S'inspirer du fonctionnement naturel de la mémoire épisodique pour la conception d'un support pédagogique en mathématiques

ANNE-MARIE VIMARD
Université de Versailles-Saint-Quentin, Versailles, France
anne-marie.coron@uvsq.fr
MARINE MOYON
Institut Villebon-*Georges Charpak*, Orsay, France
marine.moyon@universite-paris-saclay.fr

TYPE DE SOUMISSION

Analyse de dispositif

RESUME

Une bonne maîtrise des contenus mathématiques conditionne la réussite d'études scientifiques. L'apprentissage des développements limités (DL) est particulièrement délicat car demande de savoir retrouver un nombre conséquent de formules. Afin d'accompagner les étudiants dans leur apprentissage, un support pédagogique a été conçu, sur la base de nos connaissances sur un processus dont nous a doté la nature : la mémoire. Le visuel a lui-même été inspiré de la nature et représente un arbre généalogique de DL. Des associations de couleurs, formes, symboles ont été pensées pour optimiser l'encodage. Un contexte à forte valence émotionnelle a également été imaginé pour favoriser le *binding*. Enfin, une version vierge a été élaborée pour un entraînement à la récupération en mémoire. Ce support a été distribué dans un cours de 1ère année de licence, chez 26 étudiants. A la fin du semestre, les étudiants ont été évalués. Ceux qui avaient révisé avec le support ont été capables de restituer les DL, atteignant une note académique quasiment maximale là où ceux qui n'avaient pas révisé avec le support obtiennent une note relativement faible. Par ailleurs, les étudiants s'étant entraînés sur le support vierge ont été meilleurs que ceux qui ne s'étaient pas prêtés à l'exercice. Le niveau de satisfaction des étudiants face à ce support était très élevé (M=3.9/4). De façon intéressante, une rétention à long terme a aussi été observée chez la cohorte de l'an passé.

SUMMARY

Mastery of mathematical content is essential for scientific studies. This study deals with limited developments (LD), a particularly challenging subject because students need to retain a high number of formulas. In order to support students in their learning, a teaching support was designed, based on our knowledge about the natural process of memory. The display was itself inspired from nature and depicts a family tree. A combination of colors, shapes and symbols have been created to optimize the encoding. A context with a high emotional charge has also been envisaged to foster the binding. A blank and fillable version has been elaborated for a retrieval practice. This support has been distributed during a 1st year of a Bachelor's degree, to 26 students. At the end of the semester, student performance were assessed. Those who used this course material were able to restitute the LD, reaching a quasi-maximal grade whereas the others obtained a low score. Furthermore, students who trained with the blank version are better than those who did not. Also, the degree of satisfaction in students was very high (M=3.9/4). Interestingly, a long-term retention is also found among students in their final year.

MOTS-CLES

mémoire, support pédagogique, mathématiques, développement limité

KEY WORDS (MAXIMUM 5)

Memory, Pedagogical Resource, Mathematics, Limited Development

1. Introduction

1.1. Contexte

Les mathématiques constituent une discipline centrale du parcours scientifique. La physique, la chimie, ou encore de nombreuses disciplines font appel à des notions mathématiques. L'acquisition de compétences en mathématiques apparaît donc indispensable pour permettre aux étudiants en sciences et technologie (S&T) de poursuivre sereinement leur cursus académique puis professionnel. Ces compétences reposent principalement sur l'aptitude à rappeler des contenus spécifiques et à savoir les appliquer de façon appropriée.

Afin d'aider les étudiants à intégrer (i.e se remémorer puis savoir appliquer efficacement) des contenus denses, une réflexion pédagogique apparaît importante à mener. Ceci est particulièrement vrai pour le chapitre sur les développements limités (DL) pour lequel, un nombre conséquent de formules, a priori rebutantes, est important à retenir.
Il apparaît alors essentiel d'accompagner les étudiants en réfléchissant à des astuces pour optimiser la rétention des concepts et leur mise en application.

Ainsi, nous nous demandons comment favoriser la rétention et la bonne application des concepts en mathématiques pour le chapitre des DL, chez nos étudiants de 1ère année de licence S&T ? Pourrait-on s'inspirer de la nature pour créer de nouveaux dispositifs pédagogiques ?

1.2. Cadre théorique

1.2.1. Modélisation d'une fonction naturelle : la mémoire

Le débat qui existe sur l'organisation et le fonctionnement de la mémoire et la nature des informations qui y siègent reste à ce jour non tranché. Toutefois, le modèle multi-système – soutenant que différents systèmes de mémoire co-existent, chacun associé à un contenu spécifique - dit sériel-parallèle indépendant (SPI ; Tulving, 1985) reste le plus répandu (Fig.1). Il distingue différents systèmes de mémoire, hiérarchiquement organisés en fonction du degré de conscience. La mémoire procédurale, dite anoétique – car peu accessible à la conscience – correspond à la mémoire des apprentissages implicites (ex. activité motrice acquise). La mémoire sémantique, correspondant à la mémoire des savoirs généraux (e.g. Paris, capitale de la France) est noétique car accessible à la conscience mais dissociée de tout contexte d'acquisition. La mémoire épisodique (Mep), correspondant à la mémoire des souvenirs personnels, est dite auto-noétique car l'information est encodée de façon associée à des informations contextuelles, à la fois factuelles, idiosyncratiques, spatiales et temporelles. Les souvenirs épisodiques se caractérisent par une reviviscence du contexte d'acquisition.

Selon le SPI, les 3 étapes majeures du processus mnésique que sont l'encodage, le stockage et la récupération obéiraient à différents modes de fonctionnement. L'encodage, qui correspond au placement en mémoire d'informations acquises dans l'environnement, serait sériel ; autorisant un encodage en Mep qu'après encodage dans la mémoire sémantique, lui-même permis que si l'encodage dans la mémoire procédurale a eu lieu. Le stockage s'effectue quant à lui en parallèle, avec des informations réparties dans des réservoirs distincts.

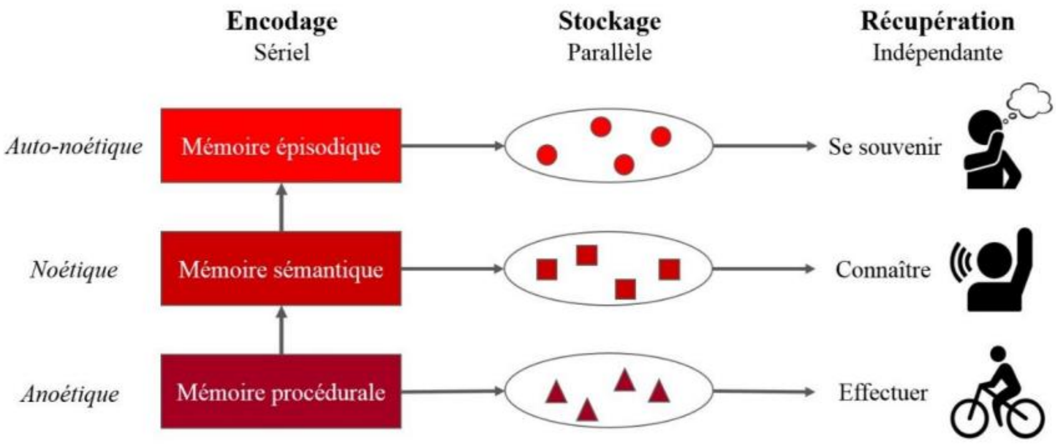

Fig. 1 Représentation schématique du modèle SPI ; repris de Blondé (2021)

Dans cette étude, nous nous focaliserons sur la Mep.

1.2.2. Importance de la MDT pour l’encodage en Mep

La distinction de mémoire à court terme versus à long terme (MLT) repose sur l’idée qu’il existerait 2 grands types d’espaces de stockage ; le premier étant limité en termes de capacité et de durée de stockage, le second étant plus conséquent. Cette dissociation sémantique a été à l’origine de concepts tels que celui de mémoire de travail (MDT), fonction exécutive permettant de maintenir et de manipuler mentalement des informations stockées.

Les 2 processus constitutifs (i.e boucle phonologique et le calepin visuo-spatial) de la MDT fonctionnent de manière indépendante. L’administrateur central assure la coordination. Enfin, le *buffer* épisodique (Baddeley, 2003) fait le lien entre les informations manipulées et celles déjà stockées en MLT.

Le *binding,* la capacité à former des associations entre les informations à traiter en MDT est un processus essentiel pour la création de souvenirs recollectifs (Yonelinas et al., 2019). Le *binding* peut s’effectuer entre différentes propriétés d’un stimulus (couleur, taille, forme, éléments de détail…) entre elles, ou bien entre le stimulus et son contexte de présentation (position, détails environnementaux…)

Le nombre d’informations à retenir, le nombre d’expositions, la multiplication des modalités assurant la création de la trace mnésique (Thompson & Paivio, 1994) ou encore la valence émotionnelle (Versace & Rose, 2007) associée aux informations à traiter sont des exemples de facteurs ayant un impact sur la réussite de l’encodage. Le *binding* permet aux informations présentes lors de l’encodage, d’être incluses dans un tout cohérent, pour la formation de souvenirs complexes, permettant la rétention d’informations contextualisées et non prises isolément.

1.2.3. Stockage

Dans son usage courant, le concept de « mémoire » renvoie à l’image d’une large collection de souvenirs inertes. Il s’agit d’une vision biaisée ne laissant pas de place à l’oubli, ni à la reconsolidation après réactivation d’un souvenir (Alberini & LeDoux, 2013).

Pour autant, il est possible d’œuvrer pour tenter de stabiliser le souvenir et de le rendre perméable aux effets d’interférence lié au temps qui passe. La stabilisation à long-terme est appelée consolidation de système (Nader & Einarsson, 2010).

1.2.4. Récupération

La récupération est habituellement proposée sous forme de rappel libre ; mais elle peut également être indicée pour faciliter l'exercice. Dans le cadre de la Mep, le processus de récupération consiste en un processus de recollection. Au travers d'un voyage mental, l'individu est capable de faire venir à lui un souvenir subjectif. Le rappel est alors contextualisé. Il s'agit d'une distinction notable avec la mémoire sémantique pour laquelle aucune reviviscence n'est possible, ne s'agissant alors que d'un rappel décontextualisé, attribuable à un processus de familiarité, inconscient et automatique.

1.2.5. Importance de se tester

Sur le plan cognitif, l'apprentissage correspond à un changement de la mémoire à long terme. Toutefois, il est important de préciser que le contenu de cette mémoire à long-terme n'est pas toujours présent à l'esprit. Pour qu'il devienne conscient et utilisable, un entrainement à la récupération en mémoire (Karpicke, 2017) est indispensable. Il s'agit de faire l'effort de se souvenir de cette connaissance, et donc de se tester, à plusieurs reprises pour favoriser l'activation répétée de neurones, chaque récupération en mémoire conduisant à une réactivation (Eriksson et al., 2011). Cette stratégie si efficace pour l'apprentissage (Roediger & Pyc, 2012) est pourtant très peu employée par les étudiants. Seulement 10% des étudiants rapportent étudier en s'entraînant à récupérer en mémoire et en se posant des questions (Karpicke et al., 2009)

Formulation de la question de recherche : La création d'un support imaginé à partir de nos connaissances sur le fonctionnement mnésique pourrait-elle aider nos étudiants de 1ère année de licences S&T à mieux retenir et mieux appliquer les concepts enseignés en mathématiques, pour le chapitre des DL ?

2. Matériel et méthodes

2.1. Participants

Un total de 26 étudiants (âge : M±SD= 19±1 ans), inscrits en 1ère année de licence S&T à l'Université de Versailles-Saint-Quentin ont participé à cette étude, entre novembre et décembre 2022. Ces étudiants sont titulaires d'un baccalauréat général. Un test de positionnement de 10 questions réalisé en début d'année a révélé un niveau de classe hétérogène (score de 3,74 ± 1.97 /10 étendue : 1 à 10 /10).

2.2. Descriptif du cours

Le support pédagogique présenté dans cette étude a été créé et utilisé dans le cadre du cours de mathématiques de 1$^{\text{ère}}$ année, 1$^{\text{er}}$ semestre de Licence S&T. Ce cours obligatoire est dispensé au groupe entier d'étudiants, par une unique enseignante. Il s'étend sur 54 heures (au format cours-travaux dirigés). Il est constitué de 5 chapitres, dont un (le 4$^{\text{ème}}$ dans l'ordre d'apparition curriculaire) sur les DL, abordé sur un volume horaire de 7 à 8 heures, sur 2 à 3 semaines. Très utiles, les DL ont pour objectif de trouver le meilleur polynôme permettant d'approcher une fonction au voisinage d'un point donné.

2.3. Le support pédagogique élaboré

2.3.1. Le contenu du savoir à transmettre

De la formule de Taylor-Young – permettant de calculer un DL au voisinage d'un point sous certaines conditions – découle l'ensemble des DL des fonctions usuelles. Les DL usuels en zéro représentent une quinzaine de formules.

De prime abord, la mémorisation de ces formules peut sembler fastidieuse, non seulement par leur nombre mais également par le fait que certaines de ces formules se ressemblent.

Au total, il est demandé aux étudiants de connaître, ou de savoir retrouver rapidement, le DL de 21 fonctions usuelles (Fig.2).

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \cdots + \frac{x^k}{k!} + \cdots + \frac{x^n}{n!} + o(x^n)$$
$$\cos(x) = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \cdots + (-1)^k \frac{x^{2k}}{(2k)!} + \cdots + (-1)^n \frac{x^{2n}}{(2n)!} + o(x^{2n+1})$$
$$\sin(x) = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \cdots + (-1)^k \frac{x^{2k+1}}{(2k+1)!} + \cdots + (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} + o(x^{2n+2})$$
$$\mathrm{ch}(x) = 1 + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} + \cdots + \frac{x^{2k}}{(2k)!} + \cdots + \frac{x^{2n}}{(2n)!} + o(x^{2n+1})$$
$$\mathrm{sh}(x) = x + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} + \cdots + \frac{x^{2k+1}}{(2k+1)!} + \cdots + \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} + o(x^{2n+2})$$
$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + x^3 + \cdots + x^k + \cdots + x^n + o(x^n)$$
$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - x^3 + \cdots + (-1)^k x^k + \cdots + (-1)^n x^n + o(x^n)$$
$$\frac{1}{1-x^2} = 1 + x^2 + x^4 + \cdots + x^{2k} + \cdots + x^{2n} + o(x^{2n})$$
$$\frac{1}{1+x^2} = 1 - x^2 + x^4 - x^6 + \cdots + (-1)^k x^{2k} + \cdots + (-1)^n x^{2n} + o(x^{2n})$$
$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} + \cdots + (-1)^{k+1} \frac{x^k}{k} + \cdots + (-1)^{n+1} \frac{x^n}{n} + o(x^n)$$
$$\ln(1-x) = -x - \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} - \cdots - \frac{x^k}{k} - \cdots - \frac{x^n}{n} + o(x^n)$$
$$(1+x)^\alpha = 1 + \alpha x + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2!} x^2 + \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{3!} x^3 + \cdots + \frac{\alpha(\alpha-1)\dots(\alpha-n+1)}{n!} x^n + o(x^n)$$
$$\frac{1}{\sqrt{1+x}} = 1 - \frac{1}{2}x + \frac{3}{8}x^2 - \frac{5}{16}x^3 + \cdots + \frac{(-1)^n (2n)!}{2^{2n}(n!)^2} x^n + o(x^n)$$
$$\frac{1}{\sqrt{1-x}} = 1 + \frac{1}{2}x + \frac{3}{8}x^2 + \frac{5}{16}x^3 + \cdots + \frac{(2n)!}{2^{2n}(n!)^2} x^n + o(x^n)$$
$$\frac{1}{\sqrt{1+x^2}} = 1 - \frac{1}{2}x^2 + \frac{3}{8}x^4 - \frac{5}{16}x^6 + \cdots + \frac{(-1)^n (2n)!}{2^{2n}(n!)^2} x^{2n} + o(x^{2n})$$
$$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}} = 1 + \frac{1}{2}x^2 + \frac{3}{8}x^4 + \frac{5}{16}x^6 + \cdots + \frac{(2n)!}{2^{2n}(n!)^2} x^{2n} + o(x^{2n})$$
$$Arcsin(x) = x + \frac{1}{6}x^3 + \cdots + \frac{1 \times 3 \times \dots \times (2n-1)}{2 \times 4 \times \dots \times (2n)} \frac{x^{2n+1}}{2n+1} + o(x^{2n+2})$$
$$Arccos(x) = \frac{\pi}{2} - x - \frac{1}{6}x^3 + \cdots - \frac{1 \times 3 \times \dots \times (2n-1)}{2 \times 4 \times \dots \times (2n)} \frac{x^{2n+1}}{2n+1} + o(x^{2n+2})$$
$$Arctan(x) = x - \frac{1}{3}x^3 + \cdots + (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{2n+1} + o(x^{2n+2})$$
$$Argsh(x) = x - \frac{1}{6}x^3 + \cdots + (-1)^n \frac{1 \times 3 \times \dots \times (2n-1)}{2 \times 4 \times \dots \times (2n)} \frac{x^{2n+1}}{2n+1} + o(x^{2n+2})$$
$$Argth(x) = x + \frac{1}{3}x^3 + \cdots + \frac{x^{2n+1}}{2n+1} + o(x^{2n+2})$$

Fig. 2 Formulaire de DL usuels

2.3.2. Elaboration du support pédagogique

Afin de réduire le nombre d'informations à mémoriser et d'optimiser par *binding* l'encodage, un premier travail a consisté à réorganiser le formulaire classique en tentant de faire ressortir des liens entre les DL. Ce sont 4 catégories, que l'on a choisi d'appeler « générations », qui en sont ressorties (Fig.3). Il est possible de passer d'une « génération » à l'autre grâce à des opérations que l'on réalise sur les DL (e.g. changement de variable ou intégration).

1ère « génération »	2ème « génération »	3ème « génération »	4ème « génération »
e^x	$\cos(x)$		
	$\sin(x)$		
	$ch(x)$		
	$sh(x)$		
$\frac{1}{1-x}$	$\ln(1-x)$		
	$\frac{1}{1+x}$	$\ln(1+x)$	
	$\frac{1}{1-x^2}$	$Argtanh(x)$	
	$\frac{1}{1+x^2}$	$Arctan(x)$	
$(1+x)^\alpha$	$\frac{1}{\sqrt{1+x}}$	$\frac{1}{\sqrt{1-x}}$	
		$\frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$	$Argsh(x)$
		$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$	$Arcsin(x)$ $Arccos(x)$

Fig. 3 Réorganisation des DL par génération

La notion de « génération » a été inspirée des lois de la nature et plus précisément de la généalogie, une génération héritant des caractéristiques de la génération précédente. Ainsi, un second travail a consisté à présenter le support sous forme d'un arbre généalogique.

Enfin, dans un 3ème temps, l'objectif était de créer pour chacune des générations (i.e les 3 souches de l'arbre), un visuel comportant une couleur et un symbole – toujours dans un souci d'optimisation de l'encodage. C'est l'héraldique, la science des blasons, qui a été source d'inspiration pour le graphisme. Ainsi, chacun des 3 DL de 1ère génération appartient à une dynastie (i.e exponentielle, inverse et puissance), associée à un blason qui lui est propre, représentant réciproquement une couronne d'or ; un signe division et un soleil.

En ont découlé les autres blasons (Fig.4&5)

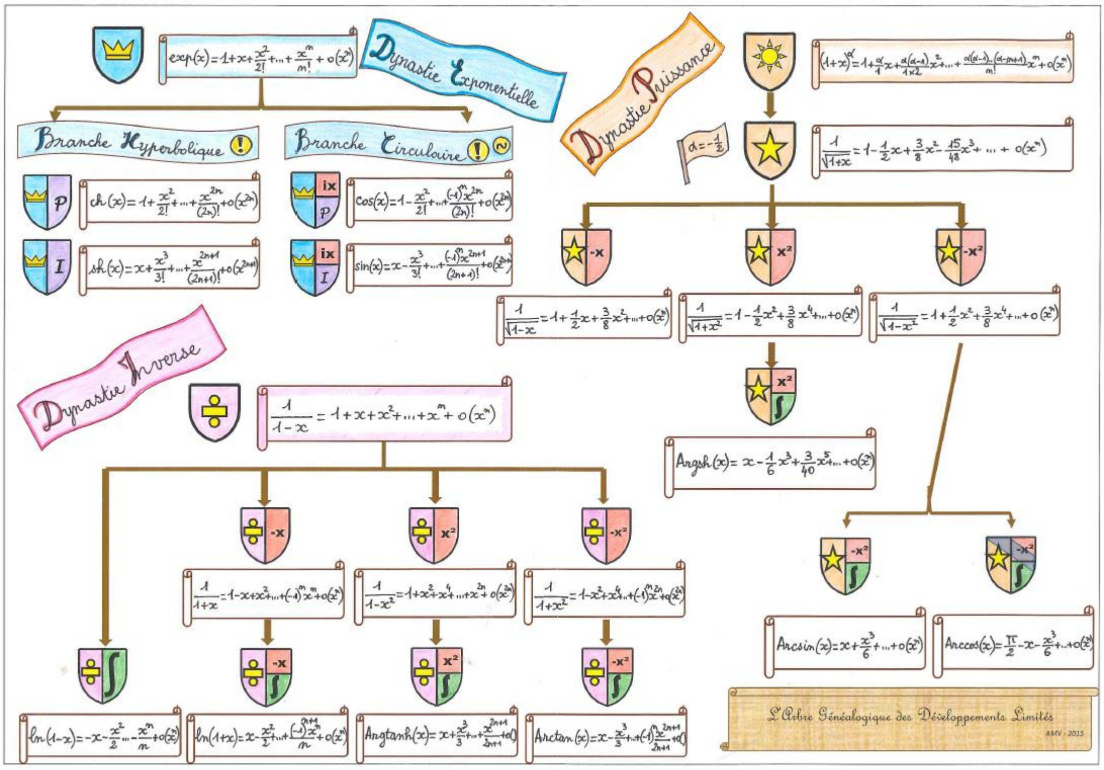

Fig. 4 Arbre généalogique complet

Les 3 dynasties et 21 DL ont chacun un blason, retraçant son histoire.

Conformément aux lois de la généalogie, ces blasons évoluent d'une génération à une autre en intégrant de nouvelles caractéristiques en héritage, tout comme les DL.

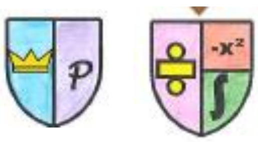

Fig. 5 Blasons pour les fonctions cosinus hyperbolique et Arctangente

Exemplification pour la création de blason :

- Evolution du blason de la fonction exponentielle vers le blason de la fonction cosinus hyperbolique (*ch*) : le blason de la fonction exponentielle est une couronne d'or sur fond bleu. Un des descendants de l'exponentielle est le *ch*. Comme le *ch* est la partie paire de l'exponentielle, son blason est partagé en 2 parties : la partie gauche reprend la couronne de l'ancêtre fondateur et la partie droite comporte un « P » (comme « Paire »).
- Pour la fonction Arctangente : le blason de la fonction (1/(1-x)), souche de la dynastie « Inverse » évolue progressivement avec un changement de variable (x devient $-x^2$) puis une intégration (symbolisée par le signe « somme ») pour devenir le blason de la fonction Arctangente.

2.3.3. Présentation du support aux étudiants

En début d'année, un poster format A0 est présenté aux étudiants. Ce poster dessiné à la main par la 1ère auteure de cette communication, rassemble les différentes parties au programme du cours. Chaque partie a été pensée puis illustrée avec un univers qui lui est propre. La partie concernant les DL est intitulée « Le Royaume des Trois Tours » (Fig.6). Ces trois tours représentent les Trois « dynasties » des DL.

Fig. 6 Poster présentant l'intégralité du programme de mathématiques & agrandissement du « Royaume des 3 Tours »

Après la présentation en cours de la théorie sur les DL, l'arbre généalogique des DL (Fig. 4) est présenté aux étudiants et une version A4 leur est distribuée.

Les 3 dynasties, les liens existant au sein de chaque génération et les techniques permettant de passer d'une génération à la suivante sont commentés oralement et expliqués aux étudiants.

En supplément, un arbre généalogique à compléter, format A4, (Fig. 7) est distribué afin que les étudiants s'entraînent, car c'est un point clé de la méthode qui leur est proposée.

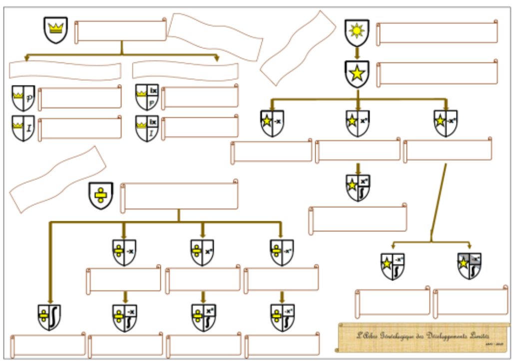

Fig. 7 Arbre généalogique à compléter

En complément, les étudiants ont reçu un lien YouTube, menant vers une série de 4 vidéos réalisées par l'enseignante (https://youtu.be/At7vYbDPw9A).

2.4. Outils de collecte des données

2.4.1. Performance académique

En milieu de semestre, des évaluations académiques individuelles ont été réalisées pour l'ensemble des étudiants du groupe. Seuls les étudiants présents aux 2 évaluations ont été inclus (n=23).

Un 1er contrôle, portant sur différentes parties du programme, intégrait une question de cours demandant de restituer 3 DL et a abouti à une note sur 3 points.

La semaine suivante, un 2nd contrôle demandait de restituer (soit en se rappelant, soit en retrouvant) 4 DL et conduisait à une note sur 4 points.

2.4.2. Stratégie individuelle de révision

Lors du 1er contrôle, il était également demandé aux étudiants de renseigner leur méthodologie de révision pour ce chapitre sur les DL. Plus précisément, il leur était demandé i) s'ils avaient eu recours au poster sur les DL lors de leurs séances de révision en autonomie, ii) s'ils avaient utilisé le support vierge pour se tester.

2.4.3. Satisfaction

Un questionnaire de satisfaction de fin de semestre a été présenté à la dernière séance du cours de mathématiques du semestre. Il était organisé en 2 parties. La 1ère partie proposait de laisser des commentaires libres et facultatifs. La 2nde partie correspondait à des échelles de type Likert en 4 points allant de 1-pas satisfait, à, 4-très satisfait. Il était demandé à l'étudiant d'auto-rapporter son degré de satisfaction pour chaque chapitre du cours et de renseigner son utilisation des supports associés pour sa phase de révisions.

Sur ces 8 types de supports, seuls l'arbre généalogique des DL et les vidéos de la chaîne YouTube concernent spécifiquement les DL.

Le nombre de répondants était de 21 étudiants.

2.4.4. Mesure de la rétention à partir d'une cohorte similaire

Afin de mesurer la rétention des DL sur un terme plus long, les étudiants de l'année passée, ont également été recontactés (n= 20). Leur profil était similaire à celui de la cohorte actuelle. Tous avaient suivi le même processus pédagogique, avec la même enseignante. Six questions étaient posées pour savoir si l'étudiant i) se souvenait de l'existence de l'arbre des DL (réponse bimodale), ii) était satisfait de support (1-pas satisfait à 4-très satisfait, iii) s'était servi de l'arbre complété, l'an passé, dans sa version complétée pour les révisions iv) s'était testé sur la version vierge (réponses bimodales), v) était capable de retrouver 6 DL et vi) avait des commentaires à faire sur l'arbre des DL. Six étudiants ont rendu réponse.

3. Résultats

3.1. Performance académique en fonction de la stratégie de révision

La majorité des étudiants (n=18/23) a utilisé le support pour ses révisions. Sur les 23 étudiants ayant répondu au questionnaire en fin de contrôle, 9 déclarent avoir révisé à partir du poster complet et s'être entraînés à la récupération en mémoire à l'aide du support vierge ; 9 ont utilisé le poster sans se tester ; 5 n'ont pas du tout utilisé le poster (Tab.1)

Tab. 1 : Performance des étudiants en fonction de leurs modalités de révision

Révision du poster complété	Oui	Oui	Non
Entraînement à la récupération en mémoire	Oui	Non	Non
Effectif	9	9	5
Note contrôle n°1 (M±SD)	2.67 ±0.50 /3	2.11±0.93/3	0.40±0.89/3
Note contrôle n°2 (M±SD)	3.22 ±0.67/4	2.78±0.83/4	0.60±0.89/4

Pour les contrôles 1 et 2, les étudiants qui ont révisé à partir du poster sont meilleurs et ont une note élevée. La performance est encore plus importante s'ils se sont entraînés à récupérer en mémoire.

3.2. Commentaires de satisfaction de fin de semestre

Sur les 21 répondants, 19 étaient très satisfaits et 2 satisfaits, de l'arbre des DL soit une moyenne de 3,9 /4 à l'échelle de Likert.

Quatre commentaires ont été laissés par les étudiants à propos du poster : *« parfait !! », « aide beaucoup », « a permis d'apprendre facilement », « meilleur support ».*

Douze étudiants ont déclaré avoir visionné la série de vidéos YouTube, dont 6 très satisfaits, 3 plutôt satisfaits et 3 peu satisfaits. Un seul commentaire a été laissé pour ces vidéos : *« excellent pour comprendre ».*

Parmi les 8 types de supports mis à disposition des étudiants, l'arbre des DL a recueilli le meilleur taux de satisfaction, atteignant un score quasi maximal (3.9/4).

3.3. Rétention à long-terme

Les 6 répondants de l'an passé se souviennent de l'arbre des DL et déclarent un niveau de satisfaction à 4/4 (i.e très satisfait). Tous se sont servis du support pour les révisions et 3 se sont testés à partir de la version vierge. Cinq étudiants sur les 6 sont parvenus à retrouver le DL pour exp(x) ; 5 pour cos(x) ; 4 pour 1/(1-x) ; 3 pour $\sqrt{(1+x)}$, 5 pour ln(1+x) et 0 pour arcsin(x).

Trois étudiants ont laissé les commentaires suivants : *« C'est la manière dont vous avez fait (on participe tous à le construire et à nous bien faire comprendre les liens entre chacune des formules) qui nous a le plus aidé à mémoriser et comprendre la fiche » ; « Il est vraiment utile et facilite l'apprentissage » ; « Très ludique ».*

4. Discussion

L'objectif initial était de trouver un moyen pour aider les étudiants à retrouver facilement et rapidement les principaux DL. Les résultats obtenus aux 2 contrôles chez la promotion actuelle ainsi qu'au test de rétention à long terme chez la promotion de l'an passé semblent montrer que l'objectif a bien été atteint.

La majorité des étudiants de cette année a utilisé le support pour ses révisions et a été très performante lors du contrôle. Ceux qui se sont en plus entraînés à récupérer en mémoire atteignent une note moyenne encore meilleure (5,89/7) ; là où ceux qui n'ont pas utilisé du tout le support atteignent une note moyenne de 1/7. L'écart-type est assez petit, laissant penser que l'ensemble des étudiants – indépendamment de leur niveau de début d'année – ont pu tirer profit de ce support. Aussi, les étudiants rapportent un score moyen de satisfaction très élevé 3.9/4, ce qui est un retour très valorisant.

Un effet de rétention à long terme a été retrouvé chez la promotion de l'an passé, pour certains DL. Les étudiants ont majoritairement réussi les DL des 1$^{\text{ère}}$ et 2$^{\text{ème}}$ générations, mais pas de la 3$^{\text{ème}}$; ce qui était attendu après 1 an sans reconsolidation.

Pour la création du support pédagogique (i.e poster), l'enseignante et 1ère auteure de cette communication s'est inspirée des lois naturelles régissant le fonctionnement mnésique. Les différentes caractéristiques des stimuli telles que la forme et les couleurs ont été pensées pour favoriser l'encodage. L'enjeu était de faciliter le *binding* en alliant des formes et symboles avec des informations plus abstraites comme une formule mathématique.

De plus, le contexte, avec la présentation d'un poster - modalité pédagogique peu employée dans l'enseignement des mathématiques, et au supérieur - a probablement contribué à créer un contexte favorable à l'apprentissage, permettant d'encoder simultanément une dimension émotionnelle. Il permet aussi de recollecter un souvenir idiosyncratique stocké en Mep.

La possibilité de se tester grâce à un arbre vierge a également été recherchée afin de pousser les étudiants à reconstituer par eux-mêmes la logique de construction de ces formules. La moitié de nos étudiants se sont testés, ce qui reste faible mais cohérent avec la littérature. Il faudra à l'avenir parvenir encourager les étudiants de l'utiliser.

Certains étudiants ont regardé les vidéos YouTube, d'autres non mais il est peu probable que celles-ci aient joué sur la performance car il s'agit d'une présentation générale du poster.

Nous voyons plusieurs limites à notre étude : d'abord, la cohorte est réduite au niveau du nombre d'étudiants. Ensuite, les notes ne permettent pas de faire la différence entre un étudiant qui a retenu par cœur les formules versus qui a réfléchi et suivi le cheminement logique pour les retrouver. Aussi, les étudiants se déclarent très satisfaits mais cette notion de satisfaction peut recouvrir plusieurs construits : utilité, plaisir d'apprendre, sentiment d'auto-efficacité et peut être impacté par un biais de désirabilité. Un groupe contrôle aurait également été intéressant pour contrôler l'effet enseignante.

Le bilan reste très positif et nous encourage à proposer d'autres supports, toujours sur la base de nos connaissances sur le fonctionnement cérébral, pour d'autres contenus.

Références bibliographiques

Alberini, C. M., & LeDoux, J. E. (2013). Memory reconsolidation. *Current Biology*, *23*(17), R746-R750.

Baddeley, A. (2003). Working memory : Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*(10), 829-839.

Blondé, P. (2021). *Approche multimodale de l'impact des fluctuations attentionnelles sur l'encodage en mémoire épisodique*.

Eriksson, J., Kalpouzos, G., & Nyberg, L. (2011). Rewiring the brain with repeated retrieval : A parametric fMRI study of the testing effect. *Neuroscience Letters*, *505*(1), 36-40.

Karpicke, J, Butler, A., & Roediger H. (2009). Metacognitive strategies in student learning : Do students practise retrieval when they study on their own? *Memory*, *17*(4), 471-479.

Karpicke, J. D. (2017). Retrieval-Based Learning : A Decade of Progress. In *Learning and Memory : A Comprehensive Reference* (p. 487-514). Elsevier.

Nader, K., & Einarsson, E. Ö. (2010). Memory reconsolidation : An update. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1191*(1), 27-41.

Roediger, H. L., & Pyc, M. A. (2012). Inexpensive techniques to improve education : Applying cognitive psychology to enhance educational practice. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, *1*(4), 242-248.

Thompson, V. A., & Paivio, A. (1994). Memory for pictures and sounds : Independence of auditory and visual codes. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *48*(3), 380-398.

Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, *40*(4), 385-398.

Versace, R., & Rose, M. (2007). The Role of Emotion in Multimodal Integration. *Current psychology letters*, *1(21).*

Yonelinas, A. P., Ranganath, C., Ekstrom, A. D., & Wiltgen, B. J. (2019). A contextual binding theory of episodic memory : Systems consolidation reconsidered. *Nature Reviews Neuroscience*, *20*(6), 364-375.