

NUMÉRIQUE ET APPRENTISSAGES SCOLAIRES

QUELLES FONCTIONS PÉDAGOGIQUES BÉNÉFICIENT DES APPORTS DU NUMÉRIQUE ?

André TRICOT

Université Paul Valéry Montpellier 3

Octobre 2020

le cnam
Cnesco

Centre national d'étude des systèmes scolaires

Ce rapport s'inscrit dans une série de contributions publiées par le Centre national d'étude des systèmes scolaires (Cnesco) sur la thématique : **Numérique et apprentissages scolaires.**

Les opinions et arguments exprimés n'engagent que l'auteur du rapport.

Pour citer ce rapport :

Tricot, A. (2020). *Quelles fonctions pédagogiques bénéficient des apports du numérique ?* Paris : Cnesco-Cnam.

Disponible sur le site du Cnesco : <http://www.cnesco.fr>

Publié en octobre 2020

Centre national d'étude des systèmes scolaires

41 rue Gay-Lussac 75005 Paris

Table des matières

Introduction	5
1. Présenter de l'information	6
2. Lire et comprendre un texte, apprendre à lire	8
3. Écouter un document sonore, écouter un texte sonorisé.....	11
4. Regarder / lire un document multimédia.....	13
5. Regarder une vidéo, une animation	15
6. Prendre des notes	17
7. Poser des questions, demander de l'aide	19
8. Rechercher de l'information.....	21
9. Résoudre des problèmes et calculer	26
10. S'entraîner.....	29
11. Jouer	30
12. Motiver	33
13. Coopérer	36
14. Apprendre à distance	39
15. Évaluer, s'autoévaluer, suivre les progrès et les difficultés des élèves.....	42
16. Faciliter l'accès à l'école et à l'apprentissage pour les élèves à besoins éducatifs particuliers	46
17. Créer un objet technique, une œuvre picturale ou sonore.....	53
18. Produire un texte, un document, seul ou à plusieurs.....	56
19. Programmer	58
20. Découvrir des concepts abstraits	61
21. Faire émerger des idées, développer sa créativité.....	62
22. Expérimenter	64
23. Apprendre à faire sur simulateur ou en réalité virtuelle.....	67
24. Mémoriser, apprendre par cœur	70
Conclusion	72
Annexe	75
Références	77

Introduction

La littérature empirique sur les apports des outils numériques aux apprentissages académiques, et plus largement aux apprentissages formels, peine à établir des plus-values générales. Les premières méta-analyses de la littérature du domaine, publiées au début des années 1990 (Ahmad & Lily, 1994 ; Fletcher-Flinn & Gravatt, 1995 ; Kulik, 1994 ; Liao, 1992) avaient cette ambition mais ont globalement échoué à répondre autre chose que « ça dépend » (des outils, des élèves, des contenus enseignés, etc.). Des méta-analyses et synthèses de la littérature se sont alors centrées :

- sur les outils (par exemple, Liao, 1999) ;
- sur les caractéristiques des élèves (par exemple la partie 16 de ce rapport, consacrée aux élèves porteurs de troubles ou de handicaps dans ce rapport ou la synthèse d'Amadiou *et al.* (2011) sur l'effet des connaissances antérieures des élèves sur la compréhension de documents numériques) ;
- sur les contenus enseignés, avec notamment des méta-analyses sur l'apprentissage des langues vivantes ou des mathématiques (voir les 5 rapports dédiés au numérique et à des contenus disciplinaires).

Plus récemment, c'est l'effet de la formation et de l'accompagnement à l'utilisation des outils comme condition d'obtention d'une plus-value qui a fait l'objet d'une méta-analyse (Archer *et al.*, 2014). D'autres encore expliquent aux chercheurs comment il faudrait faire de la recherche dans le domaine pour que les méta-analyses aient du sens (Leroux, Monteil & Huguet, 2017). Les méta-analyses de second ordre (*i.e.* qui porte sur des méta-analyses) de Tamim *et al.* (2011) ou Bernard *et al.* (2018), qui rendent compte de 40 années de littérature sur l'effet des outils numériques sur les apprentissages, montrent un effet positif mais modéré ($d = 0,35$ pour la première, $g = 0,29$ pour la seconde)¹ et elles signent sans doute la fin des méta-analyses généralistes sur cette question, tellement « ça dépend... ».

En 2001, Erica de Vries a proposé une autre approche : elle considère les fonctions pédagogiques comme « entrées » dans la question des apports du numérique. Certaines grandes familles d'outils numériques (les exercices par exemple) correspondent à une fonction pédagogique (dispenser des exercices) et à un type de tâche (faire des exercices) : il est alors possible d'examiner la littérature spécifique aux apports de ce type d'outil pour cette fonction pédagogique et ce type de tâche. Les fondements théoriques qui ont conduit les enseignants, les chercheurs, les développeurs à concevoir ce type d'outil pour ce type de fonction pédagogique étant souvent spécifiques à ce triplet outil – fonction – tâche, il est possible d'examiner une littérature qui est non seulement spécifique mais assez cohérente. C'est donc cette entrée que j'ai choisie dans ce rapport. Mais, alors que de Vries recensait 8 fonctions pédagogiques principales, j'en recense 24 ici. Chaque fonction est analysée selon le même plan en quatre parties : A. Définition ; B. Exemples d'activités et d'outils numériques (mais lire le rapport de Fluckiger (Cnesco, 2020) sur les usages des outils numériques en classe et les 5 rapports sur les entrées disciplinaires pour une vue beaucoup plus complète rédigés également pour le Cnesco en

¹ Dans ce rapport, je favorise, chaque fois que cela est possible, les méta-analyses de la littérature empirique. Chaque fois qu'il est disponible, je rends compte de la taille moyenne de l'effet avec le d de Cohen calculé par les auteurs (par convention, on considère que $d = 0,01$ correspond à un effet très faible ; $d = 0,2$ correspond à un effet faible ; $d = 0,5$ moyen ; $d = 0,8$ élevé ; $d = 1,2$ très élevé ; $d = 2$ immense). Les méta-analyses les plus récentes utilisent parfois le g de Hedges pour mesurer la taille d'effet (les valeurs ayant le même sens qu'avec le d de Cohen). Dans ce domaine comme dans d'autres, il y a un biais de publication bien connu : les résultats significatifs étant plus facilement publiés que les absences d'effet, le d obtenu est « gonflé », les auteurs estimant généralement cette déformation proche de +30%.

2020) ; C. Plus-values et limites ; D. Place dans les manuels scolaires (quand cela est pertinent). Ainsi, c'est probablement un tour d'horizon assez complet des apports spécifiques du numérique aux apprentissages académiques et formels qui est proposé ici.

1. Présenter de l'information

A. Définition

La présentation de l'information consiste à montrer aux élèves ou aux étudiants des textes ou des images (fixes ou animées), ou à leur faire écouter des sons (paroles notamment). L'activité attendue de la part des élèves est généralement de percevoir et de traiter cette information, mais surtout de la comprendre. Cette fonction pédagogique ne correspond donc pas aux cas où les élèves doivent rechercher de l'information (traités plus bas), ni aux cas où ils doivent s'engager dans des activités de résolution de problème, de manipulation, de création ou de production (traités plus bas également). La littérature spécifique, absolument pléthorique, sur l'effet des médias (compréhension de textes, d'images fixes ou animés, de fichiers sonores) sera traitée plus bas aussi. Dans cette partie, je vais traiter le cas général de l'information projetée aux élèves via un diaporama ou présentée via un écran, *i.e.* un document numérique, une vidéo.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

La présentation de l'information correspond typiquement aux activités de « cours magistraux » et d'étude, *i.e.* aux activités où l'enseignant contrôle le déroulement de la présentation. Les activités concernées sont donc : (a) assister à un cours en direct (présence) ou en différé (en ligne) ; (b) étudier un cours, un polycopié ou un manuel ; pour comprendre (généralement apprendre des connaissances déclaratives : des notions, des faits, des situations). Par ailleurs, et comme précisé dans le paragraphe précédent, les mêmes supports peuvent être utilisés pour d'autres activités (comme la résolution de problème) qui ne sont pas abordées ici.

Les activités concernées ici sont réputées passives (assister à un cours, lire un livre serait « passif »), alors qu'il n'en est rien (Fiorella & Mayer, 2015). Les élèves peuvent mettre en œuvre des activités, fondamentales pour l'apprentissage mais difficiles à observer : réfléchir, faire des hypothèses, essayer de comprendre, mettre en relation les connaissances nouvelles avec ce qu'ils savent déjà, se poser des questions. D'autres activités sont observables : poser des questions, répondre à des questions, dialoguer entre élèves, et prendre des notes (activité qui sera traitée plus bas), rédiger des synthèses, négocier des synthèses collectives, etc. La mise en œuvre de ces activités pendant la présentation de l'information a un effet majeur sur l'apprentissage (Chi & Wylie, 2014). Mais la configuration de la présentation elle-même a un effet sur l'apprentissage, et a fait l'objet de très nombreux travaux de recherche.

Les outils concernés sont les diaporamas, les vidéos, les documents multimédia, etc., que l'on trouve dans la grande majorité des situations d'enseignement en présence ou à distance.

C. Plus-values et limites

Si présenter des informations est depuis longtemps une fonction pédagogique majeure (supplantant progressivement la lecture orale par l'enseignant et la dispute, qui constituaient des formes majeures depuis le Moyen-Âge), cette activité a été l'objet d'une attention soutenue depuis l'arrivée de documents numériques. Cette attention est peut-être liée au fait que la configuration de ces supports pose des questions auxquelles la psychologie cognitive sait ou veut répondre (de Vries, 2001).

Représenter ce qu'on ne savait/pouvait pas représenter. Une première plus-value liée aux supports numériques est qu'ils permettent de présenter des phénomènes dynamiques, que l'on ne savait pas présenter sur papier, autrement qu'étape par étape (on pouvait cependant les présenter via des films, sur des supports magnétiques par exemple). La présentation progressive de phénomènes ou de systèmes complexes est facilitée par ces supports. Sur un diaporama, l'enseignant peut aussi synchroniser son discours avec la présentation progressive de titres, sous-titres, mots-clés ou phrases clés, de figures ou de schémas. On verra dans la partie 5, intitulée « Regarder une vidéo, un document dynamique », qu'une limite de ces présentations réside dans le fait qu'elles sont fugaces, transitoires : une information présentée disparaît aussitôt après, de sorte que si un élève n'a pas vu ou compris cette partie, cela manquera à sa compréhension de l'ensemble (Leahy & Sweller, 2011, 2016).

Enrichir les informations présentées. Une autre plus-value concerne la possibilité d'enrichir des présentations, par exemple en intégrant des commentaires à un schéma ou à une image, en faisant apparaître ou disparaître ces informations autant que de besoin. On peut ainsi annoter une vidéo, sonoriser une image, etc. Cet enrichissement par intégration d'informations additionnelles présente un gros avantage par rapport aux informations présentées de façon adjacente. Il était certes possible d'intégrer des informations sur support papier, mais avec le risque de saturer la présentation. L'effet bénéfique de l'intégration spatiale (au bon endroit) et temporelle (au bon moment) d'informations est connu sous le nom de principe d'intégration ou *split attention effect* dans la littérature. Il a donné lieu à de très nombreuses études empiriques, synthétisées par Ayres et Sweller (2014).

Favoriser l'interaction avec les contenus. Les supports numériques permettent de présenter des documents « cliquables », de sorte que l'élève qui lit un texte peut décider de cliquer sur tel mot à l'intérieur du texte, qui va lui permettre d'ouvrir un autre texte, une zone d'une image qui va lui permettre de zoomer sur cette partie ou d'afficher une définition. Ainsi, chaque élève interagit avec le document numérique de façon personnelle, selon ses choix. Cette fonctionnalité qui permet donc de lire un hypertexte plutôt qu'un texte, pour intéressante qu'elle soit, entraîne des traitements particulièrement exigeants, qui peuvent rendre celle-ci assez inopérante au bout du compte. Interagir avec des contenus exige d'abord de prendre des décisions (cliquer ici plutôt que là), ce qui représente un coût cognitif. Ensuite, cela implique d'établir une cohérence propre au parcours de lecture, ce qui peut être bien plus exigeant et difficile que d'établir la cohérence d'un parcours conçu par l'auteur d'un document linéaire (Amadiou, 2015 ; DeStefano & LeFevre, 2007). Cette limite concerne surtout les élèves qui ont peu de connaissances dans la discipline scolaire concernée, les autres compensant l'exigence d'une lecture non-linéaire par leurs connaissances (Amadiou *et al.*, 2011).

Présenter des cartes et des sommaires interactifs. Avec les documents numériques, les différentes façons de présenter des sommaires (tables de matières, résumés, cartes de concepts, etc.) peuvent devenir interactives : en cliquant sur tel titre ou sous-titre l'élève affiche directement la partie

concernée. Sa lecture peut alors consister à des allers-retours entre le sommaire et les parties de texte, traitant donc de façon alternée une représentation globale du contenu avec des représentations locales, détaillées. La plus-value des cartes interactives est attestée pour soutenir la lecture d'hypertextes : elles facilitent la navigation et l'élaboration d'une représentation cohérente du contenu, mais spécifiquement pour les élèves qui ont des difficultés à établir cette cohérence, par exemple parce qu'ils manquent de connaissances dans le domaine ; ce bénéfice est aussi lié à une consultation précoce de la carte pendant la lecture (Amadiou & Salmeron, 2014). Pour en savoir plus, le lecteur pourra se reporter à la méta-analyse de Nesbit et Adesope (2006).

D. Place dans les manuels scolaires

Ces nouvelles possibilités de présentation de l'information ont toute leur place dans les manuels scolaires, même si elles semblent assez peu exploitées par certains éditeurs (Malti, 2018). Cette frilosité apparente correspond peut-être à une sage prudence, les limites qui viennent d'être soulignées ne pouvant pas être considérées comme négligeables.

2. Lire et comprendre un texte, apprendre à lire

A. Définition

L'arrivée des ordinateurs, des tablettes et des smartphones dans les salles de classe, mais aussi au domicile des élèves, a un effet important sur la lecture : celle-ci se fait de plus en plus sur écran. Dans cette partie je vais aborder la lecture – compréhension de texte au sens strict, la recherche d'information et la lecture de documents multimédias (dont les textes illustrés) étant traitées dans les parties suivantes. De même, l'évaluation de la fiabilité des sources et le traitement des sources multiples, qui constituent des aspects importants de la lecture sur supports numériques, sont abordés dans la partie sur la recherche d'information.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Dans cette partie, je ne traite que de cette activité qui est somme toute extrêmement fréquente en classe : la lecture intégrale d'un texte, dans un but de compréhension.

J'aborde aussi la lecture partielle d'un texte, notamment d'un texte non linéaire, de type hypertexte.

Enfin, comme les outils numériques sont aussi utilisés pour l'apprentissage de la lecture, j'évoque les apports et les limites de ces outils pour cet usage.

C. Plus-values et limites

Le Cnesco ayant consacré une conférence de consensus à la lecture, avec deux interventions sur le sujet de la lecture sur support numérique (Rouet, 2016 ; Tricot, 2016), je propose de faire un résumé ici et d'y adjoindre des références publiées depuis.

Le numérique dédié à l'apprentissage de la reconnaissance du mot écrit peut améliorer celui-ci, quand l'outil en question a été bien conçu, à la fois au plan de l'enseignement (il améliore l'apprentissage) et au plan de l'utilisabilité (il n'ajoute pas de difficulté inutile). Dans ce domaine, on peut même affirmer

que le numérique peut représenter une plus-value, soit par les formats de présentation qu'il rend possibles (coupler le son d'un phonème et la mise en exergue du graphème correspondant par exemple), soit par les tâches qu'il rend possibles (tâche de catégorisation de graphèmes par exemple), soit enfin par les retours qu'il rend possibles (validation immédiate de la réponse de l'élève par exemple). Pour en savoir plus, le lecteur pourra se reporter au rapport de Potocki et Billottet (Cnesco, 2020).

Le numérique dédié à l'apprentissage de la compréhension de l'écrit donne des résultats extrêmement intéressants. Des outils numériques pour apprendre à comprendre peuvent améliorer de façon significative la compréhension de l'écrit. Par exemple, LIRALEC (Goumi, 2008) est un outil conçu pour l'entraînement des capacités de compréhension en lecture des élèves de Sixième. LIRALEC comporte plusieurs scénarios d'exercices visant à favoriser la production d'inférences et le contrôle de la compréhension. Les élèves d'un collège expérimental ont été entraînés pendant 17 semaines, et leur progression comparée à celle d'un groupe contrôle. L'entraînement s'avère efficace pour une partie des tests employés. La méta-analyse de Takacs, Swart et Bus (2015), qui porte spécifiquement sur la compréhension d'histoires, ou celle plus générale de Cheung et Slavin (2012), montrent que les études dans le domaine produisent un effet moyen positif mais faible. De manière intéressante, les deux derniers auteurs montrent que les études qui testent seulement l'efficacité d'un outil ont un effet généralement très faible, tandis que celles qui testent un outil couplé à des modalités d'enseignement pertinentes et à une formation / accompagnement des enseignants, obtiennent des résultats bien plus favorables.

Pour les tâches de lecture, les recherches traditionnelles dans le domaine (voir la synthèse de Baccino, 2004, qu'il est intéressant de confronter à celle, plus récente, de Baccino & Draï-Zerbib, 2015) montraient que la lecture de documents numériques était souvent plus difficile, plus lente, notamment à cause des écrans rétroéclairés, de la taille des lettres, de leur couleur, des contrastes et des polices de caractères choisis, de la longueur de lignes. Ces difficultés sont bien moins importantes aujourd'hui. Toutefois, la lecture sur support numérique reste (un peu) plus exigeante que la lecture sur papier. Delgado, Vargas, Ackerman et Salmerón (2018) ont conduit une méta-analyse de la littérature empirique de la période 2000 à 2017, en comparant la lecture de textes comparables sur papier et sur écran. Ils ont analysé 38 recherches avec un plan d'expérience intersujets (des lecteurs différents sont assignés à des supports de lecture différents) et 16 publications avec un plan d'expérience intrasujets (le même lecteur lit successivement sur des supports de lecture différents). Dans les deux cas, les résultats montrent un (léger) avantage en faveur du papier par rapport à l'écran ($g = 0,21$). L'analyse des modérateurs montre trois effets importants. Premièrement, le temps de lecture : l'avantage de la lecture sur support papier est plus important encore quand le temps de lecture est limité ($g = 0,26$). En revanche, quand le lecteur lit à son rythme, la différence entre lecture sur support papier et sur support numérique disparaît ($g = 0,09$). Deuxièmement, le genre de texte : l'avantage de la lecture sur papier est obtenu sur les textes informatifs ($g = 0,27$) mais pas avec les textes narratifs ($g = 0,01$). Troisièmement, l'année de publication : la supériorité de la lecture papier augmente au fur et à mesure des années. Alors que l'on pourrait penser que les articles les plus récents, impliquant des participants nés plus récemment, habitués à la lecture sur écran et ayant développé des comportements et des stratégies de lecture adaptés à l'écran, la méta-analyse révèle que la supériorité du papier est plus forte pour les publications les plus récentes.

Pour les tâches de compréhension de textes non-linéaires (les hypertextes, où l'on peut cliquer sur un mot et qui ouvre un autre texte, lui-même présentant plusieurs mots cliquables ouvrant sur plusieurs textes différents, etc.), qui existaient, mais assez peu, avant les documents numériques, les travaux conduits depuis une trentaine d'années montrent à quel point la compréhension est difficile : si comprendre c'est élaborer une représentation mentale cohérente d'un contenu, alors trouver la cohérence d'un hypertexte est le plus souvent quasiment impossible, pour la simple raison que la plupart des hypertextes actuels sont ouverts, qu'ils ouvrent vers des textes qui n'ont pas été écrits par les mêmes auteurs, qui n'avaient pas les mêmes intentions, etc. Selon Amadiou (2015), la lecture d'hypertexte est « sélective », elle est effectuée selon différents buts et donc différents critères de pertinence qui peuvent évoluer au cours de la tâche. Cette lecture implique d'identifier les éléments constitutifs du document ; d'identifier les relations de co-référentiation entre informations ; d'interpréter les relations sémantiques entre les informations afin d'organiser en mémoire une représentation cohérente ; de combler un manque d'information à l'issue de traitements antérieurs en mémoire (par ex. sélectionner des informations qui permettraient de désambiguïser certaines interprétations ou qui corrigeraient des ruptures de cohérence) ; de vérifier sa compréhension (par ex. sélectionner des informations qui permettent de tester sa représentation globale des contenus comme sélectionner des informations respectant la séquence des événements/actions étudiés).

Les traitements des éléments sélectionnés sont guidés par les buts de lecture. Ces traitements peuvent être spécifiques à l'élément (*i.e.*, l'élément est traité indépendamment des autres éléments) ou relationnels (*i.e.*, les traitements portent sur les liens entre l'élément sélectionné et d'autres éléments du document) :

- Le traitement spécifique de l'élément sélectionné peut être de surface (par ex. des traitements des caractéristiques perceptives de l'élément, maintien de l'élément en mémoire) ou profond (par ex. la construction de la signification de l'élément). L'apprenant mémorise ou construit une signification de l'élément sélectionné sans encore chercher à établir de liens avec d'autres éléments. Ces traitements spécifiques interviendraient en grande partie lors de la décomposition d'ensembles d'informations dans les premières étapes de la compréhension.
- Le traitement relationnel des éléments (mise en relation des informations pour établir la cohérence) : les relations sémantiques et fonctionnelles entre les éléments sélectionnés et les informations antérieurement traitées en mémoire sont établies. Ces relations peuvent être de différentes natures (référentielle, temporelle, causale, fonctionnelle). Les connexions établies entre les informations pertinentes pour la tâche amènent la construction de représentations cohérentes d'une partie des contenus. L'élève peut produire plusieurs représentations de différentes sous-structures des contenus mais n'a pas encore atteint une représentation ou modèle mental global cohérent.
- L'élaboration d'un modèle mental : l'objectif de compréhension étant de se construire une représentation de l'ensemble des contenus traités par le document, l'apprenant doit intégrer les différentes représentations construites en mémoire et le faire en une représentation globale cohérente de l'ensemble des informations pertinentes. Pour favoriser un apprentissage, cette représentation doit être suffisamment cohérente et interconnectée, abstraite (détachée des attributs du document, des informations affichées et de la situation particularisée montrée dans le document) et connectée à la base de connaissances antérieures de l'apprenant.

D. Place dans les manuels scolaires

Les documents numériques permettent de concevoir des manuels scolaires avec des textes plus riches, plus complexes, plus dynamiques, plus nombreux, plus ouverts. Ils permettent aux élèves de mettre en œuvre des tâches de lecture plus intéressantes, plus engageantes, plus actives. Ces nouvelles possibilités permettent de concevoir quelques applications spécifiques qui peuvent sous certaines conditions améliorer l'apprentissage de la lecture, notamment avec les élèves les plus en difficultés. Mais, de façon générale ces nouvelles possibilités représentent surtout de nouvelles exigences. Un lecteur aujourd'hui doit avoir plus de compétences qu'un lecteur il y a 40 ans. Un concepteur de document aussi doit être plus compétent pour exploiter de façon pertinente ces nouvelles options. Il est fort probable que sur cette question donc, les choses évoluent assez fortement au cours des 20 ou 30 prochaines années.

3. Écouter un document sonore, écouter un texte sonorisé

A. Définition

L'écoute de matériaux sonores enregistrés (musiques, sons naturels, langage oral, textes lus) est une pratique fréquente en classe de langues ou de musique par exemple, bien avant l'arrivée des outils numériques. Ceux-ci n'ont pas changé radicalement la tâche, mais simplement, grâce à ces faibles coûts, il est possible pour chaque élève aujourd'hui d'écouter individuellement, à son rythme, un document sonore. Avant l'arrivée des lecteurs MP3 et des téléphones portables dans les salles de classe, l'activité d'écoute était souvent dirigée par l'enseignant, ou alors elle avait lieu dans des espaces dédiés (laboratoires de langues, par exemple). L'activité d'écoute en classe s'accompagne généralement d'une consigne sur l'enjeu de l'écoute (comprendre, décrire, traduire, etc.) et parfois sur la façon d'écouter (faire une première écoute intégrale, une seconde écoute avec les pauses, prendre des notes, par exemple).

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

L'« écoute d'une œuvre musicale » s'adresse à un public de collégiens (cycle 4). L'objectif est de rendre les élèves capables d'« analyser des œuvres musicales en utilisant un vocabulaire précis ». Par exemple, il s'agit d'identifier que *Les quatre saisons* de Vivaldi est une suite de brefs concertos pour violon, et que le tempo du premier mouvement de L'Automne est joué allegro, et le second adagio. Cette écoute musicale se veut analytique : on peut la considérer comme une activité de traitement de l'information sonore (Eduscol). Elle propose de comprendre un monde sonore particulier, celui d'une œuvre musicale. D'un point de vue de la didactique de la discipline (MEN, 2016), « Écouter », c'est d'abord savoir focaliser son attention sur une source d'informations et s'y concentrer. Si les « sensations » et les « émotions » font partie intégrante du processus visé, elles ne constituent qu'un moyen au service d'une fin : la conversion du regard des élèves sur la musique pour qu'ils parviennent à une « compréhension » de la musique. Cette écoute relève d'un processus d'analyse qui examine les caractéristiques d'une œuvre musicale afin d'en établir son identité musicale. Elle consiste notamment à spécifier ses composantes à l'aide du vocabulaire issu du lexique du langage musical. Par exemple, écouter (un extrait d'une œuvre musicale, c'est préciser la nature des instruments, les variations de tempo (vitesse de la musique : lente, rapide, modérée) ou encore la diversité des hauteurs (grave et

aigu) (Musial & Tricot, 2020). Si l'enjeu, ainsi défini, n'est pas influencé par l'outil utilisé pour écouter, on comprend bien que cette activité quand elle est dirigée par l'enseignant(e) (qui choisit où il (elle) fait des pauses, quand il (elle) revient en arrière), est assez éloignée de l'écoute autonome sur un lecteur MP3.

L'activité d'écoute sur lecteur MP3 en classe de langues vivantes étrangères est présentée dans le rapport de Stéphanie Roussel.

J'aborde l'activité d'écoute d'un texte sonorisé en langue maternelle, par exemple pour les élèves en grande difficulté de lecture, dans la partie 16 au sein de ce rapport.

C. Plus-values et limites

Le fait de pouvoir écouter un document sonore sur un appareil numérique et faire les pauses et retours en arrière que l'on veut quand on veut, que l'on puisse réécouter autant que souhaité le document, présente des avantages certains : chaque élève peut réaliser l'écoute qui lui correspond. Toutefois, la littérature dans le domaine a mis en évidence deux phénomènes qui limitent de façon conséquente ces avantages.

L'effet de l'information transitoire (*transient information effect*) se produit lorsque qu'une modalité de présentation permanente de l'information (par exemple la forme écrite) est transformée en présentation transitoire de l'information équivalente (par exemple sous forme orale), qui détériore l'apprentissage (Leahy & Sweller, 2011). Selon cet effet, l'écoute au lieu de la lecture d'un texte exigeant, n'améliore pas nécessairement la compréhension en raison de l'aspect éphémère du langage oral. L'effet d'information transitoire est obtenu avec des textes longs et complexes (Wong, Leahy, Marcus & Sweller, 2012). Avec des textes courts, l'effet négatif de l'information transitoire disparaît. Le grand avantage des modalités de présentation permanente de l'information réside dans le fait que l'information est perceptivement présente autant qu'un élève en a besoin : au cours de la lecture, un élève peut rester plusieurs secondes sur un mot, s'il en fait le choix. Avec l'information transitoire, dès que cet élève a entendu un mot, il disparaît. Si ce mot est difficile à comprendre, c'est trop tard, l'élève doit continuer à écouter les mots suivants.

La difficulté à prendre la décision de faire des pauses et de revenir en arrière, déjà évoquée par Stéphanie Roussel dans son rapport, relèverait d'un phénomène de surcharge cognitive : alors que l'élève est soumis à un flux d'information transitoire, et qu'elle doit comprendre le sens de ce qu'elle entend (l'écoute comme la lecture-compréhension relève bien de la double tâche, la trop grande exigence de l'une détériorant les performances à l'autre tâche), elle doit, en plus, prendre des décisions d'interrompre le flux. Cette décision est analogue à la décision de demande d'aide évoquée plus bas : l'élève doit prendre conscience qu'elle rencontre une difficulté ; puis prendre la décision d'arrêter ; puis rechercher en arrière dans le document sonore à partir de quand elle veut réécouter, en espérant trouver le bon endroit dans le document et en espérant que cette réécoute va l'aider à mieux comprendre. Dans ces conditions, c'est bien une triple tâche que l'élève met en œuvre. Et les élèves les plus en difficulté pour réaliser la première tâche (encodage) le paieront pour la deuxième (compréhension) et pour la troisième (décision de faire des pauses et retours en arrière). Cette triple tâche fonctionne ainsi comme une double peine (Roussel & Tricot, 2014).

D. Place dans les manuels scolaires

Les manuels scolaires numériques présentent le grand avantage, par rapport aux manuels papier, de pouvoir intégrer des fichiers sons. Toutefois, comme on vient de l'évoquer, l'écoute de documents sonores, même si elle semble « passive » par rapport à des activités comme la lecture ou la résolution de problème (en effet, avec l'écoute, l'élève reçoit de l'information, cette dernière n'est pas le résultat de son action), n'en est pas moins exigeante.

4. Regarder / lire un document multimédia

A. Définition

Un document multimédia mobilise plusieurs modalités sensorielles (vue, ouïe) et plusieurs registres sémiotiques (linguistique, pictural). En croisant ces deux variables, on obtient des documents où :

- un matériau verbal peut être présenté à l'écrit ou à l'oral,
- un matériau verbal pictural correspond à des images qui peuvent être fixes ou animées,
- les uns sont en relation avec les autres : le texte peut commenter l'image, l'image peut illustrer le texte, un fond sonore complète une image, etc.

Dans un document multimédia, les élèves doivent donc encoder des informations différentes, comprendre ces informations et les mettre en relation.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Les documents multimédia sont omniprésents dans les salles de classe et ce bien avant l'arrivée des outils numériques. Ces derniers ont simplement apporté une certaine souplesse dans la mise en relation d'informations présentées différemment (par exemple fichiers sonores mis en relation avec une image, image animée mise en relation avec un texte, etc.). L'omniprésence des documents multimédia en classe correspond au développement d'un domaine de recherche, *multimedia learning*, avec sa « bible » (Mayer, 2014) et sa théorie de référence (voir chapitre 4 de cette même référence pour la présentation de la théorie), et ses innombrables manifestations scientifiques. Pour des exemples d'activités, le lecteur peut se reporter à la partie 1 « Présenter de l'information » ci-dessus.

C. Plus-values et limites

Les documents multimédia ont tout pour plaire en salle de classe et nous avons tendance à leur attribuer des vertus imméritées. Clark et Feldon (2014) ont recensé ces fausses croyances à propos des documents multimédia. Selon ces auteurs, l'examen de la littérature permet d'affirmer qu'il est faux de croire que les documents multimédia :

- améliorent l'apprentissage par rapport à l'enseignement en présence ou par rapport aux médias plus anciens ;
- sont plus motivants que les autres supports d'enseignement ;
- permettent de concevoir des agents pédagogiques animés (avatars par exemple) qui facilitent l'apprentissage ;

- tiennent compte des différents styles d'apprentissage et améliorent ainsi l'apprentissage pour tous les élèves ;
- facilitent la mise en œuvre d'approches constructivistes et d'apprentissage par la découverte qui favorisent les apprentissages ;
 - ainsi que l'autonomie et le contrôle de la séquence d'enseignement par l'élève ;
 - la mise en œuvre d'une pensée de plus haut niveau ;
 - l'apprentissage incident ;
 - l'interactivité ;
 - des environnements et des activités d'apprentissage authentiques.

Les principaux effets des documents multimédia sur l'apprentissage, mis en évidence expérimentalement et répliqués, sont recensés dans l'ouvrage de Mayer (2014) :

- **Principe multimédia** : les élèves apprennent mieux avec des mots et des images qu'avec des mots seuls.
- **Principe de l'attention partagée ou de contiguïté spatiale et temporelle** : les élèves apprennent mieux lorsque les mots et les images sont intégrés physiquement et temporellement, présentés près plutôt que loin les uns des autres sur l'écran. Pour en savoir plus sur le sujet, le lecteur peut lire la méta-analyse Ginns (2006).
- **Principe de modalité** : les élèves apprennent mieux quand le document présente une information picturale et un commentaire oral, que lorsqu'il présente une information picturale et un commentaire écrit. Pour en savoir plus sur le sujet, le lecteur peut lire la méta-analyse de Ginns (2005).
- **Principe de redondance** : les élèves apprennent mieux lorsque la même phrase n'est pas présentée à l'oral et à l'écrit. Pour en savoir plus sur le sujet, le lecteur peut lire la méta-analyse de Adesope et Nesbit (2012).
- **Principe de segmentation** : les élèves apprennent mieux lorsqu'un message multimédia est présenté de façon segmentée (avec des pauses) plutôt que de façon continue.
- **Principe d'enseignement préalable ou des connaissances antérieures** : les élèves apprennent mieux d'un support multimédia lorsqu'ils connaissent les noms et les caractéristiques des principaux concepts mobilisés dans le document.
- **Principe de cohérence ou des détails séduisants** : les élèves apprennent mieux lorsqu'on enlève du document toutes les informations non pertinentes, décoratives, sans lien avec l'apprentissage.
- **Principe de signalisation** : les élèves apprennent mieux lorsqu'on ajoute des indices qui mettent en exergue l'organisation du contenu et les informations les plus importantes, au bon moment et au bon endroit (*i.e.* quand le principe de signalisation respecte le principe de contiguïté spatiale et temporelle, ainsi que le principe de redondance). Pour en savoir plus sur le sujet, le lecteur peut lire la méta-analyse Richter, Scheiter et Eitel (2016).
- **Principe de personnalisation, voix et image** : les élèves apprennent mieux lorsque les mots d'une présentation multimédia sont dans un style conversationnel plutôt que formel et lorsque les mots sont prononcés dans une voix humaine standard plutôt que par une voix synthétique ou une voix humaine étrangère ; mais les élèves n'apprennent pas nécessairement mieux quand l'image du locuteur est à l'écran (ou alors, il faut que ce locuteur utilise ses bras, son corps, les expressions de son visage au service de son enseignement).

D. Place dans les manuels scolaires

Les manuels scolaires numériques sont des documents multimédia, sans toutefois qu'une littérature spécifique ne soit consacrée au sujet ; si bien que la communauté professionnelle des concepteurs de manuels scolaires numériques ne connaît pas forcément très bien la littérature sur l'apprentissage multimédia (voir Malti, 2018 pour un exemple d'étude sur transposition des connaissances sur l'apprentissage multimédia à destination des concepteurs de manuels scolaires).

5. Regarder une vidéo, une animation

A. Définition

Une vidéo ou animation est définie comme une « série d'images, de manière que chaque image apparaisse comme une altération de l'image précédente » (Bétrancourt & Tversky, 2000). Autrement dit, chaque image n'existe que de façon transitoire pour être remplacée par les images suivantes ; ainsi, on n'a pas besoin de représenter le temps (par une flèche par exemple), c'est le déroulement de l'animation elle-même qui représente le temps (Ainsworth, 2008). Les animations peuvent être contrôlées par le système ou par l'élève (qui peut alors décider où faire des pauses, où revenir en arrière). Le mot « animation » est plutôt utilisé pour désigner les représentations virtuelles, schématisées, abstraites, tandis que le mot « vidéo » est plutôt utilisé pour désigner les représentations plus réalistes, à partir de captures de la réalité.

Lowe (2003) identifie trois variantes de l'animation : les transformations, dans lesquelles les propriétés des objets comme la taille, la forme et la couleur, changent ; la translation, dans laquelle les objets se déplacent d'un endroit à un autre ; les transitions, dans lesquelles les objets disparaissent ou apparaissent.

Le visionnage d'animations ou d'images dynamiques en classe avait été envisagé par Thomas Edison dès le début du XX^e siècle, avec le développement du cinéma, puis par d'autres lors de l'arrivée de la télévision et enfin celle des magnétoscopes. S'il est aujourd'hui beaucoup plus pratique de montrer ou de faire manipuler ces animations aux élèves, l'apport pour les apprentissages ne relève pas du bon sens : par exemple, ce bon sens pourrait nous faire croire que pour comprendre un phénomène dynamique la meilleure représentation est forcément dynamique.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Les différentes utilisations de vidéos en situation d'enseignement ou de formation peuvent être catégorisées ainsi :

- Apprendre un fait, une connaissance factuelle : la vidéo documentaire présente un fait, un résultat scientifique ou un événement, dans toutes les disciplines.
- Apprendre un concept : l'animation est utilisée pour illustrer de façon abstraite un concept, typiquement en SVT ou en sciences physiques.
- Apprendre un geste : l'animation est utilisée pour représenter les différentes étapes d'un geste (de la main) à effectuer, un peu comme l'apprentissage par imitation, typiquement dans les disciplines professionnelles.

- Apprendre un mouvement : l'animation est utilisée pour représenter et décomposer un mouvement du corps, un peu comme dans l'apprentissage par imitation, typiquement en EPS.
- Toutes les combinaisons sont possibles : par exemple, en sports collectifs, la vidéo peut être utilisée pour apprendre un concept et des mouvements, une stratégie d'équipe.

C. Plus-values et limites

L'effet de l'information transitoire, abordé dans la partie 3 de ce rapport, concerne aussi les vidéos et les animations. Ainsworth (2008) ou Lowe (2003) résument les limites des animations sous forme d'un paradoxe : ces dernières sont parfois « submergeantes » (*overwhelming*). Les caractéristiques de l'animation (information transitoire, images parfois complexes, représentant des interactions complexes entre les parties d'un tout, ajout de commentaires) sont telles que le système cognitif de l'élève est incapable de traiter efficacement toute l'information. Mais d'autres fois elles produisent un effet de « sous-estimation » ou désengagement (*underwhelming*) : les élèves ne sont pas suffisamment engagés pour que l'information disponible soit traitée de manière « cognitivement active ». Les animations qui fournissent une représentation directe d'un système dynamique peuvent amener les apprenants à simplement observer ces dynamiques telles qu'elles sont représentées, sans trop se poser de questions.

La méta-analyse de Höffler et Leutner (2007) porte sur la comparaison entre animations et images statiques et a recensé 26 articles. Les résultats montrent un avantage global moyen des animations par rapport aux images statiques. L'effet moyen sur la performance d'apprentissage est positif mais modéré ($d = 0,37$). Les analyses des modérateurs indiquent des tailles d'effet plus importantes lorsque l'animation est de nature figurative (elle représente une information pertinente) plutôt que décorative ($d = 0,40$), lorsque l'animation est très réaliste, par exemple sur vidéo ($d = 0,76$) – à condition que ce réalisme soit pertinent et non pas décoratif –, et/ou lorsque la connaissance à apprendre est procédurale ou motrice ($d = 1,06$). Cependant, pour ces dernières animations, les auteurs n'ont trouvé que 5 études. Pour en savoir plus sur le sujet, le lecteur peut lire les travaux de Wong *et al.* (2009) par exemple qui illustrent ces résultats positifs pour les apprentissages procéduraux – moteurs et les étayent au plan théorique.

La méta-analyse plus récente de Berney et Bétrancourt (2016) porte sur la comparaison entre animations et images statiques et a recensé 50 articles. Un effet en faveur de l'animation (donc en défaveur des images statiques) a été trouvé, avec une valeur g de Hedges = 0,23 (faible donc). Les analyses des modérateurs, c'est-à-dire des variables intermédiaires qui pourraient modérer l'effet des vidéos, indiquent des tailles d'effet substantielles. L'effet positif de la vidéo est supérieur lorsque l'animation est contrôlée par le système ($g = 0,31$), lorsqu'elle est couplée à un commentaire sonore ($g = 0,37$) ou lorsque le document ne comporte aucun texte d'accompagnement ($g = 0,88$). Les auteurs n'ont trouvé que peu d'études où l'apprentissage visé était procédural (*i.e.* où il fallait apprendre à faire quelque chose), mais pour ces 6 études, l'effet obtenu est supérieur ($g = 0,39$) aux cas où l'apprentissage est déclaratif, de type factuel ($g = 0,33$) ou conceptuel ($g = 0,16$).

La thèse de Aïmen Khacharem (2013) illustre parfaitement à quel point l'utilisation de vidéos comme support de compréhension ne relève pas du bon sens. Les vidéos en question concernaient la compréhension de tactiques d'équipe en football. Quoi de plus simple qu'une vidéo pour comprendre une tactique d'équipe ? Les résultats montrent que seuls les footballeurs experts (semi-professionnels,

jouant depuis plus de 10 ans et plus de 10 heures par semaine) comprennent ces vidéos. Les novices (connaissant le football mais ne le pratiquant pas) ne comprennent pas, et leur compréhension est améliorée si on fait des arrêts sur image et/ou des ralentis. Mais les amateurs de football sur canapé n'ont pas forcément conscience de leur incompétence...

Dans une étude remarquable, Edwards et Clinton (2018) se sont intéressés à l'impact de la mise à disposition de vidéos de cours magistraux auprès de 160 étudiants de Licence en sciences (cours obligatoires). Les étudiants avaient donc le choix, pour certains cours magistraux, de regarder la vidéo ou d'aller en cours. Les résultats montrent que lorsque la vidéo est disponible, les étudiants vont beaucoup moins en cours. Les étudiants qui vont quand même en cours obtiennent de meilleurs résultats à l'évaluation que ceux qui suivent les cours en vidéo. Les auteurs ont remarqué que 28 étudiants (parmi les 160) ne vont pas en cours mais ne regardent pas les vidéos non plus. Au contraire, 30 étudiants vont en cours et regardent les vidéos (certains même les regardent plusieurs fois). En d'autres termes, la mise à disposition de vidéos de cours fait croire, à tort, aux étudiants qu'ils peuvent apprendre en regardant les vidéos. En n'allant pas en cours ils ont tendance à prendre du retard et ils ne peuvent pas poser de questions à leur professeur, ni écouter les réponses de ce professeur aux autres étudiants. La vidéo ne résout en rien le problème des étudiants qui n'ont pas envie d'apprendre. Au contraire, les étudiants les plus motivés et les plus stratégiques, non seulement vont en cours mais utilisent la vidéo comme support complémentaire, au moment des révisions par exemple. En d'autres termes, les apprenants qui s'engagent le plus dans la consultation de contenus additionnels sont ceux qui certainement en ont le moins besoin en raison de leur degré élevé de motivation et de compétences.

D. Place dans les manuels scolaires

Les vidéos et les animations constituent des plus-values remarquables pour les manuels scolaires numériques par rapport aux manuels papier. Cependant la littérature dans le domaine montre que l'effet positif des vidéos et des animations n'est obtenu que sous certaines conditions : pertinence et parfois réalisme de l'information présentée, apprentissage procédural ou factuel, animation contrôlée par le système, et couplée à un commentaire sonore plutôt qu'écrit. Lowe et Boucheix (2017), qui sont sans doute les deux chercheurs qui ont le plus contribué au domaine, tant dans la production de résultats empiriques que dans l'élaboration théorique, invitent à repenser radicalement la conception de vidéos et d'animations pour l'apprentissage : selon eux, l'animation doit être composée progressivement, partie après partie, de façon cumulative.

6. Prendre des notes

A. Définition

La prise de notes est une activité fréquente dans l'enseignement secondaire et supérieur. Elle peut sembler banale et sans grand intérêt au regard des activités « nobles » comme la résolution de problèmes, mais elle a donné lieu à de très nombreux travaux qui montrent que c'est une activité exigeante (Piolat, Olive & Kellogg, 2005) et que la manière de prendre des notes a un effet majeur sur la qualité de l'apprentissage (Kiewra *et al.*, 1991). La prise de notes peut donner lieu à un engagement

cognitif important et produire un apprentissage de qualité (Fiorella & Mayer, 2015), pour certaines connaissances, selon certaines conditions.

La recherche sur la prise de notes distingue les conditions « guidées » et les conditions « non-guidées ». Dans les conditions guidées, les élèves reçoivent un support de prise de notes préparé par l'enseignant(e), ce support contenant des indications comme la structure du cours (qui constitue alors un squelette pour la prise de notes), les titres et sous-titres (qui peuvent aussi être présentés au tableau), voire le texte quasi intégral, avec seulement quelques passages à compléter (les « textes à trous »). Le guidage peut aussi correspondre à des passages pris sous la dictée du (de la) professeur(e). Les conditions non guidées laissent aux élèves l'entière responsabilité de la prise de notes.

Il est important de comprendre pour la suite que la prise de notes produit typiquement un « effet Matthieu » (Kiewra, 1988 ; Wetzels, Kester, van Merriënboer & Broers, 2011) : les élèves qui ont le moins de connaissances sur le sujet du cours le comprendront moins bien, ils auront par conséquent des difficultés à prendre des notes de qualité (au lieu de *verbatim*, les notes de qualité sont synthétiques, centrées sur ce qui est important et elles rendent compte de l'organisation du contenu), et ces notes de piètre qualité ne les aideront pas au moment de la relecture. Inversement, les élèves qui ont le plus de connaissances sur le sujet du cours le comprendront bien, ils prendront des notes de qualité (synthétiques, bien organisées) et ces notes les aideront à mieux comprendre encore au moment de la relecture.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

La prise de notes sur ordinateur portable ou sur tablette est devenue une activité banale dans les établissements de l'enseignement supérieur et parfois aussi dans l'enseignement secondaire.

C. Plus-values et limites

La célèbre étude de Mueller et Oppenheimer (2014) est évoquée dans le rapport de Potocki et Billottet (Cnesco, 2020) : elle montre que la prise de notes sur ordinateur portable détériore la qualité de la prise de notes. L'utilisation de l'outil (ordinateur + clavier + logiciel de traitement de texte) aurait un effet négatif par le biais d'une augmentation de la charge cognitive de la tâche intermédiaire (c'est-à-dire pas la prise de notes elle-même, mais sa réalisation technique). Il semble qu'avec l'ordinateur la prise de notes soit plus littérale / moins synthétique. La méthodologie de l'article a été critiquée, une note qui corrige plusieurs erreurs est maintenant disponible (en début d'article dans la version disponible depuis 2018). Jansen, Lakens et IJsselsteijn (2017) notent que les résultats contraires, c'est-à-dire en faveur de prise de notes par ordinateur, obtenus par Schoen (2012) et Bui *et al.* (2013), sont peut-être explicables par le fait que le cours de Mueller et Oppenheimer (2014) était une conférence TEDx enregistrée, sans doute moins complexe sur le plan du contenu que les cours utilisés par Schoen (2012) et Bui *et al.* (2013). Mais, pour Jansen, Lakens et IJsselsteijn, si cette différence est notable entre les études, elle n'explique pas *pourquoi* la prise de notes à la main a eu un effet bénéfique par rapport à la prise de notes sur ordinateur chez Muller et Oppenheimer. Il faut remarquer aussi que dans l'étude de Schoen (2012), les étudiants obtiennent de meilleures performances à un post-test de mémorisation avec la prise de notes sur ordinateur mais seulement lorsque la prise de notes concerne un cours. Quand il s'agit de prendre des notes à partir d'un texte, cet effet bénéfique disparaît et un effet significatif d'interaction est obtenu : les notes prises avec ordinateur sont meilleures en cours, tandis que les notes prises à la main sont meilleures avec un texte lu. Il faut donc sans doute considérer

que l'étude de Mueller et Oppenheimer montre comment, dans les recherches qui comparent prises de notes manuscrite et tapuscrite, certains aspects doivent être contrôlés (en particulier les étudiants ne doivent pas faire autre chose que prendre des notes, ils ne sont pas connectés à Internet, le cours doit être exactement le même dans chaque condition expérimentale etc.), mais les lacunes de cette étude montrent aussi que bien d'autres variables doivent être contrôlées.

La prise de notes sur ordinateur portable aurait aussi un effet délétère sur le travail des autres élèves, car ces derniers regardent l'écran de l'étudiant qui fait autre chose que prendre des notes (Sana, Weston & Cepeda, 2013).

Aragón-Mendizábal et ses collègues (2016) ont conduit une expérience originale avec 251 étudiants. Deux conditions expérimentales sont comparées : la prise de notes à la main, avec 211 étudiants et la prise de notes par ordinateur, avec 40 étudiants. L'originalité de l'étude réside dans les tâches proposées aux participants. Les étudiants devaient « écrire les lettres de l'alphabet dans l'ordre le plus rapide possible et le plus grand nombre de fois possible pendant 30 secondes », puis « écrire autant de phrases que possible en 2 minutes », puis ils devaient « recopier une liste de mots ». Les résultats montrent que les étudiants avec ordinateur réussissent mieux à écrire l'alphabet, à écrire des phrases et à reconnaître les mots. Cependant, les étudiants qui écrivent à la main obtiennent de meilleurs résultats pour la tâche de rappel de mots. Selon les auteurs, l'ordinateur permet de prendre des notes plus vite, mais l'écriture manuscrite améliore la qualité des notes comme outil d'aide à la mémorisation.

L'apprentissage de l'écriture manuscrite *versus* sur clavier montre des résultats cohérents avec ceux de Velay, Longcamp et Zerbato-Poudou (2004) : les élèves qui apprennent à écrire à la main reconnaissent mieux les lettres que ceux qui apprennent au clavier. Et les auteurs ajoutent : « Parce que nous apprenons simultanément à lire et à former les lettres en les traçant, nos aptitudes à la lecture pourraient en partie dépendre de notre manière d'écrire ».

La littérature sur la prise de notes est en outre un exemple typique de cas où la perception des élèves est favorable à l'usage du numérique (Barak, Lipson & Lerman, 2006 ; Mitra & Steffensmeier, 2000) quand les professeurs sont, au contraire, plutôt en défaveur de ces outils. Selon l'enquête de Skolnick et Puzo (2008) cependant, les étudiants et les enseignants sont d'accord sur le fait que l'utilisation d'ordinateurs portables en cours augmente le risque d'être distrait par le web : plus de la moitié des étudiants interrogés reconnaissent avoir utilisé des ordinateurs portables pour participer à des activités non liées au cours.

En conclusion, les études qui comparent la prise de notes manuscrite vs sur ordinateur sont encore loin de nous permettre d'avoir des certitudes sur les avantages et les inconvénients de chacune de ces façons de faire.

7. Poser des questions, demander de l'aide

A. Définition

La demande d'aide est la troisième grande solution que peuvent utiliser les humains en général, et les élèves en particulier, quand ils manquent de connaissances dans une situation : ils peuvent tenter de

résoudre le problème par eux-mêmes, en tâtonnant (voir la partie 9 de ce rapport), rechercher de l'information (partie 8), ou demander de l'aide, c'est-à-dire s'engager dans un dialogue avec un pair ou avec un expert (sur la difficulté relative de la recherche d'information vs la recherche d'aide dans les environnements numériques, voir Tricot & Boubée, 2013). Cet autrui peut maîtriser la connaissance manquante et la transmettre à l'élève, ou va aider l'élève à l'élaborer, ou encore la co-élaborer avec lui.

La littérature sur la demande d'aide en contexte scolaire montre avec entêtement et depuis longtemps un paradoxe : ce sont les élèves qui ont le plus besoin d'aide qui sont les moins pertinents dans leur demande ; au contraire, les élèves qui ont peu besoin d'aide sont souvent pertinents et efficaces quand ils ont besoin d'aide. La recherche d'aide implique en effet de prendre conscience que l'on rencontre une difficulté, *i.e.* que l'on sache que l'on manque de connaissances et de quelle connaissance on manque ; puis que l'on sache formuler cette lacune sous forme d'une question, d'une requête ; et enfin que l'on sache évaluer si cette aide... aide vraiment (Huet, Dupeyrat & Escribe, 2013). En outre, la recherche d'aide représente un coût social (parce qu'elle implique d'interagir, de négocier, de communiquer avec quelqu'un d'autre) personnel (perception de soi, comme incompetent), émotionnel, motivationnel, cognitif et métacognitif. Tous ces coûts conduisent certains élèves à ne pas demander d'aide alors qu'ils en ont besoin (Karabenick & Newman, 2013 ; Nelson Le Gall, 1985).

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

La demande d'aide dans un environnement numérique (Aleven *et al.*, 2003 ; Karabenick & Puustinen, 2013), ou la « recherche d'aide » (*help seeking* dans la littérature internationale), se réalise de plusieurs manières différentes :

- L'élève demande de l'aide à un interlocuteur via un ordinateur (un forum, un *chat*, une messagerie, etc.), cet interlocuteur va lire la question et tenter d'y répondre. Dans certains cas, le dialogue est synchrone, d'autres fois il est asynchrone.
- L'élève recherche une aide déjà existante, une réponse à sa question, dans une banque d'aides ou de réponses, par exemple une liste des questions les plus fréquentes et leurs réponses (FAQ).
- L'élève signale qu'il a besoin d'aide, celle-ci lui est fournie directement, il n'a pas à choisir. Dans ce cas, l'aide est dite « contextuelle » : elle est spécifique à la tâche en cours, voire même à une étape de la tâche en cours.
- La demande d'aide est suggérée ou proposée à l'élève, avant même qu'il ou elle formule cette demande.

Un peu comme dans les travaux sur l'évaluation, l'aide fournie aux élèves peut correspondre à des contenus différents : l'aide peut concerner la totalité de la procédure à mettre en œuvre (expliquer à l'élève comment faire), voire la réalisation de la procédure elle-même (faire à la place de l'élève), ou seulement l'étape en cours (déblocage), elle peut aussi concerner les explications sur les raisons d'utiliser telle connaissance (pourquoi faire comme ça), ou sur la connaissance elle-même (compréhension de la connaissance, de la situation).

C. Plus-values et limites

La demande d'aide en situation d'apprentissage présente une plus-value importante quand elle fonctionne bien : la personne a su demander de l'aide de façon pertinente et elle a reçu une aide

pertinente. Non seulement cette aide est bénéfique pour la réalisation de la tâche mais elle l'est aussi pour l'apprentissage (Karabenick & Newman, 2013).

La demande d'aide à un interlocuteur via un ordinateur permet de s'adresser à un autrui potentiellement compétent, quand aucune personne dans l'entourage de l'élève ne peut aider ou quand l'élève ne veut pas demander d'aide à son entourage. On ne connaît pas bien les mécanismes qui conduisent un élève à juger qu'un autrui est compétent pour l'aider, mais il semble que ces mécanismes soient très anciennement mobilisés par les humains et probablement par d'autres mammifères sociaux (Tomasello, 2009) ; en outre, le choix d'un autrui compétent est mis en œuvre très tôt au cours du développement de l'enfant, avant l'arrivée à l'école élémentaire (*e.g.* Coughlin, Hembacher, Lyons & Ghetti, 2015).

Concernant la difficulté à formuler la demande d'aide à autrui via un ordinateur, Puustinen, Volckaert-Legrier, Coquin et Bernicot (2009) ont analysé les demandes d'aide d'élèves de collège sur un forum en mathématiques. Il y a des différences interindividuelles importantes dans la compétence à formuler une demande d'aide. Par exemple, les élèves les plus âgés formulent des demandes d'aide plus explicites, contenant plus d'informations, notamment contextuelles. Les messages des élèves de 3^e sont par conséquent plus compréhensibles et plus acceptables socialement que ceux des élèves de 6^e.

La demande d'aide échappe à la rationalité. Dans un environnement numérique comme dans les autres environnements, les élèves prennent des décisions parfois non rationnelles. Si la décision de rechercher de l'aide est rationnelle, alors elle est prise quand le bénéfice apporté par l'aide est supérieur au coût de la recherche d'aide, multiplié par la probabilité de trouver une aide pertinente (Lery Santos, Tricot & Bonnefon, 2020). Or, en situation, les élèves ont des difficultés à estimer les coûts et surtout ils ne prennent pas en compte la probabilité de recevoir une aide pertinente. Les coûts sociaux peuvent être moins importants, voire absents, dans des environnements numériques (Lery Santos, 2018) qui peuvent être perçus comme garants d'un certain anonymat : la peur de paraître incompetent est parfois moins importante.

Enfin, la recherche d'aide dans un environnement numérique présente un coût supplémentaire : le coût de la manipulation des outils (Huet, Dupeyrat & Escribe, 2013) et de la formulation d'une requête écrite.

8. Rechercher de l'information

A. Définition

Les élèves recherchent de l'information en classe et hors de la classe, pour préparer un exposé par exemple. La recherche d'information (RI maintenant) correspond à un usage fréquent des outils numériques en classe (rapports de Fluckiger et de Potocki & Billottet). Cette tâche scolaire n'est pas nouvelle : avant l'arrivée des moteurs de recherche sur Internet, les élèves réalisaient déjà des recherches documentaires (recherche d'un livre dans une bibliothèque par exemple), ils recherchaient un article ou d'une illustration au sein d'une encyclopédie, une définition dans un dictionnaire, etc. L'activité de recherche d'information correspond donc aux cas où un individu est en train de réaliser une autre tâche scolaire (par exemple préparer un exposé), il n'a pas les connaissances suffisantes pour réaliser cette seconde tâche, et plutôt que trouver ces connaissances en réfléchissant ou en

demandant de l'aide à autrui, il va rechercher cette connaissance manquante dans un document (Tricot & Comtat, 2012). Pour cela, l'individu va essayer d'élaborer une idée plus ou moins précise de la connaissance qui lui manque, ce qui va lui permettre de formuler une requête, puis examiner les résultats retournés par le moteur de recherche, en sélectionner un (ou plusieurs) qu'il comprend et qu'il juge plus pertinent, fiable ou pratique que les autres, et commencer à traiter le document qu'il a sélectionné. Selon que ce traitement confirme ou infirme sa première évaluation de la compréhension / pertinence / fiabilité / aspect pratique du document, il va continuer à traiter et commencer à exploiter ce qu'il a trouvé pour avancer dans son activité (la préparation d'un exposé, pour reprendre notre exemple). Si un document ou une liste de résultats ne sont pas jugés satisfaisants, alors l'individu peut reformuler sa requête ou simplement examiner un autre résultat dans la liste. La RI peut aussi provenir du fait qu'un individu a du temps disponible : il peut alors utiliser ce temps libre pour se cultiver, par exemple, en recherchant des documents sur un sujet qui l'intéresse (Papinot, Macedo-Rouet & Tricot, 2018).

Si l'activité de recherche d'information n'est pas nouvelle, elle a été profondément bouleversée par l'arrivée du numérique. Les bouleversements concernent la vitesse (trouver un document est extrêmement plus rapide), la facilité à trouver (les moteurs de recherche retournent une réponse même quand la requête ne correspond à aucune réponse exacte), la couverture (les moteurs de recherche généralistes s'étendent à des milliards de documents), la quantité de réponses (les moteurs de recherche peuvent retourner des milliers de réponses), les médias trouvés (on peut rechercher et trouver des vidéos ou des fichiers sonores par exemple) et enfin la fiabilité des sources (les moteurs de recherche retournent des documents produits par n'importe qui – de la personne la plus savante à la plus ignorante, de la plus honnête à la plus manipulatrice – à propos de n'importe quel sujet).

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

La recherche d'information étant, d'après notre définition, une tâche secondaire, au service d'autres (comme préparer un exposé, réaliser une synthèse documentaire, etc.) il est peu pertinent de décrire la recherche d'information de façon décontextualisée. La tâche principale, elle, présente peu d'intérêt en soi, tant elle a son économie propre (préparer un exposé en recherchant des informations sur un ordinateur ou dans une bibliothèque reste la préparation d'un exposé, avec ses objectifs, ses critères, etc.). Il y a cependant quelques exemples d'activités « intermédiaires » qui sont rapportées dans la littérature et qui ont été suffisamment modifiées par l'arrivée du numérique : le copié-collé, concevoir / rédiger un document, mettre en forme un texte. Quand un élève recherche de l'information en vue de préparer un exposé, rédiger un texte, réaliser une synthèse, etc. il est fréquent qu'il réalise une collecte : il présélectionne certains documents, ou passages de document, qu'il va traiter ensuite. Ces documents présélectionnés sont par exemple copiés dans un document de collecte ou rangés dans un dossier (Boubée, 2007). C'est ensuite sur ces documents collectés que l'élève va réaliser son travail de synthèse. Cette activité de collecte n'a pas été inventée avec les outils numériques, mais rendue beaucoup plus pratique et efficace.

C. Plus-values et limites

La recherche d'information avec des outils numériques a donné lieu à d'innombrables travaux, des synthèses ont été publiées (Boubée & Tricot, 2010 ; Case, 2007), certaines spécifiquement sur la recherche d'information chez les jeunes (Boubée & Tricot, 2011), certaines spécifiquement à des

domaines, comme celui de la santé (Cline & Haynes, 2001) et certaines mêmes sur les jeunes et la santé (Gray *et al.*, 2005), etc. Des modèles cognitifs de l'activité de RI ont été proposées, en français (Tricot & Rouet, 1998) et en anglais (Rouet, Britt & Durik, 2017).

Cette littérature a pris en compte très tôt le paradoxe de l'arrivée des outils numériques : ils rendent la RI plus facile et plus difficile que celle mise en œuvre avec des supports papiers. Les facilités viennent d'être évoquées, et elles expliquent à elles seules le fait que la recherche d'information soit devenue tellement présente dans nos vies quotidiennes et dans les salles de classe, en à peine quelques décennies. Je ne vais pas m'attarder sur ces plus-values indiscutables, mais plutôt sur les difficultés rencontrées par les élèves (je ne reviendrai pas non plus sur le fait que bien des difficultés en RI sont partagées par de nombreux adultes).

La gestion du but informationnel. Quand un élève recherche de l'information c'est parce qu'il manque de connaissances pour réaliser une activité. Prendre conscience que l'on manque de connaissances n'est pas spécialement aisé pour les humains en général (Tricot, Sahut & Lemarié, 2016) : c'est souvent dans les domaines où l'on est savant que l'on sait précisément ce que l'on ne sait pas, tandis que dans les domaines où l'on est ignorant, cette prise de conscience est particulièrement difficile (par exemple, en football, on compte en millions le nombre d'incompétents assis sur leur canapé qui sont persuadés qu'ils comprennent mieux le football que l'entraîneur de l'équipe nationale). Quand un élève a réussi cette difficile prise de conscience de son déficit de connaissances, il faut qu'il puisse exprimer ce déficit avec des mots. Mais comment exprimer avec des mots ce que l'on ne sait pas ? Si on avait les mots pour le dire, on serait sans doute moins ignorant sur le sujet ! Dans de nombreuses situations donc, le but de la recherche d'information est flou et il est exprimé de façon approximative. Avant les moteurs de recherche, les professionnels de la documentation consacraient un temps important à aider les personnes qui venaient à la bibliothèque ou au centre de documentation, à exprimer clairement leur besoin. En court-circuitant des documentalistes, les moteurs de recherche ont donc permis un nouveau type de recherche : la RI à but flou. Depuis une bonne vingtaine d'années, les travaux se sont donc focalisés sur cette RI à but flou. Il semble que, dans de nombreux cas, ce soit la lecture des premiers documents trouvés qui permettent de préciser son but, quitte à le faire évoluer, voire à le perdre de vue (Rouet & Tricot, 1995).

L'examen de la liste de résultats. Les moteurs de recherche retournent typiquement une liste d'une dizaine de résultats par page. S'il y a mille résultats à la requête, ils sont donc présentés sur cent pages. Le plus souvent, la personne qui cherche ne consulte en réalité que la première page, souvent en croyant (à tort²) que ces dix premiers résultats sont les plus pertinents. Cette personne ne va d'ailleurs pas lire intégralement les dix résultats, mais plutôt les deux ou trois premiers. Pour les résultats suivants, la personne va lire seulement quelques mots, voire un mot. Le résultat sélectionné sera le plus souvent le premier ou un des premiers de la liste (Granka, Joachims & Gay, 2004 ; Cutrell & Guan,

² Les moteurs de recherche généralistes que nous utilisons le plus souvent, comme *Google*, ne sont que des moteurs de recherche : ils ne retournent pas des documents pertinents (qui correspondraient au besoin de l'utilisateur) mais des documents qui correspondent plus ou moins bien aux mots utilisés dans la requête. Par ailleurs, les algorithmes de ces moteurs de recherche classent les résultats en fonction d'autres critères que la correspondance avec les mots de la requête : par exemple, le premier algorithme conçu par les créateurs de *Google* (Page, Brin, Motwani & Winograd, 1998) prenait en compte le nombre de liens qui pointent vers le document, le nombre de liens qui partent de ce document. Ensuite, le classement prenait en compte la popularité des documents qui pointaient vers le document dont on mesurait la popularité : plus un document était pointé par des documents nombreux et populaires, plus il était populaire. Voir Cardon (2015) pour une présentation plus complète.

2007). Ainsi, alors que les premiers résultats ne sont pas les plus pertinents (sauf heureux hasard), leur position dans la liste va fortement influencer la décision de les sélectionner.

Le biais de confirmation. Les élèves, comme les humains en général, ont tendance à préférer les documents qui corroborent leur point de vue, plutôt que les documents qui le contredisent. Cette préférence sera mise en œuvre lors de la sélection du document, mais aussi l'évaluation et la compréhension de celui-ci. Par exemple, si dans la liste de résultats il y a un document qui s'intitule « Une étude scientifique confirme les bienfaits du bio sur la santé » et un autre « Une étude scientifique montre que manger bio n'améliore pas la santé », l'opinion préalable des personnes les conduira à sélectionner préférentiellement l'un ou l'autre des documents (Lescarret *et al.*, 2019). Quand ils liront le document, leur opinion influencera aussi leur compréhension. Mais, comme le montrent Lescarret *et al.* (2019), les élèves ont tendance à modérer leur point de vue quand ils consultent un document qui corrobore ou s'oppose à leur point de vue initial. Alors qu'au contraire, les adultes montrent une forte tendance à renforcer leur point de vue initial quand ils lisent un document qui s'oppose à ce point de vue. Cette tendance se retrouve, par exemple, dans les pratiques informationnelles des militants écologistes étudiées par Savolainen (2007). Cette recherche de confirmation conduit au renforcement des opinions et croyances. Poussé à son paroxysme, le biais de confirmation évoqué plus haut aboutit à une adhésion aux thèses conspirationnistes (Bronner, 2013). Convaincu que la « vérité » est volontairement cachée pour sauvegarder les intérêts de tel ou tel groupe, l'adepte du complot se montre particulièrement imperméable aux formes d'expertise les plus reconnues venant contredire ses croyances. Les sources scientifiques peuvent ainsi se voir accusées de collusion avec le pouvoir dominant et donc d'œuvrer pour pérenniser la version « officielle » et « dissimulatrice » (Tricot, Sahut & Lemarié, 2016).

Le jugement de pertinence. Si un élève recherche de l'information car il manque de connaissances pour réaliser une tâche, le jugement de pertinence correspond à l'évaluation de la capacité du document à combler ce manque de connaissances, et à lui permettre de réaliser la tâche. Ce jugement a été l'objet de très nombreux travaux qui montrent à quel point il est complexe. Selon Boubée et Tricot (2010), « une moyenne de 30 critères [de pertinence] est souvent avancée mais Schamber a en identifié plus de 80 ». Comme déjà dit ci-dessus, le jugement de pertinence porte sur une liste de documents qui ont été retournés par le moteur de recherche non pas pour leur pertinence pour l'utilisateur mais parce qu'ils correspondent à certains termes de la requête et qu'ils ont des caractéristiques de « centralité » ou d'« importance » estimées statistiquement. Ce décalage entre la pertinence du point de vue de l'utilisateur et les résultats proposés est peu connu de nombreux usagers. Ensuite le jugement de pertinence est relatif à deux dimensions qui viennent d'être présentées : le déficit de connaissances et l'utilité espérée pour la tâche en cours. Ces deux dimensions peuvent être contradictoires, par exemple quand la tâche en cours est de préparer un exposé et que l'élève cherche une illustration, il peut trouver un document très pertinent du point de vue des connaissances mais ne contenant pas d'illustration. Le document sera à la fois pertinent et non-pertinent. Enfin, le jugement de pertinence est en quelque sorte « contaminé » par d'autres jugements, en particulier de qualité de la source (dont la fiabilité que nous allons évoquer ci-dessous), de la mise en forme du titre du document (par exemple, tel mot mis en gras va accroître la pertinence perçue par l'élève), du fait que le titre est compris, et surtout qu'il soit jugé intéressant et récent (Taylor *et al.*, 2007).

L'évaluation de la fiabilité des sources. Quand les élèves évaluent un document, ils évaluent notamment la fiabilité de la source de ce document. La littérature pléthorique sur l'évaluation de la

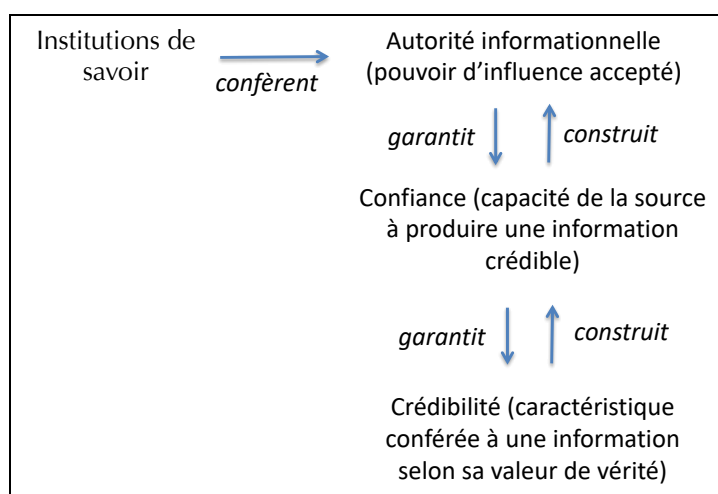
fiabilité des sources permet d'en identifier trois dimensions : l'évaluation de la crédibilité, celles de la confiance et de l'autorité sont mobilisées pour juger de la fiabilité d'une source (Kelton, Fleischmann & Wallace, 2008 ; Rieh, 2010 ; Tricot, Sahut & Lemarié, 2016). Selon les derniers auteurs :

La crédibilité est une caractéristique conférée à une information selon la croyance en sa valeur de vérité. La crédibilité de l'information est souvent inférée à partir de la confiance accordée à la source. Une source qui produit de manière régulière des messages crédibles est jugée fiable. S'installe alors une relation de confiance avec le lecteur. La confiance (épistémique) caractérise une relation dans laquelle un récepteur attribue à une source la capacité à produire une information crédible. Une source qui acquiert la confiance d'un grand nombre de personnes, gagne en autorité. L'autorité d'une source correspond à la reconnaissance et l'acceptation de son pouvoir d'influence, ce qui signifie que le lecteur accepte que la source puisse modifier ses opinions, ses connaissances, ses décisions. Garante de confiance, elle indique une relation préférentielle envers une source dans un domaine de connaissance quand il existe une pluralité de sources disponibles. L'autorité d'une source repose sur des mécanismes sociaux (pp. 103-104).

Traditionnellement, les relations entre les trois dimensions fonctionnaient ainsi : l'autorité, conférée par une institution de savoir à la source, garantit la confiance que le lecteur peut avoir en la source, confiance qui garantit la crédibilité de l'information. De plus en plus, une nouvelle relation s'instaure entre ces trois dimensions : l'expérience répétée de crédibilité d'une information permet de construire peu à peu une confiance dans la source, notamment quand cette confiance est partagée par d'autres individus du groupe social de l'élève. Cette confiance, quand elle est renouvelée, permet peu à peu de construire l'autorité de cette source.

La compréhension. Que ce soit lors de la lecture de la page de résultats ou la consultation du document lui-même, la compréhension joue un rôle très important dans la recherche d'information. Or un élève peut très bien comprendre quelque chose qui n'est pas dans le document, sa compréhension peut être incomplète, erronée, etc. Les travaux dans le domaine ont en outre mis en évidence le phénomène de l'illusion de savoir : quand un lecteur n'a pas compris un texte, il a tendance à croire qu'il a compris quelque chose, notamment dans des domaines où il sait très peu.

Figure 1. Les relations entre autorité, confiance et crédibilité de la source



Source : Tricot, Sahut et Lemarié (2016)

Le traitement des sources multiples. Au cours d'une recherche d'information, un élève collecte généralement plusieurs documents. La compréhension de documents multiples est une activité exigeante, par exemple quand il faut comprendre que deux sources relatent différemment le même événement, au point que certains aspects semblent contradictoires entre eux. Si comprendre c'est élaborer une représentation cohérente du contenu d'un document, alors comment comprendre ce qui comporte des contradictions ? Une solution consiste à rejeter une source, par exemple parce qu'on n'est pas d'accord avec elle. Mais en dehors de cette solution radicale, le traitement des sources multiples qui accepte de prendre en compte que le monde est complexe, pas toujours très cohérent, implique, d'après Braten *et al.* (2011) :

- L'élaboration d'un modèle de situation, c'est-à-dire un travail de corroboration pour comparer les documents ou les parties de documents à la recherche des convergences et des contradictions.
- L'identification des sources, avant la lecture.
- L'évaluation des documents et des caractéristiques des auteurs.
- L'identification de l'origine des contradictions, et des accords concernant une information importante ou qui est l'objet d'une incertitude préalable.
- L'identification des liens entre les sources et les contenus (qui dit quoi ?) et l'utilisation de cette information pour interpréter le contenu.
- Un travail de corroboration pour comparer les perspectives et recherche des convergences et des contradictions entre ces perspectives.

Rouet et Britt (2011) insistent sur le fait que ces traitements cognitifs complexes ont lieu pendant la recherche d'information : ils résultent et influencent la représentation qu'un élève se fait de son besoin d'information, mais aussi la façon dont il formule ce besoin, dont il sélectionne les documents etc.

9. Résoudre des problèmes et calculer

A. Définition

Dans un sens général, résoudre un problème c'est essayer d'atteindre un but dans une situation alors qu'on manque de connaissances pour le faire ; on doit alors raisonner, tâtonner et interpréter l'effet de son action sur la situation, raisonner encore, etc. Faire un exercice au contraire, c'est faire ce que l'on sait déjà faire. Comme le remarquent Poisard, Gueudet et Bueno-Ravel (2009) un exercice n'existe pas « en soi » mais par la place qu'on lui donne dans un scénario pédagogique. Un problème devient un exercice ou reste un problème selon qu'il est au début ou à la fin de la progression. Souvent, ce qui pourrait être un exercice, dans le sens où tel élève maîtrise déjà la connaissance, se relève en réalité être un problème, parce que cet élève ne parvient pas à mobiliser la ou les connaissances pertinentes.

Dans cette partie, je traite spécifiquement de l'activité de résolution de problèmes numériques et algébriques et de l'aide (indirecte) que les calculatrices apportent à cette activité. L'arrivée à l'école des calculatrices a modifié non seulement les tâches de résolution de problèmes (délégant certains calculs à la machine, pas la résolution de problème elle-même), mais la réalisation même de certains calculs (on n'extrait plus une racine carrée en posant l'opération sur le papier par exemple). Le choix de se focaliser sur les calculatrices dans la résolution de problème est argumenté par Waits et Demana

en 2000, qui dressent une synthèse sans concession à propos de l'apport des outils numériques à l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques : « On peut soutenir que la chose la plus importante que nous avons apprise concerne les ordinateurs de bureau et pourquoi ils ont eu très peu d'impact direct sur l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques à l'école. » En revanche, pour ces auteurs « les calculatrices causent des changements dans les mathématiques que nous enseignons » mais aussi « la façon dont nous enseignons et dont les élèves apprennent ».

Ce point de vue d'experts est étayé par la méta-analyse de Li et Ma (2010), qui examine l'impact des outils numériques sur l'enseignement des mathématiques sur toutes les années de la scolarité, dans les classes de maternelle à la terminale. Les auteurs ont analysé 46 publications. Les résultats montrent des effets positifs statistiquement significatifs de l'utilisation des outils numériques sur les résultats en mathématiques. L'effet est plus important chez les élèves du primaire que chez des élèves du secondaire, plus important chez les élèves à besoins particuliers que chez les élèves ordinaires. Les effets des calculatrices ne sont pas inclus dans la méta-analyse de Li et Ma parce que, selon ces auteurs, « la méta-analyse de Hembree et Dessart (1986) a déjà réalisé ce travail ». Cheung et Slavin (2013) ont conduit une méta-analyse portant sur 75 publications. Les résultats ont montré une taille de l'effet faible ($d = 0,15$) et une grande hétérogénéité des tailles d'effet. Les auteurs indiquent que la variation des tailles d'effet est plus grande que ne peut l'expliquer une simple erreur d'échantillonnage.

Pour une vue détaillée de l'apport des outils numériques dans l'enseignement et l'apprentissage des nombres, du calcul et de l'algèbre, le lecteur pourra se référer au rapport de Brigitte Grugeon-Allys et Nadine Grapin (Cnesco, 2020). Pour la géométrie, il pourra se rapporter à celui de Sophie Soury-Lavergne (Cnesco, 2020). Les méta-analyses, qui regardent les choses de tellement haut, ne disent à peu près rien sur le sujet.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Goos *et al.* (2003) décrivent quatre types d'usages de la calculatrice pour la résolution de problèmes :

- Les situations où l'élève « subit » la calculatrice, qui réalise des calculs que celui-ci ne comprend pas ; l'utilisation est limitée à un ensemble restreint d'opérations pour lesquelles l'élève n'est pas compétent. L'asservissement de l'élève peut devenir une dépendance si le manque de compréhension des mathématiques l'empêche d'évaluer les résultats affichés par la calculatrice. Un élève de 1^{re} interrogé par Goos *et al.* dit « on peut devenir trop dépendant à la calculette. Au lieu de vouloir savoir comment et pourquoi, on veut simplement faire... ».
- Les situations où la machine assiste l'élève dans un calcul, lui permettant d'obtenir un résultat plus fiable, plus rapidement ; la calculatrice est utilisée comme une alternative au calcul mental ou aux calculs papier – crayon, notamment pour les activités longues et répétitives, mais les tâches restent inchangées.
- Les situations où la machine est le partenaire de l'élève, elle lui permet d'explorer différentes perspectives, d'accéder à des ressources, notamment des représentations graphiques, qui lui permettent de mieux comprendre ; la calculatrice est utilisée de façon créative pour accroître la maîtrise de l'apprentissage par les élèves. Dans les travaux en petits groupes, l'utilisation d'une calculatrice peut également favoriser la discussion entre pairs, lorsque les élèves sont regroupés pour comparer leurs écrans.

- Les situations où la calculatrice est une extension de l'élève, il « fait un » avec elle, et avec elle il peut explorer des domaines qu'il n'explorerait pas sans (c'est le cas du « calcul formel »), mais là encore le rôle de l'enseignant est fondamental pour maîtriser les risques d'erreurs cognitives. Un élève de fin de Terminale, interrogé par Goos *et al.*, dit que la calculatrice lui « permet d'élargir mon esprit parce que je sais que j'ai le pouvoir de mettre en œuvre des techniques complexes », ou pour un autre élève de Terminale que cela « permet d'élargir vos idées et de faire le travail à votre façon ». Les élèves qui ont ce niveau de maîtrise expriment donc un sentiment d'autonomie et un estompement des frontières entre l'esprit et la technologie.

C. Plus-values et limites

La méta-analyse de Hembree et Dessart (1986) porte spécifiquement sur les calculatrices. Les auteurs analysent 79 publications qui ont pour objectif d'évaluer l'effet des calculatrices sur les performances scolaires et sur l'attitude des élèves en mathématiques. Les résultats montrent, qu'en moyenne, l'utilisation de calculatrices entraîne de meilleures performances que le papier - crayon, tant dans les exercices que dans la résolution de problèmes. En revanche, l'effet n'est pas obtenu pour les élèves de 4^e année (CM1). Pour toutes les classes et pour tous les élèves, l'utilisation des calculatrices a un effet positif sur l'attitude à l'égard des mathématiques et une représentation de soi particulièrement meilleure.

Trouche (2005) note que, comme d'autres outils de calcul, les calculatrices ont été prises en compte de manières très différentes au sein de l'institution scolaire : les élèves s'approprient rapidement cet outil, en le considérant comme une aide potentielle à leur travail mathématique ; les enseignants hésitent à les intégrer dans leur pratique professionnelle ; les programmes mathématiques en France s'efforcent de promouvoir l'utilisation de ces outils.

Burrill et ses collaborateurs (1992) ont fait la synthèse de la recherche scientifique sur l'utilisation des calculatrices graphiques et conclu que les élèves qui utilisent ces outils comprennent mieux les fonctions, les variables, et sont plus performants en résolution des problèmes d'algèbre dans des contextes appliqués, ainsi que dans l'interprétation des graphiques. Aucune différence significative dans les compétences n'a été constatée entre les élèves qui utilisent les calculatrices graphiques et ceux qui ne l'utilisent pas. Ce qui veut dire, selon les auteurs (dans le contexte de leur époque, où la méfiance envers les calculatrices graphiques était encore très forte), qu'une utilisation intensive des calculatrices ne nuit pas nécessairement à l'acquisition de compétences par les élèves.

D. Place dans les manuels scolaires

Les calculatrices sont complètement intégrées dans les programmes et dans les manuels scolaires (voir l'analyse détaillée dans le rapport de Brigitte Grugeon-Allys et Nadine Grapin, 2020).

10. S'entraîner

A. Définition

Historiquement la recherche sur les exercices démarre très tôt (*e.g.* Thorndike, 1921 ; Little, 1934 ; Brownell & Chazal, 1935). S'entraîner concerne surtout les connaissances procédurales (les savoir-faire, démarches, automatismes) que l'on met en œuvre de façon répétée, pour les renforcer :

- soit pour que les différentes composantes de la procédure (la séquence d'actions ou d'opérations) s'associent entre elles, pour former un tout ;
- soit pour que le domaine d'application du savoir-faire soit mieux connu, mieux défini, voire étendu ; dit autrement, le but est que l'élève sache dans quelles conditions il ou elle peut mettre en œuvre ce savoir-faire ;
- soit pour transformer progressivement le savoir-faire en automatisme, qui sera alors déclenché et mis en œuvre sans contrôle conscient de la part de l'élève, rapidement et avec un coût cognitif extrêmement réduit.

Refaire ce que l'on sait faire a un effet puissant sur les apprentissages. Dans une méta-analyse sur le taux optimal de « déjà connu » dans des séries d'exercices, Burns (2014) montre que les effets les plus importants sont obtenus avec les taux 70 %-85 % et 90 % de « déjà connus », comparativement aux taux de <50 % et 50 %-60 %.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

S'entraîner est mis en œuvre à travers des exercices. Ces derniers sont différents des problèmes où l'élève ne sait pas comment faire, doit raisonner, tâtonner, découvrir, etc. Avec les exercices que les élèves savent déjà faire, il s'agit bien de renforcer un savoir-faire existant :

- les exercices d'application consistent à transformer une connaissance déclarative (ce que l'élève a compris) en connaissance procédurale (savoir-faire) ; le guidage direct (étude d'un ou plusieurs exercices résolus) et le feedback informatif (qui indique l'erreur et explique comment faire - aide procédurale -, voire la connaissance qu'il fallait mobiliser - aide notionnelle -) constituent des éléments cruciaux de la réussite de l'apprentissage ;
- les exercices d'entraînement consistent à renforcer un savoir-faire existant par la répétition, en faisant varier les conditions d'application ; le feed-back immédiat et informatif est alors un élément crucial de la réussite de l'apprentissage ;
- les exercices d'automatisation consistent à transformer un savoir-faire existant par la répétition à l'identique ; le feed-back immédiat est là encore un élément crucial de la réussite de l'apprentissage.

Les exercices sont les outils numériques qui correspondent à cette fonction pédagogique. Les exercices numériques sont largement développés à partir de la fin des années 1960 au sein de l'enseignement programmé d'inspiration behavioriste. Si, à la fin des années 1980 et pendant les années 1990, les exercices étaient diffusés sur disquettes puis cédéroms, omniprésents notamment dans les environnements ludo-éducatifs, ils aujourd'hui surtout accessibles sur des bases d'exercices en ligne, dans de très nombreuses disciplines scolaires, ainsi qu'en formation professionnelle.

C. Plus-values et limites

La plus-value des exercices numériques (dans la littérature on trouve aussi « informatisés » ou « sur ordinateur ») est attestée par de nombreuses synthèses des études empiriques, dont la première est, à notre connaissance, publiée par Vinsonhaler et Bass en 1972 : par rapport aux mêmes exercices présentés sur papier, les exercices présentés sur ordinateur améliorent l'apprentissage. Les auteurs de cette première synthèse mettent en exergue le fait que ces résultats sont obtenus dans différentes disciplines (scientifiques, linguistiques, artistiques). L'explication de ce résultat positif est généralement liée à l'effet du feedback immédiat informatisé (voir dans ce même rapport), et à la possibilité d'optimiser la série d'exercices en fonction du niveau initial des apprenants et/ou de leurs réussites au cours de la série (Pavlik, Bolster, Wu, Koedinger & Macwhinney, 2008). Quand les exercices numériques sont utilisés en classe, les élèves demandent moins d'aide à l'enseignant que quand les mêmes exercices sont présentés sur papier (Lemercier *et al.*, 2001).

Les limites des exercices numériques sont celles des exercices :

- ils ne concernent que les apprentissages visant à renforcer un savoir-faire, ils ne permettent pas d'apprendre quelque chose de nouveau (bénéficier d'un enseignement à propos de comment on résout tel problème permet de mieux apprendre que simplement s'exercer, *e.g.* Tournaki, 2003 ; étudier des problèmes résolus est aussi une manière redoutablement efficace d'apprendre un savoir-faire nouveau, Sweller, 2006).
- ils ne concernent que des apprentissages relativement simples ; dès que les apprentissages sont complexes (par exemple tel savoir-faire est utilisé si la condition A est remplie mais pas si la condition A est associée à la condition B, mais B ne suffit pas à rendre le savoir-faire utilisable), les exercices ont un effet plus limité voire nul (voir par exemple la méta-analyse de Torgerson et Elbourne, 2002, à propos de l'apprentissage de l'orthographe).
- ils ne concernent que des apprentissages bien définis, *i.e.* ceux pour lesquels il est possible de concevoir des exercices avec une (ou plusieurs) réponses correctes bien définies, le reste étant considéré comme des réponses erronées.

D. Place dans les manuels scolaires

Par rapport au manuel scolaire papier, les exercices sur supports numériques présentent une forte plus-value (correction immédiate et intégrée, alors que dans le manuel papier la correction est décalée, souvent présentée en fin de volume). Pourtant, peu de manuels scolaires numériques exploitent cette possibilité (Malti, 2018). Certains éditeurs présentent même deux offres séparées : le manuel d'une part, les exercices en ligne d'autre part.

11. Jouer

A. Définition

Si l'utilisation des jeux pour apprendre n'est pas nouvelle, elle a trouvé dans les environnements numériques une seconde jeunesse, avec ce que l'on a appelé le ludo-éducatif dans les années 1990, puis une troisième jeunesse avec les *serious games* au début des années 2000. Jouer pour apprendre recouvre des idées ou des arguments assez hétérogènes entre eux : (a) en jouant avec un « vrai jeu » (avec un but du jeu, une règle du jeu, un ou plusieurs joueurs, un début et une fin) on peut en tirer des

bénéfices secondaires en termes d'apprentissage ; (b) jouer augmente la motivation, donc en présentant la situation d'enseignement comme relevant du jeu on augmente la motivation des élèves ; (c) il est possible de concevoir des jeux sérieux qui sont à la fois des jeux et des situations d'enseignement. J'aborderai un quatrième cas dans la partie 23, celui des jeux de simulation. Fondamentalement, le numérique n'a pas changé la donne, il n'a pas permis l'émergence d'une 5^e idée, mais a remis sur le devant de la scène des idées souvent anciennes.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Les jeux pour apprendre sont extrêmement nombreux, plusieurs sont présentés dans la synthèse récente et en français d'Alvarez, Djaouti et Rampnoux (2016), ainsi que les critères pour les choisir et les conditions pour les utiliser en classe, je ne vais donc pas revenir sur ces points. Les activités de jeux pour apprendre peuvent se résumer comme suit.

Jouer pour jouer, apprendre de façon incidente. Dans cette approche, le joueur apprend à son insu. Dans l'idéal, le joueur sera alors capable de transférer dans un autre contexte ce qu'il ou elle a appris en jouant. Dans ce cas, l'activité a bien toutes les caractéristiques du jeu : il y a un but du jeu, une règle du jeu, une situation de départ et une fin du jeu (avec la possibilité de recommencer), avec typiquement (mais non systématiquement) un gagnant et un perdant. L'apprentissage correspondrait alors au fait qu'en jouant régulièrement à tel ou tel jeu le joueur met en œuvre des processus cognitifs qui sont ainsi « entraînés ». Par exemple, les célèbres travaux de Bavelier et Green (2003, 2009, 2016) montrent qu'en jouant régulièrement à un jeu de tir à la première personne, le joueur met en œuvre son attention sélective puisqu'il doit identifier ses ennemis (et leur tirer très vite dessus) mais aussi ses amis (et se retenir de leur tirer dessus). Quand on présente au joueur un test qui ne relève pas du jeu mais qui met en œuvre le même processus d'attention sélective, alors ce joueur sera en moyenne plus performant qu'un joueur témoin qui a joué à un autre jeu. Mayer (2016) rapporte aussi une étude avec le jeu Tetris : en jouant à ce jeu, les participants réussissent mieux une tâche de rotation mentale que les personnes qui pendant le même temps ont joué à un autre jeu. Mais dans une autre étude, le même auteur invalide ce résultat (Pilegard & Mayer, 2018). Ces résultats sont plus difficiles à obtenir quand le groupe témoin met en œuvre les mêmes processus pendant le même temps dans un environnement non ludique (Lorant-Royer *et al.*, 2010). Les résultats sont obtenus avec des processus cognitifs dits de « bas niveaux » (perception, attention) ; bien avant l'arrivée des jeux vidéo, les travaux avec les joueurs d'échecs, pendant un siècle, n'ont pas réussi à montrer autre chose qu'un apprentissage spécifique au jeu d'échecs (Gobet, 2011) : pour les processus de haut niveau (raisonner, comprendre, prendre des décisions, conceptualiser, etc.), le transfert de ce qui a été appris en jouant semble particulièrement difficile.

Apprendre en sachant (plus ou moins) qu'on apprend, mais dans un environnement amusant, l'attention est (plus ou moins) détournée de la situation d'enseignement. Dans ce type de cas, l'activité relève bien de l'apprentissage, c'est l'environnement qui est visuellement amusant, des personnages amusants sont présents, les messages sonores amusants sont délivrés. Par exemple, l'individu doit réaliser une opération mathématique et quand il obtient un résultat correct il reçoit un message de félicitation enjoué de la part d'un avatar. L'avantage de cette approche réside dans le fait que les ressources cognitives de l'apprenant ne sont pas dévolues à un jeu mais bien à la réalisation de tâches d'apprentissage. L'inconvénient est que cet environnement ludique, s'il est mal conçu (trop d'informations non-pertinentes par rapport à l'apprentissage visé), peut provoquer une surcharge

attentionnelle. Ce point est bien documenté dans la littérature empirique et de façon assez ancienne (voir par exemple les travaux de Roxana Moreno et ses collègues, 2001).

Quand on alterne les phases où l'on joue et les phases où l'on réfléchit à ce qu'on a appris, on reçoit des feedbacks. Typiquement, si les élèves doivent apprendre en réalisant une série d'exercices, ils reçoivent un feedback positif et des points quand ils réussissent un exercice. À la fin de la série, leur score correspond à la totalité des points gagnés. Quand ils produisent une réponse incorrecte, ils perdent des points mais ils reçoivent aussi une explication des raisons de l'erreur qui a provoqué une mauvaise réponse. Le jeu peut aussi demander aux élèves de choisir (voire de justifier) le principe ou la démarche qu'ils vont mettre ou qu'ils ont mise en œuvre pour faire l'exercice. Le fait de fournir des feedbacks informatifs et d'inciter à la réflexion améliorent les apprentissages par rapport à la même série d'exercices présentées de façon ludique mais sans feedback ni incitation à la réflexion (Mayer & Johnson, 2010).

Apprendre en jouant. Dans ces cas, le jeu et la situation d'enseignement sont une seule et même chose. Par exemple « la course à 20 » (proposée par Guy Brousseau en 1978) ou « le jeu des annonces³ » pratiqués à l'école élémentaire, sont de véritables jeux avec un véritable apprentissage mathématique. Si ces jeux constituent une catégorie très prometteuse, ils ont fait l'objet de relativement peu d'attention par rapport aux autres. Il est difficile de savoir si la rareté de ces travaux correspond à la rareté de ces jeux ou à un désintérêt des chercheurs.

Créer des jeux. Cette activité, qui relève de la pédagogie par projet, est à l'image de cette catégorie de situations d'enseignement : particulièrement difficile à évaluer. Sans doute pour des raisons méthodologiques donc, il est peu près impossible de connaître les plus-values en termes d'apprentissage. Mais les activités de création de jeu ont bien les caractéristiques des projets en enseignement : les élèves définissent le but ou participent à sa définition, ils élaborent la démarche de conception, généralement en étant aidés (à leur demande ou en cas de difficultés avérées) ou guidés (avant qu'ils ne le demandent), puis conçoivent et réalisent le jeu.

C. Plus-values et limites

L'étude des plus-values liées aux jeux sérieux a été l'objet de plusieurs méta-analyses récentes (Bediou *et al.*, 2018 ; Clark, Tanner-Smith & Killingsworth, 2016 ; Girard, Ecalte & Magnan, 2013 ; Sailer & Homner, 2020 ; Wouters, Van Nimwegen, Van Oostendorp & Van Der Spek, 2013 ; Wouters & Van Oostendorp, 2013), certaines portant sur des domaines spécifiques, comme les plus-values liées aux jeux sérieux dans l'éducation à la sexualité (DeSmet, Shegog, Van Ryckeghem, Crombez & De Bourdeaudhuij, 2015), ou dans l'apprentissage des langues vivantes (Peterson, 2010). Un ouvrage synthétique de référence recense les résultats probants dans le domaine (Mayer, 2014), ce dernier auteur ayant abordé directement les conséquences de ces recherches pour les politiques publiques d'éducation (Mayer, 2016).

Dans ces différentes méta-analyses plusieurs points délicats sont régulièrement abordés par les auteurs :

- Les études interventionnelles vs auprès de joueurs réels : les études qui comparent les acquis des joueurs à ceux des non-joueurs donnent des résultats souvent en faveur des joueurs.

³ <http://blog.espe-bretagne.fr/ace/wp-content/uploads/module-1.pdf>

Mais il est alors difficile de savoir si c'est le jeu qui a rendu les joueurs performants dans tel domaine, ou si c'est parce qu'ils étaient performants dans tel domaine que les individus ont décidé de jouer à ce jeu. Dans les études interventionnelles, on recrute des non-joueurs au jeu X. On demande à la moitié des personnes recrutées de jouer au jeu X, tandis que l'autre moitié (le groupe témoin) ne joue pas à ce jeu. Dans les études interventionnelles, les résultats sont moins nettement en faveur du jeu.

- Les études où le groupe témoin ne fait rien vs où le groupe témoin fait quelque chose (il apprend, mais sans le jeu X) : quand le groupe témoin ne fait rien, les effets positifs du jeu sont plus systématiquement obtenus.
- Les études où le groupe témoin est en situation d'apprentissage actif vs où le groupe témoin est en situation d'apprentissage passif : quand le groupe témoin est en situation d'apprentissage passif, les effets du jeu sont nuls.
- Les études où le temps du groupe contrôle et du groupe expérimental sont identiques vs les études où le temps est différent : quand le groupe témoin passe moins de temps à apprendre, les effets positifs du jeu sont plus systématiquement obtenus.
- Les études où les effets positifs sont obtenus sont plus souvent publiées que les études où aucun effet n'est obtenu. Selon Bediou *et al.*, 2018, ce biais de publication « gonflerait » les effets moyens positifs de l'ordre de +30 %.

Donc, dans les études où toutes choses sont égales par ailleurs, les résultats sont les suivants :

- jouer à des jeux vidéo d'action produit un effet moyen significatif mais modéré à faible sur les apprentissages dans le domaine des processus attentionnels descendants (comme l'attention sélective) et de la cognition spatiale ;
- l'effet des jeux sérieux sur la motivation des élèves est en moyenne nul : il y a en effet une certaine naïveté à croire que les élèves comparent seulement le jeu à la situation de classe ; ils comparent aussi le jeu sérieux à un vrai jeu vidéo, et dans ce cas, la comparaison est cruelle pour les jeux sérieux ;
- l'effet des jeux sérieux est significatif mais faible, voire nul ; pour être efficace un jeu sérieux doit remplir un certain nombre de conditions intrinsèques (étapes du jeu au service de l'apprentissage, présence de feedbacks, limitation des exigences attentionnelles dévolues à autre chose qu'à l'apprentissage) mais aussi extrinsèques (présentation de l'objectif d'apprentissage avant, apprentissage actif, *debriefing* et explicitation pendant et après le jeu). Pour en savoir plus, le lecteur pourra lire la synthèse de Mayer (2019).

D. Place dans les manuels scolaires

Depuis plus de 20 ans, certains manuels scolaires penchent fortement vers le « ludoéducatif » et intègrent les jeux.

12. Motiver

A. Définition

Un des arguments les plus entendus à propos des outils numériques est qu'ils favorisent la motivation des élèves, soit parce que « c'est de leur génération », soit parce que « c'est amusant, décontracté,

cool, etc. », soit enfin parce le numérique a des qualités intrinsèques qui favorisent la motivation (interactivité, multimodalité, images dynamiques, adaptation aux caractéristiques ou aux intérêts particuliers de tel ou tel élève). Ces arguments, qui relèvent globalement de l'effet de mode, sont tenus par des personnes naïves à propos de l'enseignement et/ou qui ont quelque chose à vendre. Mais ils rencontrent aussi le point de vue des professionnels. Par exemple, dans l'étude d'Anna Potocki et d'Éric Billottet présentée dans leur rapport pour le Cnesco (2020), plus de 90 % des enseignants interrogés sont d'accord avec l'affirmation selon laquelle « les élèves sont plus motivés » avec les outils numériques. L'effet des outils numériques sur la motivation des élèves a été l'objet de nombreuses investigations, dont nous rendons compte ici.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Améliorer la motivation des élèves en utilisant des outils numériques, relève de différentes stratégies :

- la tâche proposée aux élèves est strictement la même (par exemple « lire un texte »), seul le support change, typiquement le support papier vs l'écran d'ordinateur ;
- la tâche proposée aux élèves est modifiée par l'outil numérique, car non seulement le support change, mais le mode opératoire de la tâche est profondément modifié : par exemple « écrire un texte » avec un ordinateur correspond non seulement à un changement de support au passage du stylo au clavier, de la feuille de papier à l'écran, mais aussi à la présence de fonctions dans les logiciels de traitement de texte qui sont absentes du papier (comme la correction d'erreurs d'orthographe lexicale, ou la mise en gras d'un mot) ;
- la tâche proposée aux élèves n'existe pas sans le support numérique, comme de nombreux jeux vidéo qui n'ont pas d'équivalents dans le monde physique.

C. Plus-values et limites

Établir les plus-values des outils numériques sur la motivation scolaire n'est pas aisé, pour plusieurs raisons.

Certaines études confondent la motivation scolaire avec la satisfaction ou l'envie des élèves. Le fait qu'un outil plaise ou donne envie aux élèves n'entraîne pas nécessairement une amélioration de la motivation, de l'engagement réel, soutenu, de l'élève dans l'activité scolaire proposée (Passey *et al.*, 2004). Pour être motivé, il faut en effet croire que l'on est capable d'apprendre et de mettre en œuvre l'activité proposée ; il faut aussi que l'apprentissage proposé ait une valeur, de l'importance pour l'élève. Imaginez que l'on vous propose de lire un texte classique du 18^e siècle japonais et que ce texte ne soit pas traduit : le fait de vous proposer ce texte sur écran va-t-il changer quelque chose à votre motivation à lire le texte ? Par ailleurs, la croyance de l'individu dans sa capacité à réaliser la tâche proposée peut être affectée par le fait que cette tâche sera réalisée avec un outil numérique, certains élèves ayant une solide conviction de ne pas être compétent pour utiliser tel ou tel outil. Les recherches actuelles cherchent donc à caractériser le plus précisément possible les motivations de chaque élève à utiliser des outils numériques (par ex. Senkbeil & Ihme, 2017).

L'adéquation tâche / outils est aussi un paramètre très important. Par exemple, Amadiou et Tricot (2014) ont recensé des études qui montrent des attitudes positives envers les tablettes et leur utilisation pour l'apprentissage chez les élèves, mais aussi chez les enseignants (McCabe, 2011 ; Morris *et al.*, 2012). Les utilisateurs perçoivent ces outils comme engageants pour les tâches d'apprentissage ; ils contribueraient à l'acquisition de compétences et de connaissances. Pecoste (2014) a mis en

évidence l'influence de la nature de la tâche d'apprentissage sur l'intention à utiliser l'outil. L'étude a comparé deux tâches à effectuer avec une tablette tactile : une tâche de lecture-compréhension d'un document hypermédia⁴ et une tâche de production-révision d'écrit. Les résultats ont clairement montré que pour des utilisateurs novices dans l'utilisation de tablettes, réaliser une tâche de lecture-compréhension améliore la perception de l'utilité et l'intention d'usage des tablettes, alors qu'à l'inverse une tâche de production-révision les diminue. Ainsi, l'adéquation des tâches à l'outil ou au dispositif utilisé participe directement à la perception de l'utilité de l'outil et donc à la motivation de l'apprenant à utiliser l'outil. Ces travaux nous apprennent que la motivation à utiliser une technologie pour apprendre dépend du contexte d'utilisation et du type de tâche qui est réalisé avec cette technologie.

Le paradoxe préférence/performance : Amadiou et Tricot (2014) ont aussi recensé des expériences menées sur les ordinateurs portables qui montrent l'absence de plus-value de ces outils pour l'apprentissage, alors que les enseignants comme les élèves jugeaient l'introduction de ces ordinateurs portables dans la classe bénéfique pour l'apprentissage et la réussite (Zucker & Light, 2009). Ainsi, même si les apprenants ont une expérience dans l'utilisation des ordinateurs, ils ne possèdent pas nécessairement un jugement précis ou une conscience sur les façons les plus efficaces d'utiliser ces supports d'apprentissage (Oviatt & Cohen, 2010). On parle alors de paradoxe préférence / performance. Ce paradoxe est très bien illustré par une étude de Sung et Mayer (2013) dans laquelle les chercheurs comparent deux méthodes pédagogiques également délivrées sur deux dispositifs (iPad vs iMac). Le dispositif se révèle sans effet sur les performances d'apprentissage. En revanche, les étudiants se déclarent davantage prêts à poursuivre l'apprentissage lors de l'utilisation de la tablette, quelle que soit la méthode pédagogique. Depuis la publication d'Amadiou et Tricot en 2014 et celle de Kirschner et van Merriënboer (2013) qui se posaient la question « *do learners really know best?* » en remarquant l'absence totale d'effet probant dans la littérature sur les préférences d'apprentissage des élèves, la littérature sur le paradoxe préférence / performance a reçu de nouveaux soutiens. Une méta-analyse récente de la littérature empirique sur ce sujet a montré que le lien entre la satisfaction des étudiants et la qualité de l'enseignement, si celle-ci est définie comme la capacité à faire progresser les étudiants dans l'apprentissage des connaissances visées par la formation, est nul (Uttl, White & Gonzalez, 2017). Une étude quasi-expérimentale conduite auprès d'étudiants en médecine montre que ces derniers sont plus satisfaits par la qualité de l'enseignant et des supports de cours quand des biscuits au chocolat sont distribués en cours que lorsqu'il n'y a pas de biscuits en cours (Hessler *et al.*, 2018).

En résumé, si l'effet positif des outils numériques correspond à une conviction forte et générale, il n'est pas du tout sûr que cet effet n'aille au-delà d'une préférence des élèves pour ces outils, préférence qui ne prédirait pas grand-chose des apprentissages réalisés.

D. Place dans les manuels scolaires

Si la littérature empirique sur l'effet des manuels scolaires numériques sur la motivation des élèves est assez faible, cet effet a pu être utilisé comme argument de vente par certains éditeurs ou promoteurs de politiques publiques d'éducation (Mardis & Everhart, 2013). L'étude de Szapkiw, Holder et Dunn (2011) montre que les élèves sont plus motivés par la version numérique de leur manuel scolaire que

⁴ Un hypermédia est un document où des liens revoyant vers d'autres documents, de différents types (vidéos, textes, fichiers sonores par exemple), permettent à chaque lecteur de naviguer selon ses choix.

par la version papier, dans une étude de faible ampleur (un seul cours, 16 élèves en tout, 8 dans le groupe « numérique » et 8 dans le groupe « papier »). Comme le concluent les auteurs : « Bien que la technologie continue d'évoluer et de changer, il est important de déterminer s'il s'agit simplement d'une technologie cool ou si cette dernière améliore vraiment l'apprentissage ». L'étude de Joo, Park, et Shin (2017) montre que plus les attentes à l'égard des manuels numériques sont satisfaites, plus les élèves sont susceptibles de percevoir l'aspect hédonique et l'utilité des manuels numériques ; la satisfaction joue un rôle de médiateur entre les attentes, le plaisir perçu et l'utilité d'une part, et l'intention de continuer à utiliser les manuels numériques d'autre part ; l'utilité perçue et la satisfaction ont une influence directe et positive sur la volonté de continuer à utiliser les manuels numériques ; mais, le plaisir perçu a une influence non significative sur la motivation à utiliser des manuels numériques en présence de collègues (voir aussi les résultats de Kim, Choi & Kim, 2012).

13. Coopérer

A. Définition

Les élèves apprennent ensemble quand ils réalisent conjointement une tâche qui est censée produire un apprentissage. Dans la littérature internationale, le terme d'apprentissage collaboratif (*collaborative learning*) est le plus fréquemment utilisé pour désigner ce type de situation. Parfois, la collaboration est opposée à la coopération, la seconde impliquant un partage de tâches différentes entre les élèves, qui travaillent donc isolément pendant un temps, la première correspond aux cas où les élèves font la même chose en même temps (Dillenbourg, 1999). Parfois on désigne la coopération comme tâche d'apprentissage (un dialogue par exemple ne peut pas être réalisé seul, c'est une tâche nécessairement collective) alors que d'autres fois, la coopération correspond à une façon de s'engager dans la tâche (par exemple, quand les élèves résolvent un problème de mathématiques à plusieurs, la tâche de résolution de problème pouvant être aussi réalisée seul, elle n'est pas intrinsèquement coopérative ; cependant, l'engagement conjoint de plusieurs élèves dans une même tâche peut produire des effets importants, cf. Chi & Wylie, 2014). La collaboration pour apprendre peut être synchrone ou asynchrone, impliquer directement l'enseignant ou non, obéir à un « script » ou non. La littérature dans le domaine est actuellement une des plus importantes de la recherche en éducation : on compte en moyenne 20 000 publications par an contenant l'expression exacte « *collaborative learning* » sur le moteur de recherche *GoogleScholar*. Cette littérature a permis d'identifier les conditions de réussite des apprentissages collaboratifs, qui sont à la fois plus exigeants que les apprentissages individuels, mais qui rendent accessibles certaines tâches trop exigeantes pour être réalisées seul (Kirschner *et al.*, 2018).

Les outils numériques ont joué un rôle très important dans le développement des apprentissages collaboratifs : ils permettent à des élèves d'apprendre ensemble alors qu'ils ne sont pas dans le même lieu. Mais la littérature sur le *computer supported collaborative learning (CSCL)* n'est pas seulement liée aux apprentissages à distance : elle est aussi liée au fait qu'on ne peut pas limiter aux situations solitaires les apprentissages avec des outils numériques. De très nombreux travaux ont donc été consacrés aux situations où les élèves sont dans la même pièce et doivent apprendre ensemble devant un ordinateur, ou coopérer via l'ordinateur (parfois même, uniquement via l'ordinateur, la communication directe étant proscrite). Ces nouvelles possibilités ont produit d'innombrables travaux, qui se sont progressivement structurés en un domaine, avec sa revue internationale (le *International*

Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, depuis 2006), ses colloques (les *CSCL conferences*, depuis 1995) et ses ouvrages de référence, depuis le début des années 1990. Aujourd'hui on peut trouver plus de 40 000 publications académiques avec l'expression exacte « *computer supported collaborative learning* » sur *GoogleScholar*.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Typiquement, les activités relevant du CSCL sont réalisées sur des plateformes d'apprentissage collaboratif, où une tâche d'apprentissage (par exemple résoudre un problème) est réalisée conjointement par plusieurs élèves avec un outil qui permet non seulement de réaliser la tâche mais de collaborer. Parfois, le soutien à l'activité de collaboration est minimal (les élèves peuvent communiquer via l'ordinateur, à l'écrit et/ou à l'oral), tandis que d'autres fois il est extrêmement élaboré : les activités d'élaboration collective du but, de partage des tâches, de gestion du temps, de régulation des échanges, d'évaluation de l'avancée des contributions individuelles, etc. sont soutenues informatiquement (par ex. Moguel *et al.*, 2012). La réalisation de la tâche d'apprentissage peut, elle aussi, être soutenue, en donnant par exemple une représentation partagée de la tâche collective et de son avancement à l'ensemble des participants au groupe.

Potentiellement, toute tâche d'apprentissage peut être réalisée de façon collective sur ordinateur : écrire un texte (c'est même avec cette tâche que les premiers travaux du domaine CSCL ont démarré à la fin des années 1980), préparer un exposé, résoudre un problème, étudier un document, conduire un projet, etc. Mais la littérature en CSCL a donné lieu à un développement très important des travaux sur une tâche originale : l'apprentissage par l'argumentation collective (voir par exemple l'ouvrage de Andriessen, Baker & Suthers, 2013). Les élèves ou étudiants, par exemple à partir de la lecture d'un texte ou de l'étude d'un résultat de recherche, doivent débattre en proposant des arguments et des contre-arguments. Les arguments sont notés et représentés visuellement sur l'écran d'ordinateur, l'outil numérique pouvant soutenir la structuration des relations entre les arguments (d'opposition, de concession, de complémentarité, d'accord, etc.).

Progressivement, la recherche en CSCL s'est orientée vers des activités où l'apprentissage est le produit des interactions au sein d'un groupe. Les élèves n'ont pas une tâche à réaliser qui permettrait l'apprentissage et dont on pourrait se demander si elle est plus efficacement réalisée seul ou en groupe, avec ou sans ordinateur. La tâche n'est plus qu'un prétexte, c'est l'interaction elle-même qui produit les connaissances (comme dans le dialogue socratique, archétype du dialogue épistémique, qui produit des connaissances chez l'un des interlocuteurs au moins ; mais, dans l'idéal, tous les participants à ce type d'interaction peuvent y apprendre).

C. Plus-values et limites

Dans la synthèse récente de Kirschner *et al.* (2018), les auteurs recensent dix conditions pour que les élèves apprennent mieux en groupe : la tâche est suffisamment complexe pour justifier le surcroît de travail ; la réalisation de la tâche est guidée quand les élèves doivent faire face à une nouvelle situation ou à un nouvel environnement de collaboration ; l'expertise des membres du groupe dans le domaine de contenu est élevée ; l'expertise des membres du groupe pour collaborer est élevée ; la taille du groupe est limitée ; chacun sait précisément ce qu'il a à faire ; la répartition des connaissances entre les membres du groupe est homogène ; les membres du groupe ont de l'expérience, ils savent coordonner leurs actions sur les tâches ; les membres du groupe se connaissent, ils ont l'habitude de

travailler ensemble. Les auteurs de cette synthèse mettent en exergue un effet paradoxal qui a occupé une grande partie de la recherche en CSCL : alors que les plateformes d'apprentissage collaboratif sont censées soutenir les activités des élèves, la prise en main et l'utilisation même de ces plateformes peut être tellement coûteuse qu'elle gêne les élèves au lieu de les aider. Kirschner *et al.* mettent cette difficulté en haut de leur liste, juste après celle qui est due à la collaboration elle-même. En effet, la littérature montre bien et depuis longtemps que si la tâche est suffisamment simple pour être réalisée par un élève seul, alors demander de la réaliser de façon collective va probablement détériorer sa réalisation et l'apprentissage. En somme, le CSCL peut agir comme une double peine : non seulement il faut apprendre à plusieurs, ce qui est exigeant, mais en plus il faut le faire via un ordinateur, ce qui rend l'apprentissage et la collaboration plus exigeants encore ! Dans ces conditions, les plus-values peuvent sembler difficiles à trouver.

La première méta-analyse de la littérature sur le sujet a été publiée par Lou, Abrami et d'Apollonia en 2001. Les résultats de cette méta-analyse sont positifs en faveur du CSCL (comparé au même apprentissage réalisé seul sur ordinateur), mais avec une petite taille d'effet ($d = 0,15$). Cette étude est surtout intéressante car les facteurs qui montrent un effet significatif sont exactement ceux que l'on trouve habituellement dans la littérature sur les apprentissages collaboratifs sans ordinateur, comme la taille et la composition du groupe, le guidage, etc. (présentés dans le paragraphe précédent).

La littérature à partir des années 2000 s'organise surtout autour de la résolution du problème posé par la grande exigence du CSCL, et de la solution que représente le fait de proposer un « script » aux élèves (voir la présentation synthétique de Kollar, Wecker & Fischer, 2018). Dillenbourg, dès 2002, avait prévenu que les scripts trop contraignants prennent le risque de dénaturer la collaboration entre élèves, dont l'activité pourrait se réduire alors à suivre le script. Vogel, Wecker, Kollar et Fischer (2017) ont publié une méta-analyse sur les scripts en CSCL. Selon eux, un script « offre un étayage sociocognitif qui permet aux apprenants de s'engager dans des activités de collaboration qui sont considérées comme bénéfiques pour l'apprentissage ». Leur méta-analyse montre que les scripts en CSCL peuvent améliorer les apprentissages. L'apprentissage à l'aide des scripts CSCL entraîne un léger effet positif sur l'apprentissage de connaissances spécifiques, *i.e.* typiquement des connaissances scolaires ($d = 0,20$), et un effet positif important sur les aptitudes à la collaboration ($d = 0,95$), par rapport aux environnements CSCL sans script. Les scripts CSCL peuvent être efficaces pour l'apprentissage de connaissances spécifiques quand ils incitent à des activités transactives (*i.e.* des activités dans lesquelles le raisonnement d'un apprenant s'appuie sur la contribution d'un autre apprenant) et lorsqu'ils sont combinés avec un étayage supplémentaire spécifique au contenu (problèmes résolus, cartes conceptuelles, etc.).

D'autres aspects ont récemment été pris en compte, comme les états affectifs des apprenants (Reis *et al.*, 2018), leur sentiment d'auto-efficacité (Wilson & Narayan, 2016), l'agencement de la salle de classe (Mercier, Higgins & Joyce-Gibbons, 2016), ou la réflexion des apprenants sur leur propre travail commun (Lavoué, Molinari, Prié & Khezami, 2015).

D'autres méta-analyses récentes se focalisent sur un domaine académique particulier, comme les sciences (Hmelo-Silver, Jeong, Faulkner & Hartley, 2017) ou le CSCL mobile (mCSCL). Sung, Yang et Lee (2017) ont analysé 48 articles et thèses de doctorat sur la période 2000-2015. Ils montrent que le mCSCL produit des améliorations significatives pour l'apprentissage collaboratif, avec un effet moyen $d = 0,51$, ce qui signifie qu'environ 70 % des élèves des groupes expérimentaux apprenant avec des

scénarios coopératifs/collaboratifs basés sur les appareils mobiles ont obtenu de meilleurs résultats que leurs homologues qui ont appris individuellement avec des appareils mobiles ou qui ont appris en groupe sans l'aide d'appareils mobiles. Les variables modératrices sont encore les mêmes que celles de la littérature sur les apprentissages collaboratifs.

Enfin, Jeong et Hmelo-Silver (2016) ont essayé d'exploiter cette littérature pléthorique sur le CSCL de façon constructive. Elles ont proposé de définir sept caractéristiques pour que les environnements CSCL produisent de l'apprentissage. Ces auteures lancent en quelques sortes sept défis aux concepteurs des environnements CSCL, qui doivent permettre aux apprenants :

- de s'engager dans une tâche conjointe, où la collaboration est nécessaire, perçue comme telle, où la tâche a du sens et est à la portée des apprenants ;
- de communiquer, aussi aisément que possible, en bénéficiant des avantages de la communication synchrone et asynchrone ;
- de partager des ressources, en étant directement incités à partager, et en bénéficiant d'outils et de stratégies de partage ;
- de s'engager dans une coopération efficace, en structurant le partage des tâches, en fournissant des scripts, mais sans excès ;
- de s'engager dans la co-construction de connaissances, en élaborant des objectifs et des problèmes communs, en partageant des références, en soutenant les discussions productives, en élaborant des traces, des résumés de ce qui a été discuté ou convenu, en disposant d'un espace de travail partagé, en partageant des normes et des attentes socioculturelles ;
- de gérer et de réguler l'apprentissage coopératif, en sachant ce qu'il faut gérer et comment, ce qu'il faut réguler et comment, en développant l'agentivité⁵ chez les apprenants ;
- de trouver et former des groupes et des communautés, en soutenant la formation de ces groupes (e.g. intérêts communs), en aidant les participants à apprendre les uns des autres (e.g. développement d'un système de mémoire transactive), en tenant compte des diverses formes d'interaction (e.g. interaction indirecte par l'intermédiaire d'artefacts).

D. Place dans les manuels scolaires

Le fait que le CSCL soit potentiellement compatible avec toute tâche scolaire implique que les manuels scolaires numériques peuvent inclure des phases de CSCL, par exemple pour la résolution collective d'un problème, l'étude collective d'un document, etc. Cependant, en l'état actuel, ce n'est pas une piste souvent envisagée.

14. Apprendre à distance

A. Définition

L'apprentissage à distance existe depuis que la poste existe. Il s'agit d'une forme d'apprentissage par enseignement (et non pas d'apprentissage informel, sur le tas, par expérience, etc.) où un enseignant(e) et ses élèves ne sont pas dans le même lieu. Ils peuvent cependant communiquer (par

⁵ Selon Bandura, c'est la capacité à influencer intentionnellement sur le cours de sa vie et de ses actions. Autrement dit, c'est la capacité pour un humain à se fixer des buts personnels et à mettre en œuvre des démarches efficaces pour les atteindre.

courrier, puis par téléphone, aujourd'hui par courrier électronique, *chat*, forum, visio-conférence, etc.) et être co-présents. Apprendre à distance est réputé exigeant pour la simple raison que toute l'aide qu'un(e) enseignant(e) apporte à ses élèves dans la classe est différée, parfois extrêmement différée, ce qui entraîne alors une exigence de grande autonomie de la part des élèves. L'exigence de l'apprentissage à distance ne veut pas dire que celui-ci conduit à l'échec, mais qu'il nécessite de la part des élèves un investissement plus important. Par exemple, Neroni *et al.* (2019) ont étudié la relation entre les stratégies d'apprentissage et la réussite académique des étudiants en enseignement à distance. Les participants sont 758 étudiants (âgés de 19 à 71 ans) d'une université d'enseignement à distance aux Pays-Bas. Un questionnaire en ligne est utilisé pour déterminer les stratégies d'apprentissage des étudiants tandis que les notes aux examens servent à mesurer la réussite académique. Les résultats montrent que la gestion du temps, de l'espace et de l'effort, ainsi que l'utilisation de stratégies cognitives élaborées, sont des prédicteurs de la réussite académique, tandis que le contact avec les autres est un prédicteur négatif de la réussite académique. La formation à distance nécessite aussi un enseignement extrêmement bien conçu, structuré, qui soutient l'apprentissage des élèves.

L'exigence d'un enseignement à distance est aussi (et surtout ?) à rapporter au coût d'un enseignement en présence : si le coût de la présence est trop élevé, absolument hors de portée de l'élève, alors l'exigence de l'enseignement à distance paraîtra, comparativement, raisonnable.

Dans cette partie, je ne traiterai pas des MOOC (*Massive Open Online Courses*), les cours en ligne massifs et ouverts, qui, après avoir été l'objet d'un très fort effet de mode, sont aujourd'hui très critiqués, l'engouement passé étant à peu près aussi immérité que le dénigrement actuel. Les MOOC étaient souvent soutenus par un discours sur la personnalisation de l'enseignement : chaque élève /étudiant travailleur, curieux, passionné, etc. aurait pu trouver un enseignement qui répondrait spécifiquement et précisément à son besoin (Amadiou & Tricot, 2014). Selon ces mêmes auteurs, les MOOC constituent au départ un élément de la stratégie marketing des grandes universités américaines pour augmenter leur visibilité, montrer leur compétence, et pour donner envie aux étudiants de s'inscrire chez elles (et y payer les droits d'inscription). Mais, du côté des apprenants, s'inscrire (gratuitement) à un MOOC n'a rien à voir avec l'inscription à un enseignement à distance. On s'inscrit à un MOOC par curiosité, parce qu'on a envie de savoir de quoi ça parle, parce qu'on veut essayer. Si bien que les taux d'abandon faramineux des MOOC n'ont à peu près rien de comparable avec les taux d'abandon à une formation ou à un enseignement ordinaire.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

L'apprentissage à distance correspond aux formes strictes d'enseignement tout à distance et les formes dites d'apprentissage mixte (*blended learning*), où les élèves / étudiants sont en partie à distance et en partie en présence. La littérature dans le domaine s'intéresse à des cas où les élèves / étudiants font le choix d'apprendre à distance et les cas où ils sont contraints, pour des raisons de santé, d'emploi, de lieu d'habitation. Ainsi, il n'est pas certain que les méta-analyses de la littérature prennent toujours bien soin de comparer ce qui est comparable dans le domaine.

C. Plus-values et limites

La méta-analyse de Bernard *et al.* (2004) porte sur 232 études comparatives publiées entre 1985 et 2002 à propos de l'enseignement à distance vs en présence. Les résultats indiquent des tailles d'effet

pratiquement nulles pour les mesures d'efficacité, d'attitude et de mémorisation. Autrement dit, l'enseignement à distance est parfois supérieur parfois inférieur à l'enseignement en présence. Les auteurs concluent que les recherches devraient aller au-delà de la simple comparaison entre l'enseignement à distance et en présence, notamment en prenant en compte la pédagogie.

La même équipe a réalisé une autre méta-analyse sur le même sujet 5 ans après (Bernard *et al.*, 2009). Cette fois-ci, ils prennent en compte les conditions pédagogiques et/ou médiatiques mises en œuvre dans les formations à distance, conditions qui sont censées faciliter les interactions étudiant-étudiant, étudiant-enseignant ou étudiant-contenu. 74 études sont analysées. Dans l'ensemble, les résultats confirment l'importance des trois types de facilitation des interactions : celles-ci améliorent effectivement l'apprentissage, surtout celles qui facilitent les interactions étudiant-étudiant et étudiant-contenu. Les auteurs constatent une forte association entre l'effet de ces facilitations et la réussite des cours d'enseignement à distance asynchrone par rapport aux cours comportant une interaction synchrone ou en présence. Autrement dit, ces « facilitateurs d'interactions » auraient un effet sur l'engagement cognitif là où il est le plus important de soutenir l'engagement : l'enseignement à distance asynchrone.

Toujours la même équipe a réalisé une méta-analyse portant cette fois sur l'apprentissage mixte (*blended learning*) dans l'enseignement supérieur (Bernard, Borokhovski, Schmid, Tamim & Abrami, 2014). Les résultats indiquent que le *blended learning* a un effet positif sur l'apprentissage comparativement à l'enseignement en présence, d'environ un tiers d'un écart-type ($g = 0,34$,) et que le type de soutien informatique utilisé (c'est-à-dire soutien cognitif vs soutien contenu / présentation) et la présence de conditions qui sont censées faciliter les interactions étudiant-étudiant, étudiant-enseignant ou étudiant-contenu, contribuent à améliorer la réussite des étudiants. Toutefois, selon les auteurs, ces résultats justifient la poursuite des recherches sur l'apprentissage mixte en tant qu'option viable, et peut-être supérieure, à l'enseignement en présence et à l'enseignement à distance. Dans bien des cas, l'enseignement en présence et à distance ne sont pas de véritables alternatives, elles s'adressent à des publics distincts : ceux qui peuvent assister aux cours en présentiel et ceux qui ne le peuvent pas ou ne le veulent pas.

Wu et ses collègues (2012) se sont focalisés sur l'apprentissage mobile, *i.e.* l'apprentissage via des téléphones mobiles et des PDA (*Personal Digital Assistants* en anglais, assistants numériques personnels en français). Leur méta-analyse examine 164 études publiées entre 2003 et 2010. La principale conclusion est que 86 % des 164 études sur l'apprentissage mobile présentent des résultats positifs, la principale mesure utilisée dans ces études étant la satisfaction des étudiants.

La méta-analyse de Means, Toyama, Murphy et Baki (2013) porte sur 45 études comparant des conditions d'enseignement à distance ou d'apprentissage mixte avec ceux de l'enseignement en présence. La durée de l'enseignement variait selon les études et dépassait un mois dans la majorité d'entre elles. Les résultats montrent, qu'en moyenne, les élèves en apprentissage mixte obtiennent de meilleurs résultats que ceux qui reçoivent un enseignement en présence. L'effet en défaveur de l'apprentissage en présence disparaît quand on compare ce dernier à l'enseignement à distance. Les auteurs soulignent que les études faisant appel à l'apprentissage mixte ont également tendance à impliquer du temps d'apprentissage supplémentaire, des ressources pédagogiques et des éléments de cours qui encouragent l'interaction entre les apprenants. Cette confusion laisse ouverte la possibilité qu'une ou toutes ces autres variables contribuent aux résultats positifs de l'apprentissage mixte.

Liu *et al.* (2016) ont conduit une méta-analyse sur l'apprentissage mixte mais uniquement pour les formations dans les domaines de la santé. Ils ont recensé 56 études comparant l'apprentissage mixte à l'absence d'intervention ou à un autre type d'intervention. Pour les études comparant les connaissances acquises grâce à l'apprentissage mixte et l'absence d'intervention, la taille de l'effet est de $d = 1,40$, sans biais de publication significatif. Pour les études comparant l'apprentissage mixte et l'apprentissage non mixte (enseignement à distance ou enseignement en présence), la taille de l'effet est de $d = 0,81$. Les auteurs ont constaté un biais de publication important, et après correction de ce biais, la taille de l'effet passe à $d = 0,26$. Les auteurs concluent que si l'apprentissage mixte semble avoir un effet positif par rapport à l'absence d'intervention, il est parfois plus efficace ou au moins aussi efficace que l'enseignement non mixte pour les apprentissages dans les professions de la santé. Mais les auteurs soulignent la grande hétérogénéité des résultats analysés et invitent à la plus grande prudence.

15. Évaluer, s'autoévaluer, suivre les progrès et les difficultés des élèves

A. Définition

Dans le domaine des apprentissages académiques, l'évaluation a généralement pour but de vérifier si un élève (ou plusieurs) a appris une connaissance, correspondant à l'objectif d'enseignement. Pour cela, l'élève doit réaliser une tâche qui mobilise la connaissance évaluée. La connaissance ne pouvant pas être observée directement, on en infère⁶ la maîtrise à partir de la réalisation de la tâche. L'évaluation rend compte de la différence entre ce qu'un élève a réalisé et ce qui était attendu, attendu qui peut être plus ou moins bien défini, fermé, unique, etc. L'absence de différence correspond à une réussite. Le constat d'une différence peut donner lieu à une mesure (qui pourra être traduite en note par exemple) et/ou à une description (qui pourra donner lieu à une appréciation par exemple). Au-delà du constat, la recherche de la ou des causes de la différence correspond au diagnostic. L'information transmise à l'élève peut donc porter sur le constat et/ou sur le diagnostic, correspondre à une quantité ou à une description, être immédiate ou différée, etc. Dans le domaine des apprentissages académiques, une « information élaborée » (*i.e.* qui donne des explications) et transmise à l'élève à propos de l'évaluation est un des facteurs de réussite les plus importants et les plus solidement établis (Hattie & Timperley, 2007). Le simple fait de mettre en œuvre une connaissance et de recevoir un retour sur cette mise en œuvre, améliore l'apprentissage (Roediger *et al.*, 2011). La contribution des outils numériques à cet effet positif est, elle aussi, solidement établie (Hattie, 2017).

Quand un élève réalise une tâche sur un ordinateur qui permet l'apprentissage d'une connaissance, l'évaluation de la réussite de la tâche et/ou de l'apprentissage par le biais de ce même ordinateur, permet à la fois (a) à l'élève de bénéficier d'un retour immédiat, personnalisé, neutre, etc. et (b) à l'enseignant de bénéficier de ce retour même quand il n'est pas en train de travailler spécifiquement

⁶ Cette inférence est d'ailleurs assez peu solide. Si la tâche B mobilise la connaissance A, cela n'établit pas une relation de nécessité du type $A \Rightarrow B$. Ainsi, un élève peut maîtriser A et ne pas réussir B, comme le montrent par exemple les milliers de publications sur les biais de raisonnement (parfois le taux d'échec à B frôlant les 90 % chez des individus qui sont censés maîtriser A). Mais un élève peut aussi ne pas maîtriser A et réussir B, en utilisant une autre connaissance (par exemple en réussissant 3 fois 10 sans maîtriser la multiplication mais en passant par l'addition $10 + 10 + 10$; Brissiaud & Sander, 2010). En somme, si la tâche B mobilise la connaissance A, alors la réussite ou l'échec à B ne dit pas grand-chose sur la maîtrise ou la non maîtrise de A.

avec cet élève. L'évaluation dans un contexte d'apprentissage avec des outils numériques peut porter (1) sur la performance à la tâche, (2) sur l'apprentissage de la connaissance visée et (3) sur le mode opératoire, *i.e.* sur la façon dont chaque élève a réalisé la tâche. Le fait que ces trois types d'évaluations puissent être réalisées en même temps permet (4) de mettre en lien telle performance avec tel mode opératoire, et donc de proposer de véritables hypothèses explicatives à la réussite ou à l'échec de tel ou tel élève. A la suite de ce diagnostic, (5) l'élève peut recevoir une « information élaborée » sur la façon de réaliser la tâche et/ou la connaissance à mobiliser pour réussir, la prochaine fois. En croisant les destinataires (a et b) et les objets (1, 2, 3, 4 et 5) de l'évaluation, on obtient dix types d'évaluations (a1, a2, a3 etc.) qui existaient avant l'arrivée des ordinateurs mais qui sont potentiellement améliorés avec les outils numériques.

Cet apport des outils numériques dans le domaine de l'évaluation des apprentissages a été perçu très tôt et a donné lieu à des travaux importants dans différentes disciplines (éducation, psychologie, intelligence artificielle, etc.) dès les années 1970, rejointes ensuite par des spécialistes de la fouille de données et des statistiques pour créer au début des années 2000 le domaine des *learning analytics* ou de l'*educational data mining* (Papamitsiou & Economides, 2014).

Par ailleurs, certaines évaluations certificatives sont administrées sur un support numérique, malgré les limites qui vont être présentées ci-dessous, ce qui peut être considéré comme franchement préoccupant. Pendant quelques années, plusieurs publications ont cherché à estimer les biais spécifiquement liés à la passation de ces évaluations sur ordinateur : est-ce que le fait même que l'ordinateur, l'écran (tactile ou non), la souris, le clavier soient utilisés comme outils de saisie des réponses des élèves a un effet sur ces réponses (Clariana & Wallace, 2002 ; Russell, Goldberg & O'Connor, 2003) ? Par exemple : un élève peu familier de ces outils peut-il voir sa performance diminuer ? Mais ces publications ont tendance à se raréfier depuis une quinzaine d'années, peut-être parce que les problèmes de familiarité semblent moins prégnants.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Les dix types d'évaluation présentés ci-dessus peuvent être mis en œuvre dans des environnements numériques. Le fait que ce qui est attendu soit plus ou moins bien défini, fermé, unique est ici décisif. En effet, quand la réponse attendue est bien définie et unique (par ex. $5 + 3 = ?$), il est facile de programmer un retour immédiat vers l'élève (si la réponse = 8, alors c'est correct ; si la réponse est différente de 8, alors c'est incorrect). Cependant, même dans ce cas, si le constat est extrêmement simple à réaliser, le diagnostic n'est pas forcément aisé. Si un élève répond « 10 » au lieu de « 8 », comment identifier la cause de cette erreur ? Les enseignants, dans leur classe, connaissent leurs élèves et c'est cette connaissance qui leur permet de faire une hypothèse sur les causes des erreurs qu'ils commettent. Deux élèves différents qui font la même erreur pourront appeler deux diagnostics différents. Si on veut qu'une machine soit capable de faire ce type de diagnostic, il faut pouvoir lui fournir une connaissance de l'élève ou lui permettre de la construire. Donc, typiquement, les évaluations produites par des ordinateurs, dès les années 1970, étaient des évaluations d'attendus bien définis (questions ou problèmes fermés, QCM, etc.) et le retour donné à l'élève relevait uniquement du constat. On trouve encore cela aujourd'hui, dans de très nombreux outils, car aller au-delà du constat pour des attendus bien définis représente une difficulté majeure.

L'évaluation d'attendus moins bien définis a connu un développement majeur au cours de ces 20 dernières années, notamment avec l'évaluation automatisée de rédactions (*automated essay*

evaluation, voir par exemple la synthèse de Shermis & Burstein, 2013 ; pour une présentation en français, voir Dessus & Lemaire, 2004). Les travaux dans le domaine, impliquant des spécialistes de traitement automatique des langues, d'informatique, d'évaluation en éducation, de production écrite et de psychologie cognitive, ont permis de concevoir des logiciels comme *e-rater*⁷, capables d'évaluer : le contenu lexical, la complexité lexicale, les erreurs de grammaire, les erreurs d'usage, les erreurs mécaniques, le style, l'organisation et le développement des idées (thèmes), la phraséologie idiomatique. Les travaux en analyse sémantique latente (*latent semantic analysis*) qui permettent de rendre compte du sens d'un texte, sont aussi mis à contribution, car ils permettent d'évaluer la proximité sémantique entre deux rédactions (l'une pouvant être un modèle, l'autre la rédaction à évaluer – par exemple). Ces travaux ne prétendent pas évaluer aussi bien qu'un humain (Hoang & Kunnan, 2016 ; Moore & MacArthur, 2016) mais ils peuvent être utilisés par les élèves / les étudiants avant de rendre leur rédaction : ils bénéficient ainsi d'un premier retour et d'une indication des points à améliorer. Dans une étude quasi expérimentale, les enseignants évaluaient autant les élèves disposant d'un logiciel de correction de copies que les élèves sans logiciel, mais avec les premiers ils focalisaient leur évaluation sur des aspects de plus haut-niveau, déléguant au logiciel les aspects superficiels (Wilson & Czik, 2016). Dans une autre étude, où des élèves porteurs de troubles de l'apprentissage étaient comparés à des élèves ordinaires (1 196 élèves au total), les deux groupes bénéficiant d'un logiciel de correction de rédaction ; Wilson (2017) a montré que si les élèves porteurs de troubles étaient moins performants au départ, leurs progrès étaient plus importants que ceux des élèves ordinaires, pour atteindre un niveau comparable après cinq révisions de leur texte.

Ainsi, de l'évaluation la plus fermée à la plus ouverte, la contribution de l'informatique a fait l'objet de nombreux travaux et a conduit au développement d'innombrables outils. Je vais maintenant en recenser les principaux effets.

C. Plus-values et limites

Le feedback fourni par un ordinateur est perçu comme non menaçant. Les élèves qui se perçoivent comme faibles scolairement ont tendance à se sentir moins menacés par un feedback fourni par un ordinateur, tandis que les élèves les plus performants apprécient plus un feedback fourni par un enseignant. Cet effet est malheureusement assez peu documenté, si l'on considère que les premières études datent du milieu des années 1980 (Resnik & Lammers, 1985). Pourtant, cet effet positif de la neutralité attribuée à un ordinateur devrait être mieux connu et répondre aux questions du contenu du feedback fourni par un humain vs par un ordinateur, ainsi qu'à la façon de le présenter (Beckmann, Beckmann & Elliott, 2009 ; Mishra, 2006 ; Mumm & Mutlu, 2011 ; Nikou & Economides, 2016).

L'ordinateur permet de fournir un feedback immédiat. Les recherches sont nombreuses sur cette plus-value *a priori* évidente des outils numériques à l'évaluation. La méta-analyse de Van der Kleij, Feskens et Eggen (2015) porte sur 40 études. Les résultats montrent l'efficacité du feedback immédiat sur l'apprentissage, mais surtout quand l'évaluation est « élaborée », par exemple quand elle fournit une explication ($d = 0,49$). Le feedback concernant l'exactitude de la réponse a un effet nul ($d = 0,05$) tandis que celui qui indique la bonne réponse a un effet assez faible ($d = 0,32$). L'évaluation élaborée, qui fournit une explication, est particulièrement plus efficace pour l'apprentissage de connaissances

⁷ www.ets.org/erater

de haut niveau. L'effet positif est atténué quand le feedback est différé dans le temps. Dans cette méta-analyse, les auteurs ne retrouvent pas l'effet d'interaction connu dans la littérature générale : l'effet positif du feedback immédiat pour les apprentissages de connaissances de bas niveau et l'effet positif du feedback différé pour les apprentissages de connaissances de haut niveau (Hattie & Timperley, 2007). Vingt ans auparavant, la méta-analyse d'Azevedo et Bernard (1995) avait elle aussi montré un fort effet du feedback immédiat fourni par ordinateur ($d = 0,80$) et un effet faible du feedback différé ($d = 0,35$). Une littérature importante sur le contenu des feedbacks élaborés (qui peuvent concerner « comment faire », mais aussi « pourquoi faire comme ça », « quelle connaissance permet de faire ça » et sur « la compréhension de la connaissance à mettre en œuvre ») ainsi que sur la quantité de feedback, a été produite au cours des vingt dernières années pour éclairer le domaine du feedback immédiat produit par ordinateur (e.g. Erhel & Jamet, 2013 ; Narciss & Huth, 2004 ; Narciss, 2008).

La difficulté à élaborer un modèle de l'élève. Depuis les premiers tuteurs intelligents dans les années 1980, les chercheurs en intelligence artificielle, collaborant parfois avec des spécialistes de psychologie cognitive, ont buté sur l'élaboration du modèle de l'élève. Pourtant, comme je le rappelais ci-dessus, on a absolument besoin d'un modèle de l'élève si on veut concevoir un système qui non seulement constate une erreur, mais peut élaborer un diagnostic, *i.e.* identifier la cause de l'erreur. Pour concevoir un modèle de l'élève qui soutienne un mécanisme d'interprétation des erreurs, il faut en effet pouvoir modéliser toutes les connaissances d'un élève dans un domaine, donc pouvoir extraire ces connaissances et les représenter, mais il faut ensuite être capable de faire évoluer dynamiquement le modèle en fonction de problèmes résolus par cet élève et des erreurs produites par lui. Ce n'est pas impossible à faire, mais c'est un très gros travail, peu souvent à la portée des équipes qui conçoivent ces systèmes (voir cependant les très beaux travaux d'Anderson et ses collaborateurs, 1990 ; VanLehn, 1988) et leurs applications (Koedinger *et al.*, 1997), ou plus récemment les travaux de Graesser *et al.* (2018). Ces projets, qui ont donné de bons résultats, étaient systématiquement portés par de grosses équipes, disposant de moyens considérables et de temps (le lecteur curieux d'en savoir plus peut consulter la méta-analyse de Kulik et Fletcher, 2016).

La difficulté à élaborer un diagnostic. Ce travail de modélisation de l'élève étant extrêmement exigeant et coûteux, une deuxième génération de travaux s'est centrée sur l'interprétation des comportements des apprenants (Baker, 2007 ; Babin, Tricot & Mariné, 2009) puis sur l'interprétation de comportements au sein d'une population d'apprenants. Le système peut alors détecter un comportement correspondant généralement à telle ou telle difficulté, et proposer (à l'élève, à son professeur) telle interprétation probable de la difficulté rencontrée ou de l'erreur produite (Baker & Inventado, 2014). Si la puissance des analyses et la taille des corpus analysés sont impressionnantes, ces approches n'expliquent rien : elles constatent des co-occurrences, de manière très sophistiquée certes, mais elles ne font que cela. Sans modèle de l'apprenant, sans modèle de l'apprentissage, l'analyse de données n'identifie pas de causes (Amadiou, Bastien & Tricot, 2008).

D. Place dans les manuels scolaires

Les manuels scolaires numériques peuvent, comparativement aux manuels papier, intégrer une évaluation avec feedback immédiat. C'est potentiellement une des plus grandes plus-values des manuels scolaires numériques.

16. Faciliter l'accès à l'école et à l'apprentissage pour les élèves à besoins éducatifs particuliers

A. Définition

L'objectif de cette partie est de discuter des plus-values du numérique pour les apprentissages scolaires avec les élèves à besoins éducatifs spécifiques. Je vais essayer de commencer par définir la notion de « béquille cognitive », importante ici, à partir de la notion de document.

Les outils de la mémoire et de la communication sont utilisés par *Homo Sapiens* depuis les débuts d'*Homo Sapiens*. Le développement des peintures rupestres ou pariétales, puis des inscriptions pour attester de transactions, l'écriture, les tablettes d'argile, le papyrus, le codex, l'imprimerie, la photographie, le cinéma, l'enregistrement magnétique sont autant de technologies qui accroissent notre capacité à échanger, transmettre et mémoriser (Tricot, Salut & Lemarié, 2016). L'accroissement de cette capacité s'accompagne systématiquement de craintes : ne prenons-nous pas le risque d'affaiblir notre mémoire, nos connaissances, notre capacité à communiquer avec d'autres humains ? Dès l'invention de l'écriture, cette crainte est présente. On trouve cette méfiance chez Socrate (dans Phèdre) :

Elle [l'écriture] ne peut produire dans les âmes, en effet, que l'oubli de ce qu'elles savent en leur faisant négliger la mémoire. Parce qu'ils auront foi dans l'écriture, c'est par le dehors, par des empreintes étrangères, et non plus du dedans et du fond d'eux-mêmes, que les hommes chercheront à se ressouvenir. Tu as trouvé le moyen, non point d'enrichir la mémoire, mais de conserver les souvenirs qu'elle a. Tu donnes à tes disciples la présomption qu'ils ont la science, non la science elle-même. Quand ils auront, en effet, beaucoup appris sans maître, ils s'imagineront devenus très savants, et ils ne seront pour la plupart que des ignorants de commerce incommodes, des savants imaginaires au lieu de vrais savants.

On retrouvera cette crainte avec l'invention de l'imprimerie, de la photographie, du cinéma et de la télévision bien sûr. En d'autres termes : les humains utilisent volontiers et depuis fort longtemps des béquilles cognitives, mais ils craignent que ces béquilles altèrent leurs capacités.

Après la seconde guerre mondiale, le développement de l'informatique va provoquer une nouvelle révolution des technologies de la mémoire et de la communication. Bush (1945) invente *Memex* (pour *MEMory EXtender*), un outil personnel de stockage de données. Bush situe *Memex* (ainsi que d'autres de ses inventions, comme la caméra cyclope – le scanner – ou la supersecrétaire, un logiciel de traitement de textes couplé à une reconnaissance vocale) dans la lignée des machines qui aident les humains, comme les machines à calculer de Leibnitz ou de Babbage : des béquilles cognitives donc. *Memex* est décrit comme étant à la fois un système de fichiers et une bibliothèque, où un individu peut stocker ses livres, ses enregistrements, et autres documents. Constitué d'un ensemble de microfilms, cette mémoire documentaire « multimédia » est mécanisée de sorte qu'elle puisse être consultée de façon très rapide et très souple. L'utilisateur scanne les documents qui l'intéressent et peut les annoter, les compléter, les relier.

Bush a eu une indéniable influence sur la réflexion de pionniers de l'informatique tel Engelbart (1962), qui a lu *As we may think* dès 1945. Cet ingénieur américain est responsable jusqu'en 1976 du projet *Augment* à Stanford, qui vise à développer des outils augmentant les capacités et la productivité des

êtres humains. A la tête de cette équipe, Engelbart invente quelques-uns des concepts fondamentaux de l'informatique moderne, ou plus précisément de l'informatique de bureau : le traitement de texte et les systèmes en ligne, l'aide contextuelle, l'interactivité ainsi que... la souris et les touches de fonction : des béquilles cognitives donc. Une des idées fondamentales d'Engelbart est que l'ordinateur doit aussi (et surtout) assister l'humain dans les activités de collaboration.

L'invention d'Internet puis du Web correspondent à la réalisation des idées de Bush et d'Engelbart. Nos capacités de mémoire et de communication sont démultipliées, comme jamais. À chaque nouvelle béquille cognitive, on se pose la question d'une part des dommages qu'elles pourraient occasionner sur notre capacité de mémoire et de communication, et, d'autre part, des éventuels effets positifs dans les domaines de l'éducation et l'enseignement. Ce sont ces derniers que je vais examiner maintenant, pour le cas des élèves à besoins éducatifs spécifiques.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

On peut présenter les espoirs liés à l'adaptation aux handicaps et troubles des élèves, de la manière suivante :

- la technologie permet de compenser : si l'enfant est habituellement en situation de handicap, la technologie va permettre d'alléger le handicap, parfois de façon importante, en donnant accès à ce qui ne l'est pas habituellement ;
- la technologie permet de contourner : la technologie donne accès à autre chose que ce qui ne l'est pas habituellement, mais qui vient permettre l'apprentissage ou la réalisation de la tâche scolaire ;
- la technologie permet d'apprendre : la technologie contribue à une stratégie plus globale de réduction ou de « rééducation » du handicap ou du trouble de l'apprentissage lui-même.

Le numérique pour compenser et pour contourner. Le cas des handicaps sensoriels est sans doute celui où les attentes sont les plus directes et les plus évidentes. Le numérique permet en effet de générer assez aisément des médias adaptés : passage de la parole à l'écrit ou à la langue des signes pour les élèves malentendants ou sourds ; passage de l'écrit à la parole pour les enfants malvoyants ou aveugles. Par exemple, dans une synthèse assez ancienne, Hasselbring et Glaser (2000) montraient que les principales fonctionnalités utilisées par les élèves malvoyants ou aveugles étaient :

- des stratégies de compensation : le grossissement des caractères, la colorisation des lettres, le changement de luminosité pour les élèves avec vision préservée ;
- des stratégies de contournement : les audio-descriptions de vidéos ; les synthèses vocales, couplées ou pas avec des logiciels de reconnaissance de caractères ; la génération de textes (ou autres contenus) en braille et la prise de notes en braille.

Dans une étude conduite à Singapour auprès d'élèves aveugles scolarisés et de leurs enseignants, Wong et Cohen (2011) montrent que la connaissance limitée des enseignants sur les technologies d'assistance pour les élèves a des résultats très négatifs. L'enseignement présente des incohérences et des insuffisances. Les élèves eux-mêmes peuvent avoir une faible maîtrise de ces technologies. Pour ces auteurs, la formation des enseignants aux technologies d'assistance et la collaboration avec les personnes chargées de l'intégration (l'équivalent de nos AVS⁸) constituent une priorité. Une étude

⁸ Auxiliaire de vie scolaire.

conduite en Malaisie montre que ces technologies, quand elles sont bien maîtrisées par leurs usagers, sont bien acceptées par eux parce qu'elles sont utiles (Aziz, Roseli & Mutalib, 2011). En particulier, les élèves plébiscitent le grossissement des caractères, l'audio-description, les synthèses vocales et l'interaction directe (écran tactile et souris).

Des travaux plus récents tentent de développer des outils pour aider les élèves qui ne lisent pas le braille, en générant automatiquement des documents verbaux sonores à partir de documents écrits (à partir d'un langage alphabétique ou non, Tang, 2013). Les résultats obtenus sont extrêmement prometteurs.

Banf et Blanz (2013) ont développé un système qui permet de sonoriser des images. Ces dernières sont présentées sur une tablette. La personne touche l'image. Selon la partie de l'image qui est touchée, la personne reçoit une information verbale assez rudimentaire (par exemple la couleur, les bords, la rugosité) ou au contraire élaborée (contenu de l'image). Ce dernier aspect, lié à la reconnaissance des formes, semble encore poser des problèmes techniques non négligeables quand les formes ne sont pas préalablement « codées » (c'est le cas avec les images « naturelles »).

De plus en plus de travaux sont consacrés à l'amélioration de l'accès, pour les personnes aveugles et malvoyantes, aux formations en ligne (Cooper, 2006), tandis que dans de nombreux pays, l'accès aux établissements scolaires ordinaires reste une priorité en termes de politique éducative, les innombrables barrières techniques, sociales, logistiques et culturelles étant loin d'être tombées partout (voir par ex. Yusop *et al.*, 2013).

Enfin, l'utilisation de la réalité augmentée peut aussi représenter un potentiel extrêmement intéressant pour l'apprentissage chez des personnes aveugles ou malvoyants, qu'elles soient adultes ou encore à l'école (Fitzgerald *et al.*, 2012). En effet, la réalité augmentée permet à un individu de se mouvoir et d'agir dans un environnement où différents aspects sont augmentés d'informations (visuelles traditionnellement, auditives pour le cas présent) qui sont jugées utiles. L'individu interagit ainsi avec un environnement enrichi, où il peut apprendre bien plus que s'il interagissait avec ce même environnement « naturel ».

Un exemple de compensation : adapter les claviers pour des personnes en situation de handicap moteur. L'équipe de Nadine Vigouroux à Toulouse travaille depuis de nombreuses années au développement de technologies pour les personnes en situation de handicap. Parmi les solutions conçues par ces collègues, un ensemble concerne les claviers virtuels pour les personnes handicapées motrices (nous avons notamment travaillé avec eux sur un projet pour les personnes myopathes). En effet, la fatigue due à la saisie est dépendante non seulement du clavier comme objet physique (inaccessible à certaines personnes), mais la configuration AZERTY du clavier (conçue à l'époque des machines à écrire pour éloigner les touches des lettres co-fréquentes) est particulièrement fatigante. Ces auteurs ont montré qu'une réduction de la fatigue est corrélée à la minimisation de la distance à parcourir par le curseur dans une tâche de saisie de texte.

Nous pourrions prendre comme cela des centaines d'exemples de technologie, dans toute catégorie de handicap, qui tendent à compenser ou à contourner la difficulté qui pénalise les élèves à besoin particulier en classe. Cependant, dans l'exemple des claviers virtuels pour personnes handicapées motrices comme dans celui des technologies pour les élèves malvoyants, on observe souvent le même phénomène : ce n'est pas parce que la technologie existe et qu'elle est efficace qu'elle trouve

réellement sa place dans le quotidien de la classe. L'organisation du temps, de l'espace, les ressources disponibles, la formation des professionnels, les valeurs des usagers font parfois obstacle à l'intégration de ces solutions.

Un exemple de contournement : sonoriser des textes pour des élèves dyslexiques. Wood et ses collaborateurs (2018) ont publié une méta-analyse sur les effets de la sonorisation de documents textuels sur la compréhension de la lecture chez les élèves dyslexiques. L'hypothèse de base de ces approches est que la sonorisation de documents écrits diminue les exigences de la lecture, ce qui permet la compréhension (Olson, 2000). Les revues de la littérature précédentes ont conclu que les résultats dans ce domaine sont incohérents. La méta-analyse de Wood *et al.* porte sur 22 études. Elle montre que l'utilisation de la synthèse vocale a un impact significatif sur les résultats de compréhension de la lecture avec une taille d'effet faible ($d = 0,35$). L'analyse de Wood *et al.* montre, comme les synthèses précédentes, que les résultats dans le domaine sont incohérents, ce qui explique en partie la petite taille de l'effet. Pour les analyses des modérateurs, un seul modérateur significatif est obtenu : celui du design expérimental. Pour les plans d'expérience inters-sujets (c'est-à-dire ceux où on demande à des participants d'écouter un texte avec la synthèse vocale tandis que d'autres doivent simplement lire le même texte), $d = 0,61$. Pour les études intra-sujet (c'est-à-dire celles où les mêmes participants doivent écouter un texte avec la synthèse vocale et simplement lire un autre texte), $d = 0,15$.

Dans leur méta-analyse, Wood *et al.* n'ont pas abordé deux aspects importants. Les participants ont-ils pu faire une pause pendant l'écoute ? Le texte a-t-il été écouté plusieurs fois et si oui, combien de fois ? Il n'a pas été facile de discuter de ces deux aspects, car, dans plusieurs expériences qu'ils ont examinées, ces aspects ne sont pas décrits avec précision. Par exemple, Meloy, Deville et Frisbie (2002) ont obtenu une taille d'effet forte ($d = 1,10$, calculée par Wood *et al.*), mais dans cette étude, les textes ont été présentés « plusieurs fois ». En lisant l'article de Meloy *et al.*, il est difficile de déterminer quel texte et quelle question ont été présentés « plusieurs fois » et à combien correspond ce « plusieurs ».

Dans une étude récente (Vandenbroucke & Tricot, 2018), nous avons étudié l'effet positif supposé de la présentation orale avec des textes longs, avec des lecteurs MP3, en utilisant le type de texte qui est fréquemment présenté oralement : les histoires. Dans une deuxième expérience, nous avons allongé le temps de présentation, en ajoutant des pauses choisies par les élèves ou imposées (incluses dans le fichier MP3). Nous avons comparé la compréhension des histoires pour les élèves de CM2 avec ou sans dyslexie. Pour chaque expérience, nous avons demandé à 20 élèves dyslexiques de lire une histoire, puis d'en écouter une autre (ou, à l'inverse, d'écouter d'abord, de lire après), et 20 élèves sans dyslexie du même âge ont été invités à faire de même. Les 40 élèves dyslexiques (20 par expérience) ont été diagnostiqués par l'unité des troubles spécifiques d'un hôpital pédiatrique ou par un orthophoniste. Les tests diagnostiques n'ont révélé aucun déficit de l'attention, aucun déficit intellectuel, du langage oral ou de la coordination motrice. Tous les élèves avaient le français comme langue maternelle.

Deux histoires (textes narratifs) conçues par le ministère de l'Éducation nationale pour l'évaluation nationale de la compréhension ont été utilisées (466 mots et bande son 3'52" pour l'une ; 275 mots et bande son 2'26" pour l'autre). Dans la condition « lecture », il n'y avait pas de limite de temps. Les questions de compréhension ont été présentées oralement, de même que les réponses des élèves qui ont été enregistrées.

Pour la première expérience, chaque élève a lu un texte et écouté l'autre. Pour la deuxième expérience, dans un test de l'effet des pauses, chaque élève écoutait un texte sans pause et écoutait l'autre avec des pauses imposées (chaque pause durait 7 secondes, une pause après chaque phrase) ou à son propre rythme (l'élève arrêta la bande son quand il le voulait).

Chaque participant a répondu à 9 questions immédiatement après la lecture ou l'écoute : 3 questions de compréhension littérale (information explicite dans le texte), 3 questions de compréhension locale (traitement des inférences et des relations entre les différentes informations du texte), 3 questions de compréhension globale (l'élève devait utiliser ses connaissances pour comprendre l'ensemble du texte). Un score total a été mesuré pour chaque texte dans chaque condition. Le temps de lecture a été enregistré.

Les résultats de l'expérience 1 sont les suivants : que le texte soit présenté sous forme écrite ou orale, les élèves dyslexiques comprennent moins bien que les élèves non dyslexiques. La sonorisation n'améliore pas la compréhension chez les élèves dyslexiques (le taux de réponses correctes est 0,44 en lecture et 0,46 en écoute). Leur temps de lecture est plus de deux fois plus long (moyenne = 5'46") que celui des participants sans dyslexie (moyenne = 2'08"). Le temps de lecture pour les élèves dyslexiques est plus long que le temps d'écoute, avec le résultat inverse pour les élèves ordinaires.

Les résultats de l'expérience 2 montrent que les élèves dyslexiques obtiennent de meilleurs résultats avec les pauses imposées. Les élèves dyslexiques ont obtenu le même résultat moyen que les élèves non dyslexiques (taux de réponses correctes = 0,51). Dans le cas des pauses libres, les élèves dyslexiques (sauf 1 sur 10) n'ont pas fait de pauses. Comme on pouvait s'y attendre, le taux de réponses correctes (0,37) est donc très proche de la condition d'écoute continue (0,40). Dans le cas des pauses libres, 7 élèves sans dyslexie sur 10 ont fait une ou plusieurs pauses et leur taux de réponses correctes était bien meilleur (moyenne = 0,62) que celui des élèves dyslexiques. En résumé, avec les pauses imposées, les élèves dyslexiques et non dyslexiques ont obtenu les mêmes résultats au même niveau, alors que les élèves dyslexiques sont deux fois moins performants que des élèves non dyslexiques avec les pauses libres (pour une vue plus complète, le lecteur pourra consulter Tricot, Vandenbroucke & Sweller, 2020).

Le temps est un paramètre important pour les élèves dyslexiques. Selon Gabrieli (2009), c'est la deuxième source importante de difficulté pour les élèves dyslexiques, avec un déficit phonologique, même pour les adultes. Lorsqu'il n'y a pas de limite de temps, les adultes dyslexiques obtiennent des scores de compréhension similaires à ceux des bons lecteurs (Parrila, Georgiou & Corkett, 2007).

Apprendre la reconnaissance des émotions pour des enfants souffrant de troubles du spectre autistique (TSA). Un exemple de stratégie où la technologie est utilisée pour soutenir l'apprentissage peut être trouvé par exemple dans l'entraînement à la reconnaissance des émotions, et plus généralement l'apprentissage, chez les enfants souffrant de troubles du spectre autistique (voir la synthèse de Boucena *et al.*, 2014).

Baron-Cohen, Golan et Ashwin (2009) ont été parmi les premiers à développer un programme d'entraînement sur ordinateur à la reconnaissance des émotions chez les enfants autistes. Les participants étaient répartis selon trois groupes : un d'enfants typiques, un d'enfants autistes sans intervention et un groupe d'enfants autistes avec intervention. Le support d'apprentissage, un programme d'ordinateur sur DVD, entraînait les enfants à reconnaître les émotions. Ensuite, quatre

tâches étaient utilisées afin de mesurer l'effet de l'intervention. On demandait aux participants d'apparier une situation émotionnelle suivant plusieurs niveaux de difficulté.

Au début de l'expérimentation, les enfants atteints de troubles du spectre autistique avaient des performances plus faibles que les enfants typiques. À la fin, les enfants autistes ayant reçu l'entraînement rejoignaient le niveau des enfants typiques alors que ceux qui n'en avaient pas bénéficié ne progressaient pas.

D'autres études ont été menées (Bekele *et al.*, 2014 ; Hopkins *et al.*, 2011), utilisant des vidéos ou des visages « virtuels » (*i.e.* dont l'ensemble des caractéristiques peut être manipulé), et produisent des résultats très encourageants : non seulement un effet positif est obtenu avec le groupe expérimental, mais une amélioration hors contexte d'apprentissage est observée.

Le Centre Ressource Autisme PACA Nice a développé un jeu sérieux intitulé JeStiMulE (Serret *et al.*, 2012). Les jeux sérieux, par rapport aux autres dispositifs d'apprentissage pilotés par ordinateur, favoriseraient la motivation, rendraient l'apprentissage plus actif, fourniraient de nombreux retours, immédiats ou différés, sur les actions de l'apprenant.

JeStiMulE, pendant la phase d'apprentissage, est composé d'une série de jeux de complexité croissante. Les participants apprennent à reconnaître les émotions d'avatars exprimées par un visage ou un geste. Au cours de la phase d'expérimentation, l'enfant joue dans un environnement virtuel et circule dans différents domaines de la vie courante : un square, un théâtre, un restaurant, un jardin et un magasin. L'enfant doit reconnaître ou anticiper l'expression émotionnelle des avatars dans diverses situations sociales grâce à l'apprentissage réalisé préalablement.

Le jeu est adaptable pour les personnes ayant un fonctionnement cognitif fortement altéré ou non, de sorte qu'il est possible de choisir une modalité de réponse adaptée aux capacités cognitives des enfants. Les modalités incluent un mode utilisant des codes de couleur pour les non-lecteurs, un mode utilisant des mots émotionnels pour les lecteurs, ou des expressions idiomatiques pour les personnes atteintes du syndrome d'Asperger.

Pour chaque situation sociale, le joueur doit reconnaître ou anticiper les émotions du personnage. Si la réponse est correcte, le joueur gagne une pièce de puzzle.

JeStiMulE a été évalué auprès de 40 enfants et adolescents atteints de TSA. L'intervention durait quatre semaines, à raison de deux séances d'une heure par semaine. La reconnaissance des émotions était évaluée avant et après l'intervention, au niveau des visages, des gestes en lien avec l'expression des émotions et lors de situations sociales. Les résultats obtenus ont montré l'amélioration significative de la reconnaissance des émotions chez l'ensemble des participants ainsi que l'adaptabilité du jeu sérieux pour des patients TSA à la fois de haut et de bas niveau de fonctionnement (Serret *et al.*, 2012).

Apprendre la reconnaissance des mots écrits pour des élèves dyslexiques. Un autre exemple de stratégie où la technologie est utilisée pour soutenir l'apprentissage est sans doute plus connu : celui de l'apprentissage de la lecture par des élèves dyslexiques. L'équipe d'Annie Magnan et Jean Ecalte à Lyon (par exemple : Ecalte, Kleinsz & Magnan, 2013 ; Potocki, Magnan & Ecalte, 2015) travaille dans ce domaine depuis plus de dix ans et a produit un ensemble de résultats très encourageants. Leurs travaux ont notamment montré qu'un système qui permet un entraînement audiovisuel à la

reconnaissance et à la segmentation des sons et aux contrastes vocaux pouvait améliorer la reconnaissance des mots écrits, c'est-à-dire la lecture des mots.

Les travaux récents de cette équipe sont probablement encore plus encourageants car les chercheurs commencent aussi à aborder des tâches de compréhension. En outre, et c'est très important, cette équipe conduit maintenant des évaluations de l'effet de leurs outils sur le long terme (de plusieurs mois à un an).

Play-on, un des outils utilisé par Magnan et Ecalles, consiste à piloter un apprentissage par ordinateur en mettant l'accent sur l'opposition sonore entre deux items pour six paires de phonèmes : / p /- / b / ; / t /- / d / ; / k /- / g / ; / f /- / v / ; / s /- / z / et / ch /- / j /. Trois types de d'items sont utilisés : mono-, bi- et trisyllabiques. La position du phonème est manipulée (initial vs final). Les participants écoutent une syllabe consonne - voyelle (/ pa /) et doivent choisir entre deux syllabes imprimées (pa ou ba), qui ne diffèrent que par la sonorité de la consonne. Immédiatement après avoir écouté la syllabe, les participants voient un ballon de basket en haut de l'écran et l'enfant appuie sur une des deux touches (gauche ou droite) pour placer la balle dans le panier correspondant à pa ou ba.

Colé, Casalis et Dufayard (2012) ont développé le logiciel d'apprentissage « Morphorem » pour les élèves dyslexiques de début de cycle 4. Avec cet outil, les élèves améliorent leurs performances dans plusieurs domaines : analyse morphologique, compréhension des mots suffixes et décodage. Cette approche est intéressante quand on considère que les capacités morphologiques des élèves dyslexiques seraient moins dégradées que leurs compétences phonologiques (Casalis, Colé & Sopo, 2004) et que les connaissances morphologiques déterminent l'efficacité de la lecture (Kirby *et al.*, 2012).

L'entraînement des compétences en décodage a donné des résultats positifs auprès de lecteurs en difficulté pour le décodage et la conscience phonémique (McCandliss, Beck, Sandak & Perfetti, 2003 ; Torgesen *et al.*, 2001). Une méta-analyse confirme ces résultats : l'enseignement de la conscience phonémique a un impact positif sur la lecture pour les jeunes enfants (enfants d'âge préscolaire, élèves de maternelle et de première année), même pour les lecteurs en difficultés (Ehri *et al.*, 2001).

Une autre proposition repose sur l'idée que les lecteurs dyslexiques ont des difficultés à traiter rapidement les sons (Tallal, Merzenich, Miller, Miller et Jenkins, 1998). *Fast Forward* est un programme d'intervention en lecture et en langue pour les lecteurs en difficulté, mais il semble que les améliorations, en particulier en ce qui concerne la conscience phonémique et la lecture, ne sont pas maintenues dans le temps (Hook, Macaruso & Jones, 2001).

C. Plus-values et limites

Les élèves sourds, malvoyants, dyslexiques, dysphasiques, à mobilité réduite, dyspraxiques ou porteurs de troubles autistiques : voilà la population qui doit le plus bénéficier du numérique pour l'apprentissage. Dès les premiers développements de l'informatique personnelle, le public des enfants en situation de handicap à l'école a été visé par les chercheurs et les concepteurs. Plus précisément, deux branches de l'informatique se sont intéressées à cette question :

- le domaine de l'interaction humain machine, plus spécialement centré sur les handicaps moteurs et sensoriels, où l'on essaie de concevoir des technologies qui compensent ou contournent le handicap ;

- le domaine de l'informatique pédagogique, plus spécifiquement centré sur les troubles de l'apprentissage, où l'on tente d'améliorer l'apprentissage ou de compenser le trouble.

Le domaine des technologies adaptées aux élèves à besoins éducatifs spécifiques, dans le domaine des handicaps et des troubles, produit des résultats très encourageants. Des effets positifs sont obtenus quelle que soit la stratégie utilisée : compensation, contournement et rééducation. Le plus surprenant dans le domaine est qu'il y ait relativement peu d'outils alors que la preuve de leur efficacité est souvent apportée.

Mais pour qu'il y ait plus-value, il faut que les acteurs (enseignants et élèves) maîtrisent ces technologies et leurs fonctions pédagogiques.

Je suis par ailleurs convaincu que ce domaine en est à ses débuts et que d'ici quelques années on verra l'aide aux apprentissages des élèves à besoins spécifiques comme relevant d'autre chose que de l'entraînement : ces élèves sont capables, exactement comme les autres, d'apprendre en comprenant, en conceptualisant, en explorant, en découvrant, en prenant conscience, et pas uniquement en s'entraînant, en répétant. Il y a donc beaucoup à faire dans le domaine, sans doute en couplant les approches centrées sur les apprentissages à celles centrées sur l'ergonomie des supports eux-mêmes : les meilleures solutions en théorie deviennent les pires en pratique quand on oublie que l'ajout d'informations et/ou de fonctionnalités augmente le coût cognitif du traitement du support et, par-là, détériore l'apprentissage. De même, les meilleurs outils resteront dans les placards chaque fois que les concepteurs oublieront qu'un bon outil ne doit pas être seulement efficace : il doit être aussi facile à prendre en main et à utiliser, compatible avec l'organisation du temps, de l'espace, des ressources et des valeurs des situations (scolaires par exemple) où on veut l'intégrer.

17. Créer un objet technique, une œuvre picturale ou sonore

A. Définition

Les tâches de création ou de conception sont importantes dans les situations d'enseignement. Je vais traiter séparément (dans la partie suivante) les tâches de production de textes qui sont à la fois les plus fréquentes et celles qui ont donné lieu à une littérature pléthorique. Je vais traiter ici des autres tâches de création ou de conception, que l'on retrouve dans les disciplines technologiques et dans les disciplines artistiques. Les outils numériques sont mobilisés de deux manières différentes : (a) ils sont utilisés comme des logiciels d'aide à la création / à la conception et (b) les objets créés sont eux-mêmes numériques.

Par rapport aux tâches de résolution de problèmes, les tâches de création / de conception se distinguent par le fait que les élèves doivent eux-mêmes en définir le but. Ou, pour le dire comme Herbert Simon, ce sont des activités de résolution de problème à but mal défini. À partir d'une consigne donnée par l'enseignant, les élèves doivent donc élaborer un but à atteindre. Généralement le problème est ouvert dans le sens où plusieurs solutions sont plus ou moins satisfaisantes, acceptables. La différence entre deux solutions peut concerner des critères très différents, ce qui les rend difficilement comparables. Dans les activités de conception, la définition du but à atteindre vient plutôt en début de processus, les moyens sont ensuite mis en œuvre, en fonction des ressources disponibles et des contraintes. Dans les activités de création, le but n'est pas connu au début mais à la fin : une

fois que le travail est fini, on peut constater qu'on a créé telle œuvre, alors qu'on ne savait pas précisément ce qu'elle serait au début. Toutefois, j'emploierai ici les termes de « création » et de « conception » comme synonymes car je n'ai simplement pas besoin de les distinguer.

Avec les outils numériques, les activités de création peuvent être plus accessibles (voir le rapport de Soury-Lavergne (Cnesco, 2020) à propos des figures géométriques). Alors que créer une œuvre musicale à l'époque pré-numérique requerrait une certaine maîtrise instrumentale, mais aussi harmonique et mélodique (que n'ont pas la plupart des élèves), elle peut aujourd'hui se passer de cette maîtrise. Il en va de même pour la conception de certains objets techniques et de la création de certaines œuvres picturales. Est-ce que cela a un intérêt au plan scolaire ?

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

La création musicale assistée par ordinateur à l'école. Une des possibilités offertes par les ordinateurs dans le domaine de la musique est la possibilité de créer une pièce musicale, ou simplement une suite de notes, plus lentement que ce que l'on est capable de jouer sur un instrument (Brown, 2008). En outre, avec un ordinateur, ce que l'on est en train de créer peut être joué sur tous les instruments, sans les contraintes des instruments disponibles dans la salle de classe. On peut créer sans connaître le solfège : l'ordinateur est un autre moyen de représenter la musique, qui constitue une alternative à la façon classique de représenter la musique. L'ordinateur est donc un moyen d'amplifier des idées musicales (Brown, 2008), des plus simples aux plus élaborées, d'adopter une approche de la création par tâtonnement (avec des allers-retours rapides entre ce qui est créé et le résultat de cette création) et de lier ces idées à d'autres médias (images, vidéos, textes). C'est surtout un moyen de créer à partir de l'existant, en modifiant une pièce musicale existante (changement de rythme, extraction et répétition de boucles, mixage, modification d'un arrangement, etc.).

Concevoir un objet technique. Les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) sont utilisés en contexte académique depuis les années 1970 (Agathoklis, Cellier, Djordjevic, Grepper & Kraus, 1980), d'abord dans la formation des ingénieurs et des architectes, puis dans les formations technologiques en général. En France,

L'enseignement de la conception au collège se fait essentiellement à travers l'usage des outils informatiques largement diffusés au niveau national (...). Les principaux outils de modélisation 3D, CAO et CFAO utilisés en technologie sont variés : Google SketchUp, Sweet Home 3D, Architecte 3D, AutoCAD, SolidWorks, EFICNSW . Laisney, 2017, pp. 28-31.

Typiquement, la conception d'un objet technique s'inscrit dans une démarche de pédagogie par projet : les élèves reçoivent une commande, parfois accompagnée d'un cahier des charges, et ils doivent élaborer une solution ; parfois, selon les disciplines, ils doivent ensuite réaliser l'objet technique. Pour cela, ils travaillent généralement en groupe restreint, et disposent de plusieurs outils, dont un logiciel de CAO. Ces logiciels ont d'abord, en contexte éducatif, une fonction de visualisation : en cours de conception, si la phase amont (générer des idées, élaborer le concept-but qui répondra à la commande) reste souvent « papier-crayon », le passage à la représentation graphique peut être

⁹ Conception et fabrication assistées par ordinateur.

assisté par ordinateur, rendant l'activité plus facile et plus rapide. Mais la représentation graphique peut aussi être (partiellement) générée par ordinateur :

La recherche de solutions par simulations graphiques intégrera ensuite les outils informatiques de CAO favorisant la modélisation précise et détaillée ainsi que la possibilité de poursuivre par itération la recherche de solutions nouvelles en y associant le dessin à la main. Laisney, 2017, p. 221.

Créer une œuvre picturale. Les logiciels de dessin (*Paint*, *Kidpix*, ...), de graphisme, de capture d'images (photographie, scanners, caméras), de modification d'images, de montage, de création vidéo (la liste est très longue) permettent d'assister les élèves, très tôt dans leur scolarité, dans la création d'œuvres visuelles, via des ordinateurs, des tablettes, de tableaux blancs interactifs (Terreni, 2010). Ces logiciels peuvent en outre permettre de créer des œuvres qu'il était impossible de créer en classe auparavant avec des activités comme :

La production et la manipulation d'images numérisées, le soutien à la conception graphique, la modélisation 3D et la publication assistée par ordinateur, les visites virtuelles de musées artistiques, la création de films comme forme artistique, (...) et le partage numérique des créations et des recherches des élèves. Robyler & Doering, 2010, p. 377.

Pour certains enseignants cependant, ces changements, qui relèvent de la facilitation, ne transforment pas fondamentalement les activités en classe : la création d'une œuvre picturale poursuit globalement les mêmes objectifs et le même enseignement, avec les outils numériques et sans eux (Phelps & Maddison, 2008). L'arrivée de l'ordinateur dans les classes d'arts visuels laisse en quelque sorte tout à (ré)inventer ; elle prend risque de perdre une certaine matérialité inhérente à la création visuelle classique (Wilks, Cutcher & Wilks, 2012).

C. Plus-values et limites

La littérature sur les plus-values et les limites des outils numériques qui soutiennent ou modifient les tâches de création d'objets techniques ou d'œuvres picturales, musicales, etc. en contexte scolaire est assez limitée (quelques dizaines d'articles dans les domaines artistiques, à peine plus dans les domaines techniques). C'est en outre un domaine où la littérature relève pour une part importante du témoignage d'enseignants et du point de vue personnel de tel ou tel spécialiste (*e.g.* Duncum, 2001 à propos des arts visuels) ; comparativement à d'autres domaines, il y a très peu d'expérimentations contrôlées.

Par exemple, l'étude de Salman, Laing et Conniff (2014) intitulée [en Anglais] « L'impact des logiciels de conception architecturale assistée par ordinateur sur la conception en contexte éducatif » part du constat que peu de recherches ont porté sur la façon dont les étudiants utilisent les logiciels de conception architecturale assistée par ordinateur. Les chercheurs utilisent la méthode des entretiens de « pensée à haute voix » conduits auprès de quatre étudiants ayant une tâche de conception d'un espace de rencontre à réaliser avec leur logiciel de CAO préféré (*AutoCAD*, *SketchUp* ou *ArchiCAD*). L'analyse de l'activité et des protocoles verbaux est remarquablement conduite et détaillée. Elle montre que les participants ont utilisé les représentations de la CAO lors l'élaboration de leur concept, mais aussi pour la visualisation de l'information et la présentation de leur travail conception. Mais

l'article, ne proposant aucune comparaison, ne donne aucune idée de l'apport des logiciels utilisés par les quatre étudiants.

Plusieurs études conduites par Perrine Martin (Martin, 2007 ; Martin & Ravestain, 2006 ; Martin, Amigues & Velay, 2007 ; Picard, Martin & Tsao, 2014) montrent pourtant qu'il est tout à fait possible de conduire des études comparatives dans le domaine. Cette chercheuse montre que les élèves, dès la fin de l'école élémentaire, ont une réelle facilité d'utilisation d'outils de création graphique (*Photoshop*, *Painter*) associés à une tablette graphique. À partir de ce constat, elle a fait l'hypothèse que l'expression créative pouvait être améliorée lorsque les élèves utilisent ces outils, par rapport aux situations où ils utilisent des techniques traditionnelles. Elle a commencé par comparer les dessins d'un bonhomme (épreuve bien connue et dotée d'un système de cotation validé au plan psychométrique) réalisé avec tablette graphique, puis avec un matériel traditionnel (le même élève fait les deux). Les résultats montrent que les enfants sont aussi performants avec les deux outils. Il semble, d'un point de vue plus qualitatif, que l'utilisation de la tablette « n'apparaît pas comme un frein à une représentation correcte ainsi qu'à la créativité mais semble au contraire les faciliter ». Dans une autre étude, basée sur le même type de comparaison mais avec une tâche de reproduction (de la figure de Rey¹⁰), elle montre que « l'ordinateur permet de reproduire plus fidèlement un modèle que le papier-crayon. Cependant il semble que le dessin avec les outils traditionnels permet une meilleure mémorisation du modèle, même si celui-ci est mal dessiné pendant l'apprentissage ». Dans une étude plus récente, conduite cette fois-ci avec des élèves de début de l'école élémentaire (CP-CE1), utilisant encore une fois le même protocole (le même dessin au stylo sur papier et avec le doigt sur l'écran d'un iPad, avec une tâche qui consistait à réaliser « le meilleur dessin que tu peux faire d'une maison ». Les résultats vont cette fois dans le sens inverse : les scores les plus faibles sont obtenus avec l'iPad. Elle fait l'hypothèse que si les dessins au doigt sont moins bons que les dessins au stylo, c'est peut-être à cause du passage d'un contrôle distant à un contrôle plus proximal des mouvements du dessin.

18. Produire un texte, un document, seul ou à plusieurs

A. Définition

La production d'un texte en contexte scolaire (en classe ou « à la maison ») est une activité extrêmement classique, présente depuis le Moyen Âge. Je la distingue ici de la prise de notes, traitée dans la partie 7 de ce rapport. La production de textes est donc une activité où les élèves doivent avoir des idées (généralement sur un sujet donné, pour répondre à une consigne), les articuler entre elles et les mettre en mots. La mise en mot comme l'articulation des idées entre elles peuvent correspondre à des exigences formelles très strictes (*e.g.* orthographe, plan en trois parties). Par ailleurs, cette activité de production relève exactement de la création, comme définie dans la partie précédente de ce rapport. Cette double exigence, de créativité et de respect de normes, font de la production une activité particulièrement exigeante... et intéressante à étudier ! Parfois, l'activité de production de texte implique d'autres médias (par exemple produire un texte illustré).

¹⁰ La figure de Rey est un test psychométrique datant des années 1940. C'est une figure complexe, composée de 18 éléments, qu'il s'agit de reproduire le plus fidèlement possible. Cette figure n'ayant aucun sens, elle est censée évaluer des capacités assez basiques, notamment au plan de l'attention.

Il est important de noter que l'arrivée des outils numériques a largement contribué au développement des recherches sur l'activité de rédaction. Ainsi, la littérature dans le domaine porte beaucoup plus sur l'activité de rédaction avec un logiciel de traitement de texte et un ordinateur, qu'avec un stylo et un papier. Cela fait à peine une quinzaine d'années, grâce aux travaux de Denis Alamargot et ses collègues, que l'analyse fine de l'activité de rédaction papier crayon a pu se développer (Alamargot, Chesnet, Dansac & Ros, 2006 ; Chesnet & Alamargot, 2005).

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

La production de textes avec les outils numériques implique un quadruple changement : d'outil manuel (stylo vs clavier), d'outil logiciel (logiciel de traitement de texte vs pas de logiciel), de matériel (papier vs ordinateur, tablette, smartphone) et de conditions sociales (produire un texte seul vs de façon collective). Ces quatre changements dans l'activité de rédaction avec l'arrivée des outils numériques ne modifient pas fondamentalement le but de l'activité de rédaction. Une rédaction, une dissertation, un texte narratif, etc. restent les mêmes textes à produire, globalement pour la même fonction pédagogique. C'est la mise en œuvre de l'activité qui change radicalement.

Historiquement les travaux sur l'écriture collaborative ont été les premiers dans le domaine des apprentissages collaboratifs médiés par ordinateur. Le projet ENFI (*Electronic Networks for Instruction* ; Gruber, Peyton & Bruce, 1994) concernait l'apprentissage de l'écriture chez des élèves sourds ou malentendants. Le projet CSILE (*Computer Supported Intentional Learning Environment* ; Scardamalia & Bereiter, 1991) voulait rendre l'écriture plus significative en faisant participer les élèves à la production conjointe de textes. Les travaux sur l'écriture collaborative assistée par ordinateur ont aussi été conduits en apprentissage d'une langue étrangère (Amir, Ismail & Hussin, 2011 ; Chao & Lo, 2011).

Récemment, l'activité de production écrite en contexte scolaire s'est ouverte à de nouveaux modes de production écrite, extrêmement contraints, comme la rédaction de messages sur Twitter ou la rédaction de SMS (Penloup, 2018).

C. Plus-values et limites

La méta-analyse de Bangert-Drowns (1993) comporte 32 articles qui comparent deux groupes d'élèves qui reçoivent une consigne identique en production de texte, mais n'autorisent qu'un seul groupe à utiliser le traitement de texte. Les élèves qui bénéficient du traitement de texte, en particulier les élèves les plus faibles, améliorent la qualité de leur texte (parmi les études retenues par les auteurs, 10 ne permettent pas de calculer la taille d'effet, pour les 22 qui restent la taille moyenne est de l'ordre de 0,27 écart-type) ; ils rédigent des documents plus longs, mais n'ont pas une attitude plus positive à l'égard de l'écriture. De même, l'auteur ne trouve pas d'effet sur la capacité des élèves à respecter des normes d'écriture (*e.g.*, ponctuation correcte, mise en majuscule du début des phrases, accord sujet/verbe), ni sur la révision des textes : pour ces deux variables, l'auteur a recensé autant d'études montrant un effet positif du traitement que d'études montrant un effet négatif. Bangert-Drowns note que les logiciels de traitement de texte présentent l'avantage de pouvoir intégrer aisément un guidage métacognitif pour les élèves, non seulement avant (comme sur papier) mais pendant ou après la rédaction.

Dix ans après, la méta-analyse de Goldberg, Russell et Cook (2003), qui porte sur des études de 1992 à 2002, montre des effets plus favorables : l'usage de traitements de texte sur ordinateur améliore la longueur des textes ($d = 0,50$) mais aussi leur qualité ($d = 0,41$). Les résultats restent mitigés sur les activités de révision et n'ont été étudiés que dans 6 recherches publiées. Même si les auteurs disent qu'ils ont été contraints de prendre en compte 35 études qui n'entrent pas strictement dans les critères statistiques, ils notent que les outils numériques favorisent la rédaction collaborative, itérative et sociale. Pour Goldberg et ses collègues, « les élèves qui acquièrent des aptitudes à la rédaction en utilisant l'ordinateur pour apprendre à écrire ne sont pas seulement plus engagés et motivés pour écrire, mais ils produisent un travail écrit plus long et de meilleure qualité ».

Deux méta-analyses portant sur l'enseignement de l'écriture ont étudié l'effet de l'utilisation des logiciels de traitement de texte. Graham et Perin (2007) montrent un effet positif ($d = 0,55$) de ces outils sur l'apprentissage de l'écriture chez des adolescents, plaçant celui-ci 5^e parmi 11 types d'interventions en enseignement de l'écriture (typiquement, enseigner des stratégies de rédaction est plus efficace, $d = 0,82$, comme enseigner à faire des résumés, $d = 0,82$). Graham, McKeown, Kiuahara, et Harris (2012) ont centré leur méta-analyse sur les élèves des écoles élémentaires. Ils ne parviennent pas à rendre compte d'un effet de l'utilisation des logiciels de traitement de texte, tellement ceux-ci sont peu utilisés / peu étudiés avec les jeunes élèves.

Pour l'enseignement de l'orthographe, la méta-analyse de Torgerson et Elbourne (2002), portant sur sept études expérimentales randomisées, montre un effet positif mais modéré ($d = 0,37$) du numérique sur l'apprentissage.

La littérature sur la rédaction à plusieurs rend peu compte de résultats comparatifs, car la tâche de rédaction collective est à peu près impossible à réaliser sur papier-crayon, dès que le groupe de rédacteurs comprend plus de 2 personnes. Ainsi, les travaux dans le domaine montrent qu'il est possible de rédiger à plusieurs avec un logiciel de rédaction collective, et ce depuis les premières années d'école. L'étude de Lingnau, Hoppe et Mannhaupt (2003) conduite avec des élèves de 6 et 7 ans montrent de façon intéressante que plus du tiers de l'activité d'écriture collective relève - à cet âge - d'activités individuelles, le logiciel de traitement de texte ayant pour fonction de partager de texte en cours de rédaction (la tâche collective et son avancement perçu par tous « économise » en partie l'activité de coordination). Pour en savoir plus, le lecteur pourra lire les contributions de Velay et d'Amadiou lors de la conférence de consensus « Écrire et rédiger : comment accompagner les élèves dans leurs apprentissages ? » (Cnesco, 2018).

19. Programmer

A. Définition

Faire programmer les élèves en classe ou hors de la classe est une activité assez ancienne : elle a bientôt 40 ans. Elle implique l'utilisation d'un langage de programmation, souvent spécifique au domaine scolaire pour les élèves les plus jeunes. Cette activité correspond à des finalités et à des domaines divers (voir les exemples ci-dessous). Elle est parfois mobilisée comme moyen d'apprendre autre chose, alors que d'autres fois elle constitue le but même de l'apprentissage, pour former des informaticiens ou des « honnêtes gens », la programmation étant alors vue comme une compétence importante à acquérir par tous les futurs citoyens. Comme le remarque Tchounikine (2017), « il y a

beaucoup d'appels en faveur de cet enseignement, avec des arguments différents, étayés ou pas ; en substance : « cela permet de développer des compétences importantes », « cela développe la créativité des élèves », « c'est moderne », « c'est un domaine scientifique important », « c'est un secteur qui embauche », « mon petit frère adore », ou encore « c'est mon domaine d'activité, donc il est important, donc il faut l'enseigner » ».

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Ce domaine est tellement vaste et ancien qu'il recouvre des réalités et des finalités extrêmement différentes.

L'enseignement de la programmation peut être conçu comme un moyen d'enseignement de ses fondations : l'algorithmique. Selon Tchounikine (2017) l'enseignement de l'algorithmique et des notions/compétences sous-jacentes correspond aux notions d'action, de variable, de boucle, de conditionnelle, etc. :

Cette approche peut être plus ou moins liée à l'ancrage technologique que constituent les ordinateurs. Dans une mise en œuvre techno-centrée, l'objectif in fine est que les élèves sachent comprendre/faire des programmes, ce qui amène à les faire travailler pour (1) savoir faire des algorithmes et (2) savoir utiliser un langage de programmation. Dans une mise en œuvre plus centrée sur l'apprentissage de mécanismes d'analyse et de résolution de problèmes, des exercices d'algorithmique sans ordinateurs peuvent être utilisés. Ces deux visions ne sont pas nécessairement en opposition et peuvent cohabiter. On peut noter que la plupart des arguments en faveur de l'enseignement de l'informatique et des propositions de programmes que l'on peut lire en France sont plutôt ou essentiellement sous-tendus par cette approche.

L'enseignement de la programmation peut être aussi envisagé dans le cadre plus vaste de l'enseignement de la pensée informatique. Selon Tchounikine (2017) « l'enseignement de « la pensée informatique » [concerne] les compétences suivantes : savoir décomposer un problème en sous-problèmes plus simples ; savoir réfléchir aux tâches à accomplir pour résoudre un problème en termes d'étapes et d'actions (ce que l'on appelle un algorithme) ; savoir décrire les problèmes et les solutions à différents niveaux d'abstraction, ce qui permet d'identifier des similitudes entre problèmes et, par suite, de pouvoir réutiliser des éléments de solutions ; ainsi que, dans l'approche que j'adopte, savoir écrire et tester ces algorithmes [avec un langage de programmation] ».

Enfin, l'enseignement de la programmation est à la base d'un courant extrêmement important : la robotique pédagogique. Selon Komis et Misirli (2011) :

La robotique pédagogique constitue une approche didactique originale, fondée sur une méthode d'apprentissage utilisant des dispositifs programmables et la mise en œuvre d'une pédagogie par projet. Elle se définit par l'utilisation des technologies informatiques dans leurs fonctions d'observation, d'analyse, de modélisation et de contrôle de différents processus physiques. La robotique pédagogique s'adresse à différents types d'apprenants (de l'école maternelle à la formation d'adultes) dans un objectif d'initiation à la démarche scientifique et de développement des compétences techniques et informatiques. Cette démarche permet à l'apprenant de se familiariser avec les technologies informatiques au sens large et de les employer pour définir un projet, le structurer et trouver une solution concrète au problème posé en confrontant son point

de vue avec d'autres. La robotique pédagogique, issue des travaux en Logo, est l'exemple actuel le plus caractéristique de micromonde matériel et symbolique.

C. Plus-values et limites

L'enseignement de la programmation étant pour l'essentiel dévolu à des finalités éducatives nouvelles, il se prête peu aux études empiriques qui comparent telle façon d'enseigner à telle autre, tel outil à tel autre comme moyen d'enseigner. Pour cette raison, il n'y a pas de méta-analyse de la littérature sur l'enseignement de la programmation.

À la même époque, Pea et Kurland (1984) proposaient d'examiner de façon critique les réflexions de leur temps sur la question suivante : l'apprentissage de la programmation informatique favorise-t-il le développement de fonctions mentales générales supérieures ? Les auteurs montraient que « les données probantes disponibles et les hypothèses sous-jacentes sur le processus d'apprentissage de la programmation ne permettent pas de régler adéquatement cette question ».

Vingt ans après, Robins, Rountree et Rountree (2003) publiaient une revue de la littérature qui allait devenir une référence du domaine. Elle est intéressante car elle fait le point sur l'enseignement de la programmation à l'issue de la première désillusion (années 1980-90) et avant le retour de cet enseignement sur le devant de la scène. Les auteurs soulignent plusieurs points : devenir expert en programmation est difficile, exigeant et long ; enseigner la programmation repose sur une distinction entre connaissances (concepts) et stratégies, sans que cette distinction ne soit claire ; la distinction entre la compréhension de la programmation et l'écriture de programmes est tout aussi importante en enseignement, l'équilibre et la complémentarité entre les deux est difficile à trouver ; la croyance dans le fait que la programmation orientée objet¹¹ est plus facile à enseigner et à apprendre n'est guère étayée. Les difficultés des élèves débutants sont exacerbées par le fait que lorsque les connaissances et les stratégies sont acquises, elles sont souvent fragiles (non appliquées ou mal appliquées). Les auteurs plaident pour la mise en place d'une réflexion approfondie à propos de l'enseignement de la programmation.

16 ans après, les recherches ont-elles apporté de nouveaux éléments ? Il semble possible d'affirmer aujourd'hui que l'événement majeur de ces dernières années est l'arrivée de *Scratch*, un langage de programmation accessible, stable et performant, utilisable dès les débuts de la scolarité (voir Tchounikine, 2017 pour une présentation détaillée de ce que l'on peut faire avec *Scratch* pour enseigner l'algorithmique et la pensée informatique dès l'école primaire). Cela permet concrètement de répondre à Robins, Rountree et Rountree (2003) : non, apprendre à programmer (à ce niveau) n'est pas extrêmement difficile et cela permet d'apprendre l'algorithmique et/ou la pensée informatique, même à des personnes qui ne deviendront pas des professionnels de ce secteur. Ce n'est pas que *Scratch* soit un langage de programmation particulièrement facile à apprendre :

Beaucoup de ses propriétés, qui apparaissent inutiles voire inappropriées du point de vue du codage d'algorithmes (par exemple les notions de scènes, les « costumes » des personnages, etc.), sont liées à cette conception de l'enseignement de la pensée informatique : Scratch est conçu pour permettre à des élèves d'exprimer leur créativité par la programmation, de travailler

¹¹ Voir par exemple : https://fr.wikipedia.org/wiki/Programmation_orientée_objet

sur des projets qui font sens pour eux et de développer les compétences (résolution de problèmes, etc.) associées à ce type d'activité, et pas uniquement pour programmer des algorithmes.

L'efficacité de la programmation comme moyen pour apprendre des connaissances scolaires classiques reste à montrer.

D. Place dans les manuels scolaires

L'enseignement de la programmation ou plus généralement de l'informatique est arrivé dans les programmes scolaires nationaux en Suède, Grande-Bretagne, Allemagne, Israël, Finlande, Canada, Écosse, Singapour, Corée du Sud, Japon, Grèce, Inde, etc. parfois comme discipline à part entière, parfois comme partie de l'enseignement des mathématiques ou de la technologie¹² (voir par exemple Buitrago Flórez *et al.*, 2017). Selon le rapport Euridice (2019) la compétence programmation/codage « se classe explicitement parmi les résultats d'apprentissage pour l'enseignement primaire dans moins de la moitié des systèmes éducatifs européens, mais pour les premier et deuxième cycles de l'enseignement secondaire dans une trentaine de pays ». Cette nouvelle vague de l'enseignement de la programmation trouve sa place dans les manuels papiers et numériques. Par exemple, Vibot le robot, met en lien *Scratch* et un robot¹³. Des activités pédagogiques de programmation sans ordinateur sont mises en œuvre et évaluées (Romero *et al.*, 2018). Même s'il est trop tôt pour juger de l'impact de cette nouveauté, cela apparaît aujourd'hui (en 2019) comme un signe que l'enseignement de la programmation est en train de changer de façon radicale.

20. Découvrir des concepts abstraits

A. Définition

La conceptualisation et le changement conceptuel constituent deux enjeux majeurs des apprentissages scolaires : il s'agit de permettre aux élèves d'élaborer une connaissance générale relevant d'une discipline scolaire / scientifique, parfois au prix de la remise en cause de connaissances générales précédentes de ces élèves. Cet enjeu concerne des connaissances abstraites dans le sens où elles correspondent à des réalités du monde extrêmement vastes : l'illustration réaliste du concept abstrait prend le risque de faire passer à côté de celui-ci ; ou la réalité correspondante peut parfois ne pas être perceptible.

Logo est le prototype de l'outil, développé dans les années 1970, qui avait pour ambition de permettre aux élèves de construire des connaissances abstraites.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Depuis la création du langage Logo à la fin des années 1960, la programmation a été envisagée comme un apport fondamental de l'informatique à l'école. La programmation dans Logo était conçue par Papert comme un moyen d'élaborer des connaissances conceptuelles (générales et abstraites), notamment en mathématiques. Une grande partie de la littérature sur Logo est fondée sur l'hypothèse

¹² Depuis la rentrée 2019, un enseignement de spécialité numérique et sciences informatiques est proposé en France aux élèves qui préparent le baccalauréat général.

¹³ <https://scratch.mit.edu/studios/1999251/>

que l'exposition directe au nombre, à l'estimation et aux concepts dans le contexte de la programmation de Logo permet de développer des connaissances mathématiques. Logo peut plus spécifiquement permettre aux élèves de manipuler l'incarnation de certaines idées géométriques. En servant de dispositif de transition entre les expériences concrètes et les mathématiques abstraites, Logo est censé faciliter l'élaboration de représentations graphiques « programmées » de ces idées par les élèves. Pour créer une procédure Logo qui dessine un rectangle, l'élève doit analyser les aspects visuels du rectangle et réfléchir à la façon dont ses parties composantes sont assemblées, une activité qui exige une réflexion descriptive/analytique (Clements & Battista, 1989).

C. Plus-values et limites

Les résultats des recherches sur Logo ne sont pas concluants. Les études montrent que les élèves mobilisent certaines connaissances mathématiques dans la programmation avec Logo, mais elles ne montrent pas que la programmation avec Logo améliore les apprentissages mathématiques, ou alors seulement au plan métacognitif (Battista & Clements, 1986). Les recherches montrent que la plupart des jeunes programmeurs avec Logo ne s'engagent pas dans la construction et l'abstraction de haut niveau de connaissances mathématiques (Kieran, 1986). Se focaliser sur Logo en tant que langage de programmation peut même distraire les élèves des connaissances mathématiques qu'ils rencontrent.

21. Faire émerger des idées, développer sa créativité

A. Définition

La créativité, l'émergence d'idées nouvelles, l'innovation sont parfois envisagées comme des « compétences du 21^e siècle », à partir d'un double argument : d'une part pour faire face à un environnement culturel, technologique, social, professionnel, informationnel qui évolue très vite ; d'autre part, parce que de plus en plus d'activités cognitives sont dévolues aux machines numériques, la créativité est en quelque sorte un des derniers bastions réservés à la pensée humaine. Je ne discute pas ici du bien-fondé de cette analyse. La question que j'aborde est : est-ce que les outils numériques améliorent notre apprentissage de la créativité, de l'émergence d'idées nouvelles ?

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Tchounikine (2017) note qu'il y a deux conceptions différentes des liens entre créativité et utilisation des outils numériques :

- Selon la première le *Creative Computing* vise à « faire en sorte que les élèves développent leur créativité : c'est un objectif phare dans la vision US et, du coup, présente dans beaucoup de manuels / ressources ».
- Selon la seconde, il s'agit de « faire en sorte que les élèves sachent exprimer leurs idées créatives (jeux, dialogues, fictions, etc.) en termes de problèmes à résoudre, d'algorithmes et de programmes : cela rejoint les objectifs autour de la résolution de problèmes et de l'algorithmique, mais c'est une modalité différente ; c'est assez différent de « savoir écrire un algorithme qui fait xxx », xxx étant spécifié par l'enseignant, et de « savoir exprimer sa pensée sous forme d'algorithme » ; pour prendre une métaphore, c'est différent de faire une dictée où le texte est imposé et d'imaginer et d'écrire un texte où l'on choisit ses phrases (ce

qui permet au passage d'éviter celles où l'on ne sait pas accorder le verbe) ; mais les choses se rejoignent ».

On trouve par exemple chez Cassone, Romero, Vieville, de Smet et Ndiaye (2019), de nombreux exemples où la créativité, l'émergence d'idées nouvelles, l'innovation sont mises en œuvre en contexte éducatif et avec l'utilisation (non systématique) d'outils numériques.

C. Plus-values et limites

J'ai déjà abordé dans plusieurs parties de ce rapport, la contribution des outils numériques aux activités de création et de conception : Partie 17 Créer un objet technique, une œuvre picturale ou sonore ; Partie 18 Produire un texte, un document, seul ou à plusieurs ; Partie 19 Programmer.

La littérature sur l'apport des outils numériques à la créativité / à l'émergence d'idées nouvelles est assez restreinte. On trouve des textes de politiques publiques, qui disent qu'il « faut le faire parce que c'est important pour l'avenir » (Ala-Mutka, Punie & Redecker, 2008 ; Ferrari, Cachia & Punie, 2009). À la fin du projet européen *Creativity and Innovation in Education and Training in the EU27* les promoteurs identifient cinq grands domaines d'amélioration pour « permettre un apprentissage plus créatif et un enseignement innovant en Europe : les programmes scolaires, les pédagogies et l'évaluation, la formation des enseignants, les TIC et les médias numériques, la culture et le leadership éducatifs » (Cachia, Ferrari, Ala-Mutka & Punie, 2010). L'étude souligne « la nécessité d'agir tant au niveau national qu'au niveau européen pour apporter les changements nécessaires à une culture éducative européenne ouverte et innovante fondée sur le potentiel créatif et innovant de sa future génération ». Des articles qui présentent les bases théoriques qui permettent de penser que c'est possible de le faire (Hämäläinen & Vähäsantanen, 2011). D'autres soulignent que la réalité est contrariante. Par exemple, Livingstone (2012) écrit :

Il semble que nous assistions à de nouvelles possibilités d'apprentissage, centrées sur les possibilités de créativité numérique axée sur l'enfant (...). Mais à l'heure actuelle, cela n'est évident que chez une minorité de jeunes, car les nouvelles opportunités, surtout si elles dépendent de ressources extrascolaires, génèrent de nouvelles inégalités. Seules les institutions financées par des fonds publics - les écoles en particulier, mais aussi les centres de jeunesse et les centres communautaires - peuvent œuvrer pour rendre cette situation plus équitable. Pourtant, l'intégration réussie de ces possibilités (...) reste incertaine.

Extrêmement peu d'études empiriques ont évalué l'apport des outils numériques à la créativité. Les trois études que j'ai trouvées sont assez anciennes et ne relèvent pas de l'expérimentation randomisée.

Riley et Åhlberg (2004) se sont posé cette question pour des élèves de 10-11 ans en comparant des élèves qui devaient créer des cartes conceptuelles numériques avec des élèves n'ayant pas cette activité, sur la créativité. Les données montrent que les élèves utilisant les cartes conceptuelles numériques améliorent significativement leurs scores normalisés selon l'âge pour le raisonnement non verbal de l'échelle de créativité par rapport à un groupe témoin, dont les scores restent constants. Mais les éléments permettant d'établir un lien avec l'utilisation des cartes conceptuelle numériques ne sont toujours pas concluants. L'analyse des corrélations montre que la réussite en écriture et la créativité sont liées et que la réussite en écriture et le nombre de liens dans les cartes conceptuelles

sont liées. Cependant, il n'existe aucune preuve concluante de l'existence d'un lien entre nombre de liens dans les cartes conceptuelles et la créativité.

Wheeler, Waite et Bromfield (2002) ont conduit une étude pilote sur l'apport des outils numériques à la créativité dans une école primaire rurale du sud-ouest de l'Angleterre. L'école fournit un ordinateur personnel en réseau à chacun de ses 41 élèves de 6^e année (âgés de 10 à 11 ans). Un petit groupe de 6 élèves a été interviewé au sujet des activités d'apprentissage auxquelles ils ont participé au cours de l'année. Les auteurs soulignent surtout que les élèves peuvent s'adapter au nouvel environnement d'apprentissage et font appel à leurs ressources cognitives pour y étudier. Il semble que les élèves dont le niveau d'instruction est moins élevé ont généralement moins de possibilités de développer une créativité et une résolution productive des problèmes dans leur travail. Ils concluent : « d'autres travaux sont nécessaires pour vérifier le modèle proposé de créativité dans les TIC, et d'autres études sont en cours dans l'école, ainsi que dans une autre école disposant de moins de ressources en TIC ».

Allegra, Chifari et Ottaviano (2001) décrivent des expériences qui montrent comment la pensée créative peut être stimulée par l'utilisation d'outils numériques dans le cadre d'activités scolaires. La méthodologie mise en œuvre au cours des trois années de leur projet conduit les élèves à accroître leurs « réflexions divergentes à travers des activités de plus en plus complexes d'écriture créative, d'utilisation de systèmes multimédia et de ressources en ligne, et enfin la conception et le développement d'un hypertexte ».

22. Expérimenter

A. Définition

L'expérimentation assistée par ordinateur est utilisée dans l'enseignement des sciences depuis les années 1970 (e.g. Frankel & Davis, 1973). Une belle synthèse de la littérature est publiée à la fin des années 1990 (de Jong & van Joolingen, 1998). L'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) est parfois associée à la simulation, mais je propose d'aborder dans la partie suivante la simulation où un objet est manipulé physiquement, par des gestes, et où l'enjeu est d'apprendre une procédure gestuelle, typiquement une action manuelle sur un objet technique ou un organisme vivant. On trouve dans la littérature internationale l'expression *simulations for conceptual domains* qui correspond à l'ExAO mais qui inclut les situations où la simulation est utilisée comme simple outil de visualisation, à des fins d'apprentissage conceptuel. On trouve aussi l'expression *microprocessor based laboratory activities* (e.g. Russell, Lucas & McRobbie, 1999) qui correspond bien à l'ExAO mais qui n'a pas été adoptée par tous les spécialistes du domaine. L'ExAO concerne l'expérimentation en laboratoire, où l'élève conçoit l'expérimentation, réalise des mesures (les variations d'une variable B en fonction des variations d'une variable A pouvant être mesurées en continu par le logiciel d'ExAO, l'élève pouvant généralement agir sur les variations de A et observer celles de B), interprète ces résultats, dans le but d'un apprentissage notionnel, conceptuel (i.e. comprendre l'effet de A sur B) ou d'un apprentissage méthodologique (i.e. apprendre à concevoir et mettre en œuvre cette expérimentation, cette mesure). Nonnon (2002) ajoute :

Ces données sont présentes en temps réel sur des instruments virtuels, vumètres¹⁴, graphiques $Y=f(t)$ et $Y=f(x)$ ou tableaux. De plus, un modéliseur permet de trouver la fonction mathématique décrivant le phénomène par l'ajustement des paramètres d'une courbe théorique qu'on superpose sur la courbe expérimentale. (...) De plus, les systèmes portables comme Orphy utilisent un système de reconnaissance automatique des capteurs, une sorte de «plug and play» qui reconnaît chaque capteur que l'étudiant vient de placer et ajuste automatiquement l'échelle de mesure correspondante. Ce système conçu par Guy Lefèbvre du groupe Évariste a permis de réaliser un progrès important en ExAO puisqu'il permet, en plus d'éviter les erreurs d'identification des variables expérimentales, d'ajuster automatiquement leurs échelles de mesures, que ce soit sur les vumètres sur les graphiques ou dans le tableur.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

L'ExAO est souvent utilisé lors d'expérimentations pendant des travaux pratiques (TP), que ce soit en SVT, en physique, en chimie ou en technologie. On pourrait faire l'analogie avec la calculatrice en cours de mathématiques : dans les années 1990, l'ExAO est devenu un outil quotidien des classes de sciences. En France, l'ExAO va trouver sa place dans les salles de TP de sciences, au lycée d'abord, au collège ensuite, et même dans les épreuves du baccalauréat (c'est encore le cas aujourd'hui dans certaines filières).

Ce succès précoce et massif explique peut-être le recul de l'intérêt pour l'ExAO comme objet de recherche à partir des années 2010, pire encore après 2015 où il devient très difficile de trouver des publications sur le sujet.

Si la conception de l'expérience n'est pas épistémologiquement dépendante de l'ExAO (les hypothèses générales sont relativement indépendantes de l'instrumentation), la mise en œuvre de l'expérience et des mesures est au contraire très dépendante, voire définie par l'ExAO.

L'ExAO est parfois utilisée comme simple outil de visualisation, comme support de cours. D'autres fois, elle est utilisée comme « pré-expérience » (avant d'aller dans le laboratoire, pour travailler sur des matériaux réels).

Enfin, les *simulations for conceptual domains* sont parfois des jeux sérieux ; ce dernier type d'application a un succès important, une revue spécialisée lui est consacrée (*Simulation & Gaming*, depuis 1990).

C. Plus-values et limites

Un des grands spécialistes de l'ExAO, Pierre Nonnon (Université de Montréal), remarquait en 2002 que « l'ExAO est en pleine expansion, principalement en France et en Europe et de façon moindre aux États-Unis ». Le succès de l'ExAO sur le vieux continent ne s'est pas accompagné de très nombreuses études expérimentales randomisées, où les plus-values de l'ExAO auraient été testées, puis invalidées ou validées. Les premiers travaux visaient surtout à montrer que l'ExAO « fonctionnait », qu'elle produisait des résultats scientifiquement corrects, et donc pouvait être utilisée. Les chercheurs ont voulu ensuite montrer que l'ExAO permettait de gagner du temps, était moins dangereuse, rendait accessibles de situations inaccessibles (e.g. Drew, 1996). Nonnon (1998) a comparé l'ExAO à une

¹⁴ Instrument montrant le niveau de signal audio.

« radioscopie virtuelle » qui intègre l'abstrait et le réel. Jalvy, Pottecher et Verollet (1993) rendent compte de leurs impressions suite à l'utilisation d'un logiciel d'ExAO en SVT avec leurs élèves de 1^{re} S. Selon eux, l'ExAO présente un intérêt pédagogique :

- l'ordinateur apporte une motivation supplémentaire : il valorise la discipline par sa nouveauté, son aspect ludique et ses implications dans la vie moderne.
- l'ordinateur permet la réalisation de documents concrets.
- l'ordinateur permet de véritables manipulations.
- l'ordinateur transforme la situation pédagogique : pour l'élève qui se voit responsabilisé, qui accède à l'autonomie et à une situation de recherche ; pour le professeur qui doit devenir disponible pour aider le groupe ou l'élève momentanément en difficulté. Dans la classe, il n'est pas forcément celui qui sait (et qui enseigne) mais celui qui coordonne les activités ; pour l'ensemble de la classe, un gain de temps.

La méta-analyse de Bayraktar (2001) ne porte pas spécifiquement sur l'ExAO mais sur les outils numériques en sciences. L'auteure identifie plusieurs catégories d'outils, dont une qu'elle intitule « simulation » mais dans le sens des expérimentations simulées (ExAO donc). L'auteure recense ainsi 42 études sur les outils numériques en sciences, publiées entre 1970 et 1999, les plus nombreuses étant consacrées à la simulation-ExAO. Elle montre que c'est dans cette catégorie que l'on obtient l'effet moyen le plus favorable ($d = 0,39$). Bayraktar émet l'hypothèse que l'ExAO pourrait « créer un environnement d'apprentissage plus actif, ce qui accroît l'implication des élèves et améliore leur apprentissage ».

La synthèse de Rutten, Van Joolingen et Van Der Veen (2012) qui porte spécifiquement sur l'ExAO (dans le sens *simulations for conceptual domains*), comporte une méta-analyse. Cette dernière montre que l'ExAO, quand elle est ajoutée à un enseignement traditionnel, produit un effet très positif (jusqu'à $d = 1,54$). Au plan cognitif, l'ExAO semble faciliter la compréhension conceptuelle des élèves, prend moins de temps et améliore la capacité de prédire les résultats des expériences. Au plan affectif, l'ExAO peut influencer positivement la satisfaction, la participation et l'initiative des élèves et améliorer leur perception du milieu scolaire. Pour ces auteurs, les études qui se sont spécifiquement concentrées sur l'utilisation de l'ExAO comme outil de « pré-expérience » (avant d'aller dans le laboratoire) concluent qu'elles peuvent soutenir efficacement la familiarisation avec le laboratoire, améliorer la concentration des élèves, mener à une meilleure compréhension des techniques et des concepts de base utilisés dans le travail de laboratoire et accroître l'intérêt pour le cours et améliorer les résultats scolaires. Les élèves présentant les plus grandes difficultés d'apprentissage ont le plus profité de l'ExAO comme outil de « pré-expérience ». Toutes les publications analysées par ces chercheurs et qui comparent les enseignements avec ou sans simulation donnent des résultats positifs pour la condition avec simulation (que les simulations aient été utilisées pour remplacer ou pour améliorer les cours traditionnels). Dans ces comparaisons les auteurs obtiennent un effet moyen $d = 1,5$ pour les connaissances apprises et $d = 2$ pour la motivation et l'attitude des élèves.

Le domaine des jeux de simulation pour apprendre donne de bons résultats, comme le montre la méta-analyse de Sitzmann (2011). L'auteure y recense les études où un groupe expérimental a suivi une formation avec des jeux de simulation et un groupe contrôle n'a pas utilisé de jeu de simulation. Elle calcule la plus-value en % de différence au post-test et non pas en utilisant la taille d'effet (d de Cohen). Elle obtient un gain supérieur de 20 % en faveur des jeux de simulation pour l'auto-efficacité après la formation, de 11 % pour les connaissances déclaratives, de 14 % pour les connaissances procédurales

et de 9 % pour le taux de rétention (mémorisation). Une méta-analyse est même consacrée aux effets de ce type d'applications dans l'apprentissage des langues vivantes étrangères (Peterson, 2010).

Du côté des arguments défavorables à l'ExAO, Faure-Vialle (2004) note que, pour certains enseignants ou chercheurs, ce type de système :

Met le vivant à distance et peut placer l'élève en situation d'exécuter des procédures au lieu de se concentrer sur les problèmes biologiques. (...) le rapport expérimental au vivant semble plus difficile en TP ExAO par le fait de la présence de l'ordinateur qui met de la distance par rapport à l'objet d'étude et est également dû aux problèmes d'instrumentation.

Pour Dorey (2012) il semble y avoir une « saturation » de l'usage des logiciels de visualisation moléculaire. Cette saturation :

Se traduit par un usage ayant peu varié ces dix dernières années qui consiste en un usage pour un ou deux TP par an pour chaque classe du lycée. Les activités qui utilisent ces logiciels semblent être très guidées (protocolaires) et apparaissent mettre très peu l'accent sur l'aspect modèle des représentations moléculaires, se contentant plutôt de donner à voir ces représentations. (...) [L'usage des autres logiciels de SVT] semble réservé à une ou deux séances dans l'année au travers d'activités qui semblent assez protocolaires. Enfin, nous avons noté un contraste entre la volonté affichée d'incorporer les TIC dans l'éducation et un usage que nous avons inféré où cet usage semble en décalage avec les attentes du programme.

23. Apprendre à faire sur simulateur ou en réalité virtuelle

A. Définition

L'apprentissage procédural sur simulateur est une pratique très ancienne, remontant au début des années 1930 dans la formation des pilotes d'avion. Le but est de proposer des simulations quand la situation réelle est difficile d'accès, soit parce qu'elle est onéreuse (une heure de vol sur un avion de ligne coûte approximativement 10 000 euros), dangereuse (en chimie ou dans le secteur nucléaire par exemple), ou parce qu'elle pose des problèmes éthiques / d'acceptabilité (dans les formations en santé, par exemple, où certains patients acceptent mal que leur chambre devienne une salle de TP). L'informatique, la robotique et la réalité virtuelle ont permis d'élargir de façon considérable l'offre en matière d'outils de formation en simulateur. Dans cette partie, l'apprentissage procédural concerne les gestes, les mouvements, mais aussi les suites d'actions où la réussite n'est pas tant dans le geste que dans la séquence d'actions elle-même : par exemple en maintenance aéronautique, certaines procédures de dépose d'une pièce impliquent des geste précis à réaliser (tourner d'un quart vers la gauche la pièce puis la soulever) mais aussi des actions élémentaires, qu'il faut réaliser au bon moment (mettre hors tension avant d'intervenir, remettre sous tension après l'intervention). Le domaine de l'aéronautique et de l'espace est célèbre pour des accidents directement imputables à des erreurs de maintenance qui relèvent plus de l'action élémentaire que du geste technique.

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Pour la formation des pilotes d'avion, le simulateur permet de réaliser des tâches que le pilote ne peut pas réaliser en vol, il lui permet d'être confronté à des situations très difficiles à obtenir en vol, voire

dangereuses. Le simulateur permet de refaire autant que fois qu'il est nécessaire telle tâche, il permet d'allonger la durée de la formation. Cet effet positif n'est ainsi pas exclusivement lié au coût de la situation réelle.

Le cas de la formation des étudiants en médecine est aussi intéressant. D'abord parce que le coût de la situation réelle n'est pas que financier, il est d'abord humain, social et éthique. Ensuite, parce que le simulateur permet de mieux planifier la formation et les objectifs, la progression et les tâches. La progression, en particulier, présente un intérêt majeur : avec un simulateur on peut commencer par ce qui est simple, voire simplifier artificiellement la situation, pour accéder ensuite à la complexité. Avec un patient, la complexité est d'emblée présente.

Par exemple, en réanimation, la complexité de la situation d'apprentissage est fortement liée aux émotions, notamment celles liées au risque de décès du patient. Kristin Fraser et son équipe (2014) ont formé 116 étudiants en médecine de dernière année avec un scénario simulé d'une femme de 70 ans dont la conscience était réduite en raison de l'ingestion d'acide aminosalicylique. Les étudiants ont été répartis au hasard dans l'une ou l'autre des deux issues du scénario : la patiente est transférée dans un autre service, ou bien elle subit un arrêt cardiorespiratoire et décède. Les participants ont évalué leurs émotions et leur charge cognitive après la formation. Trois mois plus tard, les auteurs ont évalué les performances de ces étudiants lors d'une simulation d'examen clinique d'un homme de 60 ans présentant une perte de conscience due à l'ingestion d'éthylène glycol. Les résultats montrent que les émotions ont tendance à être plus négatives pour les étudiants avec lesquels la patiente simulée décède. Ces étudiants ont également signalé une charge cognitive plus élevée et leur compétence diagnostique était moins susceptibles d'être jugée favorablement, tout comme leur capacité à prendre en charge un patient. Les auteurs concluent donc que l'enjeu de la recherche dans le domaine est de définir la meilleure façon d'utiliser les expériences émotionnelles négatives pendant la formation par simulation.

Comme on va le voir dans l'examen de la littérature qui suit, se former sur simulateur est plus efficace que ne pas se former. Mais, rendre compte d'un autre gain est plus difficile, notamment quand on cherche un transfert des compétences vers des situations réelles : le réalisme des simulateurs et la conception du scénario de formation constituent alors des critères décisifs.

C. Plus-values et limites

Selon Amadiou et Tricot (2014), qui prennent l'exemple de l'utilisation de la simulation dans la formation des pilotes, il n'est pas question de totalement exclure l'apprentissage pratique sur avion, mais de réduire sa part. La combinaison simulateur + avion donne en moyenne de meilleurs résultats que l'apprentissage sur avion seul (Hays & Jacobs, 1992).

Merchant, Goetz, Cifuentes, Keeney-Kennicutt et Davis (2014) ont réalisé une méta-analyse sur les effets de la réalité virtuelle dans le domaine de l'éducation, en examinant trois applications de la réalité virtuelle : jeux, simulation, mondes virtuels. Pour ce qui concerne la simulation, ils ont identifié 29 études. Les résultats suggèrent que les simulations en réalité virtuelle ont un effet positif mais modéré sur l'apprentissage ($d = 0,36$). Pour les études sur la simulation (pour les apprentissages procéduraux), le fait de fournir un feedback constitue un critère décisif ; le feedback le plus efficace est celui où, en cas d'erreur, le retour donné à l'élève porte sur la connaissance à mettre en œuvre.

McGaghie *et al.* (2011) ont réalisé une méta-analyse sur les apports de la simulation dans les formations en santé, sur 14 publications sélectionnées (parues entre 1990 à 2010). Ils obtiennent un effet positif en faveur des formations avec simulateur par rapport aux formations sans simulateur ($d = 0,71$).

Cook *et al.* (2011) ont réalisé une autre méta-analyse, sur le même sujet. Ils ont sélectionné beaucoup plus d'articles (609 dont 137 étaient des études randomisées comparant deux groupes au moins). Les résultats montrent que, comparativement à l'absence d'intervention, la taille de l'effet $d = 1,20$ pour les résultats liés aux connaissances (118 études), $d = 1,14$ pour la vitesse de réalisation de la tâche (210 études), $d = 1,09$ pour l'efficacité dans la mise en œuvre du savoir-faire (426 études), $d = 1,18$ pour les compétences relatives au savoir (54 études), $d = 0,79$ pour la gestion du temps (20 études), $d = 0,81$ pour la mesure du temps pour évaluer les comportements tout en s'occupant des patients (50 études), et $d = 0,50$ pour les effets directs sur les patients (32 études). Les auteurs concluent donc à un effet globalement très positif de la simulation quand celle-ci est comparée à l'absence d'intervention.

La même équipe a publié une seconde méta-analyse sur le même sujet deux ans après (Cook *et al.*, 2013), mais cette fois-ci ils n'ont sélectionné que les études où la simulation était comparée à une autre intervention. Ils ont recensé 289 études, dont 208 avec essais randomisés. En ce qui concerne les résultats liés aux compétences, la taille de l'effet était de $d \geq 0,50$ pour la plupart des conditions d'usage de la simulation : pratique répétée, pratique distribuée, pratique interactive, stratégies d'apprentissage multiples, apprentissage individualisé.

La même équipe a aussi publié en 2013 une méta-analyse portant spécifiquement sur la simulation au service de la formation en réanimation (Mundell, Kennedy, Szostek & Cook, 2013). 182 études ont été recensées. Les résultats montrent dans l'ensemble que la formation avec simulation portant sur des connaissances procédurales en réanimation, comparativement à l'absence d'intervention, est efficace quels que soient les résultats évalués, le niveau de l'apprenant, la conception de l'étude ou la tâche spécifique enseignée (les tailles d'effet g de Hedges étant comprises entre 1,05 et 1,92). Comparativement à l'intervention sans simulation, la formation avec simulation entraîne en moyenne une plus grande satisfaction de l'apprenant ($g = 0,79$) et la maîtrise de la procédure ($g = 0,35$).

Cheng *et al.* (2014) ont publié une méta-analyse portant spécifiquement sur la simulation au service de la formation en pédiatrie. Ils ont identifié 57 études utilisant la simulation en enseignement de la pédiatrie. Pour les études comparant la formation avec simulation à l'absence d'intervention, l'effet de la simulation est très positif que ce soit pour les connaissances apprises, les compétences (sans tenir compte du temps), les comportements avec les patients et la vitesse d'exécution des tâches ($0,8 < d < 1,91$). Pour les études comparant l'utilisation de simulateurs présentant un fort réalisme élevé à de simulateurs présentant un faible réalisme, les auteurs ont obtenu des effets en faveur du fort réalisme, avec des tailles d'effet bien moindre ($0,3 < d < 0,7$).

La simulation en formation a été étudiée dans de très nombreux domaines, j'ai choisi de rendre compte de quelques méta-analyses dans le domaine médical car c'est celui où l'on trouve le plus d'études. Pour d'autres domaines, le lecteur pourra consulter le rapport de Stéphanie Roussel pour le Cnesco (2020) et la thèse de Charlotte Hoareau (2016).

24. Mémoriser, apprendre par cœur

A. Définition

En classe, les élèves doivent parfois restituer littéralement ce qu'ils ont appris par cœur. Les technologies de la mémoire (l'écriture, l'imprimerie par exemple), dont les outils numériques sont le dernier déploiement, ont comme fonction de (notamment) permettre aux humains de ne pas avoir à apprendre par cœur (Tricot, Sahut & Lemarié, 2016). Pourtant, dans un contexte souvent non scolaire, les outils numériques ont été sollicités pour « entraîner la mémoire » ou « apprendre du vocabulaire ».

B. Exemples d'activités et d'outils numériques

Si des outils comme « Gym cerveau » et « L'Entraînement cérébral » du Dr Kawashima ne concernent pas l'école, autrement que de façon anecdotique, l'apprentissage du vocabulaire en langue seconde à l'aide d'outils numériques est au contraire tout à fait pratiqué en contexte scolaire (Abraham, 2008).

C. Plus-values et limites

Lorant-Royer, Spiess, Goncalves et Lieury (2008) ont évalué deux outils « Gym cerveau », et « L'Entraînement cérébral » du Dr Kawashima sur Nintendo DS. Leur première expérience compare :

Chez des élèves de 6e et de 5e, un entraînement aux exercices de « Gym cerveau » pendant cinq semaines, à une condition ludique (jeux type « Mickey jeux ») et à une condition Devoirs. Aucun effet n'est observé entre un pré-test et un post-test, portant sur des épreuves de type scolaire.

L'expérience 2 compare, cette fois :

Quatre groupes d'élèves de CM1 : deux bénéficiant d'un entraînement, pendant sept semaines, à un jeu vidéo, « L'Entraînement cérébral » de Kawashima ou la « Cérébrale académie », un troisième groupe s'entraîne à des jeux papier-crayon et un quatrième est un groupe contrôle. Un pré-test et un post-test sont utilisés avec trois épreuves de type scolaire, trois tests cognitifs issus de la WISC-IV15 et des questionnaires de motivation. Aucune progression n'est statistiquement significative pour les épreuves scolaires. Pour les tests cognitifs, les jeux vidéo permettent une légère progression de 20 % pour la mémorisation des chiffres et les symboles, mais ne font pas mieux que les jeux papier-crayon ou le groupe contrôle. On n'observe pas d'augmentation de la motivation intrinsèque mais une baisse du score d'autodétermination pour « L'Entraînement cérébral ».

Chiu (2013) a conduit une méta-analyse sur le cas particulier de la mémorisation du vocabulaire en langue seconde. Elle a sélectionné 16 études sur le sujet, dont une en France. Les résultats montrent que les outils numériques améliorent l'apprentissage du vocabulaire en langue seconde ($d = 0,75$). Quatre modérateurs importants ont été identifiés :

- la durée de l'apprentissage : l'effet est plus important pour les expérimentations de moins d'un mois ($d = 1,57$) que pour les expérimentations de plus d'un mois ($d = 0,50$).

¹⁵ *Wechsler Intelligence Scale for Children*. C'est un test qui mesure le quotient intellectuel, développé en 1949 par David Wechsler. Le quotient intellectuel correspond au rapport de la performance d'un enfant aux épreuves du test sur la performance moyenne des enfants de son âge. La WISC-IV est la 4^e version de ce test, parue en 2003.

- le niveau de scolarité : l'effet est plus important pour les élèves du secondaire ou supérieur ($d = 1,03$) que pour les élèves du primaire ($d = 0,32$).
- le jeu : l'effet est plus important pour l'apprentissage sans jeux ($d = 1,11$), qu'avec des jeux ($d = 0,49$).
- la présence d'un enseignant : l'effet est plus important pour les interventions sans enseignant ($d = 1,38$) qu'avec enseignant ($d = 0,21$).

Conclusion

Les outils numériques remplissent des fonctions pédagogiques très diverses, dans toutes les disciplines scolaires et à tous les niveaux de la scolarité, des études et de la formation professionnelle. Avec les outils numériques, les enseignants peuvent présenter de l'information, tandis que les élèves peuvent lire et comprendre un texte, apprendre à lire, écouter un document sonore, écouter un texte sonorisé, regarder / lire un document multimédia, regarder une vidéo, une animation et prendre des notes. Quand ils manquent de connaissances en situation, les élèves peuvent utiliser des outils numériques pour poser des questions, demander de l'aide, rechercher de l'information et résoudre des problèmes. Ils peuvent aussi s'entraîner, jouer, et les outils numériques sont censés les motiver. Quand ils n'ont pas les moyens de se rendre physiquement dans une école, ils peuvent coopérer et apprendre à distance dans des environnements numériques. Les enseignants peuvent bénéficier de l'aide d'outils numériques pour évaluer les performances des élèves mais aussi suivre leurs progrès et analyser leurs difficultés, tandis que les élèves peuvent s'autoévaluer grâce à ces outils. Les outils numériques peuvent aussi soutenir des activités très ouvertes : créer un objet technique, une œuvre picturale ou sonore, produire un texte, un document, seul ou à plusieurs, programmer, découvrir des concepts abstraits, faire émerger des idées, développer sa créativité ou même expérimenter. Si l'expérimentation assistée par ordinateur permet surtout d'apprendre des connaissances notionnelles, les simulateurs et la réalité virtuelle permettent d'apprendre à faire quelque chose. Enfin, certains outils numériques peuvent permettre de mémoriser, apprendre par cœur, essentiellement du lexique en langue vivante étrangère.

Ces fonctions ne représentent que des possibilités, que les données empiriques collectées depuis plus de 40 ans vont confirmer ou mettre en doute. Le choix de privilégier les méta-analyses de la littérature empirique dans ce rapport permet de dresser 9 constats :

1. La littérature empirique qui tente de mettre à jour les plus-values du numérique pour les apprentissages académiques est pléthorique. 303 références ont été analysées dans le cadre de ce rapport, dont 50 méta-analyses (chaque méta-analyse portant en moyenne sur 70 publications).
2. Les méta-analyses mettent en évidence des effets moyens le plus souvent positifs et modestes, avec une très grande variation des tailles d'effet autour de la moyenne. Ce qui veut dire que souvent, les outils ne suffisent pas, à eux seuls, à améliorer les apprentissages de façon notable ; parfois ils y parviennent, mais parfois ils détériorent ces apprentissages. Pour être efficaces, les outils doivent non seulement être pertinents pour l'apprentissage de la connaissance visée, mais aussi être intégrés de façon pertinente dans une situation d'enseignement – apprentissage, c'est-à-dire qu'ils doivent être compatibles avec la tâche à réaliser, avec le temps disponible, avec l'organisation sociale, matérielle et spatiale de la situation. Pour cela, les outils doivent être faciles à prendre en main, les enseignants doivent être formés et accompagnés à leur utilisation en situation d'enseignement, ils doivent pouvoir partager, échanger entre eux à ce propos.
3. Certaines fonctions pédagogiques bénéficient (en moyenne) fortement du numérique : la compensation, le contournement et la rééducation pour les élèves porteurs de troubles ou en situation de handicap, la simulation pour apprendre à faire quelque chose, notamment dans un environnement virtuel, représenter ce qu'on ne savait/pouvait pas représenter auparavant, enrichir les informations présentées, rechercher de l'information, résoudre un problème mathématique avec une calculatrice, s'entraîner à faire quelque chose (de simple), apprendre à distance (quand on ne peut pas se déplacer) et encore mieux en apprentissage mixte (quand on

peut se déplacer un peu), écrire un texte, seul ou à plusieurs (mais cela n'économise en rien l'enseignement de l'écriture), expérimenter ou simuler en sciences, mémoriser du lexique en langue vivante étrangère.

4. Certaines fonctions pédagogiques bénéficient modérément (en moyenne) du numérique : regarder des vidéos et des animations pour comprendre, jouer, recevoir un feedback immédiat élaboré, concevoir de (nouveaux) objets. Ces effets modérés moyens cachent de belles réussites et de cuisants échecs, qui sont probablement liés (entre autres) à un manque de compétences et de moyens chez les concepteurs : nous devons absolument progresser dans la conception de ces outils.
5. Pour certaines fonctions pédagogiques, on ne sait pas encore quelles sont les éventuelles plus-values : c'est le cas de la programmation et du développement de la créativité.
6. Les outils numériques n'ont pas d'effet, en moyenne, sur la motivation scolaire.
7. Les outils numériques ont tendance à détériorer la lecture – compréhension de textes ; la prise de notes, notamment quand l'ordinateur est connecté à Internet, quand d'autres applications que le traitement de texte sont disponibles ; la demande d'aide ; la découverte de concepts abstraits ; la compréhension de phénomènes dynamiques complexes ou de discours complexes quand les supports présentent une information transitoire, sans pause.
8. De façon très générale les outils numériques représentent des exigences cognitives supplémentaires, ils ne constituent en rien une solution de facilité. Cela représente dans certains domaines de nouveaux enjeux, de nouvelles compétences à apprendre par les élèves, notamment dans la compréhension de textes complexes, multi-sources et dans la recherche d'information.
9. Les outils numériques représentent aussi de nouvelles exigences pour les concepteurs de supports d'enseignement. Leur faire connaître, par exemple, les « principes multimédia » compilés par Richard Mayer, présentés plus haut, semble tout à fait utile (Malti, 2018). La conception de supports numériques bénéficie très peu des cinq siècles qui ont permis à l'édition papier d'asseoir ses standards et ses savoir-faire. Les concepteurs de jeux sérieux doivent apprendre à concevoir des jeux efficaces pour faire apprendre des connaissances scolaires ou professionnelles, c'est-à-dire savoir mobiliser des compétences de haut niveau dans trois domaines : la conception de jeux, la conception de situation d'enseignement - apprentissage (en autonomie la plupart du temps), la conception de systèmes informatisés et d'interfaces. Les concepteurs d'environnements d'apprentissage collaboratif à distance doivent savoir répondre aux sept défis définis par Jeong et Hmelo-Silver (2016), présentés plus haut. Les concepteurs de vidéos et d'animations pour l'enseignement doivent apprendre une nouvelle façon de concevoir et de monter des images dynamiques, comme le proposent Lowe et Boucheix (2017), présentée plus haut.

Annexe

Les humains et les outils

Certains outils sont conçus pour permettre aux humains de réaliser une tâche, parce qu'elle serait impossible sinon, ou pour améliorer la performance lors de la réalisation d'une tâche. L'activité de conception a longtemps été centrée sur l'outil lui-même, qui doit posséder certaines caractéristiques pour améliorer la performance à la tâche. Mais cela ne suffit pas : l'outil n'est efficace que dans la mesure où l'humain réussit à l'utiliser, et même, à se l'approprier pour accomplir une tâche. L'outil numérique n'échappe pas à cette nécessité. De très nombreux travaux en anthropologie, psychologie, didactique, sociologie et ergonomie ont pour objectif de comprendre ce processus d'appropriation intrinsèquement lié à l'existence et l'utilisation d'un outil. Ces travaux sont très utiles pour analyser la façon dont les enseignants et les élèves s'approprient ou non les outils numériques pour enseigner et apprendre. Plusieurs idées sont importantes :

1. Les humains s'approprient un nouvel outil en fonction de la façon dont ils accomplissaient la tâche préalablement, avec éventuellement un outil plus ancien. La façon d'accomplir une tâche, c'est-à-dire la suite d'actions qui permet de la réaliser se stabilise chez un individu au fur et à mesure qu'il rencontre et accomplit des tâches du même type. Cette pratique stabilisée pour un ensemble de tâches est appelée schème. Il va être difficile de s'approprier un nouvel outil si celui-ci est incompatible avec le schème préalable.
2. Parfois, plusieurs individus au sein d'une communauté partagent une façon de faire les choses, une certaine façon d'accomplir certaines tâches. On parlera alors de schèmes sociaux, participant à la définition d'une pratique sociale ou d'un habitus. Partager la façon de faire les choses définit une culture. Les deux processus de base de transmission de la culture sont l'imitation et l'enseignement. Un individu qui ne fait pas comme les autres peut ne pas être considéré comme membre de la communauté, sa pratique étant perçue comme illégitime ou non assimilable dans la culture, celle du contexte scolaire par exemple.
3. Certaines tâches mobilisent plusieurs individus, qui interagissent pour les accomplir : par exemple résoudre un problème de façon coopérative. Les connaissances mises en œuvre dans les interactions entre humains sont parfois appelées compétences sociales.
4. Quand un individu s'est approprié un outil pour réaliser une tâche, on parle d'instrument pour signifier que cet individu a développé un schème d'utilisation associé à l'outil. Le processus qui consiste à construire et modifier le schème d'utilisation est appelé instrumentation. Réciproquement, lorsque l'on considère un outil indépendamment de son appropriation et utilisation par un individu, on parle d'artefact. L'appropriation de l'outil par un individu ne consiste pas seulement à développer un schème mais aussi à prendre en compte, sélectionner, regrouper, détourner certaines des caractéristiques de l'artefact. Cet autre aspect du processus de constitution de l'instrument est l'instrumentalisation. Ce double processus d'appropriation instrumentation/ instrumentalisation est appelé genèse instrumentale.
5. Quand un individu s'approprie un outil, il peut le mettre en œuvre pour des tâches qui n'étaient pas envisagées par le concepteur. L'individu a adapté l'outil à ses besoins et le détourne de son usage prévu initialement. Ce processus de détournement est appelé catachrèse. Il peut aller jusqu'à la modification de l'outil lui-même, révélant des possibilités d'évolution.

Les conditions pour que les enseignants et les élèves s'approprient un outil numérique au service de l'enseignement et de l'apprentissage sont nombreuses et difficiles à réunir, que l'usage de cet outil soit prescrit ou non :

- Certains travaux insistent sur les qualités de l'outil lui-même : il doit être (a) utile (permettre de mieux enseigner et/ou de mieux apprendre) et perçu comme utile par les enseignants et les élèves, (b) utilisable (facile à prendre en main) et perçu comme utilisable, (c) acceptable (compatible avec l'organisation du temps, de l'espace, avec les outils, les tâches, les valeurs et les motivations des individus et les caractéristiques de l'institution dans lesquelles ils travaillent).
- D'autres travaux insistent sur l'importance de la formation, nécessaire à la transformation des schèmes et à la compréhension de l'utilité de l'outil.
- D'autres enfin mettent en exergue la dimension collective / culturelle de l'appropriation. L'appropriation individuelle est souvent vouée à l'échec, car les pratiques d'enseignement et d'apprentissage sont davantage des pratiques sociales. Faire vivre et accompagner de tels collectifs est un enjeu majeur et nécessaire pour que ces collectifs puissent intégrer, adapter et ajuster ces pratiques afin de les transformer en pratiques scolaires.

Références

- Abraham, L. (2008). Computer-mediated glosses in second language reading comprehension and vocabulary learning: a meta-analysis. *Computer Assisted Language Learning*, 21, 199–226.
- Adesope, O. O. & Nesbit, J. C. (2012). Verbal redundancy in multimedia learning environments: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 104(1), 250.
- Agathoklis, P., Cellier, F. E., Djordjevic, M., Grepper, P. O. & Kraus, F. J. (1980). Educational aspects of using computer aided design in automatic control. In *Computer Aided Design of Control Systems* (pp. 441-446). Pergamon.
- Ahmad, K. & Lily, S. (1994). The effectiveness of computer applications: A meta-analysis. *Journal of Research on Computing in Education*, 27(1), 48-61.
- Ainsworth, S. (2008). How do animations influence learning? In D. Robinson & G. Schraw (Eds.), *Current perspectives on cognition, learning, and instruction: Recent innovations in educational technology that facilitate student learning*. (pp 37-67). Information Age Publishing.
- Ala-Mutka, K., Punie, Y. & Redecker, C. (2008). ICT for learning, innovation and creativity. Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), European Commission, Joint Research Center. Technical Note: JRC, 48707,
- Alamargot, D., Chesnet, D., Dansac, C. & Ros, C. (2006). Eye and pen: A new device for studying reading during writing. *Behavior Research Methods*, 38(2), 287-299.
- Aleven, V., Stahl, E., Schworm, S., Fischer, F. & Wallace, R. (2003). Help seeking and help design in interactive learning environments. *Review of Educational Research*, 73(3), 277-320.
- Allegra, M., Chifari, A. & Ottaviano, S. (2001). ICT to train students towards creative thinking. *Journal of Educational Technology & Society*, 4(2), 48-53.
- Alvarez, J., Djaouti, D. & Rampnoux, O. (2016). *Apprendre avec les serious games ?* Canopé.
- Amadiou, F. (2015). Compréhension des documents numériques. Mémoire d'HDR, Université de Toulouse.
- Amadiou, F. (2018). Comment intégrer les outils numériques dans l'apprentissage de l'écriture ? *Conférence de consensus Cnesco « Écrire et rédiger : comment accompagner les élèves dans leurs apprentissages ? »*. Cnesco.
- Amadiou, F. & Salmerón, L. (2014). Concept maps for comprehension and navigation of hypertexts. In *Digital knowledge maps in education* (pp. 41-59). Springer.
- Amadiou, F. & Tricot, A. (2014). Apprendre avec le numérique : mythes et réalités. Retz.
- Amadiou, F. Bastien, C. & Tricot, A. (2008). Les méthodes on-line 1 : Analyse des parcours. In A. Chevalier & A. Tricot, (Eds.), *Ergonomie des documents électroniques*. (pp. 251-270). PUF.
- Amadiou, F. Tricot, A. & Mariné, C. (2011). Comprendre des documents non-linéaires : quelles ressources apportées par les connaissances antérieures ? *L'Année Psychologique*, 111(2), 359-408.
- Amir, Z., Ismail, K. & Hussin, S. (2011). Blogs in language learning: Maximizing students' collaborative writing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 18, 537-543.

- Anderson, J.R., Boyle, C. F., Corbett, A. T. & Lewis, M. W. (1990). Cognitive modeling and intelligent tutoring. *Artificial intelligence*, 42(1), 7-49.
- Andriessen, J., Baker, M. & Suthers, D. D. (Eds.), (2013). *Arguing to learn: Confronting cognitions in computer-supported collaborative learning environments*. Springer.
- Aragón-Mendizábal, E., Delgado-Casas, C., Navarro-Guzmán, J. I., Menacho-Jiménez, I. & Romero-Oliva, M. F. (2016). A Comparative study of handwriting and computer typing in note-taking by university students. *Comunicar*, 24(48), 101-107.
- Archer, K., Savage, R., Sanghera-Sidhu, S., Wood, E., Gottardo, A. & Chen, V. (2014). Examining the effectiveness of technology use in classrooms: A tertiary meta-analysis. *Computers & Education*, 78, 140-149.
- Ayres, P. & Sweller, J. (2014). The split-attention principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 135–146). Cambridge University Press.
- Azevedo, R. & Bernard, R. M. (1995). A meta-analysis of the effects of feedback in computer-based instruction. *Journal of Educational Computing Research*, 13(2), 111-127.
- Aziz, N., Roseli, N. H. & Mutalib, A. A. (2011). Visually impaired children's acceptances on assistive courseware. *American Journal of Applied Sciences*, 8, 1019-1026.
- Babin, L. M., Tricot, A. & Mariné, C. (2009). Seeking and providing assistance while learning to use information systems. *Computers & Education*, 53(4), 1029-1039.
- Baccino, T. (2004). *La lecture numérique*. PUG.
- Baccino, T. & Draï-Zerbib, V. (2015). *La lecture numérique* (2^e édition). PUG.
- Baker, R. S. (2007). Modeling and understanding students' off-task behavior in intelligent tutoring systems. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 1059-1068). ACM.
- Baker, R. S. & Inventado, P. S. (2014). Educational data mining and learning analytics. In *Learning analytics* (pp. 61-75). Springer.
- Banf, M. & Blanz, V. (2013, March). Sonification of images for the visually impaired using a multi-level approach. In *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference* (pp. 162-169). ACM.
- Bangert-Drowns, R. L. (1993). The word processor as an instructional tool: A meta-analysis of word processing in writing instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 69-93.
- Barak, M., Lipson, A. & Lerman, S. (2006). Wireless laptops as means for promoting active learning in large lecture halls. *Journal of Research on Technology in Education*, 38(3), 245-263.
- Baron-Cohen, S., Golan, O. & Ashwin, E. (2009). Can emotion recognition be taught to children with autism spectrum conditions? *Philosophical Transaction Royal Society. Biological Science*, 364, 3567-3574.
- Battista, M. T. & Clements, D. H. (1986). The effects of Logo and CAI problem-solving environments on problem-solving abilities and mathematics achievement. *Computers in Human Behavior*, 2(3), 183-193.
- Bavelier, D. & Green, C. S. (2016). The brain-boosting power of video games. *Scientific American*, 315(1), 26-31.

- Bayraktar, S. (2001). A meta-analysis of the effectiveness of computer-assisted instruction in science education. *Journal of Research on Technology in Education*, 34(2), 173-188.
- Beckmann, N., Beckmann, J. F. & Elliott, J. G. (2009). Self-confidence and performance goal orientation interactively predict performance in a reasoning test with accuracy feedback. *Learning and Individual Differences*, 19(2), 277-282.
- Bediou, B., Adams, D. M., Mayer, R. E., Tipton, E., Green, C. S. & Bavelier, D. (2018). Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. *Psychological Bulletin*, 144(1), 77-110.
- Bekele, E., Crittendon, J., Zheng, Z., Swanson, A., Weitlauf, A., Warren, Z. & Sarkar, N. (2014). Assessing the utility of a virtual environment for enhancing facial affect recognition in adolescents with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44, 1641-1650.
- Bernard, R. M., Abrami, P. C., Borokhovski, E., Wade, C. A., Tamim, R. M., Surkes, M. A. & Bethel, E. C. (2009). A meta-analysis of three types of interaction treatments in distance education. *Review of Educational Research*, 79(3), 1243-1289.
- Bernard, R. M., Abrami, P. C., Lou, Y., Borokhovski, E., Wade, A., Wozney, L., ... & Huang, B. (2004). How does distance education compare with classroom instruction? A meta-analysis of the empirical literature. *Review of Educational Research*, 74(3), 379-439.
- Bernard, R. M., Borokhovski, E., Schmid, R. F., Tamim, R. M. & Abrami, P. C. (2014). A meta-analysis of blended learning and technology use in higher education: From the general to the applied. *Journal of Computing in Higher Education*, 26(1), 87-122.
- Bernard, R. M., Borokhovski, E., Schmid, R. F. & Tamim, R. M. (2018). Gauging the effectiveness of educational technology integration in education: What the best-quality meta-analyses tell us. *Learning, Design, and Technology: An International Compendium of Theory, Research, Practice, and Policy*, 1-25
- Berney, S. & Bétrancourt, M. (2016). Does animation enhance learning? A meta-analysis. *Computers & Education*, 101, 150-167.
- Bétrancourt, M. & Tversky, B. (2000). Effect of computer animation on users' performance: a review. *Le Travail Humain*, 63, 311-329.
- Boubée, N. (2007). Des pratiques documentaires ordinaires : analyse de l'activité de recherche d'information des élèves du secondaire. Thèse, Université Toulouse 2.
- Boubée, N. & Tricot, A. (2010). *Qu'est-ce que rechercher de l'information ?* Presses de l'Enssib.
- Boubée, N. & Tricot, A. (2011). *L'activité informationnelle juvénile*. Lavoisier.
- Boucenna, S., Narzisi, A., Tilmont, E., Muratori, F., Pioggia, G., Cohen, D. & Chetouani, M (2014). Interactive Technologies for Autistic Children: A Review. *Cognitive Computation*, 6, 722-740.
- Bråten, I., Britt, M. A., Strømsø, H. I. & Rouet, J. F. (2011). The role of epistemic beliefs in the comprehension of multiple expository texts: Toward an integrated model. *Educational Psychologist*, 46(1), 48-70.

- Brissiaud, R. & Sander, E. (2010). Arithmetic word problem solving: a Situation Strategy First framework. *Developmental Science*, 13(1), 92-107.
- Bronner, G. (2013). *La démocratie des crédules*. PUF.
- Brown, A. R. (2012). *Computers in music education. Amplifying musicality*. Routledge.
- Brownell, W. A. & Chazal, C. B. (1935). The effects of premature drill in third-grade arithmetic. *The Journal of Educational Research*, 29(1), 17-28.
- Burrill G.J., Allison J., Breaux G., Kastberg S., Leatham K. & Sanchez W. (2002) Handheld Graphing Technology in Secondary Mathematics: Research Findings and Implications for Classroom Practice. Texas Instruments.
- Bush, V. (1945). As we may think. *The Atlantic Monthly*, 176, 101-108
- Cachia, R., Ferrari, A., Ala-Mutka, K. & Punie, Y. (2010). Creative learning and innovative teaching: Final report on the study on creativity and innovation in education in EU member states (No. JRC62370). Joint Research Centre (Seville site).
- Cardon, D. (2015). *À quoi rêvent les algorithmes ?* Seuil.
- Casalis, S., Colé, P. & Sopo, D. (2004). Morphological awareness in developmental dyslexia. *Annals of dyslexia*, 54(1), 114-138.
- Case, D. O. (2007). *Looking for information. A survey of research on information seeking, needs, and behavior*. Academic Press.
- Cassone, L., Romero, M., Vieville, T., de Smet, C. & Ndiaye, M. (2019). ANR# CreaMaker workshop: Co-creativity, robotics and maker education Proceedings. Université de Nice.
- Chao, Y. C. J. & Lo, H. C. (2011). Students' perceptions of Wiki-based collaborative writing for learners of English as a foreign language. *Interactive Learning Environments*, 19(4), 395-411.
- Cheng, A., Lang, T. R., Starr, S. R., Pusic, M. & Cook, D. A. (2014). Technology-enhanced simulation and pediatric education: a meta-analysis. *Pediatrics*, 133(5), e1313-e1323.
- Chesnet, D. & Alamargot, D. (2005). Analyse en temps réel des activités oculaires et grapho-motrices du scripteur : intérêt du dispositif «Eye and Pen». *L'Année Psychologique*, 105(3), 477-520.
- Cheung, A. C. & Slavin, R. E. (2012). How features of educational technology applications affect student reading outcomes: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 7(3), 198–215.
- Cheung, A. C. & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 9, 88-113.
- Chi, M. T. & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219-243.
- Chiu, Y. H. (2013). Computer-assisted second language vocabulary instruction: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, 44(2), E52-E56.
- Clariana, R. & Wallace, P. (2002). Paper-based versus computer-based assessment: key factors associated with the test mode effect. *British Journal of Educational Technology*, 33(5), 593-602.

- Clark, D. B., Tanner-Smith, E. E. & Killingsworth, S. S. (2016). Digital games, design, and learning: A systematic review and meta-analysis. *Review of Educational Research*, 86(1), 79-122.
- Clark, R. E. & Feldon, D. F. (2014). Ten common but questionable principles of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 151-173). Cambridge University Press.
- Clements, D. H. & Battista, M. T. (1989). Learning of geometric concepts in a Logo environment. *Journal for Research in Mathematics Education*, 20(5) 450-467.
- Cline, R. J. & Haynes, K. M. (2001). Consumer health information seeking on the Internet: the state of the art. *Health Education Research*, 16(6), 671-692.
- Colé, P., Casalis, S. & Dufayard, C. (2012). MORPHOREM. www.orthoedition.com/evaluations/morphorem-705.html
- Cook, D. A., Hatala, R., Brydges, R., Zendejas, B., Szostek, J. H., Wang, A. T., ... & Hamstra, S. J. (2011). Technology-enhanced simulation for health professions education: A systematic review and meta-analysis. *Jama*, 306(9), 978-988.
- Cooper, M. (2006). Making online learning accessible to disabled students: An institutional case study. *Association for Learning Technology Journal*, 14(1), 103-115.
- Coughlin, C., Hembacher, E., Lyons, K. E. & Ghatti, S. (2015). Introspection on uncertainty and judicious help-seeking during the preschool years. *Developmental Science*, 18(6), 957-971.
- Cutrell, E. & Guan, Z. (2007). What are you looking for? An eye-tracking study of information usage in web search. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 407-416). ACM.
- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201
- de Vries, E. (2001). Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ? *Revue Française de Pédagogie*, 137, 105-116.
- Delgado, P., Vargas, C., Ackerman, R. & Salmerón, L. (2018). Don't throw away your printed books: A meta-analysis on the effects of reading media on reading comprehension. *Educational Research Review*, 25, 23-38.
- DeSmet, A., Shegog, R., Van Ryckeghem, D., Crombez, G. & De Bourdeaudhuij, I. (2015). A systematic review and meta-analysis of interventions for sexual health promotion involving serious digital games. *Games for Health Journal*, 4(2), 78-90.
- Dessus, P. & Lemaire, B. (2004). Assistance informatique à la correction de copies. In E. Gentaz & P. Dessus (Eds.), *Comprendre les apprentissages, Sciences cognitives et éducation* (pp. 205-220). Dunod.
- DeStefano, D. & LeFevre, J.-A. (2007). Cognitive load in hypertext reading: A review. *Computers in Human Behavior*, 23, 1616-1641.
- Dillenbourg, P. (1999). What do you mean by "collaborative learning"? In P. Dillenbourg (Ed.), *Collaborative learning: Cognitive and computational approaches* (pp. 1-16). Pergamon.

- Dillenbourg, P. (2002). Over-scripting CSCL: The risks of blending collaborative learning with instructional design. In P. A. Kirschner. *Three worlds of CSCL. Can we support CSCL?* (pp .61-91). Open Universiteit Nederland.
- Dorey, S. (2012). Les logiciels de visualisation moléculaire dans l'enseignement des sciences de la vie : conceptions et usages. Thèse, École normale supérieure de Cachan.
- Drew, S. M. (1996). Integration of National Instruments' LabVIEW software into the chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education*, 73(12), 1107
- Duncum, P. (2001). Visual culture: Developments, definitions, and directions for art education. *Studies in Art Education*, 42(2), 101-112.
- Dye, M. W., Green, C. S. & Bavelier, D. (2009). Increasing speed of processing with action video games. *Current Directions In Psychological Science*, 18(6), 321-326.
- Ecalte, J., Kleinsz, N. & Magnan, A. (2013). Computer-assisted learning in young poor readers: The effect of grapho-syllabic training on the development of word reading and reading comprehension. *Computers in Human Behavior*, 29(4), 1368-1376
- Edwards, M. R. & Clinton, M. E. (2019). A study exploring the impact of lecture capture availability and lecture capture usage on student attendance and attainment. *Higher Education*, 77(3), 403-421.
- Ehri, L.C., Nunes, S.R., Willows, D.M., Schuster, B.V., Yaghoub-Zadeh, Z. & Shanahan, T. (2001). Phonemic awareness instruction helps children learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading research quarterly*, 36(3), 250-287.
- Engelbart, D.C. (1962). Augmenting human intellect: A conceptual framework. Summary Report AFOSR-3223 under Contract AF 49 (638)-1024, SRI Project 3578 for Air Force Office of Scientific Research. Stanford Research Institute.
- Erhel, S. & Jamet, E. (2013). Digital game-based learning: Impact of instructions and feedback on motivation and learning effectiveness. *Computers & Education*, 67, 156-167.
- Faure-Vialle, B. (2004). L'expérimentation assistée par ordinateur, aide et obstacle en travaux pratiques de biologie au lycée. *Carrefours de l'Éducation*, 17, 118-128.
- Ferrari, A., Cachia, R. & Punie, Y. (2009). Innovation and creativity in education and training in the EU member states: Fostering creative learning and supporting innovative teaching. JRC Technical Note, 52374, 64.
- Fiorella, L. & Mayer, R. E. (2015). *Learning as a generative activity*. Cambridge University Press.
- FitzGerald, E., Adams, A., Ferguson, R., Gaved, M., Mor, Y. & Thomas, R. (2012). Augmented reality and mobile learning: The state of the art. In *CEUR Workshop Proceedings*, 955, 62-69.
- Fletcher-Flinn, C. M. & Gravatt, B. (1995). The efficacy of computer assisted instruction (CAI): A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 12(3), 219-241.
- Frankel, E. C. & Davis, D. D. (1973). A computer assisted experiment in quantum mechanics. A physical chemistry laboratory and/or lecture. *Journal of Chemical Education*, 50(1), 80-81.

- Fraser, K., Huffman, J., Ma, I., Sobczak, M., McIlwrick, J., Wright, B. & McLaughlin, K. (2014). The emotional and cognitive impact of unexpected simulated patient death: a randomized controlled trial. *Chest*, 145(5), 958-963.
- Gabrieli, J. D. (2009). Dyslexia: a new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science*, 325(5938), 280-283.
- Ginns, P. (2005). Meta-analysis of the modality effect. *Learning & Instruction*, 15(4), 313-331.
- Ginns, P. (2006). Integrating information: A meta-analysis of the spatial contiguity and temporal contiguity effects. *Learning & Instruction*, 16(6), 511-525.
- Girard, C., Ecalle, J. & Magnan, A. (2013). Serious games as new educational tools: how effective are they? A meta-analysis of recent studies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(3), 207-219.
- Gobet, F. (2011). *Psychologie du talent et de l'expertise*. De Boeck.
- Goldberg, A., Russell, M. & Cook, A. (2003). The effect of computers on student writing: A meta-analysis of studies from 1992 to 2002. *The Journal of Technology, Learning and Assessment*, 2(1). <https://ejournals.bc.edu/index.php/jtla/article/view/1661>
- Goos, M., Galbraith, P., Renshaw, P. & Geiger, V. (2003). Perspectives on technology mediated learning in secondary school mathematics classrooms. *The Journal of Mathematical Behavior*, 22(1), 73-89.
- Goumi, A. (2008). L'entraînement à la compréhension en lecture à l'aide de l'outil informatique : rôle de l'autorégulation. Thèse de doctorat, Poitiers.
- Graesser, A. C., Hu, X., Nye, B. D., VanLehn, K., Kumar, R., Heffernan, C., ... & Andrasik, F. (2018). ElectronixTutor: an intelligent tutoring system with multiple learning resources for electronics. *International journal of STEM education*, 5(1), 15.
- Graham, S. & Perin, D. (2007). A meta-analysis of writing instruction for adolescent students. *Journal of Educational Psychology*, 99(3), 445.
- Graham, S., McKeown, D., Kihara, S. & Harris, K. R. (2012). A meta-analysis of writing instruction for students in the elementary grades. *Journal of Educational Psychology*, 104(4), 879.
- Granka, L. A., Joachims, T. & Gay, G. (2004, July). Eye-tracking analysis of user behavior in WWW search. In *Proceedings of the 27th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval* (pp. 478-479). ACM.
- Gray, N. J., Klein, J. D., Noyce, P. R., Sesselberg, T. S. & Cantrill, J. A. (2005). Health information-seeking behaviour in adolescence: the place of the internet. *Social Science & Medicine*, 60(7), 1467-1478
- Green, C. S. & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534.
- Gruber, S., Peyton, J. K. & Bruce, B. C. (1994). Collaborative writing in multiple discourse contexts. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 3(3-4), 247-269.
- Hämäläinen, R. & Vähäsantanen, K. (2011). Theoretical and pedagogical perspectives on orchestrating creativity and collaborative learning. *Educational Research Review*, 6(3), 169-184.
- Hasselbring, T. S. & Glaser, C. H. W. (2000). Use of computer technology to help students with special needs. *Future of Children*, 10, 102-122.

Hattie, J. (2017). *L'apprentissage visible pour les enseignants : connaître son impact pour maximiser le rendement des élèves*. PUQ.

Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112.

Hembree, R. & Dessart, D. J. (1986). Effects of hand-held calculators in precollege mathematics education: A meta-analysis. *Journal for Research in Mathematics Education*, 17(2) 83-99.

Hessler, M., Pöpping, D. M., Hollstein, H., Ohlenburg, H., Arnemann, P. H., Massoth, C., ... & Wenk, M. (2018). Availability of cookies during an academic course session affects evaluation of teaching. *Medical Education*, 52(10), 1064-1072.

Hmelo-Silver, C., Jeong, H., Faulkner, R. & Hartley, K. (2017). Computer-supported collaborative learning in STEM domains: Towards a meta-synthesis. In *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 2066-2075).

Hoang, G. T. L. & Kunnan, A. J. (2016). Automated essay evaluation for English language learners: A case study of MY Access. *Language Assessment Quarterly*, 13(4), 359-376.

Hoareau, C. (2016). *Elaboration et évaluation de recommandations ergonomiques pour le guidage de l'apprenant en EVAH : application à l'apprentissage de procédure dans le domaine biomédical*. Thèse de doctorat, Brest.

Höffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning & instruction*, 17(6), 722-738.

Hook, P.E., Macaruso, P. & Jones, S. (2001). Efficacy of Fast ForWord training on facilitating acquisition of reading skills by children with reading difficulties—A longitudinal study. *Annals of Dyslexia*, 51(1), 73-96.

Hopkins, I. M., Gower, M. W., Perez, T. A., Smith, D. S., Amthor, F. R., Wimsatt, F. C. & Biasini, F. J. (2011). Avatar assistant: Improving social skills in students with an ASD through a computer-based intervention. *Journal of autism and developmental disorders*, 41, 1543-1555.

Huet, N., Dupeyrat, C. & Escribe, C. (2012). Help-Seeking Intentions and Actual Use of Help in an Interactive Learning Environment. In S. A. Karabenick & M. Puustinen (Eds.), *Advances in help seeking research and applications: The role of emerging technologies*. (pp. 121-146). Information Age Publishing.

Jalvy, J., Pottecher, J. & Verollet, G. (1993). ExAO ? De quoi s'agit-il ? *Bulletin de l'EPI*, 69, 137-144.

Jansen, R. S., Lakens, D. & IJsselsteijn, W. A. (2017). An integrative review of the cognitive costs and benefits of note-taking. *Educational Research Review*, 22, 223-233

Jeong, H. & Hmelo-Silver, C. E. (2016). Seven affordances of CSCL Technology: How can technology support collaborative learning. *Educational Psychologist*, 51(2), 247-265.

Joo, Y. J., Park, S. & Shin, E. K. (2017). Students' expectation, satisfaction, and continuance intention to use digital textbooks. *Computers in Human Behavior*, 69, 83-90.

Karabenick, S. A. & Newman, R. S. (Eds.), (2013). *Help seeking in academic settings: Goals, groups, and contexts*. Routledge.

- Karabenick, S. A. & Puustinen, M. (Eds.), (2013). *Advances in help seeking research and applications: The role of emerging technologies*. Information Age Publishing.
- Kelton, K., Fleischmann, K. R. & Wallace, W. A. (2008). Trust in digital information. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 59(3), 363-374.
- Khacharem, A. (2013). Apprentissage de scènes de football animées : effet des designs pédagogiques et de l'expertise. Thèse, université d'Aix-Marseille.
- Kieran, C. (1986). Turns and angles: What develops in Logo? In G. Lappan (Ed.), *Proceedings of the Eighth Annual Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Michigan State University.
- Kiewra, K. A. (1988). Cognitive aspects of autonomous note taking: Control processes, learning strategies, and prior knowledge. *Educational Psychologist*, 23(1), 39-56.
- Kiewra, K. A., DuBois, N. F., Christian, D., McShane, A., Meyerhoffer, M. & Roskelley, D. (1991). Note-taking functions and techniques. *Journal of Educational Psychology*, 83(2), 240.
- Kim, M. R., Choi, M. A. & Kim, J. (2012). Factors influencing the usage and acceptance of multimedia-based digital textbooks in pilot school. *KSII Transactions on Internet & Information Systems*, 6(6).
- Kirby, J. R., Deacon, S. H., Bowers, P. N., Izenberg, L., Wade-Woolley, L. & Parrila, R. (2012). Children's morphological awareness and reading ability. *Reading and Writing*, 25(2), 389-410.
- Kirschner, P. A. & van Merriënboer, J. J. (2013). Do learners really know best? Urban legends in education. *Educational psychologist*, 48(3), 169-183.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., Kirschner, F. & Zambrano, J. (2018). From cognitive load theory to collaborative cognitive load theory. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 13(2), 213-233.
- Koedinger, K. R., Anderson, J. R., Hadley, W. H. & Mark, M. A. (1997). Intelligent tutoring goes to school in the big city. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 8, 30-43.
- Kollar, I., Wecker, C. & Fischer, F. (2018). Scaffolding and scripting (computer-supported) collaborative learning. In *International handbook of the learning sciences* (pp. 340-350). Routledge.
- Komis, V. & Misirli, A. (2011). Robotique pédagogique et concepts préliminaires de la programmation à l'école maternelle: une étude de cas basée sur le jouet programmable Bee-Bot. In *Sciences et technologies de l'information et de la communication en milieu éducatif: Analyse de pratiques et enjeux didactiques*. (pp. 271-281). New Technologies Editions.
- Kulik, J. A. (1994). Meta-analytic studies of findings on computer-based instruction. In E.L. Baker & H.F. O'Neil (Eds.). *Technology assessment in education and training* (pp. 9-34). Erlbaum
- Kulik, J. A. & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of intelligent tutoring systems: a meta-analytic review. *Review of Educational Research*, 86(1), 42-78.
- Laisney, P. (2017). Intermédiaires graphiques et conception assistée par ordinateur : Étude des processus d'enseignement-apprentissage à l'œuvre dans l'éducation technologique au collège, Thèse, Aix-Marseille Université.

- Lavoué, É., Molinari, G., Prié, Y. & Khezami, S. (2015). Reflection-in-action markers for reflection-on-action in Computer-Supported Collaborative Learning settings. *Computers & Education*, 88, 129-142.
- Leahy, W. & Sweller, J. (2011). Cognitive load theory, modality of presentation and the transient information effect. *Applied Cognitive Psychology*, 25, 943-951.
- Leahy, W. & Sweller, J. (2016). Cognitive load theory and the effects of transient information on the modality effect. *Instructional Science*, 44, 107-123.
- Lemercier, C., Tricot, A., Chênerie, I., Marty Dessus, D., Morancho, F. & Sokoloff, J. (2001). Quels apprentissages sont-ils possibles avec des exercices multimédia en classe ? Réflexions théoriques et compte rendu d'une expérience. Contribution au rapport du Programme de Numérisation de l'Enseignement et de la Recherche « Usages éducatifs des exercices ».
- Leroux, G., Monteil, J. M. & Huguet, P. (2017). Apprentissages scolaires et technologies numériques : une revue critique des méta-analyses. *L'Année psychologique*, 117(4), 433-465.
- Lery Santos, M. (2018). La prise de décision de rechercher de l'aide dans un environnement numérique d'apprentissage : le cas du contrôle aérien. Thèse, Université Toulouse 2.
- Lery Santos, M., Tricot, A. & Bonnefon, J. F. (2020). Do learners declining to seek help conform to rational principles? *Thinking & Reasoning*, 26, 87-117
- Li, Q. & Ma, X. (2010). A meta-analysis of the effects of computer technology on school students' mathematics learning. *Educational Psychology Review*, 22(3), 215-243.
- Liao, Y. K. (1992). Effects of computer-assisted instruction on cognitive outcomes: A meta-analysis. *Journal of Research on Computing in Education*, 24(3), 367-80.
- Liao, Y. K. C. (1999). Effects of hypermedia on students' achievement: A meta-analysis. *Journal of educational multimedia and hypermedia*, 8(3), 255-277.
- Lingnau, A., Hoppe, H. U. & Mannhaupt, G. (2003). Computer supported collaborative writing in an early learning classroom. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19(2), 186-194.
- Little, J. K. (1934). Results of use of machines for testing and for drill, upon learning in educational psychology. *The Journal of Experimental Education*, 3(1), 45-49.
- Liu, Q., Peng, W., Zhang, F., Hu, R., Li, Y. & Yan, W. (2016). The effectiveness of blended learning in health professions: systematic review and meta-analysis. *Journal of medical Internet research*, 18(1), e2.
- Livingstone, S. (2012). Critical reflections on the benefits of ICT in education. *Oxford review of education*, 38(1), 9-24.
- Lorant-Royer, S., Munch, C., Mesclé, H. & Lieury, A. (2010). Kawashima vs "Super Mario"! Should a game be serious in order to stimulate cognitive aptitudes? *European Review of Applied Psychology*, 60(4), 221-232.
- Lorant-Royer, S., Spiess, V., Goncalves, J. & Lieury, A. (2008). Programmes d'entraînement cérébral et performances cognitives: efficacité, motivation... ou «marketing»? De la Gym-Cerveau au programme du Dr Kawashima... *Bulletin de psychologie*, 6, 531-549.
- Lou, Y., Abrami, P. C. & d'Apollonia, S. (2001). Small group and individual learning with technology: A meta-analysis. *Review of educational research*, 71(3), 449-521.

- Lowe, R. (2003). Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13(2), 157-176.
- Lowe, R. & Boucheix, J. M. (2017). A composition approach to design of educational animations. In *Learning from Dynamic Visualization* (pp. 5-30). Springer.
- Malti, I. (2018). L'évaluation ergonomique des manuels scolaires numériques. Thèse de doctorat, Université de Toulouse Jean Jaurès.
- Mardis, M. & Everhart, N. (2013). From paper to pixel: The promise and challenges of digital textbooks for K-12 schools. In *Educational media and technology yearbook* (pp. 93-118). Springer.
- Martin, P. (2007). Instrumentation, créativité en éducation artistique : Le cas de l'utilisation des outils de création numérique à l'école. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille 1.
- Martin, P. & Ravestein, J. (2006). Une analyse de l'utilisation d'outils de création numérique en expression graphique chez de jeunes élèves. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 13, 11-pages.
- Martin, P., Amigues, R. & Velay, J. L. (2007). L'utilisation d'outils de création numérique en expression graphique à l'école primaire. Une étude préliminaire chez l'enfant de 9-10 ans. *TICE Méditerranée*.
- Mayer, R. E. (2014). *Computer games for learning: An evidence-based approach*. MIT Press.
- Mayer, R. E. (2016). What should be the role of computer games in education? *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 3(1), 20-26.
- Mayer, R. E. (2019). Computer games in education. *Annual review of psychology*, 70, 531-549.
- Mayer, R. E. (Ed.). (2014). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press (2nd Ed.)
- Mayer, R. E. & Johnson, C. I. (2010). Adding instructional features that promote learning in a game-like environment. *Journal of Educational Computing Research*, 42(3), 241-265.
- McCabe, B. (2011). An integrated approach to the use of complementary visual learning tools in an undergraduate microbiology class. *Journal of Biological Education*, 45(4), 236-243.
- McCandliss, B., Beck, I.L., Sandak, R. & Perfetti, C. (2003). Focusing attention on decoding for children with poor reading skills: Design and preliminary tests of the word building intervention. *Scientific studies of reading*, 7(1), 75-104.
- McGaghie, W. C., Issenberg, S. B., Cohen, M. E. R., Barsuk, J. H. & Wayne, D. B. (2011). Does simulation-based medical education with deliberate practice yield better results than traditional clinical education? A meta-analytic comparative review of the evidence. *Academic medicine: journal of the Association of American Medical Colleges*, 86(6), 706.
- Means, B., Toyama, Y., Murphy, R. & Baki, M. (2013). The effectiveness of online and blended learning: A meta-analysis of the empirical literature. *Teachers College Record*, 115(3), 1-47.
- Meloy, L.L., Deville, C. & Frisbie, D.A. (2002). The effect of a read aloud accommodation on test scores of students with and without a learning disability in reading. *Remedial and Special Education*, 23(4), 248-255.

- MEN (2016). Les enjeux de l'éducation musicale dans la formation générale des élèves. Cycle 4. - Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche - Mars 2016. eduscol.education.fr/ressources-2016.
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W. & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29-40.
- Mercier, E. M., Higgins, S. E. & Joyce-Gibbons, A. (2016). The effects of room design on computer-supported collaborative learning in a multi-touch classroom. *Interactive Learning Environments*, 24(3), 504-522.
- Mishra, P. (2006). Affective feedback from computers and its effect on perceived ability and affect: A test of the computers as social actor hypothesis. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 15(1), 107-131.
- Mitra, A. & Steffensmeier, T. (2000). Changes in student attitudes and student computer use in a computer-enriched environment. *Journal of Research on Computing in Education*, 32(3), 417-433.
- Moguel, P., Tchounikine, P. & Tricot, A. (2012). Interfaces leading groups of learners to make their shared problem-solving organization explicit. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 5, 199-212.
- Moore, N. S. & MacArthur, C. A. (2016). Student use of automated essay evaluation technology during revision. *Journal of Writing Research*, 8(1), 149-175.
- Moreno, R., Mayer, R. E., Spires, H. A. & Lester, J. C. (2001). The case for social agency in computer-based teaching: Do students learn more deeply when they interact with animated pedagogical agents? *Cognition and instruction*, 19(2), 177-213.
- Morris, N. P., Ramsay, L. & Chauhan, V. (2012). Can a tablet device alter undergraduate science students' study behavior and use of technology? *Advances in Physiology Education*, 36(2), 97-107.
- Mueller, P. A. & Oppenheimer, D. M. (2014). The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking. *Psychological science*, 25(6), 1159-1168.
- Mumm, J. & Mutlu, B. (2011). Designing motivational agents: The role of praise, social comparison, and embodiment in computer feedback. *Computers in Human Behavior*, 27(5), 1643-1650.
- Mundell, W. C., Kennedy, C. C., Szostek, J. H. & Cook, D. A. (2013). Simulation technology for resuscitation training: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*, 84(9), 1174-1183.
- Musial, M. & Tricot, A. (2020). *Précis d'ingénierie pédagogique*. De Boeck.
- Narciss, S. (2008). Feedback strategies for interactive learning tasks. *Handbook of research on educational communications and technology*, 3, 125-144.
- Narciss, S. & Huth, K. (2004). How to design informative tutoring feedback for multimedia learning. Instructional design for multimedia learning. H. Niegemann, R. Brünken & D. Leutner (Eds.), *Instructional design for multimedia learning*. Waxmann.
- Nelson Le Gall, S. (1985). Help-seeking behavior in learning. *Review of research in education*, 12(1), 55-90.

- Neroni, J., Meijs, C., Gijselaers, H., Kirschner, P.A. & de Groot, R. (2019). Learning strategies and academic performance in distance education. *Learning and Individual Differences*, 73, 1-7.
- Nesbit, J. C. & Adesope, O. O. (2006). Learning with concept and knowledge maps: A meta-analysis. *Review of educational research*, 76(3), 413-448.
- Nikou, S. A. & Economides, A. A. (2016). The impact of paper-based, computer-based and mobile-based self-assessment on students' science motivation and achievement. *Computers in Human Behavior*, 55, 1241-1248.
- Nonnon, P. (1998). Intégration du réel et du virtuel en science expérimentale. *8èmes Journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, Montpellier
- Nonnon, P. (2002). Considérations sur la R&D technologique en éducation et l'EXAO. In *Symposium Technologies informatiques en éducation : perspectives de recherches, problématiques et questions vives* (Vol. 31).
- Olson, R. K. (2000). Individual differences in gains from computer assisted remedial reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77(3), 197-235.
- Oviatt, S. L. & Cohen, A. O. (2010). Toward high-performance communications interfaces for science problem solving. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 515-531.
- Page, L., Brin, S., Motwani, R. & Winograd, T. (1998). The PageRank citation ranking: Bringing order to the web. Stanford InfoLab.
- Papamitsiou, Z. & Economides, A. A. (2014). Learning analytics and educational data mining in practice: A systematic literature review of empirical evidence. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 49-64.
- Papinot, E., Tricot, A. & Macedo-Rouet, M. (2018). Exploration de l'activité de publication et de recherche de vidéos sur une plateforme audiovisuelle académique en ligne. *Activités*, 15(15-1).
- Parrila, R., Georgiou, G. & Corkett, J. (2007). University students with a significant history of reading difficulties: what is and is not compensated? *Exceptionality Education International*, 17(2), 195-220.
- Passey, D., Rogers, C., Machell, J., McHugh, G. & Allaway, D. (2004). The motivational effect of ICT on pupils. Department of Educational Research, Lancaster University.
- Pavlik, P., Bolster, T., Wu, S. M., Koedinger, K. & Macwhinney, B. (2008). Using optimally selected drill practice to train basic facts. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 593-602)., Springer.
- Pea, R. D. & Kurland, D. M. (1984). On the cognitive effects of learning computer programming. *New ideas in psychology*, 2(2), 137-168.
- Pecoste, C. (2014). Interaction entre tâches, supports et acceptation des nouvelles technologies. Mémoire de recherche, Université Toulouse-2.
- Penloup, M.-C. (2018). Peut-on mobiliser les pratiques hors école de l'écriture numérique ? Conférence de consensus Cnesco « Écrire et rédiger : comment accompagner les élèves dans leurs apprentissages ? ». Cnesco.

- Peterson, M. (2010). Computerized games and simulations in computer-assisted language learning: A meta-analysis of research. *Simulation & Gaming*, 41(1), 72-93.
- Phelps, R. & Maddison, C. (2008). ICT in the secondary visual arts classroom: A study of teachers' values, attitudes and beliefs. *Australasian Journal of Educational Technology*, 24(1).
- Picard, D., Martin, P. & Tsao, R. (2014). iPads at School? A quantitative comparison of elementary schoolchildren's pen-on-paper versus finger-on-screen drawing skills. *Journal of Educational Computing Research*, 50(2), 203-212.
- Pilegard, C. & Mayer, R. E. (2018). Game over for Tetris as a platform for cognitive skill training. *Contemporary Educational Psychology*, 54, 29-41.
- Piolat, A., Olive, T. & Kellogg, R. T. (2005). Cognitive effort during note taking. *Applied cognitive psychology*, 19(3), 291-312.
- Poisard, C., Gueudet, G. & Bueno-Ravel, L. (2009). Exerciceurs au premier degré, au-delà de l'entraînement. *MathémaTICE Les nouvelles technologies pour l'enseignement des mathématiques*, <http://revue.sesamath.net/spip.php?article238>. <hal-01150885>
- Potocki, A., Magnan, A. & Ecalle, J. (2015). Computerized trainings in four groups of struggling readers: Specific effects on word reading and comprehension. *Research in developmental disabilities*, 45, 83-92
- Puustinen, M., Volckaert-Legrier, O., Coquin, D. & Bernicot, J. (2009). An analysis of students' spontaneous computer-mediated help seeking: A step toward the design of ecologically valid supporting tools. *Computers & Education*, 53(4), 1040-1047.
- Reis, R. C. D., Isotani, S., Rodriguez, C. L., Lyra, K. T., Jaques, P. A. & Bittencourt, I. I. (2018). Affective states in computer-supported collaborative learning: Studying the past to drive the future. *Computers & Education*, 120, 29-50.
- Resnik, P. V. & Lammers, H. B. (1985). The influence of self-esteem on cognitive responses to machine-like versus human-like computer feedback. *The Journal of Social Psychology*, 125(6), 761-769.
- Richter, J., Scheiter, K. & Eitel, A. (2016). Signaling text-picture relations in multimedia learning: A comprehensive meta-analysis. *Educational Research Review*, 17, 19-36.
- Rieh, S.Y. (2002). Judgment of information quality and cognitive authority in the Web. *Journal of the American Society for Information Science & Technology*, 53, 145-161.
- Riley, N. R. & Åhlberg, M. (2004). Investigating the use of ICT-based concept mapping techniques on creativity in literacy tasks. *Journal of computer assisted learning*, 20(4), 244-256.
- Robins, A., Rountree, J. & Rountree, N. (2003). Learning and teaching programming: A review and discussion. *Computer science education*, 13(2), 137-172.
- Robyler, M. D. & Doering, A. Fl. (2010.) *Integrating educational technology into teaching* (5th ed.). Allyn and Bacon.
- Roediger III, H. L., Putnam, A. L. & Smith, M. A. (2011). Ten benefits of testing and their applications to educational practice. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 55, pp. 1-36). Academic Press.
- Romero, M., Lille, B., Viéville, T., Duflot-Kremer, M., De Smet, C. & Belhassein, D. (2018). Analyse comparative d'une activité d'apprentissage de la programmation en mode branché et débranché. In

Educode - Conférence internationale sur l'enseignement au numérique et par le numérique, Août, Bruxelles.

Rouet, J. F. & Britt, M. A. (2011). Relevance processes in multiple document comprehension. In G. Schraw, M.T. McCrudden & J.P. Magliano, (Eds.), *Text relevance and learning from text*. (pp. 19-52). IAP.

Rouet, J. F. & Tricot, A. (1995). Recherche d'informations dans les systèmes hypertextes : des représentations de la tâche à un modèle de l'activité cognitive. *Sciences et techniques éducatives*, 2(3), 307-331.

Rouet, J. F., Britt, M. A. & Durik, A. M. (2017). RESOLV: Readers' representation of reading contexts and tasks. *Educational Psychologist*, 52(3), 200-215.

Rouet, J.-F. (2016). Quelles sont les spécificités de la lecture documentaire et de la recherche d'informations ? *Conférence de consensus Cnesco « Lire, comprendre, apprendre : comment soutenir le développement de compétences en lecture ? »*. Cnesco.

Rouet, J.-F. & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte : vers un modèle des processus cognitifs. *Hypertextes et Hypermédias, hors- série*, 57-74.

Roussel, S. & Tricot, A. (2014). Le numérique en classe : émancipation ou double peine ? In S. Brunel. (Ed.), *De la didactique des usages numériques* (pp. 119-140). Éditions universitaires européennes.

Russell, D., Lucas, K. B. & McRobbie, C. J. (1999). Microprocessor Based Laboratory Activities as Catalysts for Student Construction of Understanding in Physics. *Annual Meeting of the Australian Association for Research in Education and the New Zealand Association for Research in Education*, Melbourne, November 29 - December 2.

Russell, M., Goldberg, A. & O'connor, K. (2003). Computer-based testing and validity: A look back into the future. *Assessment in education: principles, policy & practice*, 10(3), 279-293.

Rutten, N., Van Joolingen, W. R. & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153.

Sailer, M. & Homner, L. (2020). The gamification of learning: a meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 32, 77–112.

Salman, H. S., Laing, R. & Conniff, A. (2014). The impact of computer aided architectural design programs on conceptual design in an educational context. *Design Studies*, 35(4), 412-439.

Sana, F., Weston, T. & Cepeda, N. J. (2013). Laptop multitasking hinders classroom learning for both users and nearby peers. *Computers & Education*, 62, 24-31.

Savolainen, R. (2007). Media credibility and cognitive authority. The case of seeking orienting information. *Information Research*, 12, paper 319. <http://www.informationr.net/ir/12-3/paper319.html>

Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1991). Higher levels of agency for children in knowledge building: A challenge for the design of new knowledge media. *The Journal of the learning sciences*, 1(1), 37-68.

Senkbeil, M. & Ihme, J. M. (2017). Motivational factors predicting ICT literacy: First evidence on the structure of an ICT motivation inventory. *Computers & Education*, 108, 145-158.

Serret, S., Hun, S., Iakimova, G., Lozada, J., Anastassova, M. & Askenazy, F. (2012). Présentation d'un « serious game » : « JeStiMule » visant à améliorer la cognition sociale des personnes avec un trouble envahissant du développement. *Le Bulletin scientifique de l'ARAPI*, 30, 18-22

Shermis, M. D. & Burstein, J. (Eds.). (2013). *Handbook of automated essay evaluation: Current applications and new directions*. Routledge.

Sitzmann, T. (2011). A meta-analytic examination of the instructional effectiveness of computer-based simulation games. *Personnel psychology*, 64(2), 489-528.

Skolnik, R. & Puzo, M. (2008). Utilization of laptop computers in the school of business classroom. *Academy of Educational Leadership Journal*, 12(2), 1-10.

Sosa, G. W., Berger, D. E., Saw, A. T. & Mary, J. C. (2011). Effectiveness of computer-assisted instruction in statistics: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 81(1), 97-128.

Sung, E. & Mayer, R. E. (2013). Online multimedia learning with mobile devices and desktop computers: An experimental test of Clark's methods-not-media hypothesis. *Computers in Human Behavior*, 29(3), 639-647.

Sung, Y. T., Yang, J. M. & Lee, H. Y. (2017). The effects of mobile-computer-supported collaborative learning: Meta-analysis and critical synthesis. *Review of educational research*, 87(4), 768-805.

Sweller, J. (2006). The worked example effect and human cognition. *Learning and Instruction*, 16(2), 165-169

Szapkiw, A., Holder, D. & Dunn, R. (2011). Motivating students to learn: Is there a difference between traditional books and e-books? In *Global Learn* (pp. 235-239). AACE.

Tallal, P., Merzenich, M.M., Miller, S. & Jenkins, W. (1998). Language learning impairments: integrating basic science, technology, and remediation. *Experimental Brain Research*, 123(1-2), 210-219.

Tamim, R. M., Bernard, R. M., Borokhovski, E., Abrami, P. C. & Schmid, R. F. (2011). What forty years of research says about the impact of technology on learning: A second-order meta-analysis and validation study. *Review of Educational research*, 81(1), 4-28.

Tang, J. (2013). Using ontology and RFID to develop a new Chinese Braille learning platform for blind students. *Expert Systems with Applications*, 40, 2817-2827.

Takacs, Z. K., Swart, E. K. & Bus, A. G. (2015). Benefits and pitfalls of multimedia and interactive features in technology-enhanced storybooks: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 85, 698-739.

Taylor, A.R., Cool, C, Belkin, N.J. & Amadio, W.J. (2007). Relationships between categories of relevance criteria and stage in task completion. *Information Processing & Management*, 43, 1071-1084.

Tchounikine, P. (2017). Initier les élèves à la pensée informatique et à la programmation avec Scratch. <http://lig-membres.imag.fr/tchounikine/PenseeInformatiqueEcole.html>

Terreni, L. (2010). Adding new possibilities for visual art education in early childhood settings: The potential of interactive whiteboards and ICT. *Australasian Journal of Early Childhood*, 35(4), 90-94.

Thorndike, E. L. (1921). The psychology of drill in arithmetic: The amount of practice. *Journal of Educational Psychology*, 12(4), 183-194.

- Tomasello, M. (2009). *Why we cooperate*. MIT press.
- Torgerson, C. J. & Elbourne, D. (2002). A systematic review and meta-analysis of the effectiveness of information and communication technology (ICT) on the teaching of spelling. *Journal of Research in Reading*, 25(2), 129-143.
- Torgesen, J.K., Alexander, A.W., Wagner, R.K., Rashotte, C.A., Voeller, K.K. & Conway, T. (2001). Intensive remedial instruction for children with severe reading disabilities: Immediate and long-term outcomes from two instructional approaches. *Journal of learning disabilities*, 34(1), 33-58.
- Tournaki, N. (2003). The differential effects of teaching addition through strategy instruction versus drill and practice to students with and without learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 36(5), 449-458.
- Tricot, A. (2016). Dans quelle mesure les supports numériques peuvent-ils compliquer ou faciliter l'apprentissage et la pratique de la lecture ? *Conférence de consensus Cnesco « Lire, comprendre, apprendre : comment soutenir le développement de compétences en lecture ? »*. Cnesco.
- Tricot, A. (2017). *L'innovation pédagogique*. Retz.
- Tricot, A. & Boubée, N. (2013). Is it so hard to seek help and so easy to use Google? In S.A. Karabenick & M. Puustinen (Eds.), *Advances in help-seeking research and applications: The role of emerging technologies*. (pp. 7–36). Information Age Publishing
- Tricot, A., Sahut, G. & Lemarié, J. (2016). *Le document. Communication et mémoire*. De Boeck.
- Tricot, A., Vandenbroucke, G. & Sweller, J. (2020). Using cognitive load theory to improve text comprehension for students with dyslexia. In A.J. Martin, R.A. Sperling & K.J. Newton (Eds.), *Handbook of educational psychology and students with special needs*. (pp. 339-362). Routledge.
- Trouche, L. (2005). Calculators in mathematics education: A rapid evolution of tools, with differential effects. In *The didactical challenge of symbolic calculators* (pp. 9-39). Springer.
- Uttl, B., White, C. A. & Gonzalez, D. W. (2017). Meta-analysis of faculty's teaching effectiveness: Student evaluation of teaching ratings and student learning are not related. *Studies in Educational Evaluation*, 54, 22-42.
- Van der Kleij, F. M., Feskens, R. C. & Eggen, T. J. (2015). Effects of feedback in a computer-based learning environment on students' learning outcomes: A meta-analysis. *Review of educational research*, 85(4), 475-511.
- Vandenbroucke, G. & Tricot, A., (2018). La présentation orale de textes narratifs améliore-t-elle la compréhension d'élèves dyslexiques de CM2 ? *Analyse Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 152, 111-121.
- VanLehn, K. (1988). Student modeling. In M. Polson & J. Richardson (Eds.), *Foundations of Intelligent Tutoring Systems* (pp. 55-78). Erlbaum.
- Velay, J.-L. (2018). Manuscrite ou numérique, cursive ou scripte : peut-on choisir entre les différentes formes d'écriture ? *Conférence de consensus Cnesco « Écrire et rédiger : comment accompagner les élèves dans leurs apprentissages ? »*. Cnesco.

- Velay, J.-L., Longcamp, M. & Zerbato-Poudou, M. T. (2004). De la plume au clavier : Est-il toujours utile d'enseigner l'écriture manuscrite. In E. Gentaz & P. Dessus (Eds.), *Comprendre les apprentissages, Sciences cognitives et éducation* (pp. 69-82). Dunod.
- Vilette, B., Fischer, J. P., Sander, E., Sensevy, G., Quilio, S. & Richard, J. F. (2017). Peut-on améliorer l'enseignement et l'apprentissage de l'arithmétique au CP? Le dispositif ACE. *Revue française de pédagogie*, 201, 105-120.
- Vinsonhaler, J. F. & Bass, R. K. (1972). A summary of ten major studies on CAI drill and practice. *Educational Technology*, 12(7), 29-32.
- Vogel, F., Kollar, I., Ufer, S., Reichersdorfer, E., Reiss, K. & Fischer, F. (2016). Developing argumentation skills in mathematics through computer-supported collaborative learning: the role of transactivity. *Instructional Science*, 44(5), 477-500.
- Vogel, F., Wecker, C., Kollar, I. & Fischer, F. (2017). Socio-cognitive scaffolding with computer-supported collaboration scripts: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 29(3), 477-511.
- Waits, B.K. & Demana, F. (2000). Calculators in mathematics teaching and learning: Past, present, and future. In M. J. Burke and F. R. Curcio (Eds.), *Learning mathematics for a new century* (pp. 51-66). National Council of Teachers of Mathematics.
- Wetzels, S. A., Kester, L., van Merriënboer, J. J. & Broers, N. J. (2011). The influence of prior knowledge on the retrieval-directed function of note taking in prior knowledge activation. *British Journal of Educational Psychology*, 81(2), 274-291.
- Wheeler, S., Waite, S. J. & Bromfield, C. (2002). Promoting creative thinking through the use of ICT. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18(3), 367-378.
- White, S., Chen, J. & Forsyth, B. (2010). Reading-related literacy activities of American adults: Time spent, task types, and cognitive skills used. *Journal of Literacy Research*, 42, 276-307.
- Wilks, J., Cutcher, A. & Wilks, S. (2012). Digital technology in the visual arts classroom: An [un] easy partnership. *Studies in Art Education*, 54(1), 54-65.
- Wilson, J. (2017). Associated effects of automated essay evaluation software on growth in writing quality for students with and without disabilities. *Reading and Writing*, 30(4), 691-718.
- Wilson, J. & Czik, A. (2016). Automated essay evaluation software in English Language Arts classrooms: Effects on teacher feedback, student motivation, and writing quality. *Computers & Education*, 100, 94-109.
- Wilson, K. & Narayan, A. (2016). Relationships among individual task self-efficacy, self-regulated learning strategy use and academic performance in a computer-supported collaborative learning environment. *Educational Psychology*, 36(2), 236-253.
- Wong, A., Leahy, W., Marcus, N. & Sweller, J. (2012). Cognitive load theory, the transient information effect and e-learning. *Learning and Instruction*, 22(6), 449-457.
- Wong, A., Marcus, N., Ayres, P., Smith, L., Cooper, G. A., Paas, F. & Sweller, J. (2009). Instructional animations can be superior to statics when learning human motor skills. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 339-347.

Wong, M. E. & Cohen, L. (2011). School, family and other influences on assistive technology use Access and challenges for students with visual impairment in Singapore. *British Journal of Visual Impairment*, 29, 130-144.

Wood, S. G., Moxley, J. H., Tighe, E. L. & Wagner, R. K. (2017). Does use of text-to-speech and related read-aloud tools improve reading comprehension for students with reading disabilities? A meta-analysis. *Journal of Learning Disabilities*, 51(1) 73-84.

Wouters, P. & Van Oostendorp, H. (2013). A meta-analytic review of the role of instructional support in game-based learning. *Computers & Education*, 60(1), 412-425.

Wouters, P., Van Nimwegen, C., Van Oostendorp, H. & Van Der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of educational psychology*, 105(2), 249.

Wu, W. H., Wu, Y. C. J., Chen, C. Y., Kao, H. Y., Lin, C. H. & Huang, S. H. (2012). Review of trends from mobile learning studies: A meta-analysis. *Computers & Education*, 59(2), 817-827.

Yusop, F. D., Cheong, L. S., Abdullah, H. S. L., Muhamad, A. S., Tsuey, C. S. & Wei, C. S. (2012). Challenges among individuals with visual impairment in an institution of higher learning in Malaysia. *European Journal of Special Needs Education*, 2, 99-107.

Zucker, A. A. & Light, D. (2009). Laptop programs for students. *Science*, 323(5910), 82-85.

Le Centre national d'étude des systèmes scolaires (Cnesco) est un centre national d'évaluation, d'analyse et d'accompagnement des politiques, dispositifs et pratiques scolaires rattaché au Conservatoire national des arts et métiers (Cnam). Il vise à améliorer la connaissance des systèmes scolaires français et étrangers afin de créer des dynamiques de changement dans l'école.

Le Cnesco s'appuie sur un réseau scientifique de chercheurs français et étrangers issus de champs disciplinaires variés (didactique, sociologie, psychologie cognitive, économie, etc.).

Le Cnesco promeut une méthode participative originale, alliant l'élaboration de diagnostics scientifiques de haut niveau et la participation des acteurs de terrain de la communauté éducative. Il accompagne ces acteurs grâce à des démarches de formation/action adaptées aux besoins locaux.