harcourt, Brace and Company.

Zuniga, M., & Rueb, A. 2018 Le flow. L'influence des tâches pédagogiques sur la qualité de l'expérience émotionnelle dans les cours de français langue seconde?. In Berdal-Masuy, F. (Ed.) Emotissage (pp.263-277). Louvain-la-Neuve : PUL.

Sitographie

<https://www.brainpickings.org/2013/08/28/the-art-of-thought-graham-wallas-stages> (consulté le 11 novembre 2018)

3 L'approche par compétences pour cadrer, entraîner et évaluer l'intégration des savoirs

Marianne POUMAY¹⁶

Cette présentation abordait la façon dont l'approche par compétences permet d'intégrer les différents types de ressources (savoirs, savoir-faire et attitudes professionnelles) et d'évaluer cette intégration (portfolios). Le lien ci-dessous permet retrouver les slides de la conférence :

<https://orbi.uliege.be/handle/2268/233067>

4 Le Côté Obscur de la Compétence : pourquoi le Pacte prône-t-il un meilleur équilibre entre savoir et compétences

Marc ROMAINVILLE

5 Les TICE, des outils (pas) comme les autres ?/!

Éric WILLEMS

Intégrer la technologie dans l'enseignement, est-ce la solution ultime pour (re)motiver nos étudiants ? Dans une société où Internet, jeux vidéos, réseaux sociaux et des outils comme les smartphones, tablette et ordinateurs portables sont omniprésents, la tentation est grande de chercher la réponse à cette question de la (re)motivation dans le monde du numérique !

L'e-learning est un anglicisme de plus en plus présent dans le débat pédagogique. Que l'on parle de numérique, de web 3.0, ou même plus récemment de « connectivisme », le postulat posé reste l'étude du rapport des technologies de l'information et de la communication à l'enseignement. En effet, l'omniprésence des TIC, dans nos sociétés modernes, génère par voie de conséquence une indispensable prise de position de « l'enseignement ». L'usage accru des outils numériques par les entreprises (Geelkens, 2016) et la massification de l'enseignement supérieur (Rege Colet & Romainville, 2006) représentent deux défis par rapport auxquels l'e-learning semble une réponse facile. Classe inversée, MOOC, SPOC, parcours pédagogiques individualisés en ligne ... sont autant d'initiatives destinées tant à désengorger les auditoires qu'à changer les approches pédagogiques...

Toutefois, « l'usage du numérique n'est pas une fin en soi » (Lameul, 2014, p.13), comme tout outil, l'outil numérique, doit être utilisé ... comme un outil ... là et quand il est utile, avec réflexion et discernement. Certes, comme nous aurons à cœur de le montrer, il offre de grandes possibilités et de nombreuses opportunités, mais un outil, reste un outil et ne représente pas, de facto, le remède à la mutation de l'enseignement supérieur. Si Marc Romainville (2006) avait déjà pointé la massification de l'enseignement comme un premier défi pour le supérieur, Aline Germain-Rutherford et Bakary Diallo in (Rege Colet, 2006) pointent l'évolution du public étudiant. Les « nouveaux étudiants » partagent leur temps entre travail et études. Une étude réalisée à l'Université d'Ottawa met en évidence que 45% des étudiants travaillent, afin de financer leurs études et leurs loisirs, entre 11 et 20h par semaine. Savikas (et al., 2010) ajoute et développe la notion de « Life designing » dans laquelle, à travers une analyse de la nouvelle organisation sociale du travail en ce début de 21e siècle, il met en évidence les carrières de moins en moins linéaires nécessitant une formation tout au long de la vie (longlife learning). De

16. Professeur à l'ULiège

nouvelles formations en horaire décalé voient le jour, répondant à cette demande croissante de formation et de reprise de formation. Une question s'impose dès lors à nous : les formations structurées en semestres d'études successives se clôturant par l'apothéose d'un « blocus » sont-elles toujours adaptées à l'évolution de notre société de consommation ? La culture de l'information immédiate, disponible à toute heure (et à tout moment de la vie) sur les réseaux reste-t-elle compatible avec le monde du savoir empirique ? Depuis l'avènement d'internet et des moteurs de recherche, nous nous trouvons de fait dans « une école grande comme le monde » (Khan, 2013) Les courants les plus actuels de la pédagogie, qu'ils soient constructivistes, socioconstructivistes, connectivistes placent l'étudiant dans une posture active : l'apprenant comme acteur de sa formation et de son apprentissage.

En Belgique, comme le pointe Romainville (2006), la liberté académique reste la règle. L'innovation reste le fait de volontés individuelles. L'usage du numérique pourrait-il conduire à une modification en profondeur de nos paradigmes d'enseignement ou ne provoquera-t-il qu'un lifting de surface ?

Dans le nouveau modèle scolaire qui se dessine, nous sommes en droit de nous questionner sur la place que l'e-learning, et le numérique en général, pourraient occuper dans ce paysage de l'enseignement supérieur en pleine mutation.

L'enseignement à distance est contraint depuis plusieurs années à se poser les mêmes questions que l'enseignement supérieur. Mais en ce qui le concerne, c'est même une question de survie ! Une des principales caractéristiques de l'EAD est que la voix n'est plus le seul média. Nous quittons un enseignement « parlé » pour aller vers d'autres supports. Internet et les TIC dans leur ensemble ont considérablement augmenté et démocratisé les supports de médiatisation. L'évolution de la technologie élargira la palette d'outils de l'EAD : après l'écrit, radio, cassette audio, VHS, CD, CD-Rom ... de nos jours, Internet a sa multiplicité d'outils ! L'enseignement à distance évolue et adapte ses contenus à l'évolution des technologies disponibles pour les médiatiser. L'arrivée du numérique ne serait-elle alors qu'une évolution de l'EAD ? Non, car elle pose deux questions qui forcent l'EAD, comme l'enseignement traditionnel, à se redéfinir.

- Le numérique permet une accessibilité beaucoup plus large et aisée du savoir. L'EAD doit maintenant prouver sa plus-value par rapport à un simple moteur de recherche sur la thématique qu'il aborde.
- Comment l'EAD peut-il continuer à certifier des formations ? L'information est disponible partout, les accès au savoir sont multiples, comment s'assurer de l'identité du répondant ? Comment faire face à l'afflux de demandes ?

L'avènement de l'EAD sur Internet le contraint à faire face aux défis de la massification de son public cible et de l'accessibilité des savoirs. Il ne reste à l'EAD que son approche pédagogique pour faire la différence. Ce qui pose la question de la capacité du dispositif de formation « ... à gérer des transactions pédagogiques efficaces en s'affranchissant des contraintes liées à la distance physique ... » (Depover, (et al.) 2007, p. 206). Transaction dont l'évaluation, les cursus doivent être certifiés. Quel que soit le cadre, la question de l'évaluation reste un débat complexe qui pourrait faire l'objet d'un article complet à elle seule. De nos jours, que doit-on évaluer, des savoirs, des compétences ou des productions ? Et surtout comment évaluer à l'heure du « copier-coller », comment authentifier l'auteur ? Siemens (2010) donne la même réponse à ces deux questions : les statistiques d'apprentissages (Learning analytics). L'ensemble des données produites par l'apprenant lors de ses connexions peut générer de l'information utile pour l'accompagner, l'évaluer et différencier son apprentissage. L'association entre les méthodes d'évaluation comme les productions, les projets, les portfolios, les travaux de synthèses, d'analyses critiques, etc.,

et le développement de modèle d'exploitation de ces « learning analytics » deviendra probablement la solution à l'évaluation à l'heure du numérique. Voici peut-être le point commun entre EAD et enseignement traditionnel : ils se questionnent sur leurs modèles et doivent réinvestir la construction de leurs dispositifs pédagogiques, renouveler leurs évaluations face à l'avènement de l'ère numérique. L'innovation pédagogique représente la solution aux maux de l'enseignement. Et si cette innovation pédagogique souhaite s'adjoindre la puissance des outils de l'ère numérique, elle ne peut se contenter de s'attaquer à « la surface » de l'enseignement. Elle doit s'attaquer également au « cadre » de notre enseignement, ou tout au moins le questionner !

Comment le rôle de l'enseignant devra-t-il évoluer ? Le « passeur de savoir » n'est-il pas appelé à devenir coach ou tuteur ?

Un enseignant tuteur devra s'adapter à son public et à ses contraintes d'enseignement. . . l'enseignement traditionnel d'un seul et unique contenu censé convenir à tous et toutes vit probablement ses dernières heures. La différenciation s'invite dans le débat pédagogique et élargit le champ des possibles. Différencier, mais différencier quoi, les contenus, les structures, les processus, les productions. . . tout est pédagogiquement possible et à la portée des enseignants. Il s'agit pour cela d'abord et avant tout d'envisager de (nouvelles) approches pédagogiques basées sur la mise en action cognitive des étudiants à travers des dispositifs d'enseignement basés sur le renforcement des interactions entre pairs et avec l'enseignant, mais aussi orienter vers la production de contenus plus que vers la réception comme le soutient Prensky (2001). Là encore le numérique pourrait apparaître comme la panacée ! Les plateformes d'enseignement en ligne permettent de mettre les étudiants individuellement et collectivement au travail en présentiel comme à distance. . .

Néanmoins, au lieu de nourrir l'illusion qu'il est possible de ramener l'activité des étudiants vers les plateformes institutionnelles, ne pourrait-on plus largement concevoir des dispositifs de cours encadrant les échanges entre pairs en développant des logiques de tutorat ou de mentorat ? Ou encore, développer les pédagogies mixtes, inversées ou actives afin de faire évoluer les auditoires vers des lieux d'échanges et de partages ?

Quelles que soient les réponses à ces différentes questions, elles nécessitent une réflexion sur la formation initiale et continue des enseignants à ces nouveaux types d'approches. Mais également la mise en place de réflexions institutionnelles plus large sur l'organisation du travail des étudiants et la gestion de la charge cognitive générée par ces nouvelles approches. En effet, si elle souhaite mettre en place de telles approches, les institutions ne pourront faire l'économie d'une réflexion sur la répartition du travail vs ses programmes de cours. L'approche programme sera, dès lors, une des clés de ce nouveau paradigme d'enseignement.

Enfin se pose la question la plus sensible : celle du cadre. La réorganisation des dispositifs, cursus et programmes d'enseignement et leur valorisation en termes de crédit, en tenant compte des alternatives numériques et en donnant suffisamment de souplesse au cadre que pour permettre réellement l'innovation.

Ce n'est qu'au prix d'une réflexion sur le cadre de l'enseignement, la formation initiale et continue des professeurs, les dispositifs de cours et les nouveaux outils à notre disposition que nous pourrons réellement répondre aux défis de l'enseignement du 21^e siècle. Le numérique nous force à questionner à nouveau l'adéquation de nos modèles d'enseignement. A nous de voir si, sur l'étendue calme de l'enseignement supérieur, ce questionnement aboutira à une déferlante ou un frémissement.

Références

- Depover, C., Karsenti, T., & Komis, V. (2007). Enseigner avec les technologies : favoriser les apprentissages, développer des compétences. Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Khan, S. (2013). L'éducation réinventée. Saint-Amand-Montrond : JCLattes.
- Lameul, G., Loisy, C., & Charlier, B. (Eds.). (2014). La pédagogie universitaire à l'heure du numérique : questionnement et éclairage de la recherche. Louvain-la-Neuve : De Boeck.
- Rege Colet, N., & Romainville, M. (Eds.). (2006). La pratique enseignante en mutation à l'université. Bruxelles : De Boeck et Larcier.
- Geelkens, M (2016) Comment l'université entre dans le futur - article- Le Vif/l'express.

Deuxième partie

Communications et ateliers des membres de l'IRDENa

1 Un dispositif d'EEE accompagné et personnalisé à la faculté d'informatique

Fanny BORAITA

Cette communication présente une démarche d'évaluation des enseignements personnalisée et accompagnée qui a été proposée aux enseignants de la Faculté d'informatique. Cette démarche, indépendante des évaluations institutionnelles, vise deux objectifs spécifiques à la Faculté : assurer la qualité des enseignements suite à la réforme des programmes et accompagner le développement pédagogique des enseignants. La réalisation d'entretiens est au cœur de ce processus afin de fournir des données adaptées aux situations d'enseignement et de proposer un cadre bienveillant d'accompagnement. Plusieurs étapes cadrent la démarche : entretien-conseil avec l'enseignant, rencontres avec les étudiants, élaboration d'une synthèse, débriefing, accompagnement des actions à entreprendre.

2 Lorsqu'un protocole d'analyse de l'activité réunit recherche et accompagnement

Sephora BOUCENNA¹⁷

La communication présentée lors de la journée d'étude de l'IRDENa portait sur une recherche-formation-accompagnement en cours (septembre 2017 - août 2019), impliquant cinq hautes-écoles (Henallux, Galilée, Vinci, Helmo et Helha), le Cecafof et l'UNamur. Le terrain de cette recherche est constitué de 41 enseignants du secondaire (élèves de 12 à 18 ans) en Belgique francophone possédant une expérience variant de quelques mois à 35 ans de métier et représentant diverses disciplines et diverses filières. Cette recherche poursuit comme objectif d'identifier les processus d'apprentissage vécues par les enseignants en situation de travail ainsi que les caractéristiques de ces situations productrices de transformations. Les enseignants engagés dans la recherche ont comme consigne de « tracer » leur activité en filmant ou en enregistrant des situations professionnelles (classe, réunions avec collègues, direction ou parents, salle des profs, formations,...). Certains ont photographié une situation professionnelle qui a retenu leur attention et pour laquelle ils n'ont pas anticipé d'autres traces. Des entretiens d'autoconfrontation (THEUREAU, 2010) ont été menés avec chaque enseignant pour accéder à la partie invisible de leur vécu. Alors que l'intention première poursuivie par le protocole vise une démarche de recherche, une deuxième intention pilote les entretiens. En effet, l'équipe de recherche a négocié avec les enseignants partenaires de poursuivre l'entretien de recherche par un entretien d'accompagnement. Lors de cette seconde partie de la rencontre, les enseignants nomment ce qu'ils se sont sentis prendre conscience durant l'entretien d'autoconfrontation, présentant leurs projets de modification qu'ils ont élaboré suite à leur prise de conscience. Il apparaît que ces prises de conscience ont eu une durée de vie très éphé-

17. Professeur à l'UNamur

mères contrairement aux problématisations produites par les enseignants alors qu'ils rencontrent de l'incertitude et qu'ils doivent créer de nouvelles manières de faire face à ces situations inédites.

3 Faut-il « démathématiser » l'équation chimique ?

Jérémy DEHON

L'équation chimique constitue l'un des jalons essentiels dans le processus d'enseignement-apprentissage de la chimie dans l'enseignement secondaire en Belgique francophone. Il s'avère que les apprenants éprouvent des difficultés à distinguer les significations chimiques et les significations mathématiques de certains symboles de l'équation chimique. Nous allons montrer que cette difficulté peut être décrite comme un obstacle épistémologique, produit de deux processus à l'oeuvre dans l'histoire de la chimie. L'un implique une mathématisation suivie d'une démathématisation de l'équation ; l'autre implique une nécessaire désubstantialisation suivie d'une re-substantialisation des symboles dans le cadre de l'enseignement.

4 Physique et défis : une activité d'apprentissage par projet qui ne manque pas de punch

Matthieu DONTAINE, Jim PLUMAT, Johan TIRTIAUX

Depuis cinq ans le cours-séminaire intitulé « Physique et défis » est proposé aux étudiants de bac 1 en physique. Ce cours a pour objectif de les initier à faire très vite de la « bonne physique » en mettant en application le contenu disciplinaire des principaux cours de première année, et ceci en proposant des projets motivants sous forme de défis à relever. Nous présenterons les compétences que nous souhaitons voir développées par les étudiants lors du cours séminaire ainsi que la méthodologie utilisée. Les résultats d'une enquête indépendante réalisée auprès des étudiants à propos du regard qu'ils portent sur le cours seront également présentés. Ceci nous a d'ailleurs permis de porter un regard critique sur l'activité et de la faire progresser.

5 De l'usage de capsules vidéo pour apprendre à penser ?

Matthieu DONTAINE, Jim PLUMAT

L'utilisation de capsules vidéo dans le milieu scolaire ne cesse d'augmenter tant il est vrai qu'il semble évident que montrer une expérience permet de la comprendre, mais voir suffit-il à comprendre ? Dans le cadre d'une recherche doctorale, nous nous intéressons à savoir, pour une expérience de physique, quelle modalité - capsule vidéo ou texte descriptif - permet de faciliter l'apprentissage ? Les premiers résultats obtenus sont assez surprenants et souvent contre-intuitifs. Lors de l'exposé, nous apporterons quelques éléments explicatifs modélisant les raisonnements tenus grâce aux résultats obtenus par la recherche.

6 « If you never change your mind, why have one ? » (Edward DE BONO) - Les six chapeaux de la réflexion de DE BONO dans le cadre d'une pédagogie coopérative

François-Xavier FIÉVEZ

Le but de l'atelier proposé est d'expérimenter un outil concret utilisable dans le cadre d'un cours. Je me baserai sur mon projet Punch « Make Things Happen » : premièrement je dresserai un rapide cadre théorique sur la pédagogie entrepreneuriale et les 4 piliers exposés par SURLÉMONT(2009) ; je proposerai un rapide échange sur la notion d'apprentissage coopératif et la nécessité de le planifier et de le gérer. Enfin, une grande partie de l'atelier servira à expérimenter la méthode des 6 chapeaux de la réflexion de DE BONO qui est un outil que j'utilise avec les étudiants du projet PUNCH dans le cadre de la réalisation de tâches. Cet outil répond, selon moi, à cette nécessité de planification de la coopération. Des retours concrets de la part des étudiants (récoltés via un questionnaire) seront enfin partagés avec les collègues ainsi que les futures améliorations envisagées.

7 Projet de thèse : la régulation émotionnelle dans l'apprentissage

Line FISCHER

Cette présentation vise à introduire les grandes lignes de mon projet de thèse dans son état actuel. Elle suivra la structure classique : explication du projet et de son ancrage de terrain, brève revue de la littérature sur le sujet, hypothèses et questions de recherche et méthodologie. Je souhaite m'enrichir de l'avis des membres d'IRDENA pour faire avancer mon projet et mes réflexions tout comme apporter quelques nouveaux éclairages de la recherche sur la régulation des émotions dans l'apprentissage chez les étudiants universitaires et sur son lien avec les croyances métacognitives sur les émotions que possèdent les étudiants.

8 Studying the evolution of the understanding of core programming concepts among freshers

Julie HENRY

Learning how to program/code is often described as difficult without conclusive evidence of this statement. In this paper, we present a formal pilot study aiming to define the methodology of a longitudinal study over how freshman-level students understand basic programming concepts. By studying the evolution of the understanding of these basic programming concepts, especially here the concept of variable, we seek to identify students' needs and relate them to some of their individual differences. Results highlight that only previous knowledge of computer science, and even more the practice of programming languages (including self-study), show an influence on understanding of the concept of variable.

9 La classe inversée en TP : Croyances des étudiants et mise en place d'un dispositif

Tony LECLERQ et Fanny BORAITA

Les étudiants de bloc 2 du bachelier en sciences informatiques suivent un cours de « Conception et programmation orientée objet ». Ce cours est réparti en séances théoriques et en travaux pratiques. Afin de répondre au manque d'implication des étudiants aux TP, l'assistant a décidé de mettre en place un dispositif de classes inversées avec l'aide de la coordinatrice pédagogique de la faculté. L'année dernière une séance avait été mise en place avec de tester de manière isolée le dispositif. Une évaluation qualitative a permis de récolter les feedbacks des étudiants présents et une évaluation quantitative a permis de dégager les raisons de non-participation des autres étudiants. Face à ces constats, un dispositif de classe inversée a été intégré au sein des séances de TP. Le cours débutera au second quadrimestre. Cette communication permettra de présenter les feedbacks et les croyances des étudiants concernant la classe inversée « test » de l'année dernière et de présenter le dispositif qui débutera prochainement.

10 L'utilisation du portfolio au service de l'apprentissage et de l'évaluation dans deux cours organisés par la faculté d'informatique

Cédric LIBERT et Fanny BORAITA

Cette communication présentera l'utilisation d'un portfolio et d'un eportfolio dans deux cours organisés par la faculté d'informatique afin de faire le bilan sur cet outil au service de l'apprentissage et de l'évaluation. Dans un premier temps, les dispositifs d'utilisation du portfolio seront présentés. D'une part, dans un cours d'introduction à la programmation, un dispositif d'évaluation continue a été mis en place en faisant notamment usage de cet outil. Les résultats sur l'utilisation du portfolio dans ce cours seront présentés. D'autre part, dans un séminaire d'introduction à la démarche scientifique, un eportfolio va être mis en place au 2e quadrimestre. Il s'agira de présenter ce projet de dispositif pédagogique. Dans un second temps, la communication fera un bilan de l'utilisation du portfolio dans ces cours comme outil au service de l'apprentissage et de l'évaluation.

11 Ingénierie didactique mise en œuvre pour construire un parcours pédagogique sur l'écriture de résultats expérimentaux en sciences

Céline PICRON et Philippe SNAUWAERT

Introduction

L'écriture de résultats expérimentaux avec la précision adéquate est une capacité nécessaire à tout scientifique travaillant en laboratoire. En début d'études universitaires dans un domaine scientifique, l'enseignement des notions liées au report de résultats en tenant compte de la précision du matériel utilisé débute généralement par l'exposé de règles à appliquer telles que :

1. le résultat d'une addition ou d'une soustraction possède autant de décimales que la mesure qui en a le moins ;

2. le résultat d'une multiplication ou d'une division possède autant de chiffres significatifs que la mesure qui en a le moins.

Malgré l'itération de leur usage lors des différentes séances de laboratoire, les étudiants ont des difficultés à les respecter, comme reporté dans divers articles (Guare, 1991 ; Satek, 1977 ; Treptow, 1980). Pour faciliter l'appropriation de ces règles, une séquence de cours en ligne composée de six vidéos entrecoupées d'exercices et de deux fiches techniques a été mise en place. La méthodologie de recherche sur laquelle s'appuie la construction de la séquence est l'ingénierie didactique (Artigue, 1988), illustrée par la figure 1.

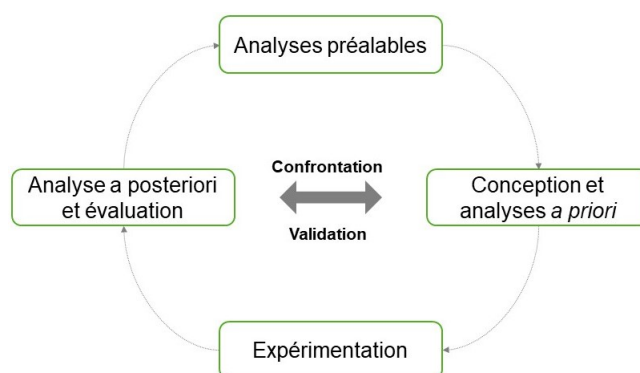


Figure 1 : Méthodologie générale de l'ingénierie didactique (d'après Artigue, 1988)

La première étape de cette méthodologie est composée d'un ensemble d'analyses préliminaires appelées les analyses préalables. Elles consistent en :

1. la détermination et la prise en compte des objectifs de recherche ;
2. la caractérisation d'un champ de contraintes encadrant la réalisation ;
3. l'analyse des conceptions préalables et des difficultés des étudiants ;
4. l'analyse épistémologique des notions visées.

La deuxième étape de l'ingénierie didactique reprend la conception en tant que telle ainsi que les analyses a priori. Cette partie est consacrée à l'organisation (Quand ? Comment ? Pourquoi ?) et à l'étude des choix à poser. Ces derniers vont avoir un impact sur, d'une part, les acquis des étudiants et, d'autre part, leurs comportements comme, par exemple, leur manière de mobiliser le savoir, de résoudre un problème, ... Ce n'est qu'une fois ces choix fixés que la séquence peut être construite.

La troisième étape est l'expérimentation, la mise en œuvre de la séquence en tant que telle. Elle permet de recueillir des données utiles à la validation ou l'invalidation des choix faits lors de l'analyse a priori. Elles sont collectées au travers de questionnaires, d'études de cas, de productions d'étudiants et / ou d'enseignants.

La quatrième et dernière étape du processus est l'analyse a posteriori et l'évaluation de la séquence. Elle s'appuie sur les données obtenues en confrontant les analyses a priori et a posteriori. Au cas où cette confrontation entraîne une remise en question de tout ou partie de l'outil conçu, il est possible de recommencer le processus.

Les analyses préalables

Lors de ces analyses, il est nécessaire d'établir les objectifs visés. Au vu des difficultés des étudiants lors de la rédaction des rapports de laboratoire pour communiquer leurs résultats en tenant compte

de la précision des instruments utilisés, l'objectif est de construire une séquence sur le sujet en tenant compte de ces difficultés et d'en déterminer l'impact.

Comme mentionné précédemment, en début de cursus, les étudiants sont amenés à utiliser des règles en fonction de l'opération à effectuer. Il est parfois difficile, pour les apprenants, de comprendre le lien existant entre ces règles et la précision des instruments de mesure. Dans le cas des additions et soustractions, reporter le résultat avec le même nombre de décimales que la mesure qui en comporte le moins revient à tenir compte de l'incertitude absolue des différentes valeurs (Figure 2).

$$T (K) = 17,8 + 273,15 = 291,0 \text{ K}$$

$$\Delta T = 0,1^{\circ}\text{C} \qquad \Delta T = 0,01$$

Figure 2 : Lien entre le nombre de décimales du résultat d'une addition et l'incertitude absolue des termes

Dans la figure 2, le terme présentant l'incertitude absolue la plus importante est le premier. C'est donc lui qui a le plus d'impact sur l'incertitude du résultat et donc sur sa précision. En effet, plus l'incertitude est importante, plus la précision est petite. Or, le résultat d'un calcul ne peut avoir une précision plus importante que la valeur la moins précise. Ainsi, le résultat ne présente qu'une seule décimale, comme le terme le moins précis du calcul.

Pour ce qui est des multiplications et divisions, le fait d'écrire le résultat avec le même nombre de chiffres significatifs que la valeur qui en comporte le moins a un lien avec l'incertitude relative (Figure 3).

$$M = \frac{m}{n} = \frac{56,587}{0,345} = 164 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{0,001}{56,587} = 2.10^{-5}$$

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{0,003}{0,345} = 9.10^{-3}$$

Figure 3 : Lien entre le nombre de chiffres significatifs du résultat d'une division et l'incertitude relative des facteurs

De la même manière que précédemment, c'est la valeur ayant l'incertitude relative la plus importante qui a le plus d'impact sur la précision du résultat. Dans une majorité de cas, il s'agit du facteur présentant le plus petit nombre de chiffres significatifs. De manière à rendre les règles intelligibles pour les étudiants, ce lien doit leur être exposé dans la séquence.

En plus de cela, il faut, pour construire la séquence, tenir compte de contraintes d'ordre non seulement didactiques mais aussi organisationnelles et cognitives. Celles-ci sont, par exemple, l'hétérogénéité du public qui engendre une grande diversité de niveaux de connaissances et de compétences; la transposition didactique dont sont issues les règles qui entraîne cette difficulté qu'ont les étudiants à faire des liens entre les règles et l'incertitude du matériel; la limitation horaire, etc. Ce sont ces différentes contraintes qui ont déterminé la forme et le contenu de la séquence de cours. Les six vidéos entrecoupées d'exercices permettent aux étudiants de ne (re)travailler que l'une ou l'autre partie en fonction des difficultés ressenties.

Pour déterminer ces difficultés, des rapports d'étudiants ont été analysés et un test a été effectué auprès de 165 d'entre eux inscrits en première année d'études supérieures en sciences pharmaceutiques et en sciences biomédicales en 2016-2017. Un entretien d'explicitation a eu lieu avec quelques volontaires. Ces données ont permis de classer les erreurs commises en quatre catégories :

1. L'interversion des règles : les étudiants utilisent la règle à employer lors d'une addition ou soustraction dans le cas d'une multiplication ou division et vice-versa ;
2. La redéfinition des règles par leur opposé : le résultat transmis comporte le même nombre de décimales ou de chiffres significatifs que la valeur qui en comporte le plus ;
3. La mauvaise traduction du chiffre « zéro » en terme de chiffre significatif : les étudiants considèrent certains « zéros » comme chiffre significatif alors qu'ils ne le sont pas et vice-versa ;
4. L'influence des nombres purs sur la précision du résultat : les nombres purs sont considérés comme des valeurs expérimentales présentant une certaine précision alors qu'il n'en est rien.

Ces catégories et les entretiens réalisés ont généré des hypothèses sur les sources des difficultés. L'interversion des règles serait dû à un manque de signification des règles à appliquer. Comme mentionné précédemment, les règles sont issues d'une transposition didactique, ce qui entraîne une dissimulation du lien avec la notion d'incertitude. La redéfinition des règles par leur opposé serait le résultat de la croyance qu'ont certains étudiants qu'il ne faut pas perdre en précision car les sciences expérimentales sont des sciences exactes, ne souffrant pas les approximations et donc les incertitudes. Ils ne perçoivent pas que toute mesure faite en laboratoire est entachée d'incertitude et donc perd en précision. La mauvaise traduction de chiffre « zéro » en terme de chiffre significatif provient d'une différence de signification du « zéro » en sciences expérimentales et en mathématiques. Dans un nombre décimal, les « zéros » à gauche du premier chiffre non nul ne sont pas considérés comme significatifs. A l'inverse, les « zéros » à droite du dernier chiffre non nul sont significatifs car indicatifs de la précision de l'appareil de mesure utilisé (Figure 4).

$\underbrace{0000}_{\text{À gauche, ne comptent pas}} \text{XXXXXX} \underbrace{0000}_{\text{À droite, comptent} \Rightarrow \text{précision}}$

Figure 4 : La signification du chiffre « zéro » en sciences expérimentales

En mathématiques, la façon de procéder est inverse. Les zéros à gauche sont importants car indicatifs de l'ordre de grandeur de la valeur alors que les « zéros » à droite n'ont aucune importance.

La conception et l'analyse a priori

Pour créer cette séquence de cours, une réflexion sur les caractéristiques de l'outil a été réalisée pour qu'il soit efficace tant d'un point de vue didactique que pédagogique.

Au niveau pédagogique, la construction des vidéos a été faite en tenant compte des quatre critères de Kay (2014) :

1. la problématique est clairement établie, le contexte est présenté ;
2. la charge cognitive est minimisée en mettant en évidence les éléments importants ;
3. les explications sont claires et structurées grâce à la subdivision du sujet en vidéos thématiques ;
4. les paramètres des vidéos sont propices à l'engagement des étudiants tant au niveau de la longueur (+/- 10 minutes) que des illustrations.

Au niveau didactique, l'un des premiers aspects discuté est l'ordre des différents points de matière. Habituellement, l'enseignement de la façon de reporter les résultats avec une précision adéquate débute avec les notions d'incertitude de mesure, se poursuit avec la manière de dénombrer les chiffres significatifs et se termine par la présentation des règles à appliquer. Dans la séquence de cours, le concept de chiffre significatif et la manière de les dénombrer sont présentés après la règle à appliquer lors d'addition et de soustraction car celle-ci fait intervenir le nombre de décimales et pas le nombre de chiffres significatifs. La règle à employer lors de multiplication et des divisions est présentée après la matière liée aux chiffres significatifs. En plus de ces différents sujets, la séquence de cours comporte deux vidéos supplémentaires. L'une traite de la reconnaissance des nombres purs et de leur impact sur la précision d'un résultat et l'autre présente une méthode permettant de tenir compte de tous les éléments permettant de reporter un résultat avec la précision adéquate. L'apparition de cette dernière vidéo résulte des entretiens effectués avec les étudiants durant lesquels il s'est avéré que les étudiants ne commettant pas d'erreurs étaient très systématiques lors du report de leurs résultats. La figure 5 présente les changements effectués.

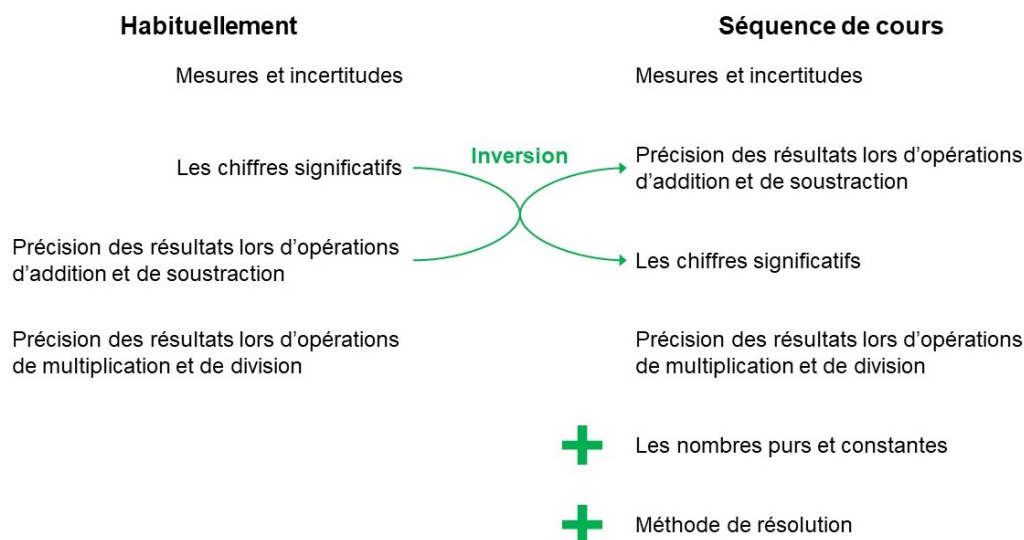


Figure 5 : Ordre de présentation des vidéos de la séquence de cours

Chacune des vidéos tient compte de l'une des catégories d'erreur ou de témoignage d'étudiants. Ainsi, les règles à employer lors des additions et soustractions ou des multiplications et divisions sont mise en lien avec les incertitudes des différentes valeurs de manière à leur redonner du sens. La relation entre précision et incertitude est présentée dans la vidéo ayant pour thème « Mesures et incertitudes » et est rappelée et illustrée lors de la présentation des règles à appliquer en fonction des opérations mathématiques. L'objectif est de montrer qu'une mesure expérimentale possède toujours une incertitude et que le résultat d'un calcul faisant intervenir ces données ne peut être plus précis que la mesure la moins précise. La figure 6 reprend les différents thèmes des vidéos ainsi que les difficultés auxquelles elles donnent réponse.

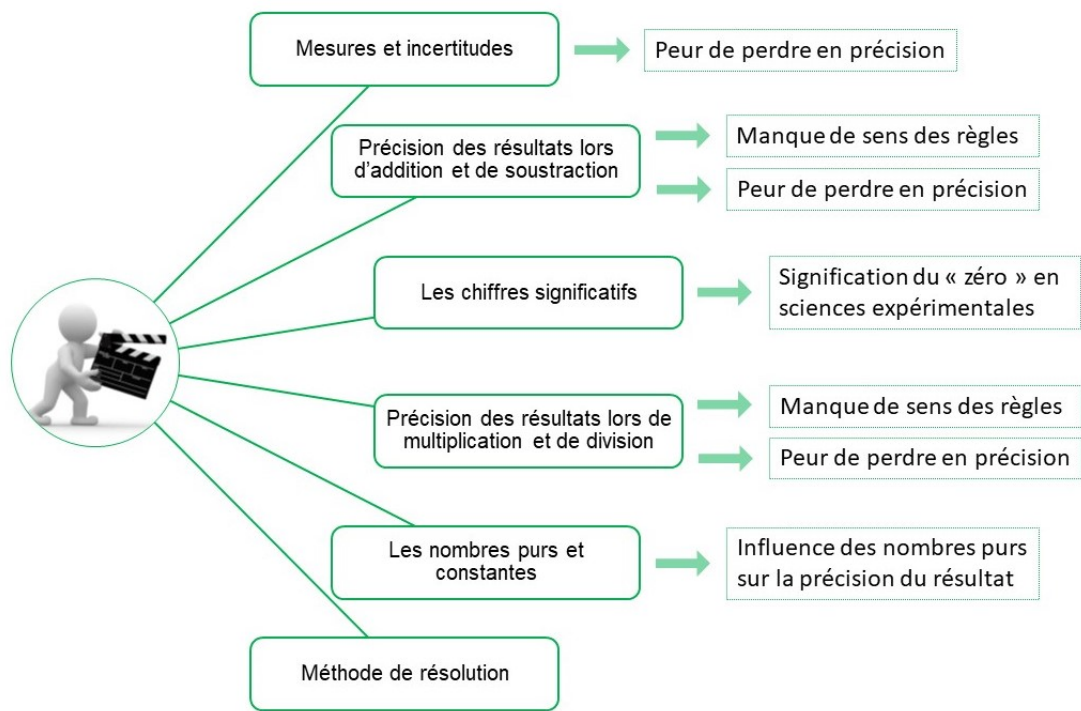
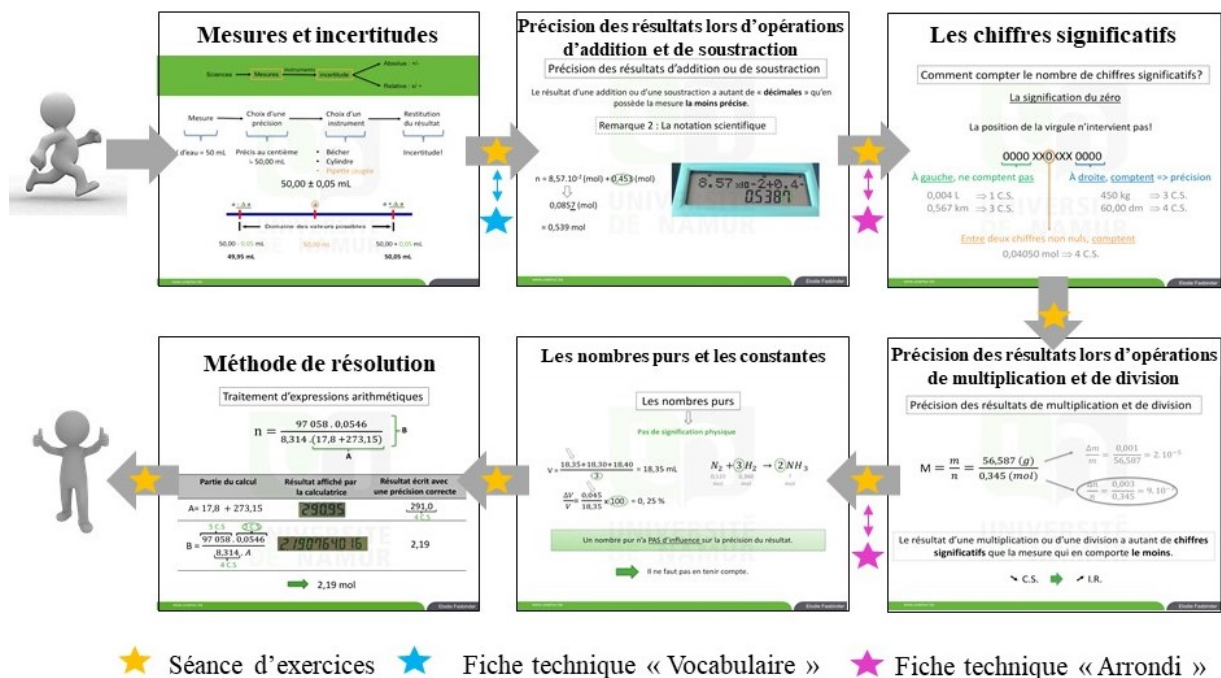


Figure 6 : Causes des erreurs commises en lien avec les vidéos de la séquence

L'expérimentation

La séquence mise en place a d'abord été testée auprès de personnes impliquées dans l'enseignement de cette matière. Elles ont été amenées à se positionner sur une échelle de Likert par rapport à différents objectifs poursuivis au travers de vidéos. Par la suite, la séquence a été légèrement transformée pour être mise à disposition des étudiants. Le plan de la séquence de cours est présenté à la figure 7.



★ Séance d'exercices ★ Fiche technique « Vocabulaire » ★ Fiche technique « Arrondi »

Figure 7 : Plan de la séquence de cours traitant de l'écriture de résultats avec la précision adéquate

L'analyse a posteriori et l'évaluation

En 2018–2019, un test identique à celui qui a été effectué lors de l'analyse a priori a été réalisé auprès des étudiants inscrits dans les mêmes options que précédemment. Les résultats sont en cours d'analyse.

Références

- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches En Didactique Des Mathématiques*, 9(3), 291–308.
- Guare, C. J. (1991). Error, precision, and uncertainty. *Journal of Chemical Education*, 68(8), 649–652.
- Kay, R. H. (2014). Developing a framework for creating effective instructional video podcasts. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 9(1), 22–30. <https://doi.org/10.3991/ijet.v9i1.3335>
- Satek, L. C. (1977). Calculators and significant figures. *Journal of Chemical Education*, 54(3), 177. <https://doi.org/10.1021/ed054p177>
- Treptow, R. S. (1980). Significant figures : removing the zero mystique. *Journal of Chemical Education*, 57(9), 646. <https://doi.org/10.1021/ed057p646>

12 Place et rôle du cercle trigonométrique dans l'apprentissage de la trigonométrie

Marie PIERARD et Valérie HENRY

Notre recherche s'appuie sur les 3 questions suivantes : (1) Quelle est la place du cercle trigonométrique dans le savoir savant ? (2) Quels obstacles le cercle trigonométrique génère-t-il auprès des élèves de l'enseignement secondaire ? (3) Considérant le cercle trigonométrique comme un artefact, comment organiser son instrumentalisation le plus efficacement possible ? Notre projet initial était d'aboutir à l'écriture d'une ingénierie didactique sur le cercle trigonométrique, d'après la méthodologie décrite par ARTIGUE. Comme nous le dirons plus tard, nos premiers résultats nous ont poussées à modifier ce projet et à nous concentrer sur l'écriture d'un savoir à enseigner, d'après la théorie de la transposition didactique de CHEVALLARD.

Commençons notre réflexion avec un petit historique. Les premières traces de trigonométrie datent du II^{ème} siècle ACN, lorsque l'étude des angles s'est avérée nécessaire pour l'évolution de l'astronomie. On travaillait alors avec des cercles de rayon quelconque et le sinus d'un angle (premier rapport trigonométrique à être formalisé) permettait entre autres d'étudier la position des étoiles dans le ciel. Dès le IX^{ème} siècle et sans aucun lien avec les travaux réalisés en astronomie, la trigonométrie s'est développée pour résoudre des problèmes de longueurs inaccessibles comme le calcul de la hauteur d'une pyramide à partir de son ombre. On travaillait alors avec des triangles dont on ne connaissait pas la mesure de tous les angles ni la longueur de tous les côtés. La tangente était le rapport trigonométrique le plus fréquemment utilisé. C'est au XIII^{ème} siècle que l'étude des triangles inscrits dans un cercle a permis de rassembler les cercles et les triangles dans ce qu'on appelle aujourd'hui le cercle trigonométrique. Ce bref historique montre que la trigonométrie a au moins deux facettes : l'une consacrée aux triangles, l'autre consacrée aux cercles. Ces deux facettes ne sont pas sans lien mais ces liens semblent difficiles à construire par les élèves. Pour illustrer nos propos, nous allons faire appel à la théorie de la transposition

didactique de CHEVALLARD et à la littérature portant sur l'enseignement et l'apprentissage de la trigonométrie.

La théorie de la transposition didactique distingue 3 niveaux de savoir. Le premier est le savoir savant, produit par des chercheurs et présenté dans des ouvrages scientifiques. Le deuxième est le savoir à enseigner, reprenant des extraits du savoir savant choisis par des institutions et présentés dans des référentiels ou des programmes scolaires. Le dernier est le savoir enseigné, constitué de séquences d'enseignement produites par des enseignants. Pour passer d'un niveau de savoir à un autre, une transposition est nécessaire. Pour faire simple : on ne peut enseigner le savoir produit par les chercheurs dans une école, il est nécessaire de le rendre accessible et compréhensible pour les élèves. Dans le cas de la trigonométrie et du cercle trigonométrique en particulier, nous avons notamment consulté les ouvrages de GELIN (1902), VAN BINST (1951), SCHONS (1968), LANG et MURROW (1988) et SWOKOWSKI et COLE (1998) pour appréhender le savoir savant. Tous ces ouvrages commencent par définir les nombres trigonométriques dans le cercle trigonométrique puis traitent les triangles (rectangles ou non) comme des cas particuliers. Pour déterminer le savoir à enseigner, nous avons comparé les programmes actuels des enseignements général, technique et professionnel. Il en ressort toujours le même fil conducteur : (1) on construit les nombres trigonométriques comme des rapports de longueurs dans le triangle rectangle ; (2) on construit les deux premiers quadrants du cercle trigonométrique et on généralise les rapports trigonométriques aux angles des triangles quelconques ; (3) on construit le cercle trigonométrique entier ; (4) on construit les fonctions trigonométriques. Cette approche de la trigonométrie n'est pas du tout la même que celle identifiée pour le savoir savant puisque les rapports trigonométriques dans les triangles sont étudiés avant le cercle trigonométrique. Cependant, le savoir à enseigner a beaucoup évolué depuis les années 50'. Par exemple, on construisait les rapports trigonométriques à l'aide de projections orthogonales dans les années 50'. Dans les années 70', on les définissait directement comme les coordonnées d'un point du cercle trigonométrique. Depuis les années 90', on les construit dans les triangles rectangles avant de les généraliser à l'aide du cercle trigonométrique. Pour se faire une idée du savoir enseigné, nous avons analysé plusieurs manuels et interrogé une quarantaine d'enseignants. Nous n'entrerons pas dans les détails de ces analyses ici ; nous préférons nous pencher sur ce que la littérature nous dit à propos des difficultés rencontrées par les élèves lors de l'étude de la trigonométrie. La première difficulté qui a attiré notre attention réside dans la reconnaissance d'un angle et nous est inspirée de VADCARD, THOMPSON et DE KEE *et al.* Comme le montre la figure 1, un même angle peut être représenté de différentes manières, en lien avec une figure géométrique ou non. L'amplitude d'un angle ne dépend que de l'écartement entre les deux demi-droites qui le définissent mais certains élèves vont penser qu'elle dépend aussi de la longueur de ces demi-droites (ce qui n'a bien sûr pas de sens puisqu'une demi-droite est de longueur infinie). Ces élèves penseront alors, à tort, que plus les côtés d'un angle sont grands, plus l'angle est grand. D'après la figure 1, ils diraient que l'angle β est plus grand que α ou γ .

La difficulté décrite ci-dessus sera renforcée par la définition des rapports trigonométriques dans les triangles rectangles. En effet, d'une part, on se concentrera sur des angles internes à une figure géométrique et non sur l'angle seul. D'autre part, on créera un lien très fort entre les angles et les des côtés du triangle en définissant les rapports trigonométriques comme

$$\cos(\alpha) = \frac{\text{longueur du côté adjacent}}{\text{longueur de l'hypoténuse}}.$$

Une autre difficulté liée à l'utilisation des triangles est issue des triangles semblables. Prenons l'exemple

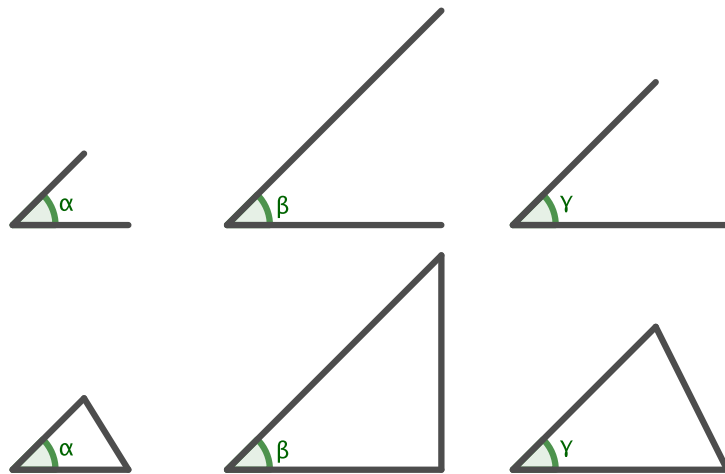


FIGURE 1 – Différentes représentations d'un même angle

de l'angle de la figure 2, dont on voudrait déterminer la tangente. Cette dernière a été définie dans le triangle rectangle par

$$\tan(\alpha) = \frac{\text{longueur du côté opposé}}{\text{longueur du côté adjacent}}.$$

Les élèves vont dès lors chercher à inclure l'angle dans un triangle rectangle pour trouver ces fameux côtés opposé et adjacent. Mais quel triangle choisir parmi ceux illustrés à la figure 2? Le fait que le rapport des longueurs soit le même dans tous les triangles, et donc que la tangente ait toujours la même valeur puisqu'elle ne dépend finalement pas d'un triangle, n'est pas facile à admettre par les élèves. DE KEE *et al.* et PROULX argumentent dans ce sens.

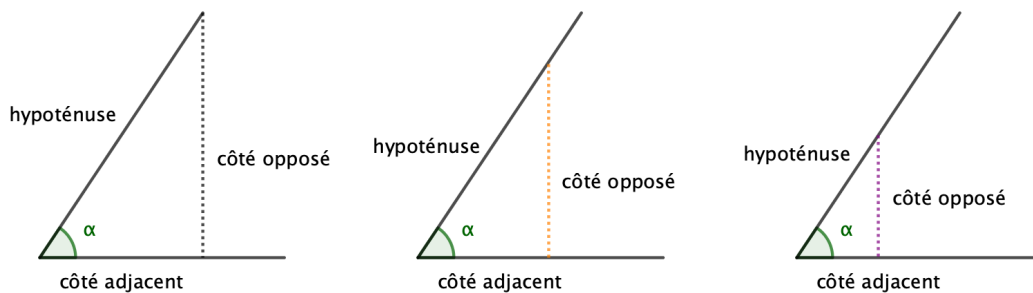


FIGURE 2 – Rapports trigonométriques et triangles semblables

La troisième et dernière difficulté dont nous allons parler ici est liée au cercle trigonométrique. Sur la figure 3, l'angle α est inclus à un triangle rectangle représenté dans le premier quadrant et on peut calculer le cosinus de l'angle par l'habituelle formule

$$\cos(\alpha) = \frac{\text{longueur du côté adjacent}}{\text{longueur de l'hypoténuse}}.$$

Puisqu'on est dans un cercle trigonométrique, le rayon est de longueur 1. Ce rayon correspond à l'hypoténuse du triangle, ce qui permet de simplifier le cosinus en

$$\cos(\alpha) = \frac{\text{longueur du côté adjacent}}{1} = \text{longueur du côté adjacent.}$$

On en déduit que le cosinus de l'angle est égal à la longueur du côté adjacent, qui correspond à l'abscisse du point P sur la figure 3. Quand on passera dans le deuxième quadrant, l'abscisse du point P pourra être négative et le lien avec les longueurs des côtés d'un triangle perdra tout son sens. DE KEE *et al.* et TANGUAY nous disent que les élèves risquent dès lors parler du cosinus d'un point au lieu du cosinus d'un angle, voire d'écrire \cos au lieu de $\cos(\alpha)$, ne sachant plus très bien de quoi le cosinus dépend véritablement.

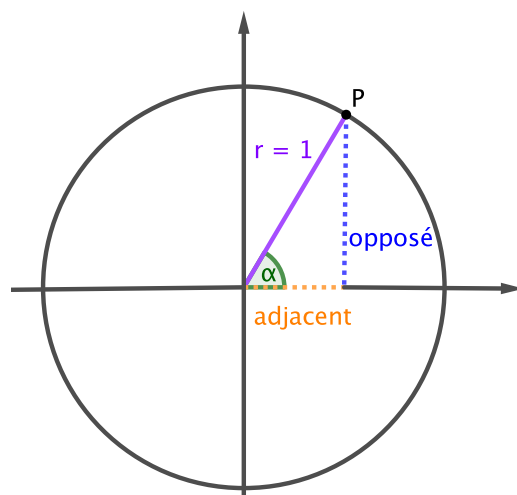


FIGURE 3 – Rapports trigonométriques dans le cercle trigonométrique

Les deux derniers exemples soulignent que les élèves ne comprennent pas ce que sont les rapports trigonométriques et créent difficilement des liens entre la trigonométrie dans le cercle trigonométrique et celle dans les triangles. La confrontation de ces difficultés avec le savoir savant, le savoir à enseigner, les manuels et les avis recueillis auprès des enseignants nous permet de faire l'hypothèse qu'une définition générale des rapports trigonométriques serait peut-être préférable à une définition à généraliser. Nous avons dès lors écrit notre propre interprétation du savoir savant, en valorisant le lien avec les rapports de longueurs. Pour cela, nous partons d'une définition des rapports trigonométriques basée sur les projections orthogonales. Cela nous permet, d'une part, d'insister sur les angles et pas sur les figures auxquelles ils pourraient appartenir. D'autre part, cela aide à gérer les conceptions erronées induites par certaines simplifications comme celle décrite dans le troisième exemple de difficultés. Alors que le cercle trigonométrique est souvent présenté comme un outil de base pour la trigonométrie, nous envisageons de le construire assez tard. Il serait une sorte de synthèse de toutes les propriétés de trigonométrie qui auront pu être démontrées avec les projections orthogonales. Pour nous, le cercle trigonométrique est un artefact, au sens de RABARDEL. Ce dernier nous dit que pour qu'un artefact devienne un instrument, deux étapes sont nécessaires. La première est l'instrumentalisation, durant laquelle l'utilisateur reconnaît les propriétés de l'artefact et se les approprie. La seconde est l'instrumentation, durant laquelle l'utilisateur est capable d'utiliser l'artefact pour accomplir des tâches particulières. Nous pensons que l'instrumentalisation du cercle trigonométrique doit se faire au fur et à mesure de la construction de ce dernier et pas après.

Comme nous l'avions dit plus tôt, l'objectif initial de notre recherche était de concevoir une ingé-

nierie didactique sur le cercle trigonométrique, d'après la méthodologie d'ARTIGUE. Cependant, nos recherches nous ont fait travailler sur le cercle trigonométrique mais aussi sur tout le savoir construit en amont. Le savoir à enseigner qui nous occupe s'étend dès lors sur plusieurs années scolaires et il semble peu réaliste de suivre le processus d'ARTIGUE au complet. Après avoir réussi à structurer le savoir savant en se basant sur les projections orthogonales, nous nous consacrons aujourd'hui à l'écriture d'un savoir à enseigner lui correspondant.

Références

- Artigue, M. (1998), Ingénierie didactique, *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3) :281-308.
- Bloch, I. (2009), *Activité? la mesure des angles en radians au lycée*. *Petit x*, 80 :47-53.
- Bressoud, D. (2010), Historical reflections on teaching trigonometry. *The Mathematics Teacher*, 104 (2) :106-112.
- Chevallard, Y. (1991), *La transposition didactique*. La Pensée Sauvage.
- Colesse, S. and Vassard, C. (2006), *Les tables trigonométriques*. *Compte-rendu du colloque inter-IREM de Nantes*.
- CREM (2004), *Pour une culture mathématique accessible à tous, Élaboration d'outils pédagogiques pour développer des compétences citoyennes*. M. Ballieu et M.-F. Guissard coordinateurs.
- De Kee, S., Mura, R., and Dionne, J. (1996), La compréhension des notions de sinus et de cosinus chez les élèves du secondaire. *For the Learning of Mathematics*, 16 (2) :19-27.
- Gelin, E. (1902), *Précis de trigonométrie rectiligne - A l'usage des élèves des classe d'Humanités et des candidats au diplôme de géomètre-arpenteur*. Wesmael-Charlier.
- Gür, H. (2009), Trigonometry learning. *New Horizons in Education*, 57 (1) :67-80.
- IREM de Poitiers (2014), *Enseigner les mathématiques en 5e à partir des grandeurs : les angles*. T. Chevalarias et al.
- Kendal, M. and Stacey, K. (1996), *Trigonometry : Comparing ratio and unit circle methods*. *Technology in mathematics education : proceedings of the 19th annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia (MERGA)*.
- Khalloufi, F. (2012), Étude de l'évolution des pratiques d'un enseignant lors d'une séquence d'enseignement intégrant un artefact technologique. *Actes de l'EMF2012-GT9*, pages 1204-1212.
- Khalloufi, F. and Smida, H. (2012), Constructing mathematical meaning of a trigonometric function through the use of an artefact. *African Journal of Research in MST Education*, A6 (2) :207-224.
- Lang, S. and Murrow, G. (1988), *Geometry, a High School Course*, volume Second Edition. Springer-Verlag.
- Moore, K., LaForest, K., and Hee Jung, K. (2012), The unit circle and unit conversions. *Proceedings of the Fifteenth Annual Conference on Research in Undergraduate Mathematics Education*, pages 1-16-1-31.
- Morlet, M. (1969), *Mathématique, classe de sixième*, volume Nouvelle collection Queysanne-Revuz. Fernand Nathan Editeur.
- Nijmber, C. (2013), *Approche instrumentale et didactique : apports de Pierre Rabardel*. <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article202>, consulté le 5 septembre 2014.
- Proulx, J. (2003), L'histoire de la trigonométrie comme outil de réflexion didactique. *Bulletin de l'Association Mathématique du Québec*, XLIII(3) :13-27.
- Rabardel, P. (1995a), *Les hommes et les technologies - Une approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Rabardel, P. (1995b), Qu'est-ce qu'un instrument? Appropriation, conceptualisation, mises en situation. *Le mathématicien, le physicien et le psychologue - Outils pour le calcul et le traçage de courbes*, CNDP :61-65.
- Rabardel, P. (1999), *Éléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques*. Association pour la recherche en didactique des mathématiques - Actes de la dixième université d'été de didactique des mathématiques, pages 203-213.
- Schons, N.-J. (1968), *Traité de trigonométrie rectiligne - 5ème édition*. La Procure.
- Swokowski and Cole (1998), *Algèbre et trigonométrie, avec géométrie analytique*. DeBoeck Université.
- Tanguay, D. (2010), Degrés, radians, arcs et sinusoides. *Petit x*, 82 :59-71.

13 Neurodidactique en sciences physiques : premières approches à l'UNamur

Jim PLUMAT, Cédric VANHOOLANDT et Charly MOBERS

Des neurosciences à la neurodidactique

Jusqu'il y a peu, comprendre le fonctionnement du cerveau en conditions réelles d'apprentissage était tout simplement impossible. Actuellement et malgré les découvertes récentes dans le domaine des neurosciences sur le fonctionnement et la structure du système nerveux et en particulier des neurones, il existe encore un fossé entre les neurosciences et le domaine de l'éducation.

Aujourd'hui, les nouvelles technologies d'imagerie médicale ont permis l'émergence de ce qu'on appelle les neurosciences cognitives. Cette branche des neurosciences est capable de mesurer en temps réel l'activité cérébrale lors de différentes tâches tant motrices que cognitives. Puisque l'activité cérébrale d'un réseau de neurones peut souvent être corrélée avec certaines fonctions cognitives, les neurosciences cognitives permettent de faire le lien entre le fonctionnement du cerveau et le champ éducatif! Ce nouveau champ d'investigations et de connaissances est baptisé par MASSON (2007) de « neuroéducation » et a pour but « d'étudier le rôle des connaissances du fonctionnement du cerveau en éducation ».

Il s'agit d'un nouveau sujet d'étude extrêmement vaste et comprenant différents domaines dont notamment celui de la « neurodidactique » qui a pour but d'étudier les mécanismes cérébraux liés à l'apprentissage et l'enseignement de disciplines telle que la physique.

Le cerveau : structure et fonctions cognitives

Afin de pouvoir tirer profit des récents travaux réalisés sur les mécanismes cérébraux associés à l'apprentissage de la physique, il est primordial d'introduire quelques notions de base en neurosciences sur la structure du cerveau et sur les fonctions cognitives qui y sont associées dans la littérature scientifique. La figure ci-dessous représente la couche externe de l'hémisphère droit du cerveau. Les régions situées sur la gauche correspondent à des zones à l'arrière de la tête et celles situées à droite à des zones à l'avant de la tête.

Le Lobe en bleu sur la figure 4 est le lobe occipital. Cette région est considérée comme le centre visuel et exécute les premiers traitements visuels. Le lobe pariétal (en jaune sur la figure 4) est quant à lui considéré comme une zone associative permettant d'intégrer les informations provenant de différents canaux sensoriels. En dessous de celui-ci se trouve le lobe temporal (en vert). Ce dernier est associé à diverses fonctions cognitives plus complexes telles que l'audition, la mémoire et le langage. Enfin, le lobe à l'avant de notre cerveau est appelé lobe frontal (en rouge). C'est dans cette zone que les fonctions cognitives les plus complexes ont lieu. La zone la plus à l'avant de ce lobe est appelé le cortex préfrontal et joue un rôle majeur dans les fonctions exécutives telles que la mémoire de travail, la flexibilité mentale et l'inhibition. Cette zone est donc d'un grand intérêt dans la compréhension des mécanismes cérébraux liés à l'apprentissage et en particulier à l'apprentissage de la physique.

Etant donné l'importance du cortex préfrontal, il est intéressant de le décrire de manière plus précise. Pour ce faire, la classification souvent utilisée en neurosciences est celle dite de BRODMANN, définie en 1909 par ce neurologue allemand sur une base cytoarchitectonique. Cela signifie que les aires correspondent à l'organisation apparente du cortex. Ainsi, les régions ayant une organisation cellulaire identique seront assimilées à une aire de BRODMANN portant un même numéro allant de 1 à 52 et

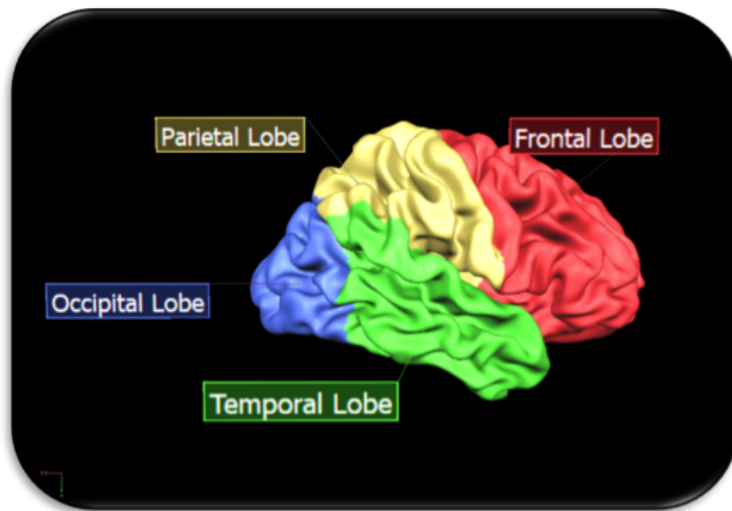


FIGURE 4 – Représentation des lobes externes de l’hémisphère droit du cerveau. Image réalisée à l’aide du logiciel BrainVoyager.

à chacune de ces aires correspondent des fonctions cognitives. Il importe de préciser qu’une même aire peut exécuter différentes fonctions cognitives et que différentes aires peuvent parfois être associées aux mêmes fonctions. Cela étant, le cortex préfrontal est subdivisé en trois cortex : dorsolatéral, ventrolatéral et cingulaire antérieur. Ces trois régions sont illustrées sur la figure ci-dessous.

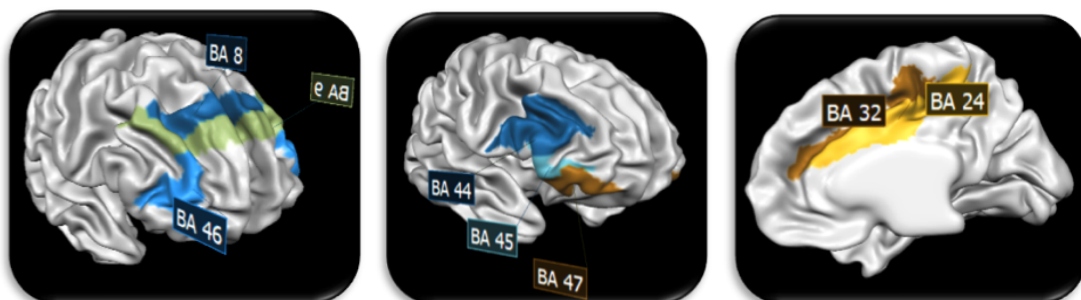


FIGURE 5 – Illustration des principales zones du cortex préfrontal en fonction des aires de BRODMANN réalisée à l’aide du logiciel Brainvoyager. Les schémas représentent de gauche à droite le cortex dorsolatéral, ventrolatéral et cingulaire antérieur.

A une activation des aires présentes dans les cortex dorsolatéral et ventrolatéral est associée l’utilisation des fonctions cognitives exécutives comme l’inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité mentale. Une activation des aires présentes dans le cortex cingulaire antérieur est, quant à elle, associée à un mécanisme de détection d’erreurs et de prise de décisions. Cette dernière région joue également un rôle dans la gestion des émotions.

Résultats d’une étude de neuroimagerie en physique

Existe-t-il une différence entre le fonctionnement cérébral d’un expert en physique et celui d’un novice ayant des connaissances de base dans le domaine ? Voilà une question à laquelle de récentes recherches ont tenté de répondre (BRAULT-FOISY *et al.*, 2015 ; MASSON *et al.*, 2014).

Cette question est primordiale afin de mieux comprendre les processus cérébraux essentiels à la compréhension et à l'utilisation de concepts en physique. Afin d'apporter des éléments de réponse, ces chercheurs ont testé une conception largement partagée par la plupart des individus n'ayant pas eu de formation en physique en lien avec la mécanique classique : « en l'absence d'air, une balle lourde tombe plus vite qu'une balle légère », c'est la conception aristotélicienne de la mécanique. Pour répondre à la problématique, les chercheurs ont placés différents participants - novices et experts en physique - dans un appareil d'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) et leur ont présenté différents types de stimuli avec des propositions de réponse. Ces personnes devaient alors juger si les réponses proposées étaient correctes ou incorrectes en fonction de leurs connaissances et/ou expertise. On peut classer ces stimuli comme non scientifiques (la balle lourde tombe plus vite), scientifiques (les balles tombent à la même vitesse) et de contrôle (la balle légère tombe plus vite).

Lors de ces expériences, étant donné que certaines zones du cerveau sont également activées chez les novices et chez les experts, les résultats ont été analysés à l'aide de contrastes experts > novices ou stimuli scientifiques > non-scientifiques. Ceci a permis d'observer quelles zones du cerveau sont significativement plus activées chez l'expert et chez le novice et ce pour différents stimuli.

Pour ce qui est du contraste entre les novices et les experts face aux stimuli non-scientifiques (« la balle lourde tombe plus vite »), les données obtenues indiquent que ce sont les aires de BRODMANN 46 et 10 qui sont significativement plus activées. Ces aires sont respectivement associées au cortex préfrontal dorsolatéral gauche et cortex préfrontal ventrolatéral droit. Or, l'activation de ces zones est assimilée aux fonctions cognitives.

Il semble donc que les experts inhibent plus que les novices leurs conceptions premières lorsqu'on leur présente un stimulus associé à une conception non-scientifique. Cette hypothèse signifie que la conception « la balle lourde tombe plus vite » est toujours présente chez les experts - mais inhibée - et ce malgré le changement conceptuel effectué au cours de leur apprentissage afin d'acquérir la conception dite scientifique.

Néanmoins, étant donné que les experts répondent correctement à ces stimuli dans la plupart des cas et pas les novices, il se pourrait que cette différence d'activation soit due au type de réponse présentée. Afin de vérifier si l'inhibition est bien à l'origine de cette activation, les chercheurs ont utilisé le contraste stimuli non-scientifiques > scientifiques/contrôle dans le cas des experts. De cette manière, si les experts inhibent, des aires du cortex préfrontal devraient être plus activées face aux stimuli non-scientifiques qui « réveillent » la conception erronée, que face aux stimuli scientifiques et de contrôle. Or, aucune activation significative n'a été observée.

L'interprétation en est que le cerveau va traiter un stimulus non-scientifique ou un stimulus de contrôle comme une erreur et ce à l'aide du cortex cingulaire antérieur. Ensuite, en fonction de l'expertise de la personne, l'expert va soit prendre une décision et donner une réponse immédiate (stimuli de contrôle) soit le système de détection d'erreur va choisir entre deux conceptions et en inhiber une (stimuli non-scientifiques). Étant donné que le cortex cingulaire antérieur - qui est le système de détection d'erreur - est activé dans les deux cas, il n'y a pas d'activation significativement supérieure pour ces deux stimuli. Cette interprétation fait appel à ce système « d'arbitrage » et cette hypothèse est renforcée par une étude similaire réalisée sur des conceptions en électricité (MASSON, 2014).

Enfin, une étude récente (THIBAUT & POTVIN, 2018) a permis de montrer que des individus ayant de meilleures fonctions exécutives avaient plus de chance de réaliser un changement conceptuel en physique et donc par exemple ne plus utiliser la notion de « une balle lourde tombe plus vite dans le

vide ». Ceci renforce l'idée que les fonctions exécutives, et particulièrement la capacité à inhiber un concept, ne sont pas une conséquence d'un apprentissage de la physique mais bien un processus présent lors de l'apprentissage de ces concepts !

L'inhibition : un état d'esprit pour mieux apprendre

Le cerveau apprend en inhibant (HOUDÉ, 2009) est le titre d'un atelier animé par Olivier HOUDÉ et celui-ci donne d'emblée le ton. Notre cerveau a tendance, dans un contexte donné, à répondre très, voire trop, vite en mobilisant nos idées les plus spontanées - nos conceptions premières - et à induire l'utilisation de raisonnements faux ! Pour apprendre, il faudrait inhiber cette forme de raisonnement et comme le signale l'auteur, « l'inhibition cérébrale est la capacité à contrôler ou bloquer nos intuitions, nos habitudes ou nos stratégies spontanées ». Cependant, et cela constitue une bonne nouvelle, l'inhibition peut, sinon supplanter tous nos modes de pensée, du moins entraver certains et en « muscler » d'autres.

Face à une situation problématique donnée, deux systèmes de pensée peuvent être activés. Le premier, le plus fréquemment activé, est un système de pensée automatique et intuitif, qualifié d'*heuristique*. Ce système de pensée et de décision extrêmement rapide - encore appelé Système 1 par le prix Nobel d'économie Daniel KAHNEMAN (2012) - est le fruit de notre évolution et nous permet de gérer la plupart des situations quotidiennes qui ne demande pas trop de réflexion mais plutôt une prise de décision dans l'urgence. Malheureusement, dans des situations plus complexes qui nécessitent la réflexion, ce système de pensée ne se révèle pas toujours fiable. Il faudrait alors lui préférer un système *logico-mathématique* encore appelé système *algorithmique* ou Système 2, plus fiable et efficace mais beaucoup plus lent et surtout gros consommateur d'énergie.

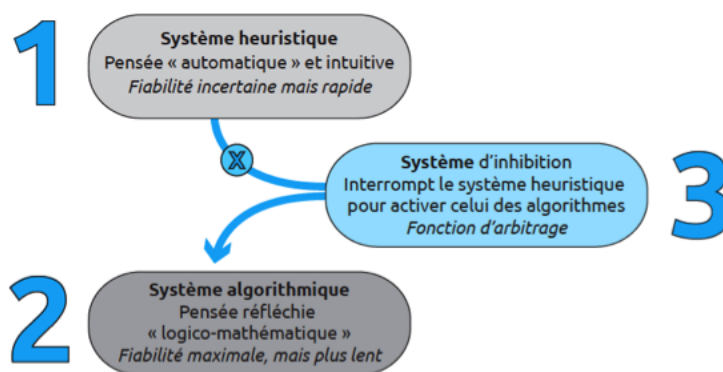


FIGURE 6 – Les trois systèmes cognitifs du cerveau : heuristique (D. KAHNEMAN), algorithme exact ou logique (J. PIAGET) et système inhibiteur (O. HOUDÉ).

Le système *inhibiteur* - qui pourrait être appelé Système 3 - est un système qui tend dès lors à interrompre le système heuristique pour activer celui des algorithmes, sa fonction étant alors vue comme une fonction d'arbitrage.

Dans un contexte d'apprentissage, cette inhibition pourrait être travaillée à deux niveaux. Un premier niveau fait référence à la situation où pour une problématique donnée, il s'agit d'inhiber l'usage du Système 1 au profit d'un raisonnement plus logico-mathématique. Il s'agirait, par exemple, pour les apprenants de mobiliser leurs connaissances scolaires ou académique pour traiter une situation plutôt

que de se fier à leur intuition.

Malheureusement, les étudiants, pour traiter un problème donné, se fient encore trop souvent soit à leur intuition soit à des bribes de connaissances disparates qui, une fois associées, fournissent un cadre théorique souvent jugé acceptable pour les étudiants mais faux par les scientifiques. Un second niveau correspond à l'usage abusif de connaissances théoriques hors de leur cadre de validité ou bien la confusion entre le modèle construit et la réalité. C'est cette capacité des étudiants à inhiber l'application quasi immédiate et spontanée de leurs connaissances hors contexte que nous avons mesurée ci-après.

Exemple de résultats en 1er Bac (octobre 2018)

Pour ce faire, nous avons posé aux étudiants engagés dans des filières scientifiques une série de questions en lien direct avec leur cours de mécanique classique et plus particulièrement en relation avec la chute d'un objet.

Lorsqu'un objet est lâché dans l'air, celui-ci offre une résistance à la chute et le mouvement qui n'est pas conforme à celui d'un mouvement rectiligne uniformément accéléré comme observé en l'absence d'air, dans le vide. Pour des raisons de facilité, c'est ce dernier modèle (dans le vide d'air) qui est généralement présenté au cours bien qu'il soit en contradiction avec l'expérience de la vie de tous les jours. De fait, une boulette de papier froissé tombe moins vite vers le sol qu'une boule de pétanque ! La question est donc ici de déterminer la capacité des étudiants à mettre à distance ce qui avait été appris quelques heures plus tôt - le modèle de la chute libre de frottements où les objets, quelles que soient leur masse, arrivent au sol en même temps - pour activer l'inférence de l'expérience du quotidien où l'accélération de l'objet augmente avec la masse de celui-ci.

La question posée aux étudiants est la suivante : « On laisse tomber dans l'air deux billes de même dimension mais de poids différents. Comment les billes tombent-elle ? ». La centaine d'étudiants de première année en chimie, mathématique et physique présents ont quatre options de réponse : la bille la plus lourde arrive au sol la première (bonne réponse), les deux billes arrivent au sol en même temps (cas vu au cours), la bille la plus légère arrive au sol en premier (leurre) et on ne peut répondre à la question faute d'un manque de données. Les étudiants ont répondu via une application sur leur téléphone portable (Wooclap®), ce qui rendait le vote anonyme et sans interférence, le résultat global étant dévoilé au terme de la consultation (voir figure 7 ci-après).

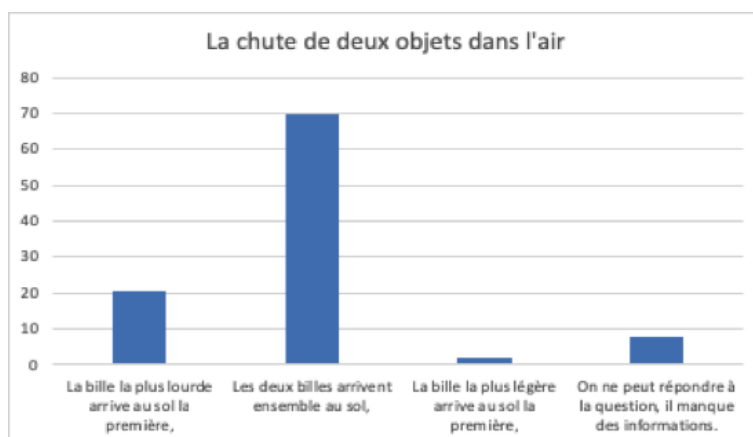


FIGURE 7 – Pourcentage des résultats obtenus auprès d'étudiants de première année en chimie, mathématique et physique. Les résultats ont été obtenus anonymement via l'application Wooclap®.

Lorsque l'on observe les résultats fournis par la centaine d'étudiants, on peut observer qu'ils sont très majoritaires (70%) à penser que lâchés dans l'air des objets de même forme mais de masses différentes arrivent en même temps au sol, contredisant ainsi l'expérience du quotidien. Ils ne sont que 20% à penser que la bille la plus lourde arrive au sol en premier.

Il apparaît donc ici, qu'au sortir du cours, qu'il est bien difficile pour les étudiants de prendre du recul par rapport au contexte, c'est-à-dire ici d'inhiber la mobilisation du registre du modèle pour adapter ses connaissances à la réalité.

Le changement conceptuel

Dans un rapport pour l'UNESCO, *Où va l'éducation*, publié en 1972, le psychologue de l'enfant Jean PIAGET cherchait à analyser les mécanismes psychologiques et la meilleure façon de les solliciter dans l'éducation. Selon celui-ci, l'intelligence, particulièrement logico-mathématique, évolue de manière incrémentale, c'est-à-dire stade après stade, de plus en plus élaborés (PIAGET et INHELDER, 1966). Ce modèle est communément appelé le « modèle de l'escalier ». Il est le résultat d'une recherche d'équilibre entre le sujet et son environnement.

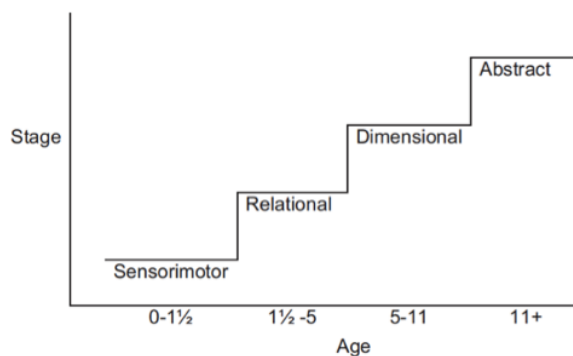


FIGURE 8 – Les stades du développement logico-mathématique selon Piaget

Intuitivement, celui-ci est assez cohérent avec la succession des âges ou des classes dans les écoles. Ainsi, chaque marche correspond à un progrès déterminé, à un stade bien défini ou mode de pensée. Il définit quatre stades correspondant à une amélioration de l'intelligence conceptuelle. Entre chaque marche, le développement peut être long parce qu'il résulte d'une synthèse entre l'assimilation (le sujet transforme les éléments de son environnement pour les inclure dans sa structure d'accueil) et l'accommodation (la structure d'accueil de l'individu est transformée par son environnement).

A la suite de ces travaux, de nombreuses recherches dans ce domaine ont été effectuées et ont conduit à plusieurs critiques à l'encontre du modèle de PIAGET. Ainsi, les enfants ne réussissent pas toutes les tâches au même moment de leur développement. De plus, plusieurs travaux ont montré l'existence précoce de capacités mathématiques chez les jeunes enfants, dès leur plus jeune âge, voir par exemple GELMAN *et al.*, 1986. En outre, bien avant l'école, les bébés ont déjà des capacités cognitives assez complexes, c'est-à-dire des connaissances en physique, en mathématiques et logiques souvent insoupçonnées (DEHAENE, 2010). Enfin, dans des situations conflictuelles du point de vue cognitif, des décalages inattendus peuvent apparaître. En effet, une nouvelle stratégie peut entrer en compétition avec une ancienne, ce qui provoque des erreurs. Aux différentes étapes de la vie d'une personne, son développement montre des erreurs, des biais, ou des retours en arrière non expliqués par le modèle

de PIAGET (HOUDÉ, 2014 ; KAHNEMAN et CLARINARD, 2012). Dès lors, la nouvelle psychologie du développement cognitif remet en cause le modèle de PIAGET ou, pour le moins, indique qu'il n'est pas le seul possible (HOUDÉ, 2017c).

Dès lors, le modèle théorique qui rend le mieux compte de la complexité du développement conceptuel est plutôt un système dynamique et non linéaire (SIEGLER, 1996). Il montre que l'enfant possède une variété de stratégies cognitives qui entrent en compétition. C'est un modèle de « vagues qui se chevauchent » plutôt qu'un modèle en escalier qui prévaut. Selon celui-ci, chaque stratégie peut être vue comme une vague s'approchant d'un rivage et où plusieurs sont susceptibles de se chevaucher et, donc, d'être candidates à la réponse. Dans son développement et en fonction du contexte, l'enfant choisira plutôt l'une ou l'autre façon de procéder.

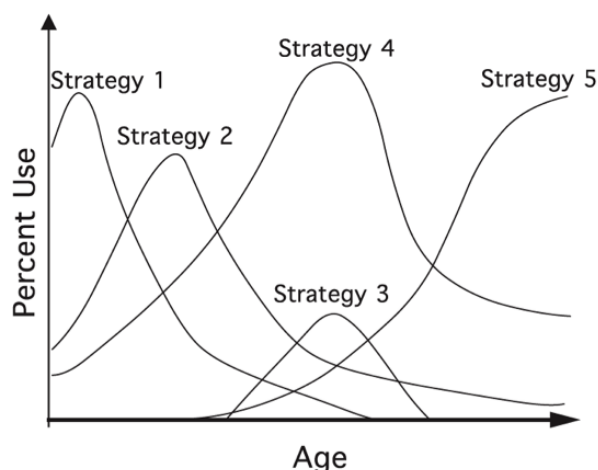


FIGURE 9 – Modèle du développement cognitif en vagues selon SIEGLER

Ce genre de conflits cognitifs entre différents savoirs ou différentes règles peut aussi se retrouver, notamment, dans l'orthographe : « *je les manges* » et en mathématiques : « *Louis a 4 dizaines. Lea a 35 unités. Qui a le plus d'éléments ?* ». Ces quelques exemples illustrent que connaître les règles ne suffit pas : il faut aussi inhiber en permanence les automatismes et inhiber, c'est apprendre à résister (HOUDÉ, 2017a), tant pour les enfants que pour les adultes. Dans le développement cognitif, l'assimilation et l'accommodation (reprises de PIAGET), sont complétées et renforcées par l'inhibition cognitive (pôle accommodateur), elle-même antagoniste de l'activation (pôle assimilateur). Dès lors, renforcer une notion scolaire tout en mettant en exergue les stratégies peu efficaces, ou « pièges », qu'il faut bloquer, semble améliorer les performances des élèves de façon plus importante qu'une méthode pédagogique plus classique.

Par exemple, en psychologie cognitive, la situation expérimentale imaginée par James STROOP en 1935 consiste à faire dénommer la couleur de mots dont certains sont eux-mêmes des noms de couleurs (qu'il s'agit donc d'ignorer). Ce test, abondamment utilisé en neuropsychologie, existe sous différentes variantes qui visent notamment à évaluer les capacités d'inhibition d'un individu. L'article de STROOP est d'ailleurs un des articles les plus cités en psychologie expérimentale et cet effet a été répliqué plus de 700 fois (MACLEOD, 1991). La difficulté à inhiber l'information non pertinente se traduit par un ralentissement du temps de réaction et une augmentation du pourcentage d'erreurs. Cela montre aussi que l'inhibition nécessite un entraînement. Par conséquent, il est nécessaire d'exercer le sujet (enfant,

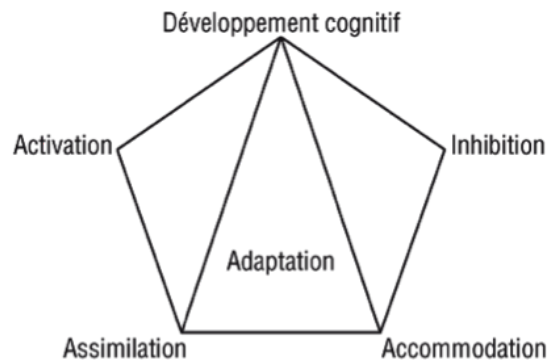


FIGURE 10 – La double dynamique de l’adaptation dans le développement cognitif

adolescent, adulte) à activer la stratégie pertinente (algorithmique) mais surtout à inhiber celle qui ne l’est pas (heuristique) pour résoudre un problème.

Conclusion et perspectives

De cette première approche des neurosciences, il apparaît que l’inhibition reste une attitude qu’il conviendrait de (faire) développer chez les étudiants pour que ceux-ci ne mobilisent pas trop rapidement leurs connaissances souvent lacunaires voire fausses au profit d’une pensée réfléchie de type logico-mathématique.

Le laboratoire de didactique de la physique (LDP) entend développer cet axe de recherche et vise à mettre au point à travers un mémoire et une thèse de doctorat différentes méthodologies visant à favoriser l’inhibition chez les étudiants en situation d’apprentissage.

Références

- Braut Foisy, L.-M., Potvin, P., Riopel, M., & Masson, S. (2015). Is inhibition involved in overcoming a common physics misconception in mechanics? *Trends in Neuroscience and Education*, 4(1-2), 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.03.001>
- Brodman, K. (1909). *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. Leipzig : Barth.
- Dehaene, S. (2010). *La bosse des maths : quinze ans après* (Nouv. édition revue et augmentée). Paris : O. Jacob.
- Gelman, R., Meck, E., & Merkin, S. (1986). Young children’s numerical competence. *Cognitive development*, 1(1), 1-29.
- Houdé, O. (2009). Le cerveau apprend en inhibant. Consulté le 1 avril 2019, à l’adresse Le café pédagogique, website : <http://www.cafepedagogique.net/lesdossiers/Pages/2009/107Lecerveauapprendeninhibant.aspx>
- Houdé, O. (2014). Le raisonnement. In *Que sais-je??* : Vol. 1671. Paris : PUF.
- Houdé, O. (2017a). *Apprendre à résister*. Paris : Le pommier.
- Houdé, O. (2017b). La psychologie de l’enfant (8e éd). In *Que sais-je??* : Vol. 369 (8e éd). Paris : PUF.
- Houdé, O. (2017c). Les sciences cognitives et les apprentissages à l’école primaire. In A. Bentolila, *L’essentiel de la pédagogie* (p. 69-90). Paris : Nathan.
- Houdé, O., & Borst, G. (2018). Le cerveau et les apprentissages. In *Les repères pédagogiques*. Paris : Nathan.
- Kahneman, D., & Clarinard, R. (2012). *Système 1, système 2 : les deux vitesses de la pensée*. Paris : Flammarion.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect : An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163-203. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.109.2.163>
- Masson, S. (2007). Enseigner les sciences en s’appuyant sur la neurodidactique des sciences. In P. Potvin, M. Riopel, & S. Masson, *Enseigner les sciences ? : regards multiples* (p. 308-321). Québec : Editions MultiMondes.
- Masson, S., Potvin, P., Riopel, M., & Foisy, L.-M. B. (2014). Differences in Brain Activation Between Novices and Experts

- in Science During a Task Involving a Common Misconception in Electricity. *Mind, Brain, and Education*, 8(1), 44-55. <https://doi.org/10.1111/mbe.12043>
- Piaget, J. (1972). *Où va l'éducation* (Vol. 100). Paris : Denoël-Gonthier.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant*. Paris : PUF.
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds : the process of change in children's thinking*. New York : Oxford University Press.
- Siegler, R. S. (2016). Continuity and Change in the Field of Cognitive Development and in the Perspectives of One Cognitive Developmentalist. *Child Development Perspectives*, 10(2), 128-133. <https://doi.org/10.1111/cdep.12173>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Thibault, F., & Potvin, P. (2018). Executive function as a predictor of physics-related conceptual change. *Neuroeducation*, 5(2), 119-126. <https://doi.org/10.24046/neuroed.20180502.119>

14 Pourquoi le processus de mitose est maintenu au programme ?

Maxime REGNIER

La mitose est un des processus fondamentaux de division cellulaire. Cette matière est un classique des programmes du secondaire, aussi bien dans l'enseignement de transition que dans la qualifiant. Dans l'enseignement de transition elle est vue sur un plan très technique en utilisant un vocabulaire hermétique. Notre recherche s'est intéressée dans un premier temps à étudier les connaissances des étudiants et agrégés de biologie. Les résultats montrent une faible rémanence du mécanisme biologique de mitose et une incompréhension de la morphologie des chromosomes, essentiels à la compréhension de ce processus. Ceci traduit un échec de notre enseignement sur cette matière. Pour trouver au mieux une solution, il me semble important de se poser d'abord la question : « Pourquoi le processus de mitose est maintenu au programme ? ». Les raisons sont peut-être historiques, par habitudes scolaires ou espérons-le comme un pré-requis à d'autres matières. Une fois l'objectif pédagogique confirmé et défini, le dispositif didactique sera remis en question.

15 Neurosciences cognitives et didactique : comprendre le chemin pour mieux guider l'apprenant

Bénédicte WILLAME

La didactique a pour rôle de montrer à l'apprenant le chemin menant du savoir naïf au savoir savant. Celui des neurosciences cognitives est de comprendre le mécanisme cérébral qui permet l'apprentissage. La synergie entre ces deux domaines de recherche est donc évidente : comprendre le fonctionnement physiologique de l'apprentissage permet de mieux guider l'apprenant. Une recherche menée en didactique de la chimie a permis de créer des outils de remédiation qui utilisent les nouvelles données neuroscientifiques. Après avoir mis en évidence les préconceptions de l'apprenant, il s'agit de créer chez lui un conflit cognitif afin qu'il mette en lumière la conception pertinente dans le contexte du concept mis en apprentissage. L'étape suivante consiste à lui permettre d'automatiser l'inhibition de sa préconception (par activation du cortex préfrontal) afin qu'il rende prévalente la conception pertinente dans ce contexte. L'exposé présente les résultats obtenus lors d'une recherche-action menée grâce à une collaboration entre l'Unité de didactique de la chimie de l'UNamur et des chercheurs en Neuroéducation de l'Université du Québec à Montréal (UQAM).