### Apprendre avec le numérique - Mythe et réalité 2020

de [André Tricot](https://www.amazon.fr/Andr%C3%A9-Tricot/e/B08CBC1F43/ref=dp_byline_cont_ebooks_1) (Auteur), [Franck Amadieu](https://www.amazon.fr/Franck-Amadieu/e/B00DDC1EA2/ref=dp_byline_cont_ebooks_2) (Auteur)

### SOMMAIRE

Introduction

Chapitre 1 : Les élèves préfèrent travailler avec les outils modernes tandis que les enseignants sont accrochés à leurs vieux outils

Chapitre 2 : Les écrans détériorent la lecture

Chapitre 3 : Il faut enseigner le code

Chapitre 4 : L’Intelligence Artificielle va révolutionner l’enseignement

Chapitre 5 : Grâce au numérique, on peut apprendre à distance

Chapitre 6 : Le numérique favorise l’autonomie des apprenants

Chapitre 7 : Le numérique permet un apprentissage plus actif

Chapitre 8 : On apprend mieux en jouant grâce au numérique

Chapitre 9 : Les vidéos et informations dynamiques favorisent l’apprentissage

Chapitre 10 : Le numérique permet d’évaluer les élèves et d’adapter l’enseignement

Chapitre 11 : Le numérique permet de prendre en compte les besoins particuliers des élèves

Chapitre 12 : La nouvelle génération sait utiliser efficacement le numérique

### INTRODUCTION

Il y a six ans, lors de la première édition de cet ouvrage, nous n’imaginions pas que les mythes à propos du numérique en éducation constituaient un sujet inépuisable. Presque chaque année, une nouvelle idée majeure se diffuse : « il faut enseigner le code », « L’Intelligence Artificielle va révolutionner l’enseignement »… ; de vieilles idées ressurgissent, plus que jamais d’actualité, lorsque nos sociétés doivent faire face à l’impossibilité de maintenir des enseignements en présentiel : « Grâce au numérique on peut apprendre à distance » ; le nombre de publications consacrées à d’autres idées encore, comme « On apprend mieux en jouant grâce au numérique » a quasiment été multiplié par 10 entre 2014 et 2020 ! Dans cette nouvelle édition, nous avons donc choisi d’examiner de nouveaux mythes ou d’en réexaminer certains que nous avions déjà traités, en prenant en compte les travaux publiés depuis la précédente édition.

Une lecture exhaustive de tous les travaux conduits sur les questions relatives aux apprentissages avec des outils numériques n’est pas possible au regard de la masse des travaux dans le domaine. Nous avons donc privilégié les revues de littérature et les méta-analyses. Les revues de littérature consistent généralement en une recension des travaux qui ont traité spécifiquement d’une question. Elles concluent alors sur le degré de convergence des études recensées ainsi que sur les facteurs qui pourraient expliquer que, parfois, les études aboutissent à des résultats divergents. Les méta-analyses reprennent le même principe mais y ajoutent de nouvelles analyses statistiques afin de déterminer si, d’une part, l’effet étudié existe vraiment (c’est-à-dire qu’un nombre conséquent de résultats confirment ou non la présence d’un effet), et d’autre part, évaluent la taille de l’effet (c’est-à-dire que la grandeur moyenne des différences entre les situations comparées).

Ainsi, chaque fois qu’il est disponible, nous rendons 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 = 1.8 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 que 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 estiment généralement cette déformation proche de +30 %.

Prenons un exemple. À la question « Est-ce que le sur écran réduit les performances de lecture et de compréhension ? », une méta-analyse a montré tout d’abord qu’il existe bien une différence entre lire sur écran et lire sur papier. Puis, si la différence existe, elle nous renseignera sur l’ampleur de cette différence : est-elle minime et donc négligeable du point de vue pédagogique ? Ou, au contraire, est-elle importante (elle traduit alors des écarts de performances majeurs entre la lecture sur écran et la lecture sur papier) ? Ainsi, lorsqu’un effet n’a été observé que dans une seule étude, une revue d’études, d’autres travaux sont nécessaires afin de s’assurer que cet effet soit répliqué dans de nouvelles situations (par exemple discipline étudiée, temps pour réaliser l’activité, types de ressources disponibles, type d’accompagnement par un enseignant ou tuteur), avec d’autres outils numériques similaires et auprès d’autres populations d’apprenants (par exemple : différents niveaux d’âge, de connaissances préalables, de compétences ou encore de motivations).

### LES ENFANTS ET LES ÉCRANS

Pour illustrer ce que nous appelons un mythe, prenons un exemple typique : l’effet délétère des écrans sur les enfants. Cette idée est tellement importante qu’elle fait l’objet d’un prochain ouvrage…

Les écrans seraient nuisibles pour le cerveau, l’intelligence, le développement cognitif, social et émotionnel, et bien sûr la santé des enfants. Un mythe est une affirmation largement reprise par des scientifiques, des professionnels de l’éducation ou de la santé, des journalistes et des éditorialistes, un auteur incompétent dans le domaine mais très sûr de lui, votre cousin qui a un avis sur tout, et votre tante enseignante à la retraite depuis quinze ans mais qui connaît très bien les enfants. Tous semblent d’accord. Pourtant, quand on regarde de près ce qui permet d’affirmer que les écrans produisent un effet délétère sur les enfants, on peut, comme dans le conte d’Andersen « Les habits neufs de l’empereur », ne pas voir grand-chose.

Il est fascinant de constater que les grandes revues scientifiques, parfois relayées par les grands médias d’information, publient des travaux de chercheurs qui ne montrent ni un effet clair ni stable. Plus les enfants regardent les écrans, plus ils ont ceci ou moins ils ont cela. Comme le note la journaliste Céline Deluzarche en novembre 2019 : « Faut-il en conclure que les écrans détruisent réellement le cerveau des enfants ? En réalité, la recherche va un peu dans tous les sens. » En août 2019, une étude de l’Oxford Internet Institute montrait par exemple une « corrélation positive » entre le temps passé devant la télévision et les fonctions psychosociales, « l’effet étant bénéfique à partir de 5 heures et 8 minutes par jour ». Un constat d’autant plus troublant que les auteurs se basent sur les mêmes données que l’étude de 2018 mettant en cause les écrans dans le développement du cerveau. La plupart des études souffrent de biais méthodologiques, se basant notamment sur l’estimation personnelle du temps d’écran. Les résultats sont très dépendants de qui, avec qui, dans quel contexte, pour regarder quoi et pour faire quoi.

Dans son enquête auprès de jeunes usagers du Web, Anne Cordier (2017) montre que la nouvelle génération n’est pas tellement différente de la précédente, quand on prend en compte les différences à l’intérieur de chaque génération. Certains adolescents n’aiment pas Internet, d’autres détestent les réseaux sociaux ou se sentent très mal à l’aise dans l’usage de ces outils.

Oui : certains adolescents passent neuf heures par jour devant des écrans. D’autres moins, d’autres plus, selon l’âge par exemple : l’enquête HBSC (Ngantcha et al., 2016) montre que les adolescents de 11 ans passent 5,8 heures par jour en moyenne devant les écrans tandis que ceux de 15 ans sont bien à 8,5 heures par jour en moyenne. Et certains adultes, dont ceux qui écrivent ces lignes, beaucoup plus encore. Si les filles et les garçons passent autant de temps devant les écrans, ce n’est, en moyenne, pas devant les mêmes écrans, pas pour regarder ni faire la même chose. Les enfants d’origine sociale modeste regardent plus la télévision tandis que ceux d’origine plus aisée regardent plus les autres écrans (consoles, ordinateurs, tablettes, téléphones portables), et sont généralement plus « contrôlés » par leurs parents.

Oui, le temps passé sur une console, une tablette ou un ordinateur après le dîner est de plus d’une heure pour 52,6 % des collégiens, dont 14,7 % y passent plus de deux heures. Une fois au lit, 51,7 % utilisent régulièrement un appareil électronique. Oui, ces pratiques perturbent le sommeil de ces adolescents de façon importante (Royant-Parola, Londe, Tréhout & Hartley, 2018). Mais, comme le montre cette même étude, la principale cause de perturbation du sommeil des collégiens, c’est le collège lui-même (il suffit pour cela de comparer le temps de sommeil les jours d’école et les jours de repos).

La révolution du numérique a bouleversé bien des enfants, des adolescents et des adultes, au point que ceux qui sont restés à côté de cette révolution se sentent ostracisés, qu’ils soient enfants, adolescents ou adultes. Certains adultes ont même intégré le stéréotype selon lequel ni les enfants ni les vieux n’arrivent à apprendre à quoi peuvent bien servir des outils numériques. Et si cet effet du vieillissement sur les compétences dans le domaine des technologies du numérique ne s’observe pas dans les métiers où les personnes utilisent quotidiennement ces outils (Amiel, Tricot & Mariné, 2004). Les personnes qui utilisent quotidiennement un outil deviennent compétentes dans cette utilisation, quel que soit leur âge.

### « DES APPORTS ET DES LIMITES TELLEMENT HÉTÉROGÈNES »

Il est impossible de parler des plus-values et des limites du numérique en éducation de façon générale. 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 » (principalement : des outils, des élèves, des contextes d’enseignement, de la formation des enseignants). Des méta-analyses et synthèses de la littérature se sont alors centrées sur les outils, sur les caractéristiques des élèves, et sur les contenus enseignés. Les méta-analyses de second ordre (c’est-à-dire qui portent sur des méta-analyses) de Tamim et al. (2011) ou Bernard et al. (2018), qui rendent compte de quarante 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) et elles signent sans doute la fin des méta-analyses généralisantes sur cette question, tellement « ça dépend… ».

En 2018, le Conseil National pour l’Évaluation de l’École (CNESCO ; devenu depuis le Centre national d’étude des systèmes scolaires) a commandé un ensemble de rapports sur le numérique et l’apprentissage. Issues de nombreuses disciplines scientifiques, ces analyses ont pointé chacune d’elles exploite des outils numériques différents pour des fonctions pédagogiques différentes.

Par exemple, Potocki & Billottet (2020) montrent que, dans l’enseignement du français, le numérique présente de nouvelles exigences en termes de maîtrise de l’écrit pour les élèves (voir notre chapitre 2), nécessitant l’enseignement de nouvelles compétences. Le numérique peut aussi constituer « une aide efficace pour remédier aux difficultés de maîtrise du langage écrit des élèves ».

Dans l’enseignement de la géométrie, Soury-Lavergne (2020) souligne que l’usage des logiciels de géométrie dynamique s’est massivement développé dans le milieu scolaire, en France comme ailleurs. Mais l’autre note que ces usages sont en partie en décalage avec ce que les recherches révèlent comme le plus pertinent, alors que les modalités qui favorisent une appropriation plus complète de cette technologie sont bien connues aujourd’hui.

Dans l’enseignement de la géographie, Genevois (2020) montre que les technologies numériques sont en train de transformer l’acte d’enseigner et d’apprendre, qu’il s’agisse de « rechercher ou traiter des informations, de mobiliser ou partager des ressources, de construire ou mettre en débat des savoirs ». De nouvelles compétences fondamentales doivent être acquises et l’usage des géotechnologies réinterroge « les finalités d’une discipline géographique de plus en plus décisionnelle ».

Dans l’enseignement des langues vivantes, Roussel (2020) écrit que les outils numériques permettent surtout de travailler ensemble les compétences d’expression, d’écoute, de lecture et d’écriture et ajoute une grande flexibilité temporelle. « Elles permettent de dépasser les limites du temps de la classe de langue, de prendre en compte le rythme de travail des apprenants. »

Dans l’enseignement et l’apprentissage des nombres, du calcul et de l’algèbre, les outils numériques sont généralisés en premier lieu notamment (les calculatrices, dès les années 1980). On peut s’attendre, selon Grugeon-Allys et Grapin (2020), à la généralisation progressive « de nouveaux types de tâches, différentes de ceux proposés en papier-crayon jusque-là » sollicitant notamment la capacité à résoudre des problèmes en faisant appel à une fonction collaborative.

En Éducation Physique et Sportive (Roche & Rolland, 2019), l’image numérique permet de montrer ce qui est complexe ou ce qui va trop vite, en le décomposant, en le ralentissant, en arrêtant ce qui est en mouvement ; cela pour observer, analyser, comprendre, préparer l’action, rejouer, sélectionner, évaluer, s’autoévaluer. Elle permet aussi de montrer ce qui est invisible ou peu visible, comme des données physiologiques (rythme cardiaque par exemple).

En éducation musicale, les ordinateurs permettent de créer une pièce musicale, ou simplement une suite de notes, même si l’on n’est pas capable de jouer sur un instrument (Brown, 2012). Ce qu’on crée peut être joué sur tous les instruments, sans se préoccuper de la disponibilité des instruments dans la salle de classe. On peut créer sans connaître le solfège, notamment à partir de l’existant, en modifiant une pièce musicale (changement de rythme, extraction et répétition de boucles, mixage, modification d’un arrangement, etc.).

La liste est très longue encore. Tous les auteurs insistent sur l’importance de la formation des enseignants comme facteur clef pour l’obtention d’effets positifs des outils numériques en classe. Selon Grugeon-Allys et Grapin (2020), « les formations doivent donc être pensées pour que l’enseignant non seulement connaisse les outils et les potentialités des outils numériques du point de vue des apprentissages, mais qu’il soit aussi suffisamment armé pour gérer efficacement leur mise en œuvre en classe. »

### QUATORZE MYTHES PASSÉS AU CRIBLE

C’est la première édition de ce petit ouvrage qui a donné naissance à la collection « Mythes et réalités en éducation ». Nous croyons aujourd’hui que les connaissances issues de la recherche scientifique sont beaucoup plus pertinentes et efficaces pour déboussoler les croyances fausses, pour établir précisément ce que l’on ne sait pas, que pour dire la vérité. Ce livre est donc une œuvre de doute, plus qu’autre chose. Mais c’est aussi une façon de décrire les processus de production des résultats de la recherche. Notre souhait est de présenter les faits de façon suffisamment transparente pour que les lecteurs puissent se faire leur propre idée et tirer des conclusions dans cet ouvrage.

Dans cet ouvrage, nous allons passer en revue méthodique les 14 mythes les plus répandus à propos du numérique pour l’apprentissage. Ces mythes sont analysés de la même manière, en quatre temps :

* Que dit le mythe et qui le dit ? Pourquoi ? Depuis quand ?
* Bilan des travaux scientifiques : quel est l’état des connaissances à propos de ce mythe ?
* Quelques exemples des outils ou des recherches relevant de ce mythe sont présentés.
* Conclusion et pistes pour l’action.

Nous montrons que le numérique présente non pas une mais plusieurs valeurs pédagogiques. Ses apports sont nombreux, mais spécifiques : telle application, quand elle est conçue de façon rigoureuse, a un effet positif sur tel apprentissage auprès de tels élèves, dans telles conditions. Pour obtenir cet effet positif, l’enseignant a un rôle précis à jouer, et n’est surtout pas en dehors de la situation d’apprentissage. Nous défendons un point de vue très simple : les mythes liés au numérique ont fait beaucoup de mal à la crédibilité des nouvelles technologies pour l’apprentissage. Il est beaucoup plus raisonnable de considérer le numérique comme une immense famille d’outils, dont nous devons apprendre à quoi ils servent avant de nous en servir. Nous pourrons ensuite imaginer de nouveaux usages.

## Chapitre 1 : Les élèves préfèrent travailler avec les outils modernes tandis que les enseignants sont accrochés à leurs vieux outils

LE MYTHE

Il est fréquent d’entendre que les élèves d’aujourd’hui ont envie de travailler avec les outils numériques car c’est leur culture et que les usages du numérique dans la société sont très répandus. Les perceptions que les élèves ont des outils numériques pour leurs apprentissages seraient donc forcément positives. Les élèves considéreraient que ces outils sont efficaces, motivants et adaptés à leurs besoins. Cette assertion fait également écho au mythe des digital natives, qui sera abordé dans le chapitre 12. Dans le présent chapitre, nous considérerons uniquement les perceptions que les élèves ont des outils technologiques et non le fait qu’ils seraient mieux adaptés à la nouvelle génération. Nous interrogeons aussi les perceptions de ces technologies par les enseignants, qui y seraient globalement défavorables.

Il ne s’agit donc pas ici de questionner l’effet des technologies sur l’apprentissage et les motivations des élèves mais plutôt de comprendre comment les élèves et les enseignants perçoivent ces outils. Nous essaierons également de comprendre comment se construisent ces perceptions.

BILAN DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

Perceptions des outils numériques chez les apprenants

Différentes études se sont intéressées aux attitudes et perceptions que les apprenants, jeunes et moins jeunes, pouvaient avoir des technologies nouvelles pour la classe et plus largement pour les apprentissages.

L’ensemble des travaux semble relativement bien converger sur cette question des perceptions des technologies par les apprenants. Ils aboutissent généralement au constat suivant : oui les outils numériques sont perçus plutôt positivement par les apprenants ; cependant, ces perceptions ne sont pas homogènes au sein des populations d’apprenants et varient selon différents facteurs.

Par exemple, une étude menée auprès de 383 étudiants (Al-Emran, Elsherif & Shaalan, 2016) a interrogé leurs attitudes vis-à-vis des apprentissages mobiles (M-Learning) impliquant donc des outils technologiques mobiles (tablettes, ordinateurs portables, smartphones). Les auteurs ont utilisé des affirmations de type « la technologie mobile est un outil utile pour mes études » pour évaluer les attitudes des étudiants. Dans l’ensemble, la moyenne des scores d’attitude des étudiants est plutôt positive. Cependant, des disparités existent entre étudiants. Par exemple, les étudiants possédant déjà une tablette et un smartphone à titre personnel ont des attitudes plus positives que ceux qui ne possèdent pas ces outils. Des différences entre pays ont également été constatées.

D’autres types de facteurs expliquant des différences d’attitudes ont été mis en évidence par Ardies, Maeyer, Gijbels & Keulen (2015). Leur étude portait sur 2 973 lycéens belges et portait sur les différences d’attitudes entre élèves selon le genre ou le type de métier des parents (métiers impliquant l’usage de technologies ou non). De manière intéressante, l’étude a montré qu’il y avait une baisse des attitudes positives entre la première année et la seconde année d’étude des lycéens, ce qui supposerait alors que les pratiques en contexte scolaire influenceraient les attitudes des élèves.

Plus spécifiquement, une revue de littérature a été menée sur les perceptions que les élèves de l’enseignement primaire et secondaire ont des tablettes tactiles pour l’apprentissage (Mulet, Van De Leemput & Amadieu, 2019). Quarante-et-une études internationales publiées entre 2000 et 2018 ont été examinées. Dans l’ensemble, les résultats ont confirmé que les élèves avaient des perceptions positives des tablettes pour l’apprentissage. Ces outils sont généralement perçus comme faciles à utiliser et adaptés aux besoins d’apprentissage (c’est-à-dire qu’ils leur permettent d’être rapide et efficace). Les tablettes sont plutôt perçues comme facilitant l’apprentissage et rendant les cours plus amusants et agréables. Les élèves les jugent utiles dans le sens où elles apportent des ressources supplémentaires au cours et où ce sont des outils personnalisables. Néanmoins, cette revue de littérature a permis de mettre en évidence plusieurs éléments pouvant modérer ces perceptions.

Tout d’abord, la perception de la facilité d’utilisation de ces outils dépend de la nature de la tâche et de l’adéquation de l’outil avec ces tâches. Des tâches comme la recherche d’information sur Internet…

… ou la gestion de documents amènent des perceptions de facilité d’utilisation, tandis que tâches de production d’écrit entraînent des perceptions plus négatives. Les élèves préfèrent parfois utiliser des outils traditionnels tels que les livres ou le papier et le crayon, selon les tâches.

Également, les perceptions des élèves sont parfois moins positives lorsqu’ils font face à des difficultés techniques, qui peuvent entraîner une perte de temps et entraver l’apprentissage. Enfin, selon les études, certains élèves jugent négativement les tablettes car une utilisation prolongée de l’outil conduit à des inconforts physiques (fatigue visuelle, douleur aux yeux, maux de tête, etc.) ou encore parce qu’elles peuvent devenir une source de distraction qui les détourne des tâches d’apprentissage. En somme, les résultats mettent en évidence le fait que les perceptions sont complexes, parfois ambivalentes et peuvent différer selon les élèves, les tâches et les contextes d’apprentissage.

Comment les enseignants perçoivent-ils les technologies ?

Nous soutenons, dans différents chapitres de cet ouvrage, l’idée que le rôle des enseignants dans les environnements d’apprentissage mobilisant des outils numériques est majeur. Les enseignants tiennent une place centrale dans l’intégration de technologies en classe et impactent les perceptions des apprenants relatives aux technologies (Montrieux, Vanderlinde, Courtois, Schellens & De Marez, 2014). Il est par conséquent tout aussi fondamental de s’intéresser aux perceptions des enseignants qu’à celles des élèves.

Certains travaux conduits sur les perceptions des enseignants ont révélé une grande hétérogénéité dans cette population. Dong (2016) a par exemple montré que la moitié des 316 enseignants de maternelle interrogés à Shanghai estimaient que les technologies numériques pouvaient être utiles pour les premiers apprentissages et le développement des jeunes apprenants, voire utiles pour leurs enseignements. Plus d’un tiers des enseignants restaient sur des perceptions assez neutres, et enfin une minorité sur des perceptions plutôt négatives (par exemple effet négatif des écrans sur la fatigue visuelle des enfants). On retrouve également cette hétérogénéité sur les perceptions de l’utilité de ces technologies pour l’enseignement dans une étude de Ifenthaler & Schweinbenz (2013).

En revanche, ce n’est pas parce que des enseignants sont convaincus que les outils peuvent être utiles à l’apprentissage et à l’enseignement qu’ils s’engagent dans leur utilisation (Weitz et al., 2006). Des perceptions positives ne sont donc pas suffisantes pour prédire l’usage réel en classe. Les enseignants ne savent pas toujours comment utiliser efficacement les outils numériques dans leur pédagogie et leurs perceptions positives peuvent parfois être construites à partir de croyances plus que d’expériences d’usage avec les outils (Ifenthaler & Schweinbenz, 2013).

UN EXEMPLE

Si les perceptions des outils numériques varient entre élèves, elles peuvent aussi varier chez un même élève au cours du temps. Peu de travaux se sont intéressés, jusqu’à ce jour, au caractère évolutif des perceptions des élèves au cours des usages des technologies en classe. La nouveauté peut être un facteur de satisfaction pour les étudiants mais celle-ci s’estompe avec le temps et la pratique. Il faut donc considérer les perceptions des apprenants sur une durée longue, impliquant des usages des technologies, et non simplement lors de l’introduction de celles-ci. Deux études ont été menées par Mulet et al. (2019), l’une dans un collège, l’autre dans un lycée. L’objectif de ces deux études était de comprendre comment évoluaient avec le temps les perceptions des tablettes en classe en interrogeant les élèves à l’aide de questionnaires, avant introduction des tablettes en classe, puis après plusieurs mois d’usage en classe. Une nouvelle fois, les résultats ont confirmé des représentations très positives des tablettes chez des lycéens et des collégiens avant l’introduction des outils en classe. Mais chez les lycéens, ces perceptions positives chutaient après plusieurs mois de présence des tablettes en classe. Les difficultés techniques et d’organisation des activités pédagogiques avec les tablettes semblent être la principale explication de la détérioration des perceptions. À l’inverse, l’étude menée en collège a révélé que les perceptions demeuraient stables voire évoluaient positivement en fin d’année. Ici, à l’inverse de l’étude dans le lycée, l’intégration des tablettes était faite et la pratique d’activités avec tablettes était implantée dans l’établissement depuis plusieurs années. Il semble également que la diversité des activités pédagogiques avec les tablettes a contribué à maintenir et améliorer les perceptions positives.

En somme, ces travaux montrent que les perceptions très positives avant l’introduction des technologies en classe sont très sensibles aux contextes et aux usages des outils en classe. Les perceptions antérieures à l’introduction des outils reflètent davantage des attentes. Comme pour toute technologie « innovante », les individus créent facilement des attentes idéalisées quant aux capacités des technologies et aux possibilités qu’elles offrent. La réalité des usages et des contextes d’usages conduit généralement les individus à réviser leurs perceptions initiales. Dans le cas des situations d’apprentissage, plusieurs facteurs peuvent réduire l’enthousiasme des apprenants, à savoir les difficultés techniques et organisationnelles ou encore la fréquence et la nature des activités d’apprentissage.

CONCLUSION

Les résultats présentés ici ne concernent que les perceptions des utilisateurs (apprenants et enseignants). Un utilisateur peut tout à fait considérer qu’une technologie est plus utile pour lui qu’un outil plus traditionnel alors que ses performances objectives avec cette technologie seraient plus faibles, et vice versa.

Dans l’ensemble, les travaux cités ici indiquent que les outils innovants ont tendance à être perçus positivement par les apprenants qui y voient des potentialités pour leur apprentissage ou leur motivation. Néanmoins, ces perceptions ne sont pas totalement naïves et les apprenants sont généralement capables d’identifier les limites et contraintes des outils concernés. En outre, ces perceptions évoluent et dépendent beaucoup des activités mises en œuvre en classe. Elles sont donc d’abord liées à la nouveauté de l’outil introduit, mais très vite, elles se construisent sur la base des expériences d’utilisation de l’outil. Ceci met en avant le rôle central des activités pédagogiques sur les perceptions des outils. Si l’on entend souvent que les outils peuvent soutenir les motivations et l’engagement des apprenants dans les tâches d’apprentissage (voir chapitres 7 et 8), on s’aperçoit ici qu’il faut avant tout considérer que les activités jouent sur les perceptions que les apprenants ont de ces outils numériques.

Par conséquent, ces conclusions nous alertent sur la nécessité d’être très prudent avec les retours positifs des apprenants dans les premiers temps d’utilisation des outils. Elles nous incitent à réfléchir à des tâches pertinentes pour les objectifs d’apprentissage et adaptées aux apprenants.

En revanche, les études conduites sur les perceptions des enseignants mettent clairement en évidence l’hétérogénéité des perceptions. Il est intéressant de mieux comprendre les raisons de cette hétérogénéité. Mais les enseignants n’ont pas de perceptions négatives générales vis-à-vis des technologies.

## Chapitre 2 : Les écrans détériorent la lecture ?

### LE MYTHE

La lecture sur écran (ordinateur, tablette, téléphone mobile, liseuse) est aujourd’hui omniprésente dans notre société, que ce soit pour les loisirs, le travail ou la formation. La richesse des documents numériques et la facilité d’accès à l’information grâce à Internet et aux supports mobiles participent directement à une modification de nos comportements de lecture depuis une vingtaine d’années. L’ère du numérique est une ère où nous lisons beaucoup, plus qu’avant en tout cas : en moyenne de 1 h 46 par jour au début des années 1970 à 4 h 30 par jour au début des années 2010, selon White et ses collègues, qui ont enquêté auprès d’Américains adultes. Mais nous ne lisons pas forcément la même chose qu’il y a quarante ans. Par exemple, nous passons beaucoup de temps à lire notre courrier électronique — en moyenne, trente minutes par jour, et jusqu’à deux heures par jour chez certains cadres.

L’encyclopédie en ligne Wikipedia est certainement l’un des sites Web les plus consultés par les apprenants. On le constate dans les pratiques des élèves et des étudiants qui ont développé l’habitude de consulter Wikipedia pour préparer un examen, un dossier ou un exposé. Ces documents sont évolutifs, interconnectés par des liens hypertextes et généralement riches. Dans un célèbre article de 2008 intitulé « Est-ce que Google nous rend plus idiots ? », le journaliste américain Nicholas Carr expliquait que ces documents numériques en ligne modifieraient nos pratiques de lecture, particulièrement celles des jeunes. Comparativement à une lecture plus traditionnelle, celle d’un manuel papier par exemple, la lecture des jeunes deviendrait plus morcelée, elle serait peu soutenue, les lecteurs liraient plus en surface et investiraient beaucoup moins d’efforts. En outre, la forte sollicitation des lecteurs par des informations peu ou non pertinentes dans ces documents (publicité, articles connexes…), et la facilité d’accès à ces informations (un simple clic) amèneraient les lecteurs à être plus facilement distraits et détournés de leur tâche principale de lecture.

Ces nouvelles pratiques de lecture sur écran et en ligne sont-elles en train de modifier les capacités de lecture des apprenants et de réduire leurs compétences à lire de manière soutenue et en profondeur des contenus ? Et, de fait, sont-elles moins efficaces que la lecture sur papier pour apprendre ?

### Bilan des travaux scientifiques

Les écrans rétroéclairés fatiguent l’œil

Tout d’abord, d’un point de vue technique et physiologique, la lecture sur écran est moins efficiente que la lecture sur papier (Baccino, 2004). La principale raison est le rétroéclairage des écrans qui fatigue l’œil. Il est reste difficile de lire un roman avec sa tablette tactile. Les liseuses, qui utilisent de l’encre électronique, se sont développées pour pallier cette limite en évitant le rétroéclairage. Néanmoins, les taux de concentration et de retour de la page restent inférieurs à ceux du papier ; on observe donc une baisse de confort de lecture.

### Supériorité de la lecture papier sur la lecture numérique… mais dans certaines conditions

Singer et Alexander (2017) ont examiné trente-six études sur la lecture papier et numérique conduites sur une période de vingt-cinq années (1992-2017) et en ont conclu que les études manquaient de consistance et d’explicitation dans leurs définitions de la lecture numérique. Les auteurs soulignent également la nécessité de caractériser plus finement les textes dans les études afin de comprendre leurs effets potentiels sur la compréhension. Différents termes se retrouvent dans la littérature : lecture numérique, lecture sur écran, lecture sur ordinateur ou tablette, ou encore lecture digitale.

La méta-analyse de Kong, Seo & Zhai (2018) conclut à une supériorité de la lecture papier sur la lecture numérique. Les auteurs proposent une interprétation selon laquelle la lecture numérique est plus exigeante cognitivement, ce qui se traduirait par une charge cognitive élevée pour le lecteur, en particulier lorsqu’il n’est pas familier avec le dispositif et ni avec les stratégies de lecture adéquates pour ce type de document. La lecture papier serait plus efficace pour l’autorégulation de l’apprentissage. Ackerman & Lauterman (2012) ont par exemple observé que les lecteurs étaient plus efficaces et autoévaluaient mieux leurs connaissances sur papier que sur écran.

Une autre méta-analyse, plus conséquente, a été conduite sur cinquante-quatre études entre 2000 et 2017 et a comparé la lecture sur papier à la lecture numérique (Delgado, Vargas, Ackerman & Salmerón, 2018). La lecture sur papier reste supérieure à la lecture sur écran : les lecteurs ont de meilleures performances de compréhension. L’avantage de la lecture papier est plus net lorsque le temps de lecture est contraint : lorsque le lecteur dispose de peu de temps pour réguler sa lecture, alors la lecture sur papier devient bien plus performante que la lecture sur écran. L’avantage du support papier semble particulièrement vrai pour certains types de texte, en particulier les textes informationnels, alors que, pour des textes strictement narratifs, la différence tend à disparaître. Il serait donc préférable de lire un document expositif sur papier que sur écran tandis que la lecture d’une histoire peut aussi bien se faire sur papier que sur écran, certainement en raison de la lecture linéaire de ce type de texte.

De manière surprenante, les conclusions de cette méta-analyse révèlent que la supériorité de la lecture papier sur la lecture écran augmente au fur et à mesure des années. On aurait en effet pu penser l’inverse : les articles les plus récents, impliquant des participants nés plus récemment, habitués à la lecture sur écran. Ces usagers auraient pu développer des comportements et des stratégies de lecture adaptées à l’écran, les rendant aussi bons lecteurs sur écran que sur papier. Il n’en est rien. Il ne faut pas s’attendre à ce que les effets négatifs de l’écran sur la compréhension disparaissent avec les générations et l’exposition aux écrans. Les performances inférieures de l’écran sur le papier se retrouvent quelles que soient les tranches d’âges des élèves.

Enfin, les différences observées entre lecture papier et lecture numérique existent quels que soient le niveau d’étude du lecteur, la longueur des textes, le type de dispositif numérique (tablette, écran d’ordinateur) ou encore la nécessité de scroller pour lire les textes, quel que soit le type de compréhension évaluée.

Si l’exigence cognitive de la lecture numérique peut expliquer les performances inférieures de la lecture sur écran, une autre explication repose sur l’idée que la lecture sur écran peut conduire à des traitements de surface des informations (par exemple Lauterman & Ackerman, 2014). L’utilisation de médias numériques conduirait les utilisateurs à des habitudes d’interactions rapides et peu tournées vers des traitements en profondeur des informations qui nécessiteraient une attention soutenue. Ces traitements de surface seraient particulièrement à l’œuvre lorsque le lecteur est sous contrainte temporelle. En revanche, il semble que, lorsque les consignes ou les activités imposées engagent les apprenants dans des traitements profonds plutôt que de surface, les effets négatifs de la lecture numérique tendent à disparaître (Sidi, Shpigelman, Zalmanov & Ackerman, 2017).

### Trois stratégies de lecture… quel que soit le support

La question sous-jacente à ce chapitre est de savoir si les comportements et stratégies de lecture sur écran sont identiques ou s’ils diffèrent de ceux en jeu dans la lecture papier.

Or, quel que soit le support, un document est potentiellement lu selon les différents modes de lecture et dépendra des objectifs de traitement du document.

Un document, même papier, peut être lu selon différents modes ou stratégies de lecture. Les trois stratégies les plus fréquemment étudiées sont : la lecture linéaire, en scannant le texte et en diagonale. La lecture linéaire est généralement (à tort) associée à la lecture papier.

Un document numérique tel qu’un manuel scolaire n’implique pas en soi des stratégies de lecture propres au numérique. En revanche, certaines caractéristiques des documents numériques comme la richesse des formats d’informations (animations, vidéos, images, textes…), les fonctions de navigation et d’interaction dans les documents (moteur de recherche, liens hypertextes…) et l’étendue des informations (liens vers d’autres documents associés au texte initial par exemple) peuvent favoriser des modes de lecture en diagonale (skimming : le lecteur lit dans un premier temps les indices organisationnels du document comme le sommaire, les titres, les indices typographiques) ou de lecture par scan du texte (scanning : le lecteur parcourt le document à la recherche de mots clés ou d’informations précises).

La multiplicité des documents va en effet inciter l’apprenant à en repérer les idées principales plutôt…

…que de réaliser une lecture approfondie de chaque document. En outre, l’étendue des documents et la facilité d’accès à ces documents (via des moteurs de recherche ou des liens hypertextes) conduit de plus en plus les apprenants vers des tâches de recherche d’informations.

Malgré les différences entre le papier et le numérique, des travaux montrent que des compétences issues de la lecture papier sont utiles et employées lors de la lecture numérique. Par exemple, une recherche qualitative menée sur une dizaine d’étudiants (Akyel & Ercetin, 2009) a révélé que, pour l’étude d’un document hypermédia, les apprenants pouvaient mettre en œuvre des stratégies d’étude centrées sur le traitement des contenus et centrées sur la gestion de l’activité de lecture et d’apprentissage, équivalentes à celles employées sur les documents papier.

### De nouvelles compétences en lecture à acquérir

Ces nouvelles activités de lecture de documents sur le Web et autres bases de données numériques impliquent de nouvelles compétences. Bien que le numérique offre des facilités d’accès à l’information, ces nouvelles pratiques ne sont pas pour autant faciles à mettre en œuvre. Les travaux de recherche menés sur la compréhension et l’apprentissage à partir de documents numériques pointent plusieurs exigences.

Par exemple, l’accès à une multitude de documents reliés entre eux est à la fois complexe et exigeant (Britt & Rouet, 2012). Le lecteur doit construire plusieurs représentations des documents en mémoire ainsi qu’une représentation des relations entre les documents et de la complexité des connaissances abordées. Il est également nécessaire que le lecteur se construise une représentation de la tâche qu’il doit effectuer, ce qui inclut le but de la tâche, les actions nécessaires à l’atteinte du but (sous-buts et procédure) et un ensemble de critères d’atteinte du but (Rouet, 2006).

### De nouvelles exigences

D’autres travaux sur la non-linéarité des documents numériques (accès libre à différentes parties d’un document à partir de n’importe quelle autre partie de ce document) ont montré les difficultés que pouvait imposer la construction d’un parcours de lecture par l’apprenant. Une revue de littérature d’Amadieu & Salmerón (2014) expose clairement les exigences à deux niveaux.

D’une part, un parcours de lecture efficace pour l’apprentissage d’un contenu passe par un maintien de la cohérence entre les sous-parties du contenu. Pour comprendre, un apprenant a besoin d’enrichir au fur et à mesure la représentation qu’il a du contenu ; or maintenir cette représentation en mémoire peut s’avérer difficile, en particulier si l’apprenant passe d’une information à une autre qui n’a pas de lien direct avec la première. En d’autres termes, les documents non linéaires comme les hypertextes présentent un risque pour l’apprenant de perdre le fil de sa lecture. L’intérêt et le maintien de la cohérence semblent guider la sélection des liens et donc des parcours de lecture des apprenants (Salmerón, Kintsch & Canas, 2006).

D’autre part, le manque d’indices de l’organisation sémantique (table des matières, des chapitres, des titres et des sous-titres, encadrés) des documents numériques impose une autre exigence de traitement. Sur le Web, de nombreuses interconnexions entre les contenus sont proposées, conduisant le lecteur à changer régulièrement de page, de document, de site et donc d’organisation. Des expériences sur l’effet de l’organisation des documents numériques sur la compréhension mettent en évidence les difficultés de lecture et désorientation de l’apprenant dans les cartes conceptuelles (Tricot & Mariné, 2010). La présence d’une carte réduirait également la nécessité d’utiliser des modes de lecture de type skimming (Akyel & Ercetin, 2009).

### Conclusion : une activité de lecture plus complexe

En somme, la lecture de documents numériques est une tâche complexe qui exige des compétences et des ressources cognitives chez les apprenants. De nombreux travaux montrent que, pour pouvoir faire face aux exigences de la lecture de documents numériques, les apprenants ont besoin de ressources cognitives telles que des connaissances initiales dans le domaine étudié, des habiletés spatiales ou encore des compétences dans les apprentissages autorégulés (Amadieu & Salmerón, 2014).

Leu et al. (2009) proposent une description des nouvelles compétences associées à la lecture des documents numériques :

– (1) identifier les questions importantes ;

– (2) localiser les informations, ce qui implique de savoir utiliser un moteur de recherche, de savoir traiter les réponses fournies par celui-ci, de lire une page Web pour localiser l’information recherchée, savoir faire des inférences sur la localisation de l’information en sélectionnant un lien ;

– (3) évaluer de manière critique l’information, sa pertinence, sa précision et sa fiabilité. Le traitement de la source des documents joue un rôle important ici (Braasch, Rouet, Vibert & Britt, 2012) ;

– (4) synthétiser l’information, c’est-à-dire construire une représentation mentale des informations et des relations entre les informations ;

– (5) communiquer l’information, pour répondre à une question, résoudre un problème et partager une solution.

### UN EXEMPLE

### Points communs et divergences entre lecture papier et lecture numérique

Une étude menée aux États-Unis par Coiro & Dobler (2007) sur des collégiens donne clairement une idée des convergences et des différences entre la lecture papier et la lecture numérique. Onze enfants, avec de bonnes compétences en lecture papier et une expérience de la lecture sur le Web, devaient, à partir d’un site Web sur les tigres, répondre à des questions de compréhension littérale (la réponse était explicitement écrite dans un texte du site) et inférentielle (la réponse exige de faire une inférence afin d’extraire la réponse à la question). Les apprenants devaient verbaliser ce qui leur passait par la tête en lien avec la tâche. Dans une seconde session, les enfants devaient répondre à des questions en utilisant cette fois-ci un moteur de recherche généraliste.

Les résultats de cette étude ont montré à la fois que les apprenants utilisaient des stratégies identiques à celles employées dans la lecture papier et qu’ils mettaient en œuvre des stratégies plus complexes pour la lecture de documents numériques en ligne. Les stratégies employées communes à la lecture papier et numérique étaient fondées sur les connaissances antérieures liées au domaine, mais aussi sur le traitement de la structure des textes et des indices que l’on retrouve dans les documents papier (par exemple recherche de titres et indices typographiques). Ensuite, ils utilisaient des stratégies de raisonnement inférentiel leur permettant de traiter les indices structuraux et de contexte afin d’extraire du sens qui n’était pas explicitement donné dans le document. Enfin, ils mettaient en œuvre des processus de lecture autorégulée consistant à contrôler sa propre compréhension et à revenir en arrière en cas d’erreurs de compréhension.

En ce qui concerne les stratégies propres à la lecture numérique, on retrouve les trois catégories évoquées plus haut (présentées page 24 et suivantes), mais aussi de nouvelles stratégies qualifiées de « plus complexes » par les auteurs.

Pour les stratégies fondées sur les connaissances, les stratégies spécifiques aux documents numériques concernaient le traitement de la structure des sites Web (par exemple savoir reconnaître des liens hypertextes hiérarchiques versus non linéaires) et les connaissances des structures des sites.

Les stratégies de raisonnement inférentiel concernaient des inférences prédictives (le lecteur cherche à anticiper et à prédire l’information qui vient ensuite) et le traitement de dimensions multiples qui caractérisent ce type de documents (par exemple, le lecteur cherche à anticiper l’information qui est pointée par un lien hypertexte et son statut dans le document).

Enfin, pour la régulation de la lecture, les stratégies spécifiques portaient sur des cycles rapides de recherche d’information et de traitement de passages de texte.

En illustrant les recouvrements qui existent entre la lecture de documents papier et la lecture de documents numériques, cette étude permet donc de rejeter l’idée d’une lecture numérique qui supplanterait la lecture papier en altérant les compétences et stratégies propres à la lecture papier.

### CONCLUSION

Lire sur écran reste moins confortable et efficace que lire sur papier. Les travaux montrent que cette différence est surtout vraie dans certaines conditions, en particulier sous contrainte temporelle. Deux hypothèses principales sont actuellement débattues : la lecture numérique entraîne plutôt des traitements de surface des contenus et la lecture numérique est plus exigeante cognitivement.

Quelle que soit l’interprétation retenue, les lecteurs ont besoin d’incitation, de guides et de temps pour mettre en place des stratégies adaptées à des traitements profonds des contenus. Si le simple fait d’être exposé aux technologies numériques suffisait pour acquérir les compétences nécessaires à la lecture sur écran (stratégies de lecture, recherche d’information, gestion de l’attention entre les différentes sources d’information à l’écran), on pourrait s’attendre à ce que la lecture numérique soit aussi performante que la lecture papier. Or les travaux montrent clairement que les générations actuelles, grandes utilisatrices du numérique, ont besoin d’être accompagnées pour une lecture efficace des contenus. La lecture numérique nécessite des stratégies et des compétences issues de la lecture papier mais aussi nouvelles. Il faut voir la lecture numérique et en ligne comme un nouveau type de lecture qui implique de nouvelles compétences (littératies) propres aux traitements des documents et à la navigation dans ces espaces d’information. La lecture en ligne est clairement une tâche complexe car elle implique une lecture active et autorégulée : l’apprenant doit faire face à de multiples documents issus de sources diverses ; il doit construire ses propres parcours de lecture ; il doit se représenter la tâche à réaliser pour pouvoir réguler sa lecture ; il doit pouvoir se repérer dans les documents et organiser mentalement des informations dispersées.

Du point de vue de l’enseignement, il est important de considérer la lecture en ligne, qui occupe une place de plus en plus grande dans les pratiques des apprenants du primaire, du secondaire comme du supérieur. Au même titre que la lecture papier « traditionnelle », les apprenants doivent développer des compétences et mettre en œuvre des modes de lecture adaptés à leurs objectifs. Ces compétences sont de plus en plus présentes dans les programmes. Par exemple, la question de l’évaluation de la fiabilité des sources sur Internet est devenue une compétence centrale pour une exploitation pertinente des informations et documents issus du Web.

Au final, si la question de la comparaison entre lecture papier et lecture numérique fait sens, il faut aussi garder à l’esprit que les supports ne visent pas toujours les mêmes types de tâches.

Les supports numériques restent particulièrement adaptés pour accéder à des sources multiples d’information, pour traiter des formats multimédias (animations, vidéos, sons), pour rechercher de l’information ou encore pour indexer et gérer des documents.

## Chapitre 3 : il faut enseigner le code

### LE MYTHE

Récemment, un slogan est apparu, une injonction teintée d’urgence : il faut enseigner le code. Faire programmer les élèves en classe ou hors de la classe est en réalité une activité assez ancienne, elle a bientôt 40 ans. Mais la vague actuelle est très forte, comme on peut le voir avec l’arrivée de l’enseignement de la programmation ou plus généralement de l’informatique dans les programmes scolaires en Suède, Grande-Bretagne, Allemagne, Israël, Finlande, Canada, Écosse, Singapour, Corée du Sud, Japon, Grèce, Inde, et parfois comme discipline à part entière, parfois comme partie de l’enseignement des mathématiques ou de la technologie (voir par exemple Buitrago Flórez et al., 2017). Selon le rapport Eurydice (2019), la compétence programmation/codage s’est aussi explicitement répandue dans les documents récemment publiés pour au moins la moitié des systèmes éducatifs européens, mais pour les premier et deuxième cycles de l’enseignement secondaire dans une trentaine de pays.

L’enseignement du code correspond à des finalités et à des domaines élevés. Il est parfois mobilisé comme moyen d’apprendre autre chose, alors que d’autres fois il constitue le but même de l’apprentissage, pour former des informaticiens ou de 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 ». Le lecteur retrouvera dans le rapport de l’Académie des sciences en 2013 « L’enseignement de l’informatique en France. Il est urgent de ne plus attendre » une formulation nettement moins distanciée voire franchement inquiète, de ces arguments.

Enseigner le code, la programmation, l’algorithmique voire la pensée informatique est, non seulement vaste et ancien, mais recouvre des réalités et des finalités extrêmement différentes (Robins, 2017). Les travaux dans le domaine tentent d’une part de définir les contenus et les finalités de ces enseignements, d’autre part d’évaluer les effets de ces enseignements.

### BILAN DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

### Pourquoi enseigner le code ?

L’enseignement de la programmation peut être conçu comme un moyen d’enseigner l’algorithmique, les notions et la syntaxe du langage qui permettent de traduire les algorithmes en langage de programmation. Pour les élèves les plus jeunes, cet enseignement implique souvent l’utilisation d’un langage de programmation spécifique, ou adapté, au domaine scolaire. Selon Tchounikine (2017), l’enseignement de l’algorithmique et des notions/compétences sous-jacentes comme aux notions 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 technocentrée, l’objectif in fine est que les élèves sachent comprendre/faire des programmes, ce qui amène à les faire travailler pour (1) savoir faire 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 culture numérique et de la pensée informatique (souvent computational thinking dans la littérature internationale). Selon Wing (2006), « La pensée computationnelle consiste à reformuler un problème apparemment difficile en un problème que nous savons résoudre, par réduction, intégration, transformation ou simulation ».

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

Si on le compare à l’enseignement de la lecture ou de la numération, l’enseignement de la programmation est relativement récent. Les quarante années qui viennent de s’écouler n’ont pas encore permis le développement de façons très affirmées d’enseigner la programmation — voir cependant Buitrago Flórez et al. (2017). De ce fait, il existe peu d’études empiriques qui comparent les façons d’enseigner à telle ou telle autre. Pour cette raison, il n’y a pas de méta-analyse de la littérature sur l’enseignement de la programmation.

### Quels sont les effets attestés de l’enseignement du code ?

Pea & Kurland (1984) proposaient d’examiner de façon critique les réflexions de leur temps sur la question suivante : est-ce que l’apprentissage de la programmation informatique favorise 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 ». La méta-analyse de Liao et Bright (1991) montre sensiblement la même chose : des résultats assez modestes sont généralement obtenus en faveur de l’apprentissage de la programmation pour des acquisitions diverses (avec une taille d’effet de 0.41).

Dix-neuf ans plus tard, Robins, Rountree & Rountree (2003) publient une revue de la littérature qui allait devenir une référence du domaine. Elle fait le point sur l’enseignement de la programmation à l’issue de la première désillusion (années 1980-1990) et vante 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 (les concepts évoqués ci-dessous) et stratégies, sans que cette distinction soit claire ; la distinction entre la compréhension de l’algorithmique et l’écriture de programmes est tout aussi importante en enseignement, l’équilibre et la complémentarité entre les deux est difficile à trouver. 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.

D’autre part, dix-sept ans plus tard, les recherches ont apporté de nouveaux éléments ? Il semble possible d’affirmer aujourd’hui qu’un 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 pour enseigner l’algorithmique et la pensée informatique dès l’école primaire. Cela permet concrètement d’entendre à Robins, Rountree & Rountree (2003), non, apprendre à programmer ce n’est pas que Scratch soit un langage de programmation particulièrement facile à apprendre, mais il permet d’apprendre à écrire des algorithmes simples. Par exemple, Vibot est un robot commandé par Scratch. Des activités pédagogiques de programmation sans ordinateur sont mises en œuvre et évaluées (Romero et al., 2017, 2018). Même s’il est trop tôt pour juger de l’efficacité de la programmation, avec ou sans robot, avec ou sans ordinateur, comme moyen pour apprendre des connaissances scolaires classiques, cela apparaît aujourd’hui (en 2020) comme un signe que l’enseignement de la programmation est en train de changer de façon radicale.

### QUELQUES EXEMPLES

### Découvrir des concepts abstraits avec Logo

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 bien la réalité correspondante peut parfois ne pas être perceptible.

Logo est le prototype de l’outil qui avait pour ambition de permettre aux élèves de construire des connaissances abstraites. 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 le Logo est fondée sur l’hypothèse que l’exposition directe au nombre, à l’estimation et aux concepts dans le contexte de la programmation Logo devait aider les élèves à élaborer des connaissances en mathématiques. Logo peut aussi permettre aux élèves de manipuler l’incarnation de certaines idées abstraites. Logo est dispositif qui transmettent les expériences concrètes dans les termes des élèves. Logo est destiné à favoriser l’élaboration de représentations graphiques de ces idées, qui sont programmées par les élèves.

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.

### Enseigner les mathématiques au cycle 3 avec Scratch

Le projet EXPIRE a été conduit à Grenoble par une équipe de chercheurs et piloté par Pierre Thouvenin : http://expire.univ-grenoble-alpes.fr. Ce projet avait pour objectif de mettre en œuvre la pratique de l’algorithmique comme méthode de résolution de problèmes mathématiques. L’hypothèse était que la programmation faciliterait l’acquisition de compétences d’abstraction, qui sont essentielles en mathématiques. En outre, le numérique permet de rendre les mathématiques moins austères et ludiques, tout en liant avec les situations mathématiques. Les activités de programmation étaient réalisées à l’aide du logiciel Scratch.

hevalier-Laurent, Bressoux & Thouvenin (2019) ont conduit une étude expérimentale en milieu scolaire, menée sur 109 classes, dont 36 classes dans les zones d’éducation prioritaire. Sont concernés 109 enseignants et 2 750 élèves de CM1 et CM2 (25 élèves en moyenne). L’objectif est d’appliquer une séquence d’enseignement de la programmation à partir de Scratch suivie d’une verbalisation explicite des programmes en écriture mathématique : le programme produit est utilisé ensuite pour réaliser des activités fondées sur l’algorithmique. Il s’agit d’enseigner le codage et la logique de pensée à partir des mêmes notions mathématiques de manière dissociée (sous forme de script), puis de les faire réappliquer en contexte de séances et de projets similaires. Les contenus de ces programmes sont proches du programme français de mathématiques pour le cycle 3, avec une fonction mathématique, donc, clairement composée de blocs ou d’actions.

Les premières analyses des résultats montrent que les effets sont significatifs, sur les compétences globalement : plus les élèves sont jeunes, plus l’effet est sensible. Les groupes expérimentaux montrent une progression par rapport à des élèves qui suivent l’enseignement fondé uniquement sur les mathématiques sans l’informatique. Pour ce qui concerne les enseignants, l’appréciation générale est très positive. Cependant, les auteurs ont constaté une grande hétérogénéité dans les résultats selon les classes. Les élèves ont aussi bien bénéficié de l’approche avec Scratch.

Le projet EXPIRE montre qu’une « formation-expérimentation » est nécessaire aux enseignants pour pouvoir utiliser de façon autonome les séquences de classe ; cette formation est une condition nécessaire préalable en algorithmique-programmation. Les retours des enseignants sont dans l’ensemble très positifs. Parmi les éléments d’appréciation : découvrir une nouvelle manière d’enseigner les mathématiques ; contextualiser ; permettre d’approfondir la vision de l’enseignement des mathématiques ; adhésion des élèves (suscitée, notamment, par la motivation, le rapport au numérique et à l’abstraction).

Ces séquences permettent par ailleurs, ainsi que le préconise le programme de cycle 3, une initiation à l’algorithmique et la programmation.

**CONCLUSION**

Après quarante années consacrées (avec des hauts et des bas) à l’enseignement de la programmation dans l’enseignement général, il reste difficile de dresser un bilan. Cet enseignement poursuit des finalités différentes : la programmation est parfois un moyen, parfois un but.

Dans certaines situations, la programmation peut concerner tous les élèves, très tôt, ou ceux de certaines filières : il reste encore à établir l’intérêt pour cette formation pour les citoyens de sociétés actuelles ou futures, mais l’approche par les sciences de la formation reste à ce jour difficile à établir. Essayer de prouver l’utilité de l’enseignement des mathématiques de façon populaire générale n’a d’ailleurs jamais réellement été établi. Est-ce une raison pour en exclure systématiquement la programmation ? La recherche sur la formation aux usages du numérique est surtout focalisée sur les moyens d’organisation, les temps d’apprentissage, sur la formation des enseignants, et peu sur les outils eux-mêmes.

Quand elle se veut un moyen d’apprendre d’autres connaissances, la programmation peine à montrer une supériorité nette par rapport à d’autres moyens d’enseigner. Mais elle est aujourd’hui un moyen relativement facile à mettre en œuvre, pas moins efficace que d’autres. On peut penser que, quarante ans, c’est très court et que nous manquons encore de recul et d’expérience pour statuer sur ce point.

## **Chapitre 4 L’INTELLIGENCE ARTIFICIELLE VA RÉVOLUTIONNER L’ENSEIGNEMENT**

### **LE MYTHE**

L’intelligence artificielle est une discipline née au milieu des années 1950, et dont l’objectif est de simuler / faire produire des comportements intelligents à des machines. On doit à Alan Turing en 1950 l’idée fondamentale selon laquelle une machine qui simulerait parfaitement l’intelligence (ou la pensée) pourrait être considérée comme intelligente (ou pensante). L’intelligence artificielle a eu des hauts et des bas, mais depuis quatre ou cinq ans, elle montre un gros pic de forme. En France, par exemple, Cédric Villani a publié en mars 2018 un rapport sur le sujet, préconisant notamment la création d’un réseau d’« Instituts interdisciplinaires d’Intelligence Artificielle », qui a effectivement vu le jour en 2019. En 2015-2016, la leçon inaugurale de la chaire « sciences numériques » du Collège de France était attribuée à Yann LeCun sur le thème « L’apprentissage profond : une révolution en Intelligence Artificielle ». Notons que cet emballement n’est pas franco-français, mais bien mondial.

Depuis les années 1950, on définit les choses un peu différemment et c’est sans doute très important. Il est assez consensuel, chez les humains et d’autres espèces animales, de considérer qu’une connaissance correspond à la détection d’une régularité dans un environnement et qu’apprendre c’est modifier ses connaissances. Ainsi, apprendre c’est modifier les régularités que l’on détecte dans l’environnement, notamment quand celui-ci change (même de façon ténue, pour des détails). Si l’on est capable de construire une machine qui apprend de cette manière (qui détecte des régularités à différents niveaux de détail dans un environnement changeant), alors cette machine apprend comme les humains et d’autres espèces animales. Et c’est effectivement ce que l’on sait faire faire aux machines aujourd’hui avec des techniques dites de deep learning.

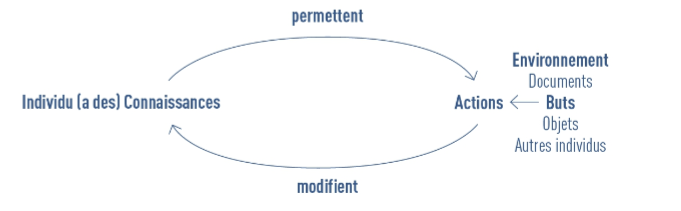
Il est assez difficile de définir ce que sont des « comportements intelligents ». Mais il est assez facile d’imaginer qu’enseigner est bien un comportement intelligent. Ainsi, la révolution actuelle de l’intelligence artificielle (IA) a-t-elle immanquablement concerné l’enseignement. Mais, comme l’IA a maintenant plus de 60 ans, ses relations avec l’enseignement ne sont pas nouvelles.

### **BILAN DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES**

**L’IA en éducation : un domaine important, ancien et ambitieux**

L’IA en éducation est une discipline académique, avec ses revues spécialisées comme le International Journal of Artificial Intelligence in Education (depuis 1989) ou Computers & Education (depuis 1976) et ses grands colloques internationaux comme Artificial Intelligence in Education (depuis 1981) et International Conference on Intelligent Tutoring Systems (depuis 1988). Pour comprendre l’objet de cette discipline, revenons à la définition de l’apprentissage : « Apprendre, c’est modifier de façon durable ses connaissances et comportements sous l’effet de l’expérience. » Globalement, chez les humains, l’apprentissage fonctionne bien : l’individu s’adapte à son environnement, par l’action, en fonction des buts qu’il poursuit.

L’apprentissage par enseignement est mis en œuvre quand ces apprentissages ne suffisent plus, notamment pour préparer des environnements futurs ou accélérer l’apprentissage.



### les fonctions visées par l’IA éducative

* Définir les connaissances que les élèves vont apprendre, dans un certain ordre.
* Concevoir les tâches qui vont permettre aux élèves d’apprendre, notamment en impliquant d’autres individus (élèves, enseignant).
* Concevoir les supports pour ces tâches (documents, objets).
* Modifier l’environnement de l’élève (définir des contraintes spatiales et temporelles).
* Réguler les actions des élèves.

### **La difficulté à élaborer un modèle de l’élève**

Depuis les premiers Tuteurs Intelligents dans les années 1980, les chercheurs en IA, collaborant parfois avec des spécialistes de psychologie cognitive, ont buté sur l’élaboration du modèle de l’élève. Pourtant, comme nous le rappelions ci-dessus, on a besoin d’un modèle de l’élève si on veut concevoir un système. On doit pouvoir non seulement constater une erreur, mais aussi identifier la cause de l’erreur. En effet, la même erreur chez deux élèves différents, peut avoir deux causes différentes. Il faut 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 qui a donné de bons résultats, porté par de grosses équipes disposant de moyens considérables (Anderson et al., 1990, ou, plus récemment, Graesser et al., 2018). Pour une synthèse du domaine, voir la méta-analyse de Kulik & 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, 2010) puis dans 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 le tri des corpus de données sont impressionnants, 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 d’apprentissage, l’analyse de données n’identifie pas de causes (Amadieu, Bastien & Tricot, 2008).

### **Vers une nouvelle approche ?**

La nouvelle approche en IA concerne notamment le deep learning : la détection de régularités dans l’environnement à différents niveaux de détails. Dans de nombreux domaines, cette approche par la détection de patterns comportementaux a donné lieu à des réussites impressionnantes. Par exemple, dans le traitement du langage naturel (un outil comme deepL.com traduit des textes de façon très correcte, les logiciels de reconnaissance de la parole sont peut-être en train de révolutionner la façon dont nous interagissons avec des machines…), la robotique bien sûr, la reconnaissance des visages, des applications en imagerie médicale par exemple, et bien entendu dans le domaine automobile avec les véhicules autonomes.

Imaginons que l’on sache détecter, de façon automatique, ce que font les élèves en difficultés, ceux qui réussissent, ceux qui abandonnent ; sans avoir à comprendre pourquoi ils sont en réussite ou en échec, on sait précisément décrire comment ils se comportent. On n’a alors plus besoin d’élaborer des modèles explicatifs, qui donnent tant de fils à retordre à la première IA.

### **Le numérique pour enrichir l’environnement, pas pour remplacer les enseignants**

La méta-analyse de Ma, Adesope, Nesbit & Liu (2014) sur l’effet des Tuteurs Intelligents montre une efficacité des Tuteurs Intelligents qui n’est toutefois pas meilleure (ni moins bonne) que celle des situations avec un tuteur humain. Les évaluations concernent des tâches précises. Le tuteur intelligent serait intéressant pour une tâche précise et donc bien modélisée mais ne se substitue pas à l’enseignant qui pourrait les utiliser pour réguler la classe ou pour de la pédagogie différenciée.

Depuis les années 1990, de très nombreux travaux dans le domaine ont surtout voulu changer les objectifs : il n’est pas question de remplacer les enseignants — cela n’aurait aucun sens, socialement et culturellement. La plupart des humains ont besoin d’un autre humain pour apprendre par enseignement, ont besoin d’une personne pour les accompagner, les encourager, leur faire accepter les contraintes de temps et de lieux, pour faire ce qui n’était pas prévu mais qui se présente, pour répondre à des questions inattendues, pour réguler les relations entre élèves, etc. Les outils numériques sont beaucoup plus intéressants quand on considère qu’ils peuvent enrichir l’environnement : vidéos et animations, lecteurs mp3, simulateurs, calculettes, etc. Selon cette approche, celle des environnements informatiques pour l’apprentissage humain (EIAH), il ne s’agit donc pas de remplacer l’enseignant mais d’enrichir l’environnement, de manière intelligente, avec des outils.

### **UN EXEMPLE**

**Practical Algebra Tutor** est un célèbre système pour l’enseignement de l’algèbre développé par le psychologue canadien John Anderson et son équipe, à Pittsburgh. Cette équipe a développé d’autres Tuteurs Intelligents (comme Geometry tutor, Algebra I Tutor, etc.) et a constamment eu le souci de « sortir du laboratoire » pour aller tester ses systèmes dans des salles de classe.

Les Tuteurs Intelligents développés par cette équipe sont fondés sur un modèle de l’élève particulièrement solide, à partir d’une architecture cognitive générale nommée ACT. Cette architecture est capable de prédire très précisément les conduites qui vont amener les élèves à des apprentissages réussis ou pas réussis. Réciproquement, le système permet d’interpréter toute activité d’un élève comme un écart à cette conduite optimale. Ainsi, pour un apprentissage donné, le système peut proposer un guidage ou une aide adaptée à « l’écart » de l’élève.

De génération en génération, cette équipe a produit des systèmes qui guident de moins en moins les élèves mais qui sont capables de mieux les aider de manière de façon intelligente.

Dans une étude (Koedinger, Anderson, Hadley & Mark, 1997) conduite auprès de 470 élèves de troisième en 1993–1994, les chercheurs montrent que les élèves issus de milieux défavorisés et travaillant avec ce système ont des performances de 15 % supérieures à des élèves témoins, issus de classes comparables. Toutefois, quand on compare ces élèves avec ceux de classes sélectives, réservées aux élèves performants en mathématiques, on constate que le système ne permet pas de combler la différence liée au niveau initial des élèves. Le lecteur trouvera dans la méta-analyse de Kulik & Fletcher (2016) d’autres exemples d’études de ce type, conduites dans les années 2000 et 2010.

### **CONCLUSION**

Les raisons de ce demi-échec relèvent plus du passage à l’échelle que d’un problème de recherche.  
Les Tuteurs Intelligents relèvent d’un domaine de l’intelligence Artificielle classique, celui des systèmes experts. Pour fonctionner (c’est-à-dire pour interpréter intelligemment ce que fait un élève), un tel système a besoin d’un modèle de l’élève (une description informatique exhaustive de la façon dont tous les élèves possibles peuvent apprendre tel domaine), d’un **modèle du domaine** (une description informatique exhaustive et structurée des connaissances du domaine), d’un **modèle de la tâche** (une description de ce qu’il faut faire pour apprendre la connaissance) et enfin d’un **modèle de l’enseignement** (une description informatique exhaustive de la façon dont on enseigne ce domaine et dont on régule cet enseignement en fonction de la façon dont tous les élèves possibles apprennent). Ces quatre modèles, déjà très difficiles à élaborer, ne seraient-ce que par manque de théories, doivent ensuite interagir entre eux et avec un élève réel. La complexité de ce travail rend ce type de système non pas **impossible à concevoir**, mais **extrêmement difficile, long et coûteux**.

Du côté des apports du deep learning à l’éducation, il nous semble que nous en sommes encore à l’étape des grands espoirs. Pour l’instant, très peu de publications permettent d’affirmer quoi que ce soit d’autre. Mais nous croyons que la **détection automatique de comportements liés à la réussite ou à l’échec d’un apprentissage** mérite toute notre attention dans les années à venir.

## **Chapitre 5 GRÂCE AU NUMÉRIQUE, ON PEUT APPRENDRE À DISTANCE**

### **LE MYTHE**

L’enseignement à distance existe depuis que la poste existe. Le développement des technologies de l’information et de la communication a permis d’améliorer la souplesse, la rapidité et la quantité des échanges entre les élèves (ou les étudiants, ou les travailleurs en formation continue) et les enseignants formateurs. Le téléphone, la radio, la télévision ont apporté leur lot d’espoirs en des améliorations substantielles. Mais le développement des ordinateurs personnels connectés entre eux via des réseaux a constitué une véritable révolution. Sites Web, forums, chat, messagerie électronique, visioconférence, robots de téléprésence, etc. sont autant d’outils qui offrent des fonctionnalités extrêmement riches et diversifiées, les communicants aussi bien que les pédagogues l’ont répété. Régulièrement, chaque décennie depuis les années 1980 a donc vu arriver son lot d’innovations technologiques et d’idées simples (e-learning, classes virtuelles, MOOC) faisant croire à chaque fois qu’il était possible d’apprendre aussi bien, sinon mieux, à distance qu’en présentiel, en touchant plus de personnes, avec plus de souplesse. Le pas était tellement aisé à franchir qu’il a été : l’enseignement ouvert et à distance via les outils numériques est devenu non seulement un symbole de modernité, mais la promesse qu’on allait faire progressivement disparaître les formes traditionnelles d’enseignement.

De manière intéressante, ces innovations au service de l’enseignement et de l’apprentissage à distance ont suscité de très nombreuses recherches, de sorte que la littérature scientifique dans le domaine est aujourd’hui pléthorique (plusieurs centaines de milliers de publications). L’apprentissage à distance correspond à des formes strictes d’enseignement tout à distance et à des formes dites mixtes (blended learning), où les élèves/étudiants sont en partie à distance et en partie en présentiel. 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 y 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.

### **BILAN DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES**

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 versus en présentiel. Les résultats indiquent des tailles d’effet pratiquement nulles pour les mesures d’efficacité, d’attitude des élèves et de mémorisation. Autrement dit, l’enseignement à distance est parfois supérieur et parfois inférieur à l’enseignement en présentiel, dans les mêmes proportions. Les auteurs concluent que les recherches devraient aller au-delà de la simple comparaison entre l’enseignement à distance et en présentiel, notamment en prenant en compte la pédagogie.

La même équipe a réalisé une autre méta-analyse sur le même sujet cinq ans après (Bernard et al., 2009). Cette fois-ci, ils prennent en compte les conditions pédagogiques et/ou médiatiques analysées. Dans l’ensemble, les résultats confirment l’importance des trois types de facilitation par 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 présentiel (c’est-à-dire le blended learning). 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.

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 présentiel (g = 0,34) et que le type de soutien informatique utilisé 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 présentiel et à l’enseignement à distance. Mais, dans bien des cas, l’enseignement en présentiel et l’enseignement à distance ne sont pas de véritables alternatives : elles s’adressent à des publics distincts. Nous reviendrons plus bas sur ce point.

La **méta-analyse de Means, Toyama, Murphy & Baki (2013)** porte sur quarante-cinq études comparant trois conditions : enseignement à distance ; apprentissage mixte ; enseignement en présentiel. La durée de l’enseignement variait selon les études et dépassait un mois dans la majorité d’entre elles. Les résultats montrent que, en moyenne, les élèves en apprentissage mixte obtiennent de meilleurs résultats que ceux qui reçoivent un enseignement en présentiel. Les auteurs soulignent que les études faisant appel à l’apprentissage mixte ont également tendance à impliquer du temps d’apprentissage supplémentaire. Cette possibilité laisse ouverte la possibilité que l’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 cinquante-six 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 en faveur de l’apprentissage mixte, sans biais de publication significatif. Pour les études comparant l’apprentissage mixte et l’apprentissage non mixte (enseignement à distance ou enseignement en présentiel), la taille de l’effet est de d = 0.81 en faveur de l’apprentissage mixte. 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.

**Les méta-analyses dans le domaine de l’enseignement à distance** donnent à voir un paysage plutôt positif mais au bout du compte pas très clair. **Simard, Gauthier & Richard (2019)** ont réalisé récemment une synthèse de seize méta-analyses comprenant **862 études primaires** auxquelles ont pris part **au-delà de 200 000 participants**. Les auteurs montrent notamment que **l’efficacité de l’enseignement à distance serait plus élevée au fur et à mesure que sont utilisées les technologies plus récentes**, « qui permettent des interactions riches, obtenues à l’aide de stratégies pédagogiques intégrant des technologies récentes ».

**L’efficacité de l’enseignement à distance est plus élevée s’il utilise des stratégies pédagogiques favorisant l’apprentissage autorégulé** et s’il contient des **dispositifs de soutien à cet apprentissage autorégulé**. Plus ces dispositifs de soutien s’appuient sur des technologies récentes, plus ils sont aidants.

### **QUELQUES EXEMPLES**

#### **Les stratégies efficaces pour apprendre à distance**

**Neroni et al. (2019)** ont étudié la relation entre les **stratégies d’apprentissage** et la **réussite académique 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** (une adaptation du fameux Motivated Strategies for Learning Questionnaire – MSLQ de Pintrich et son équipe) est utilisé pour déterminer les stratégies d’apprentissage des étudiants, tandis que les notes aux examens sont utilisées pour mesurer la réussite académique.

L’intérêt de cette étude réside dans le fait que les chercheurs se sont focalisés sur les différences entre les étudiants **« non traditionnels »** (ceux qui ont plus de 24 ans, qui travaillent) et les étudiants **« traditionnels »** (plus jeunes, qui ne travaillent pas à côté), tous étant inscrits dans la même université à distance.

Les résultats montrent que **la gestion du temps et de l’effort est le meilleur prédicteur de la réussite aux examens**. Ils montrent aussi que les étudiants **« non traditionnels »** sont plus...

Les résultats montrent que **les étudiants “non traditionnels”** sont **plus aptes à bien gérer leur temps d’apprentissage** et sont **plus persistants face aux défis** que les étudiants « traditionnels ». Les auteurs font l’hypothèse que les étudiants non traditionnels, qui ont souvent une vie professionnelle et familiale très occupée, doivent savoir gérer leur temps et leur environnement d’apprentissage pour pouvoir s’en sortir. Peut-être que **les étudiants « non traditionnels » qui n’ont pas ces compétences dans la gestion du temps abandonnent rapidement l’université à distance** (ou ne s’y inscrivent pas !).

L’utilisation de **stratégies cognitives complexes** (élaboration, mais aussi planification, contrôle et régulation de leur propre apprentissage) est aussi un bon prédicteur de la réussite aux examens. Les étudiants non traditionnels obtiennent des scores beaucoup plus élevés que les étudiants traditionnels dans ce domaine. Peut-être, selon **Neroni et al.**, que les étudiants les plus jeunes ont encore besoin d’aides métacognitives, de la part de leur professeur ou de leurs parents ?

### **Des robots de téléprésence**

**Dorothée Furnon** a récemment soutenu une thèse (Furnon, 2018) sur les **« robots de téléprésence »** – qui n’ont rien à voir avec la robotique, mais désignent la télécommunication médiée par un **« ordinateur déplaçable »** : pour l’essentiel un écran, un microphone et une caméra déplaçables. Ce dispositif permet à un élève qui ne peut pas être présent en classe (parce qu’il est hospitalisé par exemple), d’assister au cours et d’y être représenté. Les interactions médiées par le robot de téléprésence constituent une nouvelle expérience perceptive (...). La véritable évolution (...) se situe dans le déplacement autonome de la personne qui le pilote. Être vu, être entendu, voir et entendre, se déplacer dans un lieu distant de notre corps biologique et dans une réalité mixte, cela crée une nouvelle expérience phénoménologique dans une expérience perceptive, proprioceptive et intersubjective nouvelle.

Un élève peut-il donc être présent à distance via un artefact ? Avec quelles conséquences ? L’analyse des entretiens avec des élèves de lycée ou des étudiants montre que certains d’entre eux sont satisfaits de pouvoir assister au cours, mais plus encore d’être présents en cours : parfois le professeur s’adresse personnellement à eux, leur pose une question, écoute leur réponse. L’interaction est bien plus riche qu’avec une vidéo de cours enregistrée. Être présent à travers un écran, c’est aussi être visible, c’est savoir que l’on est vu, comme en salle de classe, c’est-à-dire montrer que l’on est attentif/intéressé. C’est aussi la possibilité pour l’élève de montrer son activité au professeur, comment il a résolu tel problème par exemple.

**Enseignants et élèves qui ne pratiquent pas cette visibilité se disent d’ailleurs frustrés** : pour l’enseignant de ne pas voir l’élève ni ce qu’il fait ; pour l’élève de ne pas être vu, de ne pas être intégré (ceci pouvant aller jusqu’au désengagement). Les élèves soulignent aussi qu’être ainsi présent à distance est exigeant cognitivement (voir, entendre, se déplacer, toutes ces activités sont dégradées par rapport à la présence physique) particulièrement quand il faut en plus prendre des notes.

### **CONCLUSION**

La formation à distance nécessite un enseignement extrêmement bien conçu, structuré, qui soutient l’apprentissage des élèves. La situation que nous avons vécue avec la pandémie Covid-19 est unique, l’enseignement à distance y est fortement dégradé. Selon Paul Kirschner, il est à l’enseignement à distance ce que la médecine d’urgence est à la médecine. **Apprendre à distance est réputé exigeant pour la simple raison que toute l’aide qu’une enseignante apporte à ses élèves dans la classe et toute la régulation de son enseignement en fonction des difficultés de ses élèves sont différées, parfois extrêmement différées**, ce qui entraîne alors une exigence de grande autonomie de la part des élèves. L’exigence d’un enseignement à distance est aussi à rapporter au cout d’un enseignement en présentiel : si le cout de la présence est trop élevé, absolument hors de portée de l’élève, alors l’exigence de l’enseignement à distance paraitra, comparativement, raisonnable.

**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. Réciproquement, elle implique pour les enseignants de **préparer extrêmement bien leurs cours**, pour anticiper les difficultés des élèves. L’exigence d’un enseignement à distance est aussi à rapporter au coût d’un enseignement en présentiel : 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**.

## **Chapitre 6 LE NUMERIQUE FAVORISE L’AUTONOMIE** DES APPRENANTS

**LE MYTHE**

Parce que les TICE proposent des activités variées (par exemple : exercices, consultation d'information, découverte, communication avec les pairs), l'accès à de nombreuses ressources et outils (par exemple : vidéos, forum, documents multimédias, exerciseur, simulateur) et des nouvelles formes d’interactions avec les contenus (par exemple : moteurs de recherche, systèmes d’annotation, déclenchement d’animations), les apprenants sont davantage libres dans leur apprentissage. Ils peuvent déterminer leurs buts, choisir leur parcours, leur progression et réguler leur apprentissage grâce aux nombreuses possibilités apportées par les ressources numériques. Ces situations d’autonomie pour l’apprenant se sont développées dès les années 2000 avec la mise en place de formations à distance et de mises à disposition de ressources. L’avantage indéniable est de permettre à l’apprenant d’accéder au savoir à tout moment et depuis n’importe quel lieu (connecté). Ces dernières années, les MOOC ont par exemple fait leur apparition, suscitant tout autant d’engouement que le e-learning, et proposant eux aussi des situations d’autonomie pour les apprenants.

La richesse de l’environnement numérique en termes de ressources et d’outils d’une part, et la « délocalisation » de l’apprentissage permise par la réalisation des activités à distance, posent indéniablement la question de l’autonomie de l’apprenant. Ces environnements sont-ils favorables au développement de l’autonomie des apprenants comparativement à des situations d’apprentissage plus traditionnelles dans lesquelles le cadre organisationnel, les ressources limitées et l’encadrement apporté par l’enseignant limiteraient davantage l’autonomie de l’apprenant ?

En d’autres termes, est-ce que les environnements numériques offrant une liberté d’action, de gestion et de régulation de son propre apprentissage à l’apprenant contribuent à améliorer les compétences à être autonome dans son apprentissage ?

Derrière cette idée, il y a aussi celle de la flexibilité des dispositifs aux divers profils des apprenants.

**APPRENDRE AVEC LE NUMÉRIQUE (FRENCH EDITION)**

Parce que les dispositifs proposent des ressources multiples, des modules de formation ou encore des scénarios de formations flexibles, ils sont censés répondre à la grande diversité des apprenants. Chacun, selon ses objectifs, ses compétences et ses moyens, devrait bénéficier de ces dispositifs (c’est ce que nous abordons aux chapitres 7 et 9).

**BILAN DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES**

Les recherches menées sur cette question, ancienne, se centrent sur ce que l’on appelle « l’apprentissage autorégulé ».

**L’apprentissage autorégulé**

Ce terme signifie que l’apprenant va prendre des décisions sur ses activités d’apprentissage et modifier celles-ci en fonction de différents facteurs. Au sens large, un apprentissage autorégulé signifie que l’apprenant décide quoi étudier, quelles ressources consulter, quelles activités mener, quand et comment. Les régulations apportées par les enseignants sont alors faibles, voire inexistantes. L’apprentissage autorégulé est un apprentissage actif et constructif dans lequel les apprenants organisent leurs buts d’apprentissage et tentent de superviser, de réguler et de contrôler leur cognition, leur motivation et leurs comportements en fonction de leurs buts et des caractéristiques du contexte (Pintrich, 2000).

Pour être autonome, il faut donc en avoir les moyens. Par exemple, lorsque sa stratégie d’apprentissage est inadaptée, l’apprenant doit être capable d’évaluer l’inefficacité de cette stratégie afin de pouvoir en changer. Lorsque le contexte change de manière importante, les apprenants capables de s’autoréguler seront plus efficaces. Les compétences permettant à l’apprenant de s’adapter et d’être autonome l’amènent généralement à être plus performant que des apprenants plus passifs (Zimmerman & Martinez-Pons, 1988).

**Des stratégies motivationnelles, métacognitives et cognitives indispensables**

Ainsi, pour être autonome, un apprenant doit faire appel à différentes compétences et stratégies. Zimmerman (1990) parle de stratégies motivationnelles, métacognitives et cognitives. En ce qui concerne la motivation, les apprenants qui sont performants dans l’autorégulation ont généralement le sentiment d’être efficaces dans leurs activités d’apprentissage ; ils cherchent à maîtriser ce qu’ils étudient, ils accordent de la valeur aux activités pédagogiques qui leur sont données.

Les stratégies métacognitives reposent sur les connaissances et les compétences que les apprenants ont sur les tâches d’apprentissage (par exemple, « réviser un examen demande du temps »), sur un domaine (« dans cette discipline, les connaissances scientifiques se renouvellent très vite »), sur son propre fonctionnement d’apprenant (« il vaut mieux que j’étudie régulièrement car j’ai du mal à retenir les choses en situation unique avant un examen »). Les métacognitions permettent aux apprenants de s’organiser, d’établir leurs propres buts d’apprentissage, de s’autoévaluer et d’adapter en régulant leurs comportements.

Les stratégies cognitives, quant à elles, sont multiples, allant de stratégies peu élaborées (comme la relecture) à des stratégies de haut niveau qui président un meilleur ancrage en mémoire des connaissances. C’est le cas des stratégies d’élaboration où l’apprenant produit des informations à partir de contenus et en mobilisant ses propres connaissances, ou des stratégies d’organisation où l’apprenant extrait les idées importantes d’un cours et les organise, sous forme de fiche de lecture par exemple.

**Le cas de l’apprentissage avec les hypermédias**

Dans le domaine des hypermédias — documents numériques dans lesquels les apprenants construisent leur propre parcours —, les travaux d’Azevedo et al. (2010) plaident clairement pour la nécessité de compétences métacognitives. L’ensemble de leurs travaux indique que les apprenants ont besoin de contrôler leur compréhension et de modifier leur planification, leurs buts, leurs stratégies et leur effort en fonction des conditions contextuelles (Azevedo & Cromley, 2004). Ce sont bien les métacognitions des apprenants qui permettent la mise en œuvre de stratégies efficaces améliorant leur apprentissage (Azevedo, Guthrie & Seibert, 2004), Moos & Azevedo (2008) ont également montré que les apprenants qui planifiaient et régulaient le plus leur apprentissage dans un hypermédia étaient les apprenants qui avaient le plus de connaissances antérieures dans le domaine étudié. Les connaissances antérieures sont donc des ressources importantes qui contribuent à l’autonomie des apprenants en les aidant à mettre en œuvre des stratégies métacognitives.

**Le cas du e-learning et des MOOC**

Les travaux sur les cours en ligne aboutissent au même type de constat. Dans les apprentissages en ligne, les apprenants ont besoin d’utiliser des stratégies d’autorégulation pour atteindre de bonnes performances. En effet, dans ce type d’apprentissage, les stratégies des apprenants pour gérer leur temps et réguler leurs efforts se révèlent de bons prédicteurs de performances aux évaluations de performances d’apprentissage (Broadbent, 2017). Or tous les apprenants n’ont pas les compétences et profils nécessaires à une bonne autonomie. Si l’on prend le cas des apprentissages dans le contexte des MOOC par exemple, une étude de Kizilcec (2017), auprès de 4 831 apprenants, nous révèle que les apprenants qui rapportent être engagés dans des stratégies de planification et d’organisation de leurs poursuites atteignent plus facilement des objectifs et certifications de cours en ligne. Mais l’étude met également en évidence une grande disparité de stratégies et compétences d’autorégulation entre les apprenants. Les apprenants avec un doctorat, ceux qui ont des motivations importantes pour réussir, ceux qui mobilisent du temps dans la formation et ceux qui ont déjà des expériences avec le domaine étudié, présentent davantage de compétences pour l’autorégulation et donc pour l’autonomie.

À l’inverse, dans l’étude de Yukseltruk & Bulut (2007), les apprenants en ligne qui rencontrent des échecs sont ceux qui ne consacrent pas assez de temps aux tâches à réaliser ou à la préparation aux évaluations. Ils ont des difficultés à maintenir leur effort et leur motivation. Selon les auteurs, ces apprenants sous-estimeraient le temps et l’effort nécessaire à un apprentissage réussi dans les cours en ligne. En effet, les cours en ligne peuvent s’avérer plus exigeants que les cours en présentiel dans le sens où l’accompagnement y une place plus faible. Les apprenants pourraient alors être dans une illusion de facilité du fait des technologies. D’ailleurs, les formateurs interviewés dans cette étude ont relevé des baisses de motivation chez les étudiants en difficulté au cours de leur apprentissage.

Au final, les apprenants qui sont performants dans les apprentissages en ligne sont les mêmes qui sont compétents dans les apprentissages autorégulés. Réciproquement, ceux qui vivent des échecs dans ces environnements d’apprentissage n’ont pas les compétences nécessaires à l’autorégulation.

**Nécessité de mettre en place des dispositifs d’accompagnement et de guidage dans les environnements numériques pour l’apprentissage**

Les dispositifs de formation utilisant les technologies étant exigeants en autorégulation, il faut donc réfléchir à des moyens de réduire ces exigences en accompagnant davantage les apprenants. Récemment, une revue de littérature menée par Garcia, Falkner & Vivian (2018) a évalué quels étaient les outils d’aide à la mise en œuvre de stratégies d’apprentissage autorégulé pour les apprenants dans les environnements numériques (MOOC, systèmes de Tuteurs Intelligents, enseignement assisté par ordinateur). L’étude met en évidence que les outils pour l’autoévaluation (par exemple feedback donné à l’apprenant par le système) sont jusqu’à présent les plus étudiés dans les travaux scientifiques. Dès 2011, Beishuizen & Steffens soutiennent l’idée qu’il faut aider les apprenants à planifier leurs activités d’apprentissage dans les environnements numériques. Il faut leur fournir un feedback approprié, ce qui implique une communication avec l’enseignant mais aussi avec les pairs. Mais pour pouvoir proposer un feedback approprié, il faut bénéficier des traces des activités des apprenants, ce qui peut être difficile à obtenir dans ce contexte. Il est donc important de donner aux apprenants des critères qui les aident à évaluer leurs propres performances d’apprentissage. Dans une situation d’apprentissage avec un hypermédia par exemple, Azevedo, Cromley & Seibert (2004) ont montré qu’on pouvait aider les apprenants à mieux le réguler en leur donnant accès à un tuteur et à un ensemble de sous-buts afin de guider leur apprentissage.

Devolder, Brack & Tondeur (2012) ont confirmé, dans une revue de littérature, que les dispositifs d’accompagnement ou de guidage (*scaffolds* pour reprendre le terme anglais) ont un rôle essentiel dans les apprentissages dans les environnements numériques. Les *prompts* (présentés page 67) en particulier sont efficaces lorsque l’apprenant doit vérifier son avancée et ses performances. Une revue de littérature de Wong, Baars, Davis, van Der Zee, Houben & Paas (2019) réalisée à partir de trente-cinq études sur les systèmes de soutien à l’apprentissage autorégulé dans les MOOC confirme l’importance des *prompts* et des évaluations. Tout particulièrement, la mise en place de *prompts* aide à la fois à la mise en œuvre de stratégies d’autorégulation et aux performances d’apprentissage.

Dans une méta-analyse interrogeant les effets des outils d’accompagnement et guidage (*scaffolds*) sur les performances académiques dans les environnements informatiques, Zheng (2016) confirme l’importance de *prompts* comme soutiens à l’autorégulation et aux performances d’apprentissage. Mais l’étude conclut également sur l’utilité de disposer d’outils ayant des fonctions *multiples*, c’est-à-dire qui visent à soutenir les différentes phases de l’apprentissage autorégulé, et non uniquement une seule phase, à savoir : organisation des buts d’apprentissage, planification de l’activité d’apprentissage, mise en place de stratégies cognitives, de stratégies d’autocontrôle et de stratégies d’autorégulation.

**QUELQUES EXEMPLES**

**Les profils des étudiants qui utilisent une plateforme technologique**

Une étude de Valentin et al. (2013) a été menée auprès de 543 étudiants en licence de différentes disciplines dans une université espagnole. Plusieurs questionnaires ont été utilisés afin de caractériser les motivations et les stratégies d’apprentissage des étudiants. Des tests d’acquisition de connaissances ont permis également d’évaluer leurs niveaux.

Les auteurs ont constaté une grande variabilité dans l’utilisation de la plateforme pédagogique Moodle par les étudiants, par exemple au niveau de l’utilisation des emails, selon leurs profils. Les étudiants qui utilisent le plus la plateforme sont ceux qui utilisent dans leur apprentissage des stratégies de haut niveau (stratégies d’élaboration), qui accordent de la valeur aux tâches académiques et qui poursuivent des buts intrinsèques (comme vouloir maîtriser une discipline) plutôt que de chercher à se comparer aux autres. **Notons que l’étude n’a pas validé d’effet positif sur les performances académiques des étudiants.**

**Les outils de guidage proposés par les plateformes d’apprentissage en ligne**

Si ces environnements exigent des compétences pour un apprentissage autorégulé, ils peuvent néanmoins proposer des outils et systèmes d’accompagnement qui aident les apprenants dans leur autorégulation. Une recherche de Lehmann, Hähnlein & Ifenthaler (2014) offre un parfait exemple de l’utilisation d’outils de guidage pour l’autorégulation dans un apprentissage en ligne. Les auteurs ont étudié l’effet des *prompts* sur l’apprentissage. Les *prompts* sont généralement des guides qui se présentent sous forme de questions simples (« De quoi parle le texte que vous venez de lire ? »), de phrases à compléter, de consignes d’exécution (« Maintenant que vous avez résolu le problème, vous pouvez tenter de le résoudre ») ou encore de graphiques sur les temps de connexion, ou sur les scores de réussite de l’apprenant. Les *prompts* peuvent guider les processus d’apprentissage autorégulés en aidant à la mise en œuvre de stratégies métacognitives, de stratégies d’élaboration et de simulations mentales, mais aussi en étant des sources de motivation.

Lehmann, Hähnlein & Ifenthaler (2014) ont évalué l’efficacité des *prompts* auprès de 130 étudiants. Dans la première étude, certains étudiants recevaient des *prompts* (par exemple : « Prenez dix minutes pour optimiser votre apprentissage en pensant à la planification et votre préparation ») soit en début, soit en fin d’apprentissage. Dans la seconde étude, des étudiants recevaient des *prompts* en début d’apprentissage tandis que les autres n’en recevaient aucun.

Dans l’ensemble, les résultats indiquent que fournir des *prompts* à des apprenants novices dans le domaine améliore les gains de connaissances (écart de connaissances mesurées avant et après la tâche d’apprentissage) et la production d’essais. Les auteurs montrent également que, pour être efficaces, ces *prompts* doivent être fournis en début d’apprentissage afin d’aider l’apprenant à planifier et à organiser son apprentissage. Enfin, les *prompts* très généraux (par exemple : « Prenez quelques minutes pour réfléchir à la meilleure façon de faire ») apparaissent moins efficaces.

**CONCLUSION**

Selon nous, l’autonomie n’est pas la résultante d’un apprentissage avec les technologies mais bien une compétence nécessaire à la conduite d’apprentissages autorégulés. En d’autres termes, les contextes d’apprentissage en ligne. Une autorégulation réussie de son apprentissage repose sur plusieurs compétences : les motivations, les compétences métacognitives, les stratégies cognitives.

Concrètement, l’utilisation pédagogique d’outils et de ressources numériques peut soit se faire en tenant compte des compétences des apprenants ciblés afin d’adapter le niveau d’exigence d’autonomie à ceux-ci (notons qu’il existe un outil de mesure de l’autorégulation dans les environnements d’apprentissage en ligne, cf. Barnard, Lan, To, Paton & Lai, 2009), soit en réduisant ces exigences d’autonomie dans le cadre d’un accompagnement structurant et régulateur avec des outils adaptés tels que les *prompts*. Sur ce dernier point, la présence de l’enseignant ou du formateur reste essentielle.

**Au final, pour être autonome, il faut parfois être accompagné et guidé…**

## **Chapitre 7** LE NUMÉRIQUE PERMET UN APPRENTISSAGE PLUS ACTIF

Parce que les TICE apportent de nouvelles interactions avec les contenus, l’apprenant, en devenant plus actif, est davantage au centre de son apprentissage. Il manipule, interprète, crée, compare, élabore à partir de contenus interactifs sous plusieurs formats d’information (textes, images, sons). Ces activités favoriseraient un plus grand engagement et un apprentissage plus actif et donc plus profond. Examinons ce présupposé.

**LE MYTHE**

**L’apprenant est actif lorsqu’il agit sur l’information**

En plus des formats de présentation multiples, l’une des caractéristiques clés du numérique est d’offrir des formes variées d’interaction et de manipulation des contenus, de façon intégrée. Il est possible, sur un même document, de déplacer et de transformer des objets, d’ouvrir certains contenus et pas d’autres, de réaliser des exercices, de résoudre des problèmes, de créer, d’annoter et d’organiser certains contenus. Toutes ces activités impliquant une action de la part de l’apprenant peuvent être considérées comme étant à la base d’un apprentissage actif. Dans cette perspective, lire et tourner une page seraient considérées comme un apprentissage peu actif. Il y aurait apprentissage actif à partir du moment où l’apprenant agit sur l’information et n’est pas dans la posture « passive » de consultation de l’information. Ainsi, les activités pédagogiques « La main à la pâte » illustrent parfaitement ce que peut être un apprentissage actif. L’apprenant y manipule des objets, élabore des hypothèses sur les conséquences de ces manipulations, observe les réactions provoquées par ces manipulations et ajuste ses représentations mentales.

À priori, le caractère très interactif de certains dispositifs (hypertextes, multimédia, simulations) pourrait donc contribuer à la mise en œuvre d’un apprentissage actif en sollicitant un fort engagement des apprenants et des traitements d’élaboration.

**Une supériorité des dispositifs d’apprentissage multimédias sur les autres types de dispositifs ?**

Dans le domaine des apprentissages multimédias, cette idée d’un apprentissage rendu plus actif grâce à ces nouvelles interactions avec les contenus semble bien admise. Cependant, comme l’ont indiqué Clark & Feldon (2005), il existe des croyances fortes en la supériorité des dispositifs d’apprentissage multimédias sur les autres types de dispositifs. Ces croyances reposent sur l’idée que ces dispositifs favoriseraient l’engagement, la motivation et l’apprentissage par découverte ; mais aussi que la multiplication des formats et les contenus dynamiques et interactifs conduiraient les apprenants vers un traitement plus profond des informations. Sans la rejeter, l’examen des travaux scientifiques nous amène à reconsidérer grandement cette idée.

**BILAN DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES**

Un apprentissage actif peut être mis en œuvre en développant des activités qui augmentent la motivation et l’engagement des apprenants (Grant & Dweck, 2003), à travers des situations d’apprentissages collaboratifs (Springer, Stanne & Donovan, 1999) ou encore en sollicitant des stratégies métacognitives telles que les autoexplications qui conduisent l’apprenant à élaborer en se questionnant (Larsen, Butler & Roediger, 2013).

**Ce qui est efficace (1) : produire du contenu**

Traiter l’information à un niveau profond signifie que l’on traite la signification de l’information, en opposition à un traitement de surface (Mayer, 2002). Typiquement, les apprenants traitent les informations à un niveau profond lorsque ce processus les conduit à faire des inférences, ce qui améliorerait la compréhension et l’apprentissage (Wittrock, 1990). Ainsi, des tâches d’apprentissage avec des technologies qui sollicitent la génération de contenus (par exemple l’apprenant produit des contenus à partir de différentes ressources) peuvent être considérées comme utiles pour une plus grande profondeur de traitement.

**Ce qui est efficace (2) : proposer plusieurs représentations d’une même information**

Une des caractéristiques des dispositifs multimédias est la multitude de formats d’information possibles. Lorsque des informations sont traitées sous différentes formes de codage, les apprenants peuvent produire différentes représentations d’une même information, ce qui contribue à l’apprentissage (Mayer, 2009). Des travaux récents ont montré que plus les apprenants conduisaient des traitements intégratifs entre une image et un texte (par exemple : un grand nombre d’allers-retours entre le texte et l’image), meilleur était leur apprentissage (Mason, Tornatora & Pluchino, 2013). Fournir des formats multiples des informations semble donc utile dans la mesure où les apprenants cherchent activement à réaliser des connexions entre les formats afin de les intégrer.

**Ce qui est efficace (3) : proposer des accompagnements et du guidage pour soutenir l’apprentissage actif**

Amadieu, Lemarié & Tricot (2017) ont confirmé que les ressources numériques comme les documents multimédias articulant des informations verbales et picturales, les documents hypertextes et les animations peuvent contribuer à un apprentissage profond mais à la condition que les apprenants possèdent les ressources cognitives nécessaires (par exemple : connaissances antérieures, habiletés cognitives) et que des guidages soient présents (par exemple : précision des consignes, représentation de l’organisation du document, séquençage des informations présentées).

**Le cas des animations interactives : une réduction des difficultés plutôt qu’un apprentissage actif**

Les animations présentent des contenus dynamiques en affichant des objets animés, en mouvement, et des informations transitoires. Le chapitre 9 de cet ouvrage leur est dédié.

Les travaux montrent par ailleurs que l’interactivité peut être un moyen de régulation et de réduction des traitements imposés par les animations plutôt qu’une activité favorisant une plus grande profondeur de traitement. Lorsque les apprenants ont un contrôle sur une animation, c’est-à-dire lorsqu’ils peuvent stopper, revenir en arrière, avancer dans la lecture de l’animation, leur apprentissage est meilleur (Boucheix & Schneider, 2009 ; Höffler & Schwartz, 2011). Cependant, cette interactivité ne favorise pas un apprentissage plus actif au sens d’un traitement plus profond des informations. Elle permet plutôt de réduire des coûts imposés par la lecture d’une animation. L’interactivité est alors un outil de régulation. Cependant, la dernière méta-analyse sur les effets des animations conduite par Berney & Bétrancourt (2016) nous montre que le rythme de l’animation imposé à l’apprenant amène dans l’ensemble de meilleurs résultats que quand on laisse l’apprenant libre d’agir sur le rythme de l’animation. Ainsi, fournir de l’interactivité dans un apprentissage multimédia ne signifie pas obligatoirement un apprentissage plus actif, ni plus profond. L’ajout des options d’interaction avec les contenus peut même s’avérer contre-productif dans certains cas, si la tâche d’interaction est de nature coûteuse pour l’apprenant en termes de contenus, de familiarisation avec les fonctions d’interaction, afin de soutenir les activités mentales profondes visées.

**Attention**, mettre à disposition des fonctions d’interaction avec des contenus n’implique pas toujours que les apprenants s’en saisissent. Biard, Cojean & Jamet (2018) ont par exemple observé que les apprenants faisaient peu de pauses dans la consultation d’une vidéo, ce qui peut traduire une difficulté pour les apprenants à savoir réguler correctement leur apprentissage.

Ensuite, il est important que les fonctions d’interaction soient parfaitement adaptées à la tâche d’apprentissage et aux besoins des apprenants. Par exemple, pour rester sur la question des interactions dans les vidéos, Cojean & Jamet (2017) ont montré que l’activité de recherche d’information dans une vidéo était améliorée si la vidéo proposait un double dispositif d’interaction avec les contenus, à savoir un dispositif macrostructural (table des matières interactive) et un dispositif microstructural (timeline de la vidéo). Le dispositif macrostructural facilite la navigation générale tandis que le niveau microstructural facilite le contrôle du flot d’information.

**QUELQUES EXEMPLES**

**Soutenir un apprentissage actif à partir d’une animation**

Mason, Lowe & Tornatora (2013) ont conduit une étude très originale. Ils ont travaillé avec trois groupes d’élèves. Dans le premier groupe, les élèves devaient dessiner ce qu’ils avaient compris d’une animation (un pendule de Newton). Le deuxième groupe devait recopier un dessin (une étape du pendule). Le troisième groupe n’avait rien à dessiner. Le premier groupe est celui qui a le mieux appris. Ce résultat montre qu’une animation n’est pas forcément suffisante pour déclencher un apprentissage actif. C’est la tâche de dessin (qui n’est donc pas propre au multimédia !) qui sert de tâche de génération et qui permet une meilleure organisation et une meilleure mémorisation du contenu.

**Organiser soi-même son cours : une exigence trop élevée**

Le second cas est une étude sur l’apprentissage à partir d’un document interactif (Amadieu et al., 2012). L’étude a montré certaines limites de l’interactivité et des activités d’élaboration par les apprenants. Deux situations d’apprentissage d’un même cours étaient comparées. Soit les apprenants, lycéens en classes de seconde, étudiaient un cours composé d’un ensemble de textes consultables à l’écran et dont la structure était imposée sous la forme d’une carte de concepts du cours, soit ils avaient la possibilité d’organiser eux-mêmes la structure du cours en générant une carte des concepts du cours. La seconde solution offrait donc une situation d’apprentissage actif en introduisant de l’interaction avec les contenus et surtout en sollicitant des activités mentales de génération et d’élaboration chez les apprenants. Les résultats ont clairement montré que cette condition d’apprentissage actif amenait de moins bonnes performances que la condition proposant un cours déjà organisé. Exiger des apprenants qu’ils organisent eux-mêmes le cours s’est révélé trop exigeant cognitivement, et ce même pour les apprenants possédant de bonnes habiletés en lecture et un bon niveau de connaissances initial dans le domaine. D’autres études récentes ont confirmé ce constat (Coliott & Jamet, 2018, 2020). Certains travaux ont montré que ce type de tâche de construction de cartes de concepts pouvait être efficace à la condition que les apprenants soient guidés dans la séquence des tâches qu’ils devaient réaliser (Amadieu, Salmerón, Cegarra, Paubel, Lemarié & Chevalier, 2015 ; Coliott & Jamet, 2020). Également, pour pouvoir être actif dans les apprentissages autorégulés, des instructions ou quiz (tests durant l’apprentissage) peuvent aider les apprenants à mettre en œuvre davantage de processus métacognitifs et ainsi à plus s’engager cognitivement dans l’apprentissage (Fernandez & Jamet, 2017).

Enfin, il est intéressant de souligner qu’une tâche de lecture ne renvoie pas forcément à un apprentissage plus passif que les ressources numériques. Lire un « simple » texte peut en effet nécessiter un traitement actif, notamment quand celui-ci est exigeant (par exemple quand on doit faire des inférences entre les idées du texte pour le comprendre), (McNamara et al., 1996). On n’a pas attendu le numérique pour cela !

**CONCLUSION**

Notre réponse à la question d’un apprentissage actif favorisé par le numérique est nuancée. Certains travaux indiquent que l’interactivité pourrait être bénéfique à l’apprentissage, mais pas dans n’importe quelle situation.

L’interactivité est utile lorsque le scénario pédagogique implique la nécessité de produire des hypothèses ou de faire des inférences. Un environnement de simulation est par exemple tout à fait approprié dans un contexte pédagogique promouvant l’apprentissage par la découverte. En revanche, le fait de rendre interactifs des contenus n’est pas en soi suffisant pour permettre un apprentissage actif efficace. La lecture d’un texte complexe peut s’avérer plus favorable à l’apprentissage actif qu’un hypertexte qui risque de détourner l’apprenant d’un apprentissage profond.

Rendre l’apprenant actif doit avoir une fonction pour l’apprentissage. Soit cela permet à l’apprenant de réguler certaines exigences qui lui sont imposées dans son apprentissage (comme cela peut être le cas avec les animations), soit cela oriente les traitements de l’apprenant vers certaines informations et l’aide à faire des connexions, à élaborer des informations qui sont pertinentes pour son apprentissage. L’interactivité doit être pensée en lien avec les objectifs pédagogiques et les exigences qu’elles imposent aux participants. Il est important de garder à l’esprit que lorsqu’on vise un apprentissage actif pour l’apprenant, cet apprentissage doit concerner un engagement cognitif et pas forcément un engagement moteur de la part de l’apprenant. Cliquer sur des boutons, déplacer des objets sur une interface, ne rend pas forcément actif cognitivement. Il faut donc s’assurer que les activités pédagogiques mises en place favorisent bien un traitement cognitif profond des contenus. Fiorella & Mayer (2016) proposent, en ce sens, différents types de tâches d’apprentissage, indépendamment de la question des outils numériques, qui soutiennent un apprentissage génératif, c’est-à-dire qui favorise un traitement profond des contenus à apprendre.

## **Chapitre 8** ON APPREND MIEUX EN JOUANT GRÂCE AU NUMÉRIQUE

**LE MYTHE**

Il n’a pas fallu attendre l’apparition de l’ordinateur pour que les enseignants se demandent s’il serait possible que les élèves apprennent en classe tout en s’amusant autant que dans la cour de récréation. Permettre aux élèves d’apprendre en jouant est le rêve de tous ceux qui en ont assez de voir certains élèves souffrir en classe ou s’y ennuyer fermement. Le jeu est l’un des principaux et plus puissants moteurs de l’apprentissage naturel, avec l’exploration de l’environnement ou des objets et les relations sociales (Geary, 2008). Ce rêve d’enseignant a bien entendu été repris par les pionniers de l’informatique pédagogique dans les années 1980. Puis certains éditeurs, dès le début des années 1990, ont conçu et commercialisé des logiciels ludoéducatifs comme les célèbres Adibou, Lapin Malin, etc.

Après une période de creux, le jeu comme support de l’apprentissage avec ordinateur est revenu en force au début des années 2000, cette fois-ci en mettant en avant les apprentissages chez l’adulte : les serious games, ou jeux sérieux. La promesse était la même : « Vous allez apprendre sans vous ennuyez, vos élèves vont apprendre en jouant/en s’amusant. » Quand nous avons publié notre première édition de cet ouvrage, en 2014, nous avions identifié plus de 10 000 publications sur le sujet. En mars 2020, nous en avons trouvé près de 100 000.

Ce court chapitre ne fait qu’effleurer la question. Nous renvoyons le lecteur vers l’ouvrage de Éric Sanchez & Margarida Romero, intitulé Apprendre en jouant et paru dans cette même collection. Les jeux pour apprendre sont extrêmement nombreux. Plusieurs sont présentés dans la synthèse récente et en français d’Alvarez, Djaouti & Rampnoux (2016), ainsi que les critères pour les choisir et les conditions pour les utiliser en classe. Nous n’allons donc pas revenir sur ces points.

**BILAN DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES**

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, Ecalle & Magnan, 2013 ; Sailer & Hommer, 2020 ; Wouters, Van Nimwegen, Van Oostendorp & Van Der Spek, 2013 ; Wouters & Van Oostendorp, 2013). Certaines portent sur des domaines spécifiques, comme les plus-values liées aux jeux sérieux concernant 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) ainsi qu’un manuel (Plass, Mayer & Homer, 2020).

Dans ces différentes méta-analyses, plusieurs points délicats sont régulièrement abordés par les auteurs :  
– Les études interventionnelles versus les études auprès de joueurs réels : les études qui comparent les acquis et alors disent si ceux-ci sont liés au jeu rendent les résultats souvent en faveur des joueurs, mais il est aussi difficile de savoir si le jeu a rendu les joueurs performants, ou si ce sont les joueurs qui ont été (parce qu’étant performants dans le 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 versus celles 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 versus celles où le groupe témoin est en situation d’apprentissage passif : quand le groupe témoin est en situation d’apprentissage actif, les effets du jeu sont nuls.

– Les études où le temps du groupe contrôle et du groupe expérimental sont identiques versus 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 %.

**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. 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 (la plupart du temps) 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 & Green (2016) montrent qu’un 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 ne surtout pas leur tirer dessus). Quand on présente au joueur un test qui ne relève pas du jeu mais qui met en œuvre les mêmes processus d’attention sélective, alors le joueur performant au jeu réussit mieux ce test que les personnes qui ont 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, des 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 félicitations envoyé 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 Moreno et al., 2001).

**Alterner les phases où l’on joue et les phases où l’on réfléchit à ce qu’on a appris**

On reçoit des feedbacks à ce propos. Typiquement, les élèves doivent apprendre en réalisant une série d’exercices, et 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 ne gagnent pas de points mais ils reçoivent aussi une explication des raisons de leur erreur pour une mauvaise réponse. Le jeu peut aussi demander aux élèves de choisir (voire de justifier) le principe ou la démarche qu’ils vont mettre en œuvre pour faire l’exercice. Fournir des feedbacks informatifs et inciter à la réflexion sont deux éléments qui améliorent les apprentissages par rapport à la même série d’exercices présentés 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 » (Sensevy, Mercier & Schubauer-Leoni, 2000) ou « Le jeu des annonces » (http://blog.espe-bretagne.fr/ace/wp-content/uploads/module-1.pdf) 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 qui cherchent à mesurer l’efficacité des jeux pour apprendre.

**Apprendre en jouant, c’est parfois efficace et pas toujours motivant**

Pour Girard et al. (2013), à peine neuf études sur trente-et-une consacrées aux jeux sérieux et publiées entre 2007 et 2012 répondent véritablement à des exigences méthodologiques, c’est-à-dire comparant ce qui est comparable. Quand on ne s’intéresse qu’aux neuf études véritablement rigoureuses, seulement trois montrent une plus grande efficacité des jeux sérieux. Dans les six autres études, les jeux sérieux ne permettraient pas aux élèves de faire plus de progrès que les situations ou supports d’apprentissage qui leur étaient comparés. Dans deux études, les élèves n’apprenaient pas mieux mais leur motivation était plus grande (sans qu’il soit très clair si c’était leur motivation apparente ou réelle qui était améliorée).

La méta-analyse de Wouters et al. (2013) a porté sur trente-neuf études. Elle a utilisé quasiment les mêmes critères que celle de Girard et al., ne retenant que les recherches rigoureuses. Ils ont obtenu un effet positif sur l’apprentissage à court terme (immédiatement après l’apprentissage) et long terme (une à cinq semaines après), en particulier pour l’apprentissage déclaratif. En revanche, contrairement aux deux études mises en exergue par Girard et al., ils n’ont pas obtenu d’effet moyen positif sur la motivation. On peut reprocher à cette méta-analyse de traiter l’engagement et la motivation de la même manière : les études comparées ne répondent pas à une même conception de « motivation » : intérêt, engagement, attitude envers une discipline. Wouters & Van Oostendorp (2013), analysant les mêmes publications, ajoutent que l’effet positif était plus important quand le jeu sérieux impliquait une recherche active d’information.

La méta-analyse plus récente de Sailer & Hommer (2020), portant sur trente-huit publications, montre un effet positif sur la motivation (g = 0,36) mais les auteurs notent que cet effet est instable. Ce sont les jeux sérieux qui incluent la compétition et la collaboration qui produisent surtout l’effet positif sur la motivation. L’effet sur l’apprentissage de connaissances est plus important (g = 0,49) et plus stable.

**L’importance d’un apprentissage actif**

Une méta-analyse de Sitzmann (2011) a porté sur cinquante-cinq études consacrées aux jeux de simulation et a utilisé les mêmes critères de sélection stricts des articles. Elle montre un avantage moyen en faveur des jeux sérieux (comparativement aux groupes qui apprenaient sans jouer) de 11 % quand les connaissances apprises sont des concepts, et de 14 % quand les connaissances apprises sont des savoir-faire. Avec les mesures à long terme, l’avantage des jeux sérieux est moins important mais significatif (9 %). Cependant, Sitzmann met en évidence un biais de publication dans la recherche sur les jeux de simulation : l’effet positif des jeux sérieux est obtenu quand le groupe témoin est en situation d’apprentissage passif. Cet effet disparaît chaque fois que les sujets du groupe témoin sont actifs dans leur apprentissage. La synthèse de Sitzmann montre aussi que bien des avantages liés à la simulation ne sont pas spécifiques aux jeux sérieux : il y a d’autres moyens que le jeu pour mettre les élèves en situation quand le réel est inaccessible.

Les jeux sérieux constitueraient donc un moyen, parmi d’autres, de rendre les apprenants actifs, ce qui est particulièrement important quand l’objectif est d’enseigner des savoir-faire. Le fait que les jeux sérieux proposent des retours fréquents à l’apprenant contribue probablement à leur efficacité. En somme, quand on vise l’apprentissage de savoir-faire, il est important que les apprenants « fassent » effectivement, qu’ils « pratiquent » et qu’ils puissent recevoir des retours quand ils font des erreurs. Cela fait quand même très longtemps qu’on sait cela. Les jeux sérieux sont une solution intéressante, mais une parmi d’autres.

**QUELQUES EXEMPLES**

**S’amuser en étudiant des œuvres picturales en histoire de l’art**

Wasson et al. (2013) ont eu une idée très simple et efficace. Dans le cadre d’un cours d’histoire de l’art, où l’enjeu est de connaître des œuvres picturales, les auteurs ont pensé à ajouter des mécanismes de jeux sur l’activité d’étude. Leur objectif était que les étudiants passent ainsi plus de temps sur chaque œuvre et étudient ainsi plus profondément. Les mécanismes ludiques ajoutés étaient les suivants.

**La « prospection »**  
L’étudiant doit rechercher les emplacements probables d’un « glyphe » (une sous-partie signifiante de l’image). Un glyphe est trouvé lorsque l’utilisateur clique avec la souris près de l’emplacement de celui-ci. Chaque fois que l’étudiant clique, d’autres clics sont interdits pendant un intervalle de dix secondes. Ce délai est suffisamment court pour que l’utilisateur n’abandonne pas la tâche, mais suffisamment long pour que ce temps d’attente ne soit pas subi inutilement ce délai, il doit réfléchir à l’endroit où il doit cliquer. La prospection est une forme particulière d’action épistémique exploratoire, analogue à l’action d’un œuvre dans ce jeu du démineur. Chaque glyphe est associé à une « leçon » sur l’image. Chaque image contient sept à dix leçons d’une ou deux phrases chacune.

**L’esquisse**  
Une fois qu’un glyphe est trouvé et que la leçon est affichée, l’étudiant doit réaliser une esquisse pour compléter le glyphe. Le dessin doit se faire à un rythme mesuré : esquisser trop vite ou trop lentement fait échouer l’action. S’écarter du tracé correct déclenche également un échec. L’intention des auteurs était encore d’augmenter le temps passé à regarder l’image, tout en proposant une tâche simple, qui ne consomme pas de ressources attentionnelles.

**Le mécanisme de « purification »**  
Une barre de progression fournit une incitation à terminer la tâche, ce qui, concrètement, correspond à finir les esquisses de tous les glyphes. La purification fait référence au processus d’accomplissement d’un ensemble fini d’exigences, comme la destruction de tous les ennemis dans Space Invaders ou l’élimination de tous les points dans Pac-Man.

Les auteurs ont comparé la façon d’étudier les images avec cette « couche ludique » supplémentaire versus les images présentées classiquement, comme dans un manuel scolaire. Les participants étaient vingt-cinq étudiants en histoire de l’art dans une université canadienne. Les résultats montrent que le temps moyen par image pour l’ensemble des participants dans la présentation classique était de 1,42 minutes, tandis que le temps moyen par image dans la condition ludique était de 4,81 minutes. Le nombre moyen de leçons rappelées dans la condition jeu était de 4,83 tandis que dans la condition classique il était de 2,74. L’analyse des mouvements oculaires montre clairement que la condition jeu entraîne une exploration plus complète de l’image.

Cette étude est l’une de celles analysées par Sailer & Hommer (2020) qui montre que l’on peut obtenir de très bons résultats en concevant une « couche ludique » pertinente, c’est-à-dire directement au service de l’apprentissage, sans trop consommer les ressources attentionnelles des apprenants.

**SimCity**

Dans une étude consacrée à l’utilisation pédagogique de SimCity, Tanes & Cemalcilar (2010) ont demandé à des élèves de cinquième (13 ans en moyenne, scolarisés en Turquie) de jouer pendant six semaines. Ce jeu célèbre consiste à concevoir et à modifier une ville virtuelle. Le joueur est un maire à la tête d’un budget qui doit lui permettre d’aménager un terrain pour créer puis gérer une ville. Les chercheurs ont fait l’hypothèse que le fait de jouer à SimCity permettait de développer des connaissances dans le domaine de l’urbanisme.

Les 222 élèves du groupe SimCity jouaient sur leur temps libre (quinze heures par semaine en moyenne). Le groupe témoin (196 élèves, issus d’autres établissements scolaires, ce qui est critiquable) n’avait rien de spécifique à faire pendant ce temps. Les connaissances des élèves à propos d’urbanisme étaient évaluées avant et après les six semaines.

Les résultats montrent que sur la plupart des connaissances, les élèves du groupe SimCity ont plus progressé (de 3 % en moyenne) que les élèves du groupe témoin, encore plus (6 %) quand la perception des lacunes de la politique urbanistique de la propre ville des élèves était importante. Ce résultat montre que SimCity permet d’acquérir des connaissances à propos de politique urbanistique. Il ne montre pas que jouer à SimCity est plus efficace que lire un livre ou regarder des documentaires sur l’urbanisme à la télévision. En outre, six semaines à quinze heures par semaine, cela fait quatre-vingt-dix heures : n’est-ce pas coûteux en temps pour apprendre quelques notions d’urbanisme ?

Ces deux études illustrent bien le fait qu’obtenir des résultats en faveur des jeux sérieux n’est pas aisé. Les jeux sérieux constituent une voie, parmi d’autres, pour rendre les élèves actifs. Quand cette activité se déroule au sein d’un scénario pédagogique bien conçu, alors un apprentissage efficace peut avoir lieu.

**CONCLUSION**

Dans les études où les critères sont égaux, 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 l’apprentissage est significatif mais faible. Pour être efficace, un jeu sérieux doit remplir un certain nombre de conditions intrinsèques (étapes du jeu au service de l’apprentissage : les mécaniques de jeu et les mécaniques d’apprentissage au sein du jeu doivent être alignées pour éviter une double tâche de jeu et d’apprentissage, Romero & Kalmpourtzis, 2020), 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 avant, debriefing et explication pendant et après le jeu) : voir la synthèse de Mayer (2019).

Les jeux sérieux présentent aussi l’avantage, pour certains domaines, d’offrir des simulations quand la situation réelle est difficile d’accès. Mais nous insistons sur le fait que les jeux sont des dispositifs.

## **Chapitre 9** LES VIDÉOS ET INFORMATIONS DYNAMIQUES FAVORISENT L’APPRENTISSAGE

Comme nous l’avons évoqué dans le chapitre précédent, les technologies du numérique offrent un éventail de formats d’information assez large. L’un des intérêts des technologies multimédias est de permettre une diffusion d’informations dynamiques qui ne pourraient être présentées avec des supports papiers ou qui impliqueraient l’utilisation d’objets réels. Les animations ou encore les vidéos apparaissent donc tout à fait adaptées pour diffuser la dynamique d’un contenu car elles consistent en des séquences d’images décrivant un mouvement d’objets dessinés ou simulés (Mayer & Moreno, 2002).

Ces formats dynamiques incarnés par les vidéos et les animations dans les apprentissages scientifiques devraient permettre une meilleure compréhension et un meilleur apprentissage des savoirs qui étaient jusque-là difficiles à représenter sous forme d’images statiques ou de textes sur papier. Ces formats apporteraient donc plus d’informations à l’apprenant pour pouvoir mieux comprendre un système dynamique.

**LE MYTHE**

L’arrivée des technologies numériques accorde une place importante aux informations dynamiques grâce au développement des animations et des vidéos. Il est courant aujourd’hui de consulter des bases de données publiques de vidéos comme YouTube ou Dailymotion. Il est de plus en plus facile de trouver des tutoriels vidéo expliquant comment changer les bougies de sa voiture ou des animations expliquant les mécanismes synaptiques de nos neurones.

Pouvoir traduire le caractère évolutif et dynamique d’un phénomène ou d’une procédure peut être attendu comme une vraie avancée en matière de pédagogie. En effet, il n’est pas toujours aisé de présenter la complexité d’un phénomène à un apprenant à partir d’images fixes qui ne traduisent pas bien les transformations des états ni les mouvements des objets présentés. C’est alors à l’apprenant de construire mentalement la dynamique à partir des images fixes. Il doit inférer et simuler mentalement les mouvements et les transformations ainsi que leur évolution dans le temps (par exemple la vitesse ou l’accélération). Cela peut s’avérer difficile et exiger un effort cognitif important. Par exemple, observer le galop d’un cheval reste peu évident pour en comprendre la dynamique : ça va trop vite et c’est trop complexe. Comme on le voit sur ce tableau de Géricault datant de 1821 (voir ci-dessous), un grand peintre peut passer sa vie à observer la réalité et n’y rien comprendre… C’est le photographe Eadweard Muybridge qui, en 1878, a réussi à prendre en photo le cheval au galop (page suivante). La succession de ces photos, immensément moins riche que la réalité, moins sophistiquée qu’une vidéo, permet de comprendre le galop du cheval, en particulier la succession très complexe des appuis.

Les travaux scientifiques examinent cette question des apprentissages multimédias depuis une trentaine d’années. Nous présentons, dans la partie qui suit, un bilan des plus représentatifs.

**BILAN DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES**

Tout d’abord, les travaux scientifiques se sont principalement penchés sur les animations qui exposent des informations relatives à des comportements d’objets ou d’un système, à des changements d’état de ces objets ou systèmes, à des chaînes causales d’événements ou encore à des procédures. On peut ainsi distinguer trois fonctions pédagogiques attribuées aux animations (Berney & Bétrancourt, 2016) :

– Elles transmettent la configuration d’un système ou une structure, c’est-à-dire organisation et décomposition des éléments constitutifs d’un système.  
– Elles transmettent les informations relatives au caractère dynamique d’un système par le mouvement et les changements d’état des éléments du système.  
– Elles transmettent les informations sur la chaîne causale qui sous-tend la dynamique du système (c’est-à-dire enchaînement temporel des événements).

Si l’on regarde les recherches menées sur les effets des animations sur l’apprentissage en comparaison aux formats statiques traditionnels que sont les textes et les images, les conclusions ne sont pas tellement en faveur de ce type de format dynamique des informations. Néanmoins, depuis une vingtaine d’années, les travaux sont plus encourageants et attestent bien d’un bénéfice, mais surtout en certaines situations. Une méta-analyse conduite par Berney & Bétrancourt (2016) sur soixante-et-une études a examiné les différences entre animation et image statique. Tout d’abord, les analyses indiquent un effet supérieur des animations comparativement aux images statiques, et ce, quel que soit le type de processus cognitif mesuré (mémoriser, comprendre, appliquer, analyser). Néanmoins l’effet reste assez modéré dans l’ensemble. Les auteurs ont constaté que seulement 30,7 % des comparaisons entre animation et image statique étaient en faveur des animations et tout de même que 59,3 % des comparaisons ne montraient aucune différence entre animation et image statique. Il est essentiel de considérer certains facteurs expliquant que, dans certaines situations, les animations puissent être bénéfiques ou non pour l’apprentissage. Ainsi, après avoir exposé les limites des animations, nous recensons ici les principales conditions nécessaires à un traitement efficace des informations dynamiques par les apprenants.

**Les limites des animations**

Certains travaux ont confirmé que les informations dynamiques fournies par les animations facilitent la compréhension du système dynamique étudié car elles compensent certaines limites de notre système cognitif qui doit simuler des mouvements ou des processus dynamiques à partir d’informations statiques.

Si certains travaux ont montré que les habiletés spatiales – habiletés à se représenter mentalement les mouvements dans l’espace – et de raisonnement mécanique des apprenants pouvaient améliorer leur apprentissage avec une animation (Boucheix & Schneider, 2009), d’autres ont indiqué que les animations pouvaient compenser un déficit d’habileté spatiale (Höffler & Leutner, 2011 ; Münzer, Seufert & Brünken, 2009). D’une certaine manière, les animations peuvent remplir le rôle d’une prothèse cognitive qui limite les exigences de traitement des informations spatiales et dynamiques, tandis que des images statiques nécessitent des traitements importants pour se représenter et comprendre la dynamique soutenue par des habiletés spatiales.

D’autres études alertent sur les exigences cognitives de ce type de format et mettent en lumière les opérations mentales nécessaires à un traitement efficace des animations. Lorsqu’ils étudient une animation, les apprenants doivent en effet sélectionner et organiser mentalement les unités d’information qui composent l’animation. Les travaux de Lowe & Boucheix (2011) indiquent bien qu’apprendre à partir d’une animation implique différentes activités mentales. Tout d’abord, les apprenants doivent sélectionner les informations dynamiques. Or, lorsqu’il y a beaucoup d’informations, savoir quelle information est pertinente relativement aux autres est loin d’être évident. Ensuite, les apprenants créent des associations entre les informations proches et essaient de construire une structure générale du système étudié (par exemple la structure de la chaîne causale des événements). Pour sélectionner et organiser les unités d’informations entre elles, les apprenants doivent disposer de ressources et d’habiletés cognitives importantes (de Koning, Tabbers, Rikers & Paas, 2009).

En plus de cette difficulté à sélectionner les bonnes informations et à créer les bonnes associations d’informations, une difficulté classiquement observée est le maintien en mémoire des informations transitoires. Dans une animation, les informations s’affichent puis, généralement, disparaissent ou se transforment pour laisser place à de nouvelles informations. Cela a pour conséquence que les apprenants oublient les informations précédentes qui ne sont plus accessibles (Singh, Marcus & Ayres, 2012 ; Wong, Leahy, Marcus & Sweller, 2012). Plus la quantité d’informations est importante, plus l’effet sera amplifié.

Pour être utile à l’apprentissage, les animations et les vidéos doivent être le moins exigeantes possible en termes de sélection des informations et de maintien en mémoire des informations transitoires. C’est pour cela que de nombreuses études ont évalué les effets de différents principes de guidage ou de propriétés qui facilitent l’étude d’une animation.

**Ce qui est efficace (1) : présenter de façon animée des informations elles-mêmes dynamiques**

Une méta-analyse de Höffler & Leutner (2007) a examiné vingt-six études et conclu en faveur des animations tout en pointant un ensemble de facteurs contribuant à l’efficacité des animations. Plus récemment, dans une revue de questions sur les animations, Ploetzner & Lowe (2012) ont extrait plusieurs propriétés qu’il est important de considérer.

Tout d’abord, présenter des informations dynamiques n’a véritablement d’intérêt que si les contenus possèdent un caractère dynamique (Bétrancourt & Tversky, 2000). Ainsi, s’il n’est pas pertinent de présenter de manière animée la structure d’un vélo, il sera en revanche opportun de présenter de manière dynamique le système du dérailleur. L’utilisation d’animations sera donc pertinente pour faire étudier des connaissances procédurales et motrices plutôt que pour faire étudier des connaissances déclaratives ou des connaissances de résolution de problème (Höffler & Leutner, 2007).

**Ce qui est efficace (2) : animer l’essentiel et non les détails**

Les objets animés attirent l’œil, il est donc important de savoir quoi animer et quoi mettre en avant dans une animation.

Il faut éviter que l’attention de l’apprenant s’égare. En effet, des informations perceptives saillantes (comme des détails attrayants ou des mouvements non pertinents pour comprendre le système) peuvent attirer l’attention de l’apprenant et ainsi le détourner des informations conceptuelles pertinentes (Lowe, 2003). Des dispositifs de guidage attentionnels ont donc été étudiés (Ayres & Paas, 2007 ; Bétrancourt, 2005).

Le principe, classique en pédagogie, est d’orienter l’attention de l’apprenant vers les parties les plus pertinentes de l’animation. Pour ce faire, des signaux visuels qui mettent en avant ces informations à un temps t peuvent être utilisés (de Koning, Tabbers, Rikers & Paas, 2007). Les recherches examinant l’attention de l’apprenant (à l’aide d’outil d’enregistrement des mouvements oculaires par exemple) ont confirmé un effet des signaux sur l’information traitée par le regard (Boucheix, Lowe, Putri & Groff, 2013). Cependant, il semble finalement que la présence ou l’absence d’indices de signalisation ne modifient pas les effets des animations (Berney & Bétrancourt, 2016). Ces indices pourraient réduire une exploration spontanée des contenus et ajouter un traitement supplémentaire en plus des contenus à apprendre (Boucheix, Lowe, Putri & Groff, 2013). Les travaux doivent être poursuivis sur le rôle de la signalisation.

Enfin, la vitesse d’une animation impacte également l’attention de l’apprenant. Plus la vitesse d’une animation est importante, moins l’attention est portée aux détails (Meyer, Rasch & Schnotz, 2010).

**Ce qui est efficace (3) : limiter le nombre d’informations à maintenir en mémoire pendant le visionnage**

Un autre point important pour l’efficacité des animations est le degré d’exigence de maintien en mémoire des informations. Le caractère transitoire des informations peut rendre difficile leur intégration en mémoire et entraver la compréhension du processus présenté par l’animation. Récemment, des travaux ont été conduits sur un principe de maintien à l’écran des informations pertinentes plutôt que de les faire disparaître. Une thèse australienne sur la question a clairement mis en évidence l’utilité de maintenir affichées certaines informations pertinentes afin d’augmenter l’efficacité de l’animation (Ng, Kalyuga & Sweller, 2013).

**Ce qui est efficace (4) : segmenter les animations**

Un autre guidage intéressant est la segmentation des animations en parties interprétables qui structurent le processus étudié. Spanjers, van Gog, Wouters & Van Merriënboer (2012) ont mis en évidence l’importance de cette segmentation sur l’apprentissage. Dans leur étude, l’animation était segmentée par des pauses permettant de structurer le processus à apprendre. Fractionner ainsi l’animation aide l’apprenant à se représenter la structure temporelle, c’est-à-dire les étapes qui composent le processus et leur longueur. Ainsi, les associations des informations en mémoire se feront plus facilement. Arguel & Jamet (2009) ont également montré les avantages à pointer les étapes clés en présentant une image représentative de chaque étape.

**Autres facteurs facilitateurs**

La méta-analyse de Berney & Bétrancourt (2016) a interrogé d’autres facteurs qui pourraient expliquer l’efficacité ou l’absence d’efficacité des animations. On retiendra deux facteurs importants assez inattendus. D’une part, les animations se révèlent supérieures aux images statiques lorsque le rythme de l’animation est imposé et non lorsqu’il est contrôlé par l’apprenant. Ce constat est assez contre-intuitif si l’on considère que les apprenants doivent subir le flot d’information qui leur est présenté sans pouvoir le réguler. Les résultats des études restent assez divergents cependant à cette question. Les situations dans lesquelles le rythme imposé est supérieur à un rythme contrôlé par l’apprenant peuvent s’expliquer par des animations bien conçues qui présentent un rythme qui engage cognitivement l’apprenant, ou encore, par des compétences de régulations réduites chez les apprenants, notamment lorsqu’ils ont peu de connaissances dans le domaine étudié. D’autre part, lorsque les animations sont de type iconique (c’est-à-dire qu’elles représentent des objets proches de leur apparence réelle) plutôt qu’abstraites, leurs effets sont meilleurs. La proximité avec les objets et systèmes réels semble donc soutenir l’apprentissage si on compare à des situations où les objets représentés sont abstraits et donc très éloignés de la réalité physique. Pour autant, ces résultats ne signifient pas qu’il faut présenter toute la complexité du réel pour faciliter l’apprentissage. Au contraire, une représentation très réaliste pourrait se révéler inadaptée si elle véhicule trop d’informations à traiter à l’écran.

**UN EXEMPLE**

**Apprendre à faire des origamis avec des vidéos ou avec des images séquentielles**

Afin d’illustrer la plus-value des informations animées sous certaines conditions, nous présentons une étude conduite par des chercheurs australiens (Wong et al., 2012). Dans une première expérimentation menée auprès d’enfants de 10–11 ans, les auteurs ont comparé des animations à des graphiques statiques sur le thème de l’origami. La version statique consistait en un ensemble de captures d’écran des gestes de réalisation de l’origami. La succession des captures d’écran représentait les mouvements. La version animée était une vidéo de ces mouvements de réalisation de l’origami. Les animations et les graphiques présentaient soit des sections longues, soit des sections courtes. Les sections longues correspondaient à une vidéo de 250 secondes ou à un défilement des images statiques d’une même durée. Pour les sections courtes, la vidéo et le défilement des images statiques étaient découpés en sous-sections. Après le visionnage de la procédure de pliage, les apprenants devaient reproduire un maximum de fois ce pliage en quatre minutes.

Les résultats indiquent que la vidéo amène des pliages plus complets que les images statiques, mais uniquement lorsque la procédure est découpée en sections courtes. Lorsque la section était longue, donc sans interruption, aucune différence n’a été observée entre la vidéo et les images statiques. En d’autres termes, l’animation aide à se représenter la procédure de pliage à la condition que la complexité de l’animation ne soit pas trop importante, c’est-à-dire à condition qu’elle soit découpée en sous-parties facilement assimilables.

L’interprétation donnée par les auteurs est que, lorsque la quantité d’informations transitoires est trop importante, les animations sont trop exigeantes au sens où elles saturent la mémoire des apprenants. À l’inverse, lorsque les animations sont présentées sous forme de sections courtes, leur efficacité devient supérieure à celle des formats statiques car elles ne saturent plus la mémoire. Les apprenants ont la possibilité de traiter chaque section dans les limites des capacités de la mémoire humaine.

Une seconde expérimentation conduite par les auteurs, non sur les animations mais sur le format audio, montre le même phénomène relatif à l’information transitoire. Au même titre que les informations animées, les informations audios sont transitoires. Ainsi pour améliorer l’apprentissage, il vaut mieux découper le flot d’informations en petite section plutôt que de laisser le flot en un seul bloc

**CONCLUSION**

Les animations peuvent aider les apprenants à mieux se représenter un processus dynamique qu’il est difficile de traduire sous forme d’images statiques. Les animations joueraient le rôle d’une prothèse cognitive en évitant aux apprenants de devoir construire par eux-mêmes la dynamique d’un système ou son processus, ce qui réduirait le cout mental pour l’apprenant.

Néanmoins, l’utilisation d’animations ou de vidéos s’avère utile lorsque les objectifs sont de faire acquérir des savoir-faire, c’est-à-dire des procédures, ou d’exposer une dynamique dont la compréhension à partir d’un texte ou d’images nécessiterait beaucoup trop d’efforts pour l’apprenant.

En outre, proposer une animation pour améliorer l’apprentissage des apprenants n’est pertinent que si certains principes, dans leur conception, sont respectés. Apprendre à partir d’une animation peut s’avérer difficile au vu des capacités attentionnelles et de mémoire des individus. Il est exigeant, pour des apprenants, de sélectionner visuellement les bonnes informations, de comprendre les étapes du processus ou encore de se souvenir des informations qui n’ont été affichées à l’écran que quelques secondes. Attention également : les informations dynamiques captent plus facilement l’attention des apprenants et risquent par conséquent de détourner leur attention d’autres éléments importants du cours.

## **Chapitre 10** LE NUMÉRIQUE PERMET D’ÉVALUER LES ÉLÈVES ET D’ADAPTER L’ENSEIGNEMENT

### **LE MYTHE**

Dès les débuts de l’informatique pédagogique, dans les années 1960-1970, un mythe a vu le jour, porteur de très grands espoirs, celui de l’évaluation automatique des performances des élèves, vite rejoint par son corrélat, l’adaptation du cours aux élèves.

L’automatisation de l’évaluation est une promesse assez simple et puissante : si vous pouvez poser une question à un élève sur un ordinateur, et que vous lui donnez le choix entre plusieurs réponses possibles, il est très facile de programmer un retour vers l’élève (« réponse correcte » ou « incorrecte »), tout comme il est facile d’enregistrer les réponses de l’ensemble des élèves.

L’ordinateur peut alors traiter ces résultats comme des informations qui « entrent » dans un système régulé, et, ainsi, adapter la suite du contenu, de la tâche, de l’interaction, en somme, la suite de l’apprentissage, à cette entrée.

Ce mythe était déjà présent dans l’enseignement programmé de Skinner, qui adressait à l’élève un feedback en fonction du caractère correct ou incorrect d’une réponse, selon une approche béhavioriste. Le développement de l’Intelligence Artificielle dans les années 1970-1980 allait donner un élan extrêmement puissant à cette perspective : un système informatique intelligent peut interpréter les réponses d’un élève, la solution qu’il propose à un problème, etc. En fonction de cette interprétation de l’état où en est l’élève dans son apprentissage, le système pourra choisir une seconde étape, adaptée. On s’est alors mis à croire qu’on allait pouvoir véritablement enseigner avec un ordinateur. Ce courant de recherche est toujours d’actualité, avec une communauté internationale, des colloques, des revues dans ce domaine que l’on appelle les Tuteurs Intelligents ou l’Intelligence Artificielle en éducation (voir chapitre 4).

Plus récemment, ce mythe est réapparu, sous une forme assez différente, avec les MOOC (Massive Open Online Courses). Dans ces cours en ligne massifs et ouverts, souvent soutenus par un discours sur la personnalisation de l’enseignement, chaque élève, étudiant, travailleur, curieux, passionné, etc. va pouvoir trouver un enseignement qui répond spécifiquement et précisément à son besoin.  
Mais les MOOC sont en réalité beaucoup plus proches d’un autre mythe, celui de l’apprentissage en autonomie, qui est traité au chapitre 6.

### **BILAN DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES**

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 infère la maîtrise de la connaissance 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, qui peut être plus ou moins bien défini, fermé, unique, etc. L’absence de différence correspond à une réussite. 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 » (c’est-à-dire qui donne des explications) et transmise à l’élève à propos de l’évaluation est l’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 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)

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 Meaning (papamitsu et Economidess 2014)

### **Évaluer des réponses bien définies et fermées**

Le fait que ce qui était attendu soit plus ou moins bien défini, fermé et unique est décisif. En effet, quand la réponse attendue est bien définie et unique (par exemple 5 + 3 = ?), il est facile de programmer un retour immédiat vers l’élève (si la réponse = 8, c’est correct ; si la réponse ≠ 8, c’est incorrect). Cependant, même dans ces 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 savoir 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 la cause de cette erreur. Deux élèves différents 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. Encore aujourd’hui, de très nombreux outils s’en tiennent au constat car aller au-delà de celui-ci pour des attendus bien définis représente une difficulté majeure.

### **Évaluer des attentes ouvertes**

L’évaluation d’attendus moins bien définis a connu un développement majeur au cours de ces vingt 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 erater (www.ets.org/erater), 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/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, 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 rédactions, 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.

### **Un environnement informatique… et des humains**

L’identification des limites de la personnalisation a conduit de nombreux travaux à se consacrer depuis plus de vingt ans à la conception d’environnements informatiques pour l’apprentissage où les humains sont présents : les enseignants et les pairs de l’élève qui apprend. C’est sans doute la raison pour laquelle cette voie, beaucoup moins ambitieuse mais beaucoup plus raisonnable, semble remporter un tel succès depuis des années – et ce n’est pas l’informatique qui porte l’adaptation mais les humains (enseignant et élèves) qui s’en chargent.

Un exemple particulièrement intéressant de cette autre voie nous semble résider dans les micromondes, comme CabriGéomètre (Cabri cahier de brouillon interactif), qui ont un succès phénoménal. Les micromondes sont des environnements informatiques qui, comme leur nom l’indique, constituent un « monde » complet, avec des objets sur lesquels on peut agir, que l’on peut manipuler, déplacer, mais aussi créer, transformer, etc. CabriGéomètre a été créé par Jean-Marie Laborde et son équipe en 1985, à Grenoble. Cette équipe travaillait dans le domaine de la conception d’outils dynamiques pour l’apprentissage des mathématiques. En 1995, Cabri II est intégré dans les calculatrices graphiques TI-92 de Texas Instruments, début d’un grand succès international. Cabri a toutes les caractéristiques du micromonde. Mais Cabri a une toute autre dimension : ce n’est pas qu’un cahier de brouillon, c’est aussi une boite à outils. Pour fonctionner, il faut qu’un enseignant crée un scénario pédagogique, qui inclut notamment une régulation des apprentissages des élèves. En externalisant le scénario pédagogique, et notamment la régulation, les outils numériques ont peut-être plus de chances de réussir !

### **Faire varier le guidage**

Si les Tuteurs Intelligents ne semblent pas toujours efficaces, en particulier pour des apprentissages complexes, la variabilité de l’apprenant au cours de son apprentissage peut néanmoins être prise en compte à travers l’élaboration de scénarios pédagogiques a priori. Les travaux sur l’effet de diminution du guidage (guidance fading effect) illustrent parfaitement cette idée (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011). En début d’une séquence d’apprentissage, les apprenants peu familiers du domaine bénéficient de guidages (par exemple : étude de problèmes résolus avant de faire véritablement résoudre ce type de problème). Par la suite, avec l’acquisition de connaissances, les apprenants bénéficient davantage de situations d’apprentissage sans guidage.

### **QUELQUES EXEMPLES**

#### **Être évalué par un ordinateur : biais positif ou négatif ?**

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.

Le feedback fourni par un ordinateur peut avoir un avantage : il peut être 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 davantage un retour 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 versus 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 & Eggen (2015) porte sur quarante 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 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 effet positif du feedback différé pour les apprentissages de connaissances de haut niveau (Hattie & Timperley, 2007).  
Vingt ans auparavant, la méta-analyse d’Azevedo & 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 (par exemple Erhel & Jamet, 2013 ; Narciss & Huth, 2004 ; Narciss, 2008).

### **CONCLUSION**

Le mythe des systèmes qui s’adaptent à l’apprentissage des élèves, au fur et à mesure, est fascinant. En soi, il est porteur de grands espoirs. Mais les limites dans ce domaine sont importantes et il ne semble pas possible, pour l’instant, d’attendre des systèmes informatiques adaptatifs qu’ils proposent plus que des retours relativement sommaires vers les élèves, en fonction de leurs réponses à des questions relativement fermées, dans des domaines de connaissances qui s’y prêtent.  
Nous devons aussi améliorer les méthodes d’évaluation de ces dispositifs en clarifiant les mesures et en faisant davantage de comparaisons avec des systèmes régulés par l’humain, afin de pouvoir réellement évaluer les plus-values de ces dispositifs (Mavroudi, Giannakos & Krogstie, 2017).

Cette restriction ne doit pas cacher le grand intérêt des systèmes qui fournissent des retours informatifs, même sommaires, aux élèves. Un retour immédiat quand on apprend est l’un des plus puissants moteurs de l’apprentissage.

### **Note de bas de page apparente :**

¹ Cette inférence est d’ailleurs assez peu solide. Si la tâche B mobilise la connaissance A, cela rétablit pas une relation de nécessité du type A → 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 × 10 sans maîtriser la multiplication mais en passant par l’addition 10 + 10 + 10 ; Brissaud & 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.

## **Chapitre 11** LE NUMÉRIQUE PERMET DE PRENDRE EN COMPTE LES BESOINS PARTICULIERS DES ÉLÈVES

### LE MYTHE

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. Deux branches de l’informatique se sont intéressées à cette question :  
– Le domaine de l’interaction entre humain et 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.

On peut résumer ce mythe de 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 : elle donne accès à autre chose que ce qui est habituellement proposé, et favorise, par ailleurs, l’apprentissage ou la réalisation de la tâche scolaire.  
– La technologie permet d’apprendre : elle contribue à une stratégie plus globale de réduction ou de « rééducation » du handicap ou du trouble de l’apprentissage lui-même.

C’est certainement le mythe dans lequel nous avons le plus envie de croire.

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 & 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 audiodescriptions de vidéos ; les synthèses vocales, couplées ou pas avec des logiciels de reconnaissance de caractères ; la génération de textes (ou autres contenus) en braille à partir de notes en braille.

Dans une étude conduite à Singapour auprès d’élèves aveugles scolarisés et de leurs enseignants, Wong & 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 AVS) constituent une priorité. Une étude 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’audiodescription, 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.

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 exemple 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 malvoyantes, 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 ».

### Le numérique pour apprendre

Un exemple de stratégie où la technologie est utilisée pour soutenir l’apprentissage peut être trouvé dans l’entraînement à la reconnaissance des émotions, le plus généralement cité, réalisé chez les enfants souffrant de troubles du spectre autistique (voir la synthèse de Boucenna et al., 2014). Baron-Cohen, Golan & Ashwin (2009) ont été parmi les premiers à développer un programme d’entraînement sur ordinateur à la reconnaissance des émotions chez les enfants porteurs de troubles du spectre autistique (TSA). Les participants étaient répartis selon trois groupes : un d’enfants typiques, un d’enfants TSA sans intervention et un groupe d’enfants TSA avec intervention. Le support d’apprentissage, un programme d’ordinateur sur DVD, entraînait l’enfant 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.

### Quelques exemples

**Un exemple de contournement : sonoriser des textes pour des élèves dyslexiques**

Wood et al. (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 recherches est que la sonorisation de documents écrits diminue les exigences de la lecture, ce qui améliore 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 vingt-deux 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 de modérateurs, un seul modérateur significatif est obtenu : celui du design expérimental. Pour les plans d’expérience inter-sujets, d = 0,61. Pour les études intra-sujet, 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 & 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 ».

Souhaitez-vous que je vous compile tout cela dans un seul document Word avec un sommaire et une mise en forme claire ?

### Étude Vandenbroucke & Tricot (2018)

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 vingt élèves dyslexiques de lire une histoire, puis d’en écouter une autre (ou, à l’inverse, d’écouter d’abord, de lire après), et vingt élèves sans dyslexie du même âge ont été invités à faire de même. Les quarante élèves dyslexiques (vingt 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 ou déficit discret de l’attention, aucun déficit linguistique du langage oral ou de la mémoire verbale. 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 de 3’52’’ pour l’une, 472 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 arrêtait la bande son quand il le voulait).

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 de 0,44 en lecture et de 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.

### Résultats de l’expérience 2 et exemple numérique

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 un sur dix) 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, sept élèves dyslexiques sur dix ont fait une ou plusieurs pauses et leur taux de réponses correctes est 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 les élèves non dyslexiques avec les pauses libres.

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

### Exemple d’usage du numérique : reconnaissance des mots écrits

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 Ecalle à Lyon (Ecalle, Kleinsz & Magnan, 2013 ; Potocki, Magnan & Ecalle, 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).

### Exemple Play-on et logiciel Morphorem

**Play-on**, l’un des outils utilisé par Magnan et Ecalle, 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 d’items sont utilisés : mono-, bi- et trissyllabiques. La position du phonème est manipulée (initial versus final). Les participants écoutent une syllabe consonne-voyelle (/pa/ et /ba/) 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 & Dufayard (2012) ont développé le logiciel d’apprentissage **Morphorem** pour les élèves dyslexiques de début de cycle 4. Avec cet outil, les élèves améliorent leur performance dans diverses dimensions : analyse morphologique, compréhension des mots suffixés 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). 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).

### Conclusion

Le domaine des technologies adaptées aux particularités des élèves, 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 ce domaine est qu’il existe 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.

Nous sommes par ailleurs convaincus que ce domaine en est à ses débuts et que d’ici quelques années nous verrons l’aide aux apprentissages des élèves à besoins particuliers comme relevant d’autre facteur 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.

## **Chapitre 12** LA NOUVELLE GÉNÉRATION SAIT UTILISER EFFICACEMENT LE NUMÉRIQUE

### Le mythe

Les enfants qui grandissent en utilisant quotidiennement des outils numériques sont différents des générations précédentes. Ces différences s’observent chez les enfants, puis chez les adolescents et, enfin, chez les jeunes adultes. Marc Prenski a émis cette idée en 2001. Il a repris à John Perry Barlow le terme digital natives (les « natifs numériques »), ainsi que celui de digital immigrants (ceux qui ont découvert l’ordinateur à l’âge adulte) pour désigner cette opposition de générations.

Les individus qui ont grandi avec le numérique auraient des caractéristiques communes qui les différencieraient des générations précédentes : ils communiquent aussi bien via les technologies que directement ; ils considèrent comme allant de soi l’utilisation des ordinateurs, d’Internet, des téléphones mobiles, des jeux vidéo, des baladeurs MP3 ; ils sont efficaces dans l’utilisation de ces outils.

Ces jeunes sont aussi différents dans la façon d’apprendre, ont des préférences d’apprentissage différentes, sont capables de faire plusieurs choses à la fois, comme écouter de la musique, parler au téléphone et utiliser leur ordinateur (Brown, 2000). Si bien que les systèmes éducatifs conçus pour la génération précédente ne leur sont plus adaptés. Lors de leur arrivée dans le monde du travail, ces nouveaux humains sont aussi très différents des précédents sur de nombreux aspects : leur relation à l’autorité et au temps, leur sens des priorités (le travail en bas, la vie en haut), leurs ambitions, la façon de travailler en groupe, etc.

Le fait de grandir avec le numérique aurait donc un impact profond sur de nombreux comportements. Il est difficile de distinguer dans ce concept de digital natives ce qui relève de la relation causale (c’est parce qu’ils ont grandi avec les ordinateurs qu’ils sont ainsi) de ce qui relève du simple constat de génération (ils sont comme ça, les suivants seront différents, pour des raisons qu’il serait vain de vouloir lister : les réactionnaires y voient un signe de décadence, les progressistes un signe de progrès).

### Bilan des travaux scientifiques

Nous allons tenter de nous focaliser sur les aspects strictement liés au numérique et à l’éducation : en quoi l’utilisation quotidienne du numérique a-t-elle un effet sur l’utilisation du numérique, notamment pour des tâches d’apprentissage scolaire ?

#### La spirale de la complaisance

Les arguments, en termes de génération, semblent difficiles à étudier scientifiquement. Quand on analyse la littérature sur ce domaine, on trouve peu de travaux empiriques sérieux : la plupart sont des discours fondés sur l’anecdote, le cas particulier ou l’impression générale. Quand des enquêtes sont conduites, c’est le plus souvent auprès de petits échantillons d’étudiants. Quand les études portent sur de gros échantillons représentatifs, les résultats sont aussitôt très mitigés. On peine à trouver un cadre théorique susceptible d’expliquer cet effet de génération. Pour Bennett et al. (2008), utiliser le concept de digital natives pour caractériser un effet de génération relève peut-être de la « panique morale » des intellectuels de la génération précédente, qui se sentent dépassés.

Bennett & Maton (2010) vont plus loin et qualifient de « spirale de la complaisance » l’utilisation du concept de digital natives. Kirschner & De Bruyckere (2017) qualifient ce concept de mythe. Bennett et al. (2008) ont repris point par point les assertions des tenants du concept de digital natives et les ont vérifiées. Leur conclusion est sévère : sur chacune de ces assertions, l’analyse de la littérature montre que jamais une preuve n’a été apportée. Voici donc le résultat de leur confrontation à la littérature empirique des principaux arguments en faveur du concept de digital natives.

### « Les jeunes sont efficaces dans l’utilisation des outils numériques. »

Les études montrent que l’on peut affirmer cela, et seulement si, on s’intéresse à l’utilisation relativement passive de ces outils. Les élèves d’aujourd’hui savent collecter certaines informations et communiquer avec leurs proches avec les outils numériques. L’utilisation plus « active » de ces outils (comprendre en profondeur, produire, créer, partager) est beaucoup plus limitée au sein de la jeune génération et ne concerne qu’une partie d’entre eux (entre 5 % et 20 % selon les études). Il y a une grande hétérogénéité dans l’usage du numérique des jeunes, dans la fréquence et l’intensité de ces usages (Helsper & Eynon, 2009). Ces différences ont une forte influence sur les compétences des jeunes, comme elles en ont sur les moins jeunes.

### « Les jeunes sont différents dans la façon d’apprendre et ont des préférences d’apprentissage différentes. »

Non, les jeunes d’aujourd’hui ne sont pas dotés d’un système cognitif différent du nôtre, ce système est vraisemblablement le même que celui d’Homo sapiens depuis au moins 100 000 ans. Notre système cognitif ne nous permet pas de faire plusieurs choses à la fois, sauf dans des cas très automatisés comme la marche. La génération précédente, les jeunes d’aujourd’hui ne peuvent pas comprendre un énoncé dans leur langue maternelle et en même temps un document scolaire écrit (Lieury, 2012). Les préférences d’apprentissage, par définition, n’affectent pas tous les individus mais permettent au contraire de les distinguer. Une préférence d’apprentissage ne peut pas concerner une génération entière. Par ailleurs, l’effet des préférences d’apprentissage sur la réussite scolaire est globalement nul (Sander et al., 2018).

### « Les systèmes éducatifs ne sont plus adaptés aux jeunes. »

Pour Bennett, la plupart des enfants (des pays riches) semblent au contraire se satisfaire du fait qu’à la maison il y a beaucoup d’occasions de jouer avec le numérique, d’avoir des loisirs numériques, tandis qu’à l’école il y a généralement peu d’ordinateurs ou peu de temps consacré à leur utilisation. Peut-être que les enfants préfèrent jouer à la maison qu’apprendre à l’école, mais cela ne veut pas dire que la faible place de l’ordinateur à l’école les décourage d’apprendre. Un esprit mal tourné pourrait même trouver que l’activité professionnelle de Marc Prenski étant de concevoir des logiciels et des jeux éducatifs, il avait tout intérêt à argumenter à propos de la ringardisation de l’école. Dans une série d’entretiens approfondis conduits auprès de vingt-cinq collégiens et lycéens israéliens, Kolikant (2010) montre que ces jeunes élèves ne pensent pas eux-mêmes être de meilleurs apprenants que ceux de la génération précédente. Ils perçoivent les compétences et connaissances apprises à l’école comme éloignées de leurs usages domestiques du numérique. Ils admettent qu’Internet simplifie certaines de leurs tâches scolaires.

### Trois générations pas si différentes ?

Pichault & Pleyers (2010) ont réalisé en 2008 une grande enquête en Belgique auprès d’un échantillon de 851 personnes, âgées de 20 à 59 ans. Cela leur a permis de comparer la génération des baby-boomers, rassemblant les individus nés entre 1949 et 1963 ; la génération X, correspondant aux individus nés entre 1964 et 1979 ; et enfin la génération Y, regroupant des individus nés entre 1979 et 1994, qui correspond donc aux digital natives. Les chercheurs ont simplement repris les principales affirmations des tenants du concept de digital natives, et ont demandé aux personnes enquêtées de donner leur position à propos de ces affirmations. Par exemple, la littérature sur les digital natives prétend que ceux-ci recherchent du sens au travail, position occupée par la performance et l’importance des tâches à accomplir ainsi que la performance au sein de l’entreprise (Eisner, 2005). Cette affirmation est présentée avec plusieurs autres. Les personnes enquêtées doivent simplement choisir : « Quelles sont, parmi les affirmations ci-dessous, celles qui vous ressemblent le plus ? »

Massivement, il n’y a pas de différence entre les trois générations. En particulier pour cette affirmation maintes fois mise en avant selon laquelle les digital natives accordent plus d’importance à la vie qu’au travail. Eh bien oui, c’est vrai, ils pensent ça… comme les générations précédentes. Et même, si on regarde de plus près, un peu moins que les autres. Les seules différences sont obtenues avec des affirmations comme « J’ai besoin de changer d’environnement régulièrement » et « Je cherche à développer mes compétences », qui sont plus choisies par les jeunes que par les autres. Plutôt qu’un effet de génération, n’y aurait-il pas tout simplement un effet d’âge ?

Les digital natives se distinguent aussi des générations précédentes parce qu’ils ont plus peur de ne pas trouver un emploi ou de ne pas trouver un emploi qui leur plaît. Là encore, cet effet s’explique plus par l’âge des personnes qui ont répondu au sondage que par un effet de génération. Dans l’échantillon utilisé, 29 % des digital natives sont en situation d’emploi, contre 81 % des générations X, tandis que la majorité des baby-boomers entame la dernière partie de leur carrière.

### **Mais des différences de représentations**

La littérature critique sur le concept de digital natives a donné lieu à des tentatives de réponses. La plus convaincante, selon nous, vient de l’étude des représentations sociales. Par exemple Ahn & Jung (2016) ont réalisé des entretiens semi-directifs avec quatre-vingt-cinq personnes d’âges différents en Corée du Sud, à propos de la « dépendance au smartphone ». Quarante-sept étaient des digital natives (25 ans en moyenne) et trente-huit étaient des digital immigrants (44 ans en moyenne). Tous les participants possédaient et utilisaient régulièrement un smartphone.

L’analyse du contenu des réponses montre que les deux générations ont les mêmes vingt-quatre représentations constitutives de la dépendance aux smartphones, ce qui implique que les deux générations ont une compréhension globalement similaire de cette dépendance. L’analyse du noyau central et des éléments périphériques des représentations a cependant montré une différence sur cinq éléments centraux : déclin de l’interaction en face à face, porabilité, symptômes de sevrage, jeu, usage habituel. Les digital natives mettent en avant la communication/partage d’informations, l’interruption des études/du travail, la perte de temps, la commodité/utilité et les dommages physiques comme liés à la dépendance aux smartphones. Les digital immigrants associent la dépendance aux smartphones au manque de contrôle, à la jeune génération et à la criminalité/insécurité.

Teo (2013) a élaboré une échelle pour évaluer à quel point une personne serait digital native. Il a établi la solidité psychométrique de son échelle, dans différents pays (Nouvelle-Zélande, Hong Kong, Turquie), auprès de personnes d’âges différents. Cette échelle mesure quatre dimensions : être à l’aise avec le multitâche ; avoir grandi avec la technologie ; s’appuyer sur le graphisme pour communiquer ; privilégier les gratifications et les récompenses instantanées. Elle a été traduite en français et validée par Wagner & Acier (2017). Par exemple, la dimension « être à l’aise avec le multitâche » est mesurée par la manière dont les personnes adhèrent ou non aux affirmations « Je peux discuter avec un ami au téléphone tout en écrivant un message à un autre », « Je suis capable de naviguer sur Internet et de réaliser avec facilité une autre activité », « Je suis capable de discuter avec mes amis et de faire mon travail en même temps » et « Quand je suis sur Internet pour mon travail, je suis capable d’écouter de la musique en même temps ». La dimension « avoir grandi avec la technologie » correspond à des affirmations comme « J’utilise l’ordinateur pour beaucoup de choses au quotidien », « J’utilise Internet tous les jours », etc. La validation de l’échelle a consisté à montrer que les personnes qui adhèrent fortement à l’affirmation « Je peux discuter avec un ami au téléphone tout en écrivant un message à un autre » sont les mêmes qui adhèrent fortement aux autres affirmations de la dimension « être à l’aise avec le multitâche ». Et ainsi pour les trois autres dimensions.

Mais Teo et al. (2016) montrent que le degré d’adhésion aux différentes dimensions ne varie pas en fonction de l’âge (ni du genre d’ailleurs), il varie plus en fonction des années d’expérience technologique et avec l’auto-efficacité perçue dans l’utilisation des ordinateurs. Deal, Altman & Rogelberg (2010) ont noté qu’il y a souvent plus de différences entre les individus d’une même génération qu’entre les individus de générations différentes. Wagner & Acier (2017), lors de la validation de l’échelle en français, ont obtenu des liens entre les items du questionnaire comparables à ceux de Teo, alors que leur échantillon était composé de personnes ayant entre 10 ans et 50 ans et plus.

Ainsi, les personnes de différentes générations ont peut-être des opinions différentes sur ce qu’ils font ou ne font pas, ce qu’ils sont capables ou non de faire, mais ces opinions (a) ne sont que des opinions et (b) ne sont différentes qu’en de rares cas !

Nous allons maintenant présenter quelques exemples d’utilisation des ordinateurs par la génération des digital natives pour examiner à quel point cela est facile pour eux.

### **QUELQUES EXEMPLES**

**Les digital natives savent-ils prendre des notes avec un ordinateur ?**

La célèbre étude de Mueller & Oppenheimer (2014) 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 note 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). La prise de notes sur ordinateur pourrait aussi avoir un effet délétère sur d’autres élèves, car ces derniers regardent l’écran de l’étudiant qui fait autre chose que prendre des notes (Sana, Weston & Cepeda, 2013).

L’apprentissage de l’écriture manuscrite versus sur clavier montre des résultats cohérents avec ceux de Velay, Longcamp & 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 Skolnik & 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 aux cours (voir chapitre 1).

**Les digital natives savent-ils demander de l’aide via un ordinateur ?**

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 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.

Puustinen, Volckaert-Legrier, Coquin & 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 troisième sont par conséquent plus compréhensibles et plus acceptables socialement que ceux des élèves de sixième.

Dans un environnement numérique comme dans les autres environnements, les élèves prennent des décisions qui échappent parfois à la rationalité. Si la décision de rechercher de l’aide est rationnelle, elle est motivée par le bénéfice apporté par l’aide est supérieur au coût de la recherche de l’aide, mais elle oublie la probabilité de trouver une aide pertinente (Léry-Santos, Tricot & Bonnefon, 2020). Or, en situation, les élèves en difficulté estiment 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 (Léry-Santos, 2018) qui peuvent être perçus comme garants d’un certain anonymat : la peur de paraître incompétent est parfois moins importante.

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

**Les digital natives savent-ils rechercher de l’information avec un ordinateur ?**

La recherche d’information (RI) avec des outils numériques présente un paradoxe : ces outils rendent la RI plus facile et plus difficile que celle mise en œuvre avec des supports papiers. Quelles sont les principales difficultés rencontrées par les digital natives ?

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). Dans de nombreuses situations, le but de la recherche d’information est flou et il est exprimé de façon approximative. 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).

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 tort) 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.

### **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 contredisent celui-ci. Cette préférence sera mise en œuvre lors de la sélection du document, mais aussi l’évaluation et la compréhension de celui-ci.

### **Les jugements de pertinence**

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’usager 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’usager et les résultats proposés est peu connu de nombreux usagers.

### **L’évaluation de la fiabilité des sources**

Faut-il encore que les individus évaluent le document. La génération des digital natives a, comme les générations précédentes, bien du mal à distinguer la popularité d’une source et sa fiabilité (Tricot, Sahut & Lemarié, 2016).

### **CONCLUSION**

Sue Bennett, l’autrice en 2008 de la synthèse la plus référencée et la plus critique à l’égard du concept de digital natives, cite Marcel Proust en exergue de son article : « La seule chose qui ne change pas est qu’il semble chaque fois qu’il y ait quelque chose de changé. »

Donc oui, on peut affirmer que les enfants qui ont grandi avec le numérique savent réaliser des tâches avec le numérique. Cet apprentissage est même très important. Il permet à la plupart, non seulement de s’engager dans de nombreuses activités (de loisir, de communication, d’exploration informationnelle et de relations sociales), mais aussi d’être à l’aise quand on leur propose une activité sur support numérique. Généralement, ils n’ont pas peur de ces objets.

Mais apprendre à l’école repose sur des tâches spécifiques, qui ne sont pas ou peu influencées par la maîtrise des objets numériques. Parfois même, il semble nécessaire de faire prendre conscience aux élèves, et plus tard aux étudiants, que ce qu’on leur demande de faire à l’école avec un ordinateur est différent de ce qu’ils font chez eux, et nécessite d’autres compétences (voir par exemple Ng, 2012). Savoir utiliser certaines fonctions d’un outil numérique ne signifie pas savoir apprendre avec cet outil. Il est important, pédagogiquement, de bien distinguer la tâche d’utilisation de la tâche d’apprentissage même si la première est un préalable à la seconde dans un environnement numérique.

Les compétences acquises par la pratique domestique du numérique pourraient, selon nous, être prises en compte dans la conception de situations d’enseignement, soit comme point de départ pour aller plus loin, soit comme obstacles à dépasser. Elles ne peuvent pas être ignorées.

## **Chapitre 13** LE NUMÉRIQUE, C’EST MOINS CHER, MAIS C’EST MOINS BIEN

### Le mythe

C’est sans doute dans le domaine de la formation professionnelle que ce mythe a d’abord eu le plus d’impact. Quand vous formez un pilote d’avion, la formation pratique est extrêmement onéreuse : une heure de vol sur un avion de ligne coûte approximativement 10 000 euros. Les simulateurs de vol sont vite apparus comme une solution : la formation pratique se déroule dans un environnement numérique, avec un simple logiciel, quelques outils qui ressemblent à ceux qui se trouvent dans un cockpit, parfois le cockpit lui-même est entièrement reconstitué. L’économie réalisée est immense !

Un second domaine, quelques années plus tard, a renforcé le mythe et commencé à faire émerger l’idée de gratuité : **les communautés virtuelles d’enseignants**. En mathématiques par exemple, il existe de nombreux groupes d’enseignants qui échangent entre eux des problèmes, des difficultés, des idées, des solutions, des cours, des exercices. Ces groupes sont très actifs, les échanges sont d’une richesse incroyable. Ils incluent parfois des élèves. Ils existent dans toutes les disciplines, pour tous les niveaux d’enseignement. Accéder et participer à ces échanges est entièrement gratuit. Certains de ces groupes récapitulent leurs travaux et publient des ouvrages. Là encore, c’est (généralement) gratuit. Si bien que des enseignants se demandent à quoi bon acheter des manuels scolaires quand on peut accéder à un contenu proche gratuitement.

Plus récemment encore, les MOOC (Massive Open Online Courses ou « cours en ligne massifs et ouverts », déjà évoqués dans le chapitre 6) ont réactivé le mythe de la gratuité : n’importe qui peut suivre gratuitement le cours d’une prestigieuse université américaine alors que les droits d’inscription à cette université sont exorbitants.

### BILAN DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

Le bilan des travaux à propos de ce mythe est contrasté car il concerne des domaines extrêmement différents et des enjeux divers.

### Les bénéfices des simulateurs en formation professionnelle

Faire baisser les coûts d’une formation quand la partie pratique de celle-ci se déroule dans des environnements trop onéreux est le plus souvent une bonne idée. Nous avons cité le cas de l’utilisation des simulateurs de vol dans la formation des pilotes : cela fait maintenant presque quatre-vingt-dix ans que cette utilisation existe, elle précède de loin l’invention même de l’informatique. Il n’est pas question de totalement exclure l’apprentissage pratique sur avion, mais de réduire sa part. On sait même depuis longtemps que la combinaison simulateur + avion donne en moyenne de meilleurs résultats que l’apprentissage sur avion seul (Hays, Jacobs, Prince & Salas, 1992). Le simulateur permet en effet de réaliser des tâches qu’on ne peut pas réaliser en vol, d’être confronté à des situations extrêmes et, plus généralement, très difficiles à obtenir en allongeant la durée de la formation.

Cet effet positif n’est d’ailleurs pas exclusivement lié au coût de la situation réelle : il peut être lié à sa dangerosité (par exemple, dans les domaines chimique ou nucléaire) ou à des problèmes d’acceptabilité sociale (par exemple, dans la formation des étudiants en médecine, quand les patients acceptent de moins en moins d’être utilisés comme supports de formation).

**Le problème avec cette baisse des coûts est qu’elle a fait croire qu’elle était générale.** Au milieu des années 1990, avec le développement du Web et du e-learning, beaucoup d’entreprises ont cru qu’elles allaient réussir à faire les mêmes économies avec la nouvelle génération d’outils numériques.

Si ceux-ci présentaient effectivement une baisse des coûts, avec par exemple la mise à distance de certaines formations (économie des frais de déplacements, parfois même du temps de travail, la formation à distance pouvant être prise sur le temps personnel), l’efficacité n’était pas toujours au rendez-vous, loin s’en faut. On a découvert que remplacer un outil professionnel ou un dispositif de formation par une ressource numérique, ce n’est pas du tout la même chose. Il a fallu apprendre à concevoir des environnements numériques de formation, avec une idée précise de ce que l’on pouvait y faire, et ne pas y faire. Et l’on s’est rendu compte que ce travail de conception, long, minutieux, exigeant… revenait **extrêmement cher**.

### Méta-analyses sur la simulation

**Merchant, Goetz, Cifuentes, Keeney-Kennicutt & 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 vingt-neuf études. Les résultats suggèrent que les simulations en réalité virtuelle ont un effet positif mais modéré sur l’apprentissage (d = 0,36). Pour les apprentissages procéduraux (où l’objectif est d’apprendre à faire quelque chose dans les environnements simulés, le fait de fournir un feedback constitue un critère décisif : le feedback le plus efficace est celui qui, en cas d’erreur, est retourné à la personne formée soit pour la connaissance à mettre en œuvre.

**McGaghie et al. (2011)** ont réalisé une autre méta-analyse sur les apports de la simulation dans les formations en santé, sur quatorze publications 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 (cinquante-quatre études), d = 0,79 pour la gestion du temps (vingt études), d = 0,81 pour mesure du temps pour évaluer les comportements tout en s’occupant des patients (cinquante études), et d = 0,50 pour les effets directs sur les patients (trente-deux 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 plus tard (Cook et al., 2013), mais cette fois-ci 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 = 0,50 pour la plupart des conditions d’usage de la simulation : pratique répétée, pratique distribuée, pratique interactive, stratégies d’apprentissage multiples, apprentissage individualisé.

### Etude spécifique sur la réanimation

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). On a recensé 182 études. 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 cinquante-sept 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 < 1,9). Pour les études comparant l’utilisation de simulateurs présentant un fort réalisme versus l’utilisation de simulateurs présentant un faible réalisme, les auteurs ont obtenu des effets en faveur du fort réalisme, avec des tailles d’effet bien moindres (0,3 < d < 0,7).

### La fausse gratuité

Le mythe de la gratuité est sans doute difficile à démasquer car il porte en lui une évidence : ce qui est gratuit est forcément plus attractif financièrement parlant que ce qui est payant. Wikipedia a quasiment tué les encyclopédies classiques avec cet argument, par exemple.

Voici la **suite et fin de la retranscription fidèle mot à mot** du chapitre associé au mythe **« Le numérique, c’est moins cher, mais c’est moins bien »** :

### Le problème de cet argument

Le problème de cet argument, c’est que la gratuité est du côté de l’utilisateur, mais aussi du côté de l’auteur : dans un modèle de gratuité, celui-ci n’est plus payé. Les contributeurs de Wikipédia ne sont pas rémunérés. Les auteurs de manuels scolaires communautaires gratuits ne sont pas payés non plus, bien qu’ils aient fourni un travail et produit une œuvre.

Ce nouveau modèle peut présenter un intérêt important dans le domaine des loisirs : je peux faire partager ma passion pour le jeu d’échecs, ainsi que les connaissances que j’ai acquises à son propos. Mais en tant qu’enseignant ? Alors que je suis payé pour enseigner, j’offre une partie de mon temps d’enseignement. Pourquoi faire cela ? Pour qui ? Si cette question regarde chacun de nous personnellement, elle prend une tournure particulièrement critique avec les MOOC des universités. C’est ce que nous allons voir ci-après.

### La fausse gratuité se place du côté des utilisateurs

Plusieurs grands diffuseurs d’informations font payer les utilisateurs avec le temps passé à recevoir de la publicité ou avec l’espace qu’ils y trouvent. Et ces diffuseurs sont bien entendu rémunérés par les annonceurs.

### Les stratégies marketing des universités

Les grandes universités américaines ont très vite décidé qu’elles avaient intérêt à développer des cours gratuits en ligne, sous la forme de MOOC. Aux États-Unis, s’inscrire à une université coûte très cher (plusieurs dizaines de milliers de dollars), notamment dans les universités prestigieuses. Les droits d’inscription constituent une part importante du budget des universités. L’enseignement supérieur constitue un véritable marché, régi par une règle : attirer les meilleurs étudiants et leur faire payer l’inscription. C’est avec cet argent (notamment) que l’on paiera les enseignants. Dans ce cadre-là, les MOOC sont un élément de la stratégie marketing des universités : augmenter leur visibilité, montrer leur compétence, donner envie. Mais que se passe-t-il pour les enseignants ? Sont-ils payés pour réaliser ces cours en ligne ? Pour répondre aux questions des étudiants ? Que se passe-t-il en France, où, comparativement, les droits d’inscription sont beaucoup moins élevés ? Il semble que, la plupart du temps, les enseignants qui réalisent des MOOC pour leur université le font gratuitement. Sans que l’on comprenne tout à fait où est l’intérêt de faire cela, pour l’enseignant et pour son université. Il pourrait sembler que l’objectif soit : « pour voir », « pour essayer », « pour s’amuser ». Mais il n’est pas certain que cela constitue un modèle suffisant à long terme.

Ceci ne concerne pas l’autre modèle économique des MOOC, celui où des particuliers, des entreprises ou des institutions peuvent réaliser un MOOC et être rémunérés. Par exemple, quand les apprenants paient leur certification (et non leur inscription) ou qu’ils achètent un livre qui leur permet d’approfondir leur formation, le MOOC étant, en quelque sorte, l’entrée en matière du cours.

### QUELQUES EXEMPLES

#### Les simulateurs en médecine

L’efficacité des simulateurs dans la formation des étudiants en médecine est attestée par les méta-analyses que nous venons de citer. En formation médicale, le coût de la situation réelle n’est pas que financier, il est d’abord humain, social et éthique. Les patients acceptent de moins en moins, en tout cas dans certains pays, dans certains établissements de soins, de recevoir la visite du médecin accompagné de deux externes, une interne et un étudiant infirmier. Les médecins et les étudiants eux-mêmes se posent la question : en entrant ainsi dans la chambre du patient, est-ce que nous le considérons comme un patient ou comme un support de formation ? Est-ce que nous le respectons ? Plus encore : quels risques lui faisons-nous courir ?

L’avantage des simulateurs en formation médicale ne réside pas que dans la baisse des coûts (humains). Ils permettent 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 la situation – pour accéder ensuite à la complexité de la situation d’apprentissage et l’évaluer. Par exemple, en réanimation, la complexité de la situation d’apprentissage est fortement liée aux émotions, notamment celles liées au 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 aléatoirement dans l’une ou l’autre des deux issues du scénario : la patiente est transférée dans un autre service, ou bien 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 susceptible d’être jugée favorablement, tout comme leur performance en charge d’un patient. Les auteurs concluent donc que l’enjeu de la recherche, dans ce domaine, est de définir la meilleure façon d’utiliser les expériences émotionnelles négatives pendant la formation par simulation.

### Coûts et bénéfices d’une communauté de pratiques

Une recherche passionnante a été conduite au Canada dans le cadre de la Communauté d’apprentissages scientifiques et mathématiques interactifs (CASMI). Cette communauté réunit plusieurs dizaines de milliers de membres, notamment des élèves et des enseignants, de quarante pays. L’objectif principal est l’apprentissage des mathématiques, des sciences et des jeux d’échecs, et particulièrement la résolution de problèmes complexes. Chaque semaine, douze problèmes de niveaux différents sont proposés à des classes allant de la maternelle au secondaire. Les élèves proposent leur solution. Des étudiants corrigent les solutions proposées et envoient une évaluation formative aux élèves ayant participé. Cet environnement d’apprentissage bénéficie d’une véritable ingénierie pédagogique, qui tient en sept principes :

1. Le principe de variété : les problèmes posés sont très divers, chacun peut y avoir accès, quel que soit son âge ou son niveau.
2. Le principe de rapidité d’accès : chaque problème de la semaine est accessible en deux clics ;
3. Le principe d’appartenance à la communauté : pour participer, il faut s’inscrire ;
4. Le principe de confidentialité : les membres de la communauté utilisent un pseudonyme ;
5. Le principe de double espace, privé et partagé : en dehors de l’espace public ouvert à tous les membres, chaque membre a son espace privé, non ouvert ;
6. Le principe de communication asynchrone : les échanges n’ont pas lieu en direct ;
7. Le principe de rétroaction formative : les retours sur les solutions proposées par les élèves sont riches, ils sont conçus pour leur permettre de progresser.

Une recherche a analysé les effets de la CASMI sur les élèves (Manuel, Freiman & Bourque, 2012). Elle montre que les problèmes complexes posés sur la CASMI donnent lieu à une véritable recherche de solutions créatives, la créativité des solutions étant bien liée à la complexité des problèmes. Alors que les défis de l’enseignement du XXIe siècle semblent converger vers la capacité à faire face à des problèmes complexes, une communauté comme la CASMI semble bien pouvoir constituer une voie à suivre.

### CONCLUSION

Le numérique permet aux apprenants d’accéder gratuitement, ou à peu de frais, à des ressources qui leur permettent d’apprendre des connaissances scolaires ou professionnelles. Ce type de solution présente un grand intérêt pour la formation professionnelle dans certains domaines où il est très difficile d’accéder aux outils réels : c’est la grande plus-value des outils de simulation utilisés en formation. Cependant, on ne peut pas généraliser : certaines solutions qui permettent aux élèves d’apprendre gratuitement en accédant à des supports libres ne sont pas gratuites pour tout le monde. Elles représentent souvent un travail non rémunéré. Il n’est pas certain qu’évoluer vers des formes de travail non rémunéré ne présente que des avantages.

## **Chapitre 14** LE NUMERIQUE VA MODIFIER LE STATUT MEME DES SAVOIRS, DES ENSEIGNANTS ET DES ELEVES

### LE MYTHE

Pour clore cet ouvrage, nous traitons du mythe le plus fascinant, celui des effets de la révolution numérique sur le statut des savoirs, des enseignants et des élèves. La révolution numérique désigne simplement le fait que l’informatique et Internet ont envahi notre quotidien de citoyens de pays riches. Cette révolution est sans doute aussi importante que l’invention de l’écriture et celle de l’imprimerie. Comme ces deux précédentes inventions, l’informatique modifie profondément la manière dont nous diffusons, partageons et recherchons des informations, voire des connaissances.

Comme ces précédentes inventions, elle suscite la méfiance chez ceux qui y voient surtout une perte, comme Socrate l’exprime dans Phèdre : « Elle [l’écriture] ne peut produire dans les âmes, que 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 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 incommode, des savants imaginaires au lieu de vrais savants. »

Aujourd’hui, si un enfant cherche une information, il la trouvera sur Internet, il accèdera à la connaissance recherchée et pourra se l’approprier. Dans ces conditions, à quoi sert un enseignant ? À quoi sert d’apprendre à l’école ? À quoi sert d’apprendre des connaissances qui ne sont pas immédiatement utiles, des connaissances instituées, qui constituent les programmes scolaires (les savoirs), mais dont on ne perçoit pas toujours la pertinence ? Toutes les connaissances sont là, disponibles, tout le temps et « gratuitement ». Ces questions sont notamment abordées dans le livre de Michel Serres, Petite Poucette. Mais, alors que le philosophe met en exergue les bouleversements en cours, nous allons tenter de montrer que l’école constitue, peut-être, une notable exception culturelle à la loi du numérique.

### BILAN DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

Une partie des personnes qui développent ces technologies, ou qui ont l’idée de les faire utiliser d’une certaine manière pour l’enseignement, ne savent tout simplement pas en quoi consiste le métier d’enseignant. Ils ne le savent pas parce qu’ils ne font pas la différence entre « apprendre » et « enseigner ». Puisqu’on enseigne pour que les élèves apprennent, si un humain apprend dans telle situation, alors cette situation peut relever de l’enseignement. C’est un peu subtil, mais c’est là que se situe le problème : ce raisonnement est faux. En effet, quand un humain apprend dans une situation, c’est le plus souvent pour des raisons qui n’ont rien à voir avec l’enseignement : on apprend parce qu’on est passionné par le domaine ou parce que notre quotidien rend nécessaire cet apprentissage.

Confon­dre l’apprentissage et l’enseignement est la source majeure de l’illusion selon laquelle des ressources pourront un jour remplacer les enseignants. Cette confusion est probablement entretenue par l’incroyable puissance de notre capacité d’apprentissage. Les humains sont capables d’apprendre à peu près tout et n’importe quoi, à partir du moment où cela fait partie de leur environnement, et leur est utile quotidiennement. Ils peuvent comme cela apprendre à parler une seconde langue, à faire du vélo, à jouer aux échecs, à utiliser un logiciel de traitement de texte… La liste est infinie. Cette capacité d’apprentissage « adaptative » ou « par la pratique » est extraordinaire, elle permet aux humains d’atteindre de très hauts niveaux de performances. Déjà en 1894, dans une étude d’Alfred Binet, des caissiers du Bon Marché (qui pratiquaient quotidiennement le calcul mental depuis plus de dix ans) se sont révélés aussi performants, voire plus, que des grands calculateurs, des individus qui avaient manifestement un don pour le calcul mental. Dans le cas d’une langue parlée, cet apprentissage adaptatif est fascinant parce qu’il est implicite, l’individu n’est même pas conscient des apprentissages qu’il réalise, ne sait pas les décrire. Mais dans les autres cas (calculer, jouer aux échecs, utiliser un traitement de texte), cet apprentissage est tout à fait conscient, explicite, il nécessite des efforts, du temps, une pratique délibérée et quotidienne. Que ce processus d’apprentissage soit implicite ou explicite ne change pas cette donnée fondamentale : les humains ont une capacité d’apprentissage par adaptation absolument fabuleuse.

### La spécificité des apprentissages scolaires

L’enseignement existe pour pallier les limites de cet apprentissage. Parce que cet apprentissage a une limite importante, qui réside dans sa force même : l’adaptation. Je peux devenir très performant en calcul mental si, pour des raisons professionnelles, tous les jours ou presque, ou par passion ou encore par loisir, je pratique le calcul mental tous les jours ou presque. C’est le mental de l’autodidaxie. Or de très nombreux enfants de 9 ans ne pratiquent pas le calcul mental quotidiennement parce qu’ils n’ont aucune raison de le faire, ni métier, ni passion qui implique le calcul mental. Ah, si ! Ils le pratiquent. À l’école. Si l’école n’existait pas, il est probable qu’une grande majorité d’enfants de 9 ans ne pratiquerait plus le calcul mental, ni l’histoire de leur pays, ni la géographie de l’Europe, etc. La liste est longue. L’école sert à ce que tous les enfants apprennent des connaissances qui ne correspondent ni à leur environnement immédiat, ni à leur passion. Le cœur du métier des enseignants réside dans cette capacité à faire apprendre à tous les élèves des connaissances qui ne leur sont pas immédiatement utiles, qui ne font pas partie de leur quotidien, qui ne les passionnent pas particulièrement. Bien sûr, certains parents peuvent enseigner à domicile ; mais ils enseignent un programme. Ils ne décident pas que leurs enfants seront dispensés d’apprendre l’accord du participe passé avec l’auxiliaire « avoir » même s’ils sont intimement convaincus que cette règle, empruntée à l’italien par Clément Marot, est très bizarre.

Nous avons donc du mal à croire qu’on puisse un jour se passer d’un contact humain direct, qu’on puisse se passer de salles de classe et de contraintes temporelles pour assumer cette incroyable mission si on imagine que cette mission consiste à enseigner à tous les enfants et adolescents. Nous avons même tendance à penser que le monde dans lequel nous vivons étant de plus en plus complexe, divers, imprévisible, nos enfants auront toujours besoin de plus de connaissances « non immédiates », donc de plus d’école.

### Une illusion ancienne

Rappelons-nous que l’enseignement à la maison et la fascination pour les nouvelles ressources informationnelles ne constituent pas les seules tentations de faire disparaître les enseignants. Avant même la chanson Another Brick in the Wall de Pink Floyd (et son fameux slogan : We don’t need no education), l’idée d’une société sans école est déjà présentée par Ivan Illich au début des années 1970. Chez Illich, on trouve clairement la proposition, qui resurgit aujourd’hui, d’un réseau (Web) d’individus qui peuvent partager, échanger leurs connaissances. L’intention d’apprendre comme l’intention d’enseigner relèvent de la liberté de l’individu.

Une autre objection réside dans le fait que nous ne sommes pas du tout certains que les enfants aient envie de rechercher des connaissances qui leur manquent, en dehors de ce qui leur est immédiatement utile. C’est l’un des exemples que nous allons traiter maintenant.

### QUELQUES EXEMPLES

#### Les enfants ne recherchent pas des connaissances scolaires

Les élèves qui utilisent tous les jours Google apprennent à s’en servir efficacement. Ils développent des savoir-faire et des stratégies originales, en dehors de ce que nous leur enseignons. Si ces apprentissages du « comment » en recherche de l’information sont bien réels, nous avons vu aussi qu’ils étaient limités et qu’il fallait, dans ce domaine, faire preuve de beaucoup de prudence. Mais ce qui nous préoccupe ici, c’est de savoir « quelle information » les enfants recherchent. Les travaux dans ce domaine (voir la synthèse de Boubée & Tricot, 2011) montrent que les enfants sont sur ce point très semblables aux adultes : ils recherchent ce dont ils ont besoin, dans des domaines où ils ont déjà des connaissances. Ce besoin d’information est généralement situé : on recherche ce dont on a besoin ici et maintenant parce que la situation dans laquelle on se trouve est difficile à comprendre, ou parce qu’on ne parvient pas à y agir efficacement.

Ces différents besoins sont soumis à un même paradoxe : pour prendre conscience qu’on a besoin d’information, il faut éprouver une incertitude. Or c’est à condition d’avoir beaucoup de connaissances sur la situation qu’on éprouve de l’incertitude. Plus on est compétent dans un domaine, moins on a de certitudes et plus nos besoins d’information sont précis et pertinents. Réciproquement, quand on ne sait rien d’un domaine, on n’éprouve pas d’incertitude, on ne se pose pas de questions.

Les enfants ne vont rechercher que ce qui leur est utile dans des domaines qui les intéressent et où ils ont déjà des connaissances. Comme nous, il leur est impossible de penser à rechercher dans un domaine intrinsèquement inconnu. C’est la connaissance qui permet de se poser des questions, pas l’ignorance. C’est la raison profonde pour laquelle nous ne croyons pas que le statut du savoir quand c’est un enseignant qui leur demande de chercher ! Et, comme nous l’avons souligné plusieurs fois dans cet ouvrage, quand ils trouvent, il n’est pas sûr qu’ils comprennent le document numérique obtenu.

**Les autodidactes sont des gens exceptionnels**

Les autodidactes suscitent notre admiration car ils réussissent à apprendre par eux-mêmes, parfois seuls, parfois accompagnés, ce que nous avons mis des années à apprendre sur les bancs de l’école. Souvent, ces personnes atteignent des niveaux de performances qui dépassent largement les nôtres – c’est sans doute pour cela qu’on les remarque. Ils apparaissent à toutes les époques de l’histoire, dans tous les domaines des arts, des sciences, de la politique etc. Ces personnes sont capables d’un double effort : d’abord un effort motivationnel, qui les conduit à décider d’apprendre et à persévérer alors qu’ils ont beaucoup à apprendre ; ensuite un effort de méthode, qui les conduit à trouver les ressources et à apprendre ces connaissances sans l’aide d’un professeur. Récemment, le développement des ressources numériques, leur facilité d’accès et leur gratuité, mais aussi la possibilité d’échanger avec de nombreuses personnes au sein de réseaux sociaux ou de communautés virtuelles, a fait apparaître un nouvel espoir : le développement de nouvelles formes d’autodidactismes. Ces nouvelles formes sont notamment soutenues par les tenants du courant « connectiviste » en pédagogie – puisque la connaissance est distribuée dans les réseaux, alors « apprendre consiste à construire et à traverser ces réseaux » (Downes, 2007).

En me connectant avec les bonnes personnes et les bons objets, je vais apprendre ce dont j’ai besoin. Le fait que les ressources et les personnes soient plus accessibles facilite évidemment une partie de l’apprentissage autodidacte. Mais il y a, selon nous, un risque important à oublier les bases des réussites des autodidactes, qui font d’eux des personnes peu communes : leur motivation à apprendre, leur persévérance, leur démarche et leur méthode. Nous avons souligné au chapitre 6 la grande exigence des apprentissages en autonomie et la faible contribution que leur apporte le numérique. Pour ces raisons, il ne nous semble pas que les réseaux sociaux puissent faire de l’autodidactie une forme d’apprentissage banale (en dehors des domaines de connaissance qui nous passionnent ou qui nous sont immédiatement utiles). Nous croyons au contraire que nous serons longtemps encore nourris fascinés par ces personnes exceptionnelles que sont les autodidactes.

**CONCLUSION**

L’ensemble des quatorze mythes dont nous avons parlé dans ce livre contribue à ce grand mythe de la révolution numérique. Pour autant, il semble aujourd’hui que le numérique permette surtout de créer des ressources, utilisables pour apprendre. Mais entre les ressources et l’apprentissage par enseignement, il y a une personne importante – l’enseignant – une institution importante – l’école – et des connaissances très particulières – les savoirs scolaires.

L’école existe pour permettre aux enfants de comprendre le monde dans lequel ils vivront demain, pour qu’ils y soient libres et responsables, pour qu’ils s’y épanouissent, notamment en exerçant un métier. Cet apprentissage est incroyablement exigeant et pourtant, dans nos sociétés démocratiques et de la massification scolaire, il doit être réussi par tous.

Apprendre une connaissance immédiatement utile et intéressante est à la portée de tous les humains, le plus souvent sans avoir besoin d’aide. Apprendre une connaissance pour le futur, dont on ne voit pas nécessairement l’utilité au moment où l’on apprend, est une autre histoire. La plupart d’entre nous avons besoin d’école et d’enseignants pour réussir cela. Croire que rendre les connaissances disponibles suffit est une illusion dramatique et dangereuse.

### **CONCLUSION**

Nous avons l’impression d’être encore au début de l’apprentissage avec le numérique. Beaucoup de progrès doivent encore être réalisés dans la conception d’outils numériques pour l’école, dans l’identification des plus-values pédagogiques de chacun de ces outils. Les apprentissages scolaires sont d’abord fondés sur des savoirs scolaires, qui préparent le futur de nos enfants, et également sur des enseignants, qui conçoivent des scénarios pédagogiques et mettent en œuvre de façon professionnelle des relations de travail et de confiance au sein de leur classe. Les outils ne sont que des outils. Quand on leur assigne cette place, alors les outils numériques ont un potentiel formidable, que nous sommes en train de découvrir.

**L’ensemble des travaux cités dans cet ouvrage nous enseigne qu’un outil n’est pas en soi un dispositif pédagogique.** Le numérique n’est qu’un outil au même titre que le livre, le papier et le stylo. La question est bien de savoir quelle tâche soutenant quel apprentissage peut être réalisée avec l’outil. Un livre peut être un manuel scolaire, un document présentant des procédures d’utilisation d’un objet, un essai ou encore un recueil de textes littéraires. Ce sont autant d’objectifs de lecture et de tâches d’apprentissage différents. Les outils numériques répondent à la même réalité. Un document multimédia peut présenter une procédure qui accompagne la manipulation d’une machine ou un phénomène en science qui nécessite de construire une compréhension profonde. Il n’est pas possible d’aborder les technologies en s’abstrayant des tâches qui sont conçues pour cette technologie.

On doit même aller plus loin en tenant compte des **objectifs de ces tâches** (quelle est la nature des connaissances à apprendre), des moyens et des contraintes imposées à l’apprenant (par exemple, un contexte d’utilisation incluant les ressources matérielles, les ressources temporelles et les ressources humaines) et plus largement du **scénario pédagogique** auquel participe la technologie. En somme, au même titre que pour le livre, il est impossible de répondre à la question de savoir si l’on apprend mieux avec tel ou tel outil sans considérer un ensemble d’éléments qui permettront d’apprécier la pertinence de l’outil ou de la ressource, à savoir : la nature des connaissances visées, le domaine étudié, la nature de la tâche d’apprentissage, les caractéristiques des apprenants, le rôle de l’enseignant, l’environnement organisationnel, physique et temporel, et enfin les propriétés des outils et ressources mobilisés.

Dans le rapport du CNESCO sur les apports du numérique en éducation, nous avons privilégié une lecture par les fonctions pédagogiques (Tricot, 2020), qui permet par exemple de montrer que certaines fonctions pédagogiques bénéficient (en moyenne) fortement du numérique : la visualisation 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), 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.

Pour d’autres fonctions pédagogiques, on ne sait pas encore quelles sont les éventuelles plus-values. On sait en revanche que les outils numériques n’ont pas d’effet, en moyenne, sur la motivation scolaire. Ils ont tendance à **détériorer la prise de notes**, notamment quand l’ordinateur est connecté à Internet, quand d’autres applications que le traitement de texte sont disponibles. Ils détériorent aussi la demande d’aide.

De façon très générale, **les outils numériques représentent des exigences cognitives supplémentaires**, ils ne constituent en rien une solution de facilité. Ces nouveaux outils soulèvent, dans certains domaines, de nouveaux enjeux, de nouvelles compétences à apprendre par les élèves, ainsi que de nouvelles exigences pour les concepteurs de supports d’enseignement.

**Il faut donc poursuivre les études sur les apprentissages qui s’appuient sur des technologies** en examinant les tâches d’apprentissage et les conditions de réussite des apprentissages avec ces technologies. C’est en engrangeant ce type de connaissances que nous pourrons rationaliser l’usage des technologies numériques dans les apprentissages et les rendre efficaces.

On est donc très loin du mythe de la disparition de l’enseignant au profit de la technologie. Les limites des Tuteurs Intelligents ainsi que les conclusions de certains chapitres de cet ouvrage nous indiquent clairement que l’enseignant aura toujours une place centrale dans les apprentissages scolaires. Les chapitres sur l’autonomie des apprenants et sur l’adaptation des dispositifs technologiques aux apprenants illustrent bien la nécessité de s’appuyer sur les enseignants qui sont sur des dispositifs de guidage et d’accompagnement des apprenants. Au moment de l’actualisation de cet ouvrage, la situation de confinement que nous vivons en raison de la situation sanitaire, met clairement en évidence l’importance de l’enseignant et du lien social entre les enseignants et élèves mais aussi entre élèves. Si les outils numériques permettent de maintenir certaines activités, voire d’en proposer de nouvelles, on peut constater que la mise à disposition des outils ne suffit pas et que la pédagogie doit être pensée et conçue pour répondre aux exigences de la situation. Cette pédagogie doit s’appuyer sur un rôle important de **l’enseignant** qui conçoit les tâches pédagogiques, guide les activités, aide à la compréhension de son propre apprentissage, rassure les apprenants et contribue à un climat favorable à l’apprentissage.

Dans cet ouvrage, nous avons examiné quatorze mythes liés au numérique pour apprendre. Nous avons émis des critiques et des réserves sur chacun de ces mythes.

Souhaites-tu aussi que je te retranscrive les blocs finaux (résumés des 14 mythes + les deux slogans bleus) et les références bibliographiques visibles ?

Voici la **retranscription fidèle** des dernières sections du document :

### **Les élèves préfèrent travailler avec les outils modernes tandis que les enseignants sont accrochés à leurs vieux outils**

**Si les perceptions des élèves sont positives à l’égard des outils numériques, elles ne présagent en rien une amélioration des apprentissages. C’est le paradoxe préférence / performance. Chez les enseignants, les perceptions sont surtout… hétérogènes.**

### **Les écrans détériorent la lecture**

Oui, mais sous certaines conditions, de pression temporelle par exemple, et pour certains types de textes. La lecture numérique est plus exigeante, elle implique le développement de nouvelles compétences qui doivent être enseignées car elles ne s’acquièrent pas par la simple pratique.

### **Il faut enseigner le code**

De très nombreux pays ont intégré cette nouvelle compétence dans les programmes scolaires, sans que l’on sache vraiment si c’est une finalité pertinente pour former tous les élèves et futurs citoyens. Nous manquons encore de preuves pour établir que c’est un moyen efficace d’apprendre dans d’autres disciplines.

### **L’intelligence artificielle va révolutionner l’enseignement**

C’est difficile à dire. Depuis quarante ans, les grandes réalisations de l’intelligence artificielle appliquée à l’enseignement n’ont pas vraiment franchi les portes des laboratoires. Le deep learning a un potentiel intéressant dans le domaine de l’ingénierie, mais peu développé actuellement.

### **Grâce au numérique, on peut apprendre à distance**

Oui, l’enseignement à distance bénéficie des apports du numérique, mais plus encore les formes mixtes, associant distance et présentiel. On ne sait pas exactement si ces formes mixtes bénéficient directement du numérique ou indirectement, à travers le gros travail qu’y fournissent les enseignants et les élèves.

### **Le numérique favorise l’autonomie des apprenants**

Non, c’est plutôt l’inverse : l’autonomie est une compétence nécessaire à la conduite d’apprentissages autorégulés. Les ressources numériques pour l’apprentissage doivent donc prendre en compte des compétences des apprenants et fournir des dispositifs de guidage comme les prompts.

### **Le numérique permet un apprentissage plus actif**

Certains outils numériques interactifs pourraient être bénéfiques à l’apprentissage, à condition que le scénario pédagogique implique un traitement profond, pertinent, par rapport à l’objectif d’apprentissage. Mais rendre interactifs des contenus n’est pas en soi suffisant : au contraire, quand cela représente des exigences sans lien avec l’apprentissage…

### **On apprend mieux en jouant grâce au numérique**

Oui, mais le bénéfice est en moyenne faible. Pour être efficace, un jeu sérieux doit réunir certaines qualités, aujourd’hui bien identifiées : ce sont exactement celles d’un bon scénario pédagogique, clair, bien centré sur l’objectif d’apprentissage, régulé, explicite et limitant les exigences inutiles.

### **Les vidéos et informations dynamiques favorisent l’apprentissage**

Les animations peuvent aider les apprenants à comprendre un processus dynamique ou à acquérir des savoir-faire. Mais certains principes de conception doivent être respectés : sinon le risque est que les animations se révèlent trop exigeantes au plan de l’attention ou de la mémoire.

### **Le numérique permet d’évaluer les élèves et d’adapter l’enseignement**

Oui, de façon modeste. On peut proposer des retours relativement sommaires vers les élèves, en fonction de leurs réponses à des questions relativement fermées, dans des domaines qui s’y prêtent. Les retours informatisés et immédiats sont parmi les plus puissants moteurs de l’apprentissage.

### **Le numérique permet de prendre en compte les besoins particuliers des élèves**

Les résultats dans ce domaine sont très encourageants, quelle que soit la stratégie utilisée : compensation, contournement ou rééducation. Il existe relativement peu d’outils, alors que le besoin semble colossal et les apports tout à fait probants.

### **La nouvelle génération sait utiliser efficacement le numérique**

Le mythe des digital natives est peut-être dû à l’idée selon laquelle le numérique est omniprésent. En réalité, ce que la jeune génération, comme les autres, apprend à maîtriser ce sont des outils spécifiques, pour réaliser des tâches spécifiques. Il semble bien qu’en la matière nous n’apprenions rien de la génération précédente.

### **Le numérique, c’est moins cher, mais c’est moins bien**

Le numérique en éducation est souvent faussement gratuit. Mais certains coûts baissent effectivement. L’exemple des simulations en formation professionnelle montre que des solutions peuvent être à la fois plus accessibles et plus efficaces.

### **Le numérique va modifier le statut même des savoirs, des enseignants et des élèves**

Au contraire, le numérique illustre très bien qu’il y a une grande différence entre faciliter l’accès à un support et enseigner. Le numérique représente surtout de nouvelles connaissances et compétences à apprendre.

### **RÉFÉRENCES**

Ackerman, R. & Lauterman, T. (2012). Taking reading comprehension exams on screen or on paper? A metacognitive analysis of learning texts under time pressure. Computers in Human Behavior, **28**, 1816–1828.

Ahmad, K. & Lily, S. (1994). The effectiveness of computer applications: A meta-analysis. Journal of Research on Computing in Education, **27**, 48–61.

Ahn, J. & Jung, Y. (2016). The common sense of dependence on smartphone: A comparison between digital natives and digital immigrants. New Media & Society, **18**, 1236–1256.

Akyel, A. & Ercetin, G. (2009). Hypermedia reading strategies employed by advanced learners of English. System, **37**, 136–152.

Al-Emran, M., Elsherif, H. M. & Shaalan, K. (2016). Investigating attitudes towards the use of mobile learning in higher education. Computers in Human Behavior, **56**, 93–102.

Alvarez, J., Djaouti, D. & Rampnoux, O. (2016). Apprendre avec les serious games ? Canopé.

Amadieu, F. & Salmerón, L. (2014). Concept maps for comprehension and navigation of hypertexts. In: R. Hanewald & J. Ifenthaler (Eds.), Digital Knowledge Maps in Education. Springer : 41–59.

Amadieu, F., Tricot, A. & Rouet, J. F. (2008). Les méthodes on-line 1. Analyse des parcours. In A. Chevalier & A. Tricot, (Eds.) Ergonomie des documents électroniques. PUF : 251–270.

Amadieu, F., Cegarra, J., Salmerón, L., Lemarié, J. & Blat, S. (2012). Effects of constructing concept maps while navigating in hypertext. EARLI SIG 2 - Comprehension of text and graphics - Grenoble, 28–31 August.

Amadieu, F., Lemarié, J. & Tricot, A. (2017). How may multimedia and hypertext documents support deep processing for learning? Psychologie française, **62**, 209–221.

Amadieu, F., Salmerón, L., Cegarra, J., Paubel, P., Lemarié, J. & Chevalier, A. (2015). Learning from concept-mapping and hypertext: An eye tracking study. Educational Technology & Society, **18**(4), 100–112.

Amadieu, F., Tricot, A. & Mariné, C. (2010). Interaction between prior knowledge and concept-map structure on hypertext comprehension, coherence of reading orders and disorientation. Interacting with Computers, **22**, 88–97.

Amiel, A., Tricot, A. & Mariné, C. (2004). Quels facteurs peuvent influencer l'engagement dans une formation à distance ? Étude exploratoire auprès de prescripteurs de formation en milieu industriel. Les Dossiers des Sciences de l'Éducation, **12**, 65–78.

Anderson, J.R., Boyle, C. F., Corbett, A. T. & Lewis, M. W. (1990). Cognitive modeling and intelligent tutoring. Artificial Intelligence, **42**, 7–49.

Ardies, J., De Maeyer, S., Gijbels, D. & van Keulen, H. (2015). Students attitudes towards technology. International Journal of Technology and Design Education, **25**, 43–65.

Arguel, A. & Jamet, E. (2009). Using video and static pictures to improve learning of procedural contents.Computers in Human Behavior, **25**, 354–359.

Ayres, P. & Paas, F. (2007). Can the cognitive load approach make instructional animations more effective? Applied Cognitive Psychology, **21**, 811–820.

Azevedo, R. & Bernard, R. M. (1995). A meta-analysis of the effects of feedback in computer-based instruction. Journal of Educational Computing Research, **13**, 111–127.

Azevedo, R. & Cromley, J. G. (2004). Does training on self-regulated learning facilitate students’ learning with hypermedia? Journal of Educational Psychology, **96**, 523–535.

Azevedo, R., Cromley, J. G. & Seibert, D. (2004). Does adaptive scaffolding facilitate students’ ability to regulate their learning with hypermedia? Contemporary Educational Psychology, **29**, 344–370.

Azevedo, R., Guthrie, J. T. & Seibert, D. (2004). The role of self-regulated learning in fostering students’ conceptual understanding of complex systems with hypermedia. Journal of Educational Computing Research, **30**, 87–111.

Azevedo, R., Moos, D. C., Johnson, A. M. & Chauncey, A. D. (2010). Measuring cognitive and metacognitive regulatory processes during hypermedia learning: Issues and challenges. Educational Psychologist, **45**, 210–223.

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.

Baccino, T. (2004). La Lecture électronique. Presses Universitaires de Grenoble.

Baker, R. S. J. D. & de Carvalho, A. M. J. A. (2008). Labeling students’ off-task behavior in intelligent tutoring systems. In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. ACM: 1059–1068.

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**, 245–263.

Barnard, L., Lan, W. Y., To, Y. M., Paton, V. O. & Lai, S. L. (2009). Measuring self-regulation in online and blended learning environments. The Internet and Higher Education, **12**, 1–6.

Baron-Cohen, S., Golan, O. & Ashwin, E. (2009). Can emotion recognition be taught to children with autism spectrum conditions? Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, **364**, 3567–3574.

Bavelier, D. & Green, C. S. (2016). The brain-boosting power of video games. Scientific American, **315**, 26–31.

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**, 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**, 77–110.

Beishuizen, J. & Steffens, K. (2011). A conceptual framework for research on self-regulated learning. In: R. Carneiro, P. Lefrere, K. Steffens, K. (Eds.), Self-regulated Learning in Technology Enhanced Learning Environments: A European Perspective. Sense Publishers : 3–21.

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.

Bennett, S. & Maton, K. (2010). Beyond the ‘digital natives’ debate: Towards a more nuanced understanding of students’ technology experiences. Journal of Computer Assisted Learning, **26**, 321–331.

Bennett, S., Maton, K. & Kervin, L. (2008). The ‘digital natives’ debate: A critical review of the evidence. British Journal of Educational Technology, **39**, 775–786.

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**, 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**, 379–439.

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, Education and Technology: A Compendium of Theory, Research, Practice and Policy, 1–25.

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**, 87–122.

Berney, S. & Bétrancourt, M. (2016). Does animation enhance learning? A meta-analysis. Computers and Education, **101**, 150–167.

Bétrancourt, M. (2005). The animation and interactivity principles in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge University Press; 287–296.

Bétrancourt, M. & Tversky, B. (2000). Effect of computer animation on users’ performance: A review. Le Travail Humain, **63**, 311–329.

Biard, N., Cojean, S. & Jamet, E. (2018). Effects of segmentation and pacing on procedural learning by video. Computers in Human Behavior, **89**, 411–417.

Binet, A. (1894). Psychologie des grands calculateurs et joueurs d’échecs. Hachette.

Boubée, N. & Tricot, A. (2011). L’Activité informationnelle juvénile. Hermès.

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.

Boucheix, J.-M. & Schneider, E. (2009). Static and animated presentations in learning dynamic mechanical systems. Learning and Instruction, **19**, 112–127.

Boucheix, J., Lowe, R. K., Putri, D. K. & Groff, J. (2013). Cueing animations: Dynamic signaling aids information extraction and comprehension. Learning and Instruction, **25**, 71–84.

Braasch, J. L. G., Rouet, J.-F., Vibert, N. & Britt, M. A. (2012). Readers’ use of source information in comprehension. Memory & Cognition, **40**, 450–465.

Britt, M. A. & Rouet, J.-F. (2012). Learning with multiple documents: Component skills and their acquisition. In: M. J. Lawson & J. R. Kirby (Eds.), The quality of learning: dispositions, instruction, and mental structures. Cambridge University Press.

Broadbent, J. (2017). Comparing online and blended learner’s self-regulated learning strategies and academic performance. Internet and Higher Education, **33**, 24–32.

Brown, A. R. (2012). Computers in music education. Amplifying musicality. Routledge.

Buitrago Flórez, F., Casallas, R., Hernández, M., Reyes, A., Restrepo, S. & Danies, G. (2017). Changing a generation’s way of thinking: Teaching computational thinking through programming. Review of Educational Research, **87**, 834–860.

Casalis, S., Colé, P. & Sopo, D. (2004). Morphological awareness in developmental dyslexia. Annals of dyslexia, **54**, 114–138.

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**, e1313–e1323.

Chevalier-Laurent M., Bressoux P. & Tchouinkine P. (2019). Impact of a digital device on mathematics achievement in primary school: A randomized trial. EARLI Conference, Aachen, August 12–16.

Clariana, R. & Wallace, P. (2002). Paper-based versus computer-based assessment: key factors associated with test mode effect. British Journal of Educational Technology, **33**, 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**, 79–122.

Clark, R.E. & Feldon, D. (2005). Five common but questionable principles of multimedia learning. In: R. E. Mayer (Ed.), Cambridge handbook of multimedia learning. Cambridge University Press: 97–116.

Coiro, J. & Dobler, E. (2007). Exploring the online reading comprehension strategies used by sixth-grade skilled readers to search for and locate information on the Internet. Reading Research Quarterly, **42**, 214–257.

Cojean, S. & Jamet, E. (2017). Facilitating information-seeking activity in instructional videos: The combined effects of micro- and macroscaffolding. Computers in Human Behavior, **74**, 294–302.

Colé, P., Casalis, S. & Dufayard, C. (2012). MORPHONET software. www.orthoedition.com/evaluations/morphon-705.html

Colliot, T. & Jamet, É. (2018). Does self-generating a graphic organizer while reading improve students’ learning? Computers and Education, **126**, 13–22.

Colliot, T. & Jamet, É. (2020). Effects of self-generated graphic organizers on learning depend on in-task guidance. Journal of Computer Assisted Learning. https://doi.org/10.1111/jcal.12434

Cook, D. A., Hamstra, S.J., Brydges, R., Zendejas, B., Szostek, J.H., Wang, A.T. & Hatala, R. (2013). Comparative effectiveness of instructional design features in simulation-based education: systematic review and meta-analysis. Medical teacher, **35**, e867–e898.

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**, 103–115.

Cordier, A. (2017). Grandir connectés : les adolescents et la recherche d'information. C & F.

De Koning, B., Tabbers, H.K., Rikers, R. & Paas, F. (2009). Towards a framework for attention cueing in instructional animations: Guidelines for research and design. Educational Psychology Review, **21**, 113–140.

De Koning, B., Tabbers, H.K., Rikers, R. & Paas, F. (2007). Attention cueing as a means to enhance learning from animation. Applied Cognitive Psychology, **21**, 731–746.

Deal, J.J., Altman, D.G. & Rogelberg, S.G. (2010). Millennials at work: What we know and what we need to do (if anything). Journal of Business and Psychology, **25**, 191–199.

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.

Deluzarche, C. (2019). Les écrans détruisent-ils le cerveau de nos enfants ? futura-sciences.com/sante/actualites/enfant-ecrans-detruisent-ils-cerveau-nos-enfants-44207/

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**, 78–90.

Dessus, P. & Lemaire, B. (2004). Assistance informatique à la correction de copies. In E. Gentaz & P. Dessus (Eds.), Apprentissage et processus cognitifs. Sciences cognitives et éducation. Dunod : 205–220.

Ding, L., Moreno, L. & Brak, T. (2009). Supporting self-regulated learning in computer-based learning environments: Systematic review of effects of scaffolding in the domain of science education. Journal of Computer Assisted Learning, **28**, 557–573.

Dong, C. (2016). Preschool teachers’ perceptions and pedagogical practices: Young children’s use of ICT. Early Child Development and Care, **188**(6), 635–650.

Downes, S. (2007). What connectivism is. www.downes.ca/cgi-bin/page.cgi?post=38653

Ecalle, 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**, 1368–1376.

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**, 250–287.

Eisner, E. (2005). Managing generation Y. SAM Advanced Management Journal, **70**, 4–15.

Erhel, S. & Jamet, E. (2013). Digital game-based learning: Impact of instructions and feedback on motivation and learning effectiveness. Computers & Education, **67**, 156–167.

Eurydice (2019). L’éducation numérique à l’école en Europe. Commission Européenne.

Fernandez, J. & Jamet, E. (2017). Extending the testing effect to self-regulated learning. Metacognition and Learning, **12**, 131–156.

Fiorella, L. & Mayer, R. E. (2016). Eight ways to promote generative learning. Educational Psychology Review, **28**(4), 717–741.

Fitzgerald, E., Adams, A., Ferguson, R., Gaved, M., Mor, Y. & Thomas, R. (2012). Augmented reality and mobile learning: The state of the art. 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**, 219–241.

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**, 958–963.

Frene, N. (2018). Usage d’un robot de téléprésence en tant que technologie inclusive : quels enjeux pour l’enseignement traditionnel ? (Thèse, Lyon 2).

Gabrieli, J.D. (2009). Dyslexia: A new synergy between education and cognitive neuroscience. Science, **325**, 280–283.

Garcia, R., Falkner, K. & Vivian, R. (2018). Systematic literature review: Self-Regulated Learning strategies using e-learning tools for Computer Science. Computers and Education, **123**, 150–163.

Geary, D.C. (2008). An evolutionarily informed education science. Educational Psychologist, **43**, 179–195.

Genovès, S. (2020). Le numérique dans l’enseignement-apprentissage de la géographie. Quels enjeux ? Cnesco.

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**, 207–219.

Gobet, F. (2011). Psychologie du talent et de l’expertise. De Boeck.

Grant, M.C., Hua, A., 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**, 15.

Grant, H. & Dweck, C.S. (2003). Clarifying achievement goals and their impact. Journal of Personality and Social Psychology, **85**, 541–553.

Grugeron-Allys, S. & Grapin, N. (2020). Apport du numérique dans l’enseignement et l’apprentissage des nombres, du calcul et de l’algèbre. Cnesco.

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**, 81–112.

Hays, R.T., Jacobs, J.W., Prince, C. & Salas, E. (1992). Flight simulator training effectiveness: A meta-analysis. Military Psychology, **4**, 63–74.

Helsper, E.J. & Eynon, R. (2010). Digital natives: where is the evidence? British Educational Research Journal, **36**, 503–520.

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**, 359–376.

Höffler, T.N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis.

Höffler, T.N. & Leutner, D. (2011). The role of spatial ability in learning from instructional animations – Evidence for an ability-as-compensator hypothesis. Computers in Human Behavior, **27**, 209–216.

Höffler, T.N. & Schwartz, R. N. (2011). Effects of pacing and cognitive style across dynamic and non-dynamic representations. Computers & Education, **57**, 1716–1726.

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. (2013). Help-seeking intentions and actual help-seeking behavior in interactive learning environments. In: S. Karabenick & M. Puustinen (Eds.), Advances in help-seeking research and applications: the role of emerging technologies. Information Age Publishing: 121.

Ifenthaler, D. & Schweinbenz, V. (2013). The acceptance of Tablet-PCs in classroom instruction: The teachers’ perspectives. Computers in Human Behavior, **29**, 525–534.

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

Kieran, C. (1986). Turns and angles: What develops in Logo? In G. Lappan (Ed.), 8th Annual Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education. Michigan State University.

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**, 389–410.

Kirschner, P.A. & De Bruyckere, P. (2017). The myths of the digital native and the multitasker. Teaching and Teacher Education, **67**, 135–142.

Kizilcec, R.F., Pérez-Sanagustín, M. & Maldonado, J.J. (2017). Self-regulated learning strategies predict learner behavior and goal attainment in Massive Open Online Courses. Computers and Education, **104**, 18–33.

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.

Kolikant, Y.B.D. (2010). Digital natives: Better learners? Students’ beliefs about how the Internet influenced their ability to learn. Computers in Human Behavior, **26**, 1384–1391.

Komis, V. & Misirlis, A. (2010). 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. New Technologies Editions: 277–281.

Kong, Y., Seo, Y.S. & Zhai, L. (2018). Comparison of reading performance on screen and on paper: A meta-analysis. Computers and Education, **123**, 138–149.

Kulick, 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. Erlbaum: 9–34.

Kulik, J.A. & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of intelligent tutoring systems: a meta-analytic review.

Review of Educational Research, **86**, 42–78.

Larsen, D.P., Butler, A.C. & Roediger, H.L. (2013). Comparative effects of test enhanced learning and self-explanation on long-term retention. Medical Education, **47**, 674–682.

Lauterman, T. & Ackerman, R. (2014). Overcoming screen inferiority in learning and calibration. Computers in Human Behavior, **35**, 455–463.

Lehmann, T., Hähnlein, I. & Ifenthaler, D. (2014). Cognitive, metacognitive and motivational perspectives on reflection in self-regulated online learning. Computers in Human Behavior, **32**, 313–323.

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 and Reasoning, **26**, 87–117.

Leu, D.J., McVerry, J.G., O’Byrne, W.I., Zawilinski, L., Castek, J. & Hartman, D.K. (2009). The new literacies of online reading comprehension and the irony of No Child Left Behind: Students who require our assistance the most, actually receive the least. In: L.M. Morrow, R. Rueda & D. Lapp (Eds.), Handbook of research on literacy and diversity. Guilford Press: 173–194.

Liao, Y.K. (1992). Effects of computer-assisted instruction on cognitive outcomes: A meta-analysis. Journal of Educational Computing Research, **7**(3), 251–268.

Lieury, A. (2012). Mémoire et Réussite scolaire. Dunod.

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**, e2.

Lorant-Royer, S., Munch, C., Mescle, 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**, 221–232.

Lowe, R. (2003). Animation and learning: Selective processing of information in dynamic graphics. Learning and Instruction, **13**, 157–176.

Lowe, R. & Boucheix, J.-M. (2011). Cueing complex animations: Does direction of attention foster learning processes? Learning and Instruction, **21**, 650–663.

Ma, W., Adesope, O.O., Nesbit, J.C. & Liu, Q. (2014). Intelligent Tutoring Systems and Learning Outcomes: A Meta-Analysis. Journal of Educational Psychology, **106**, 901–918.

Manuel, D., Freiman, V. & Bourgeois, J. (2012). Richesse des problèmes posés et créativité des solutions soumises dans la Communauté d'apprentissage scientifiques et mathématiques interactifs (CASMI). Education, **7**.

Mason, L., Lowe, R. & Tornatora, M.C. (2013). Self-generated drawings for supporting comprehension of a complex animation. Contemporary Educational Psychology, **38**, 211–224.

Mason, L., Tornatora, M.C. & Pluchino, P. (2013). Do fourth graders integrate text and picture in processing and learning from an illustrated science text? Evidence from eye-movement patterns. Computers and Education, **60**, 95–109.

Mavroudi, A., Giannakos, M. & Krogstie, J. (2017). Supporting adaptive learning pathways through the use of learning analytics: developments, challenges and future opportunities. Interactive Learning Environments, **26**, 206–220.

Mayer, R.E. (2002). Rote versus meaningful learning. Theory into Practice, **41**, 226–232.

Mayer, R.E. (2009). Multimedia principle. In: R.E. Mayer (Ed.), Multimedia Learning. Cambridge University Press: 223–241.

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**, 20–26.

Mayer, R.E. (2019). Computer games in education. Annual Review of Psychology, **70**, 531–549.

Mayer, R.E. & Johnson, C.I. (2010). Adding instructional features that promote learning in a game-like environment. Journal of Educational Computing Research, **42**, 241–265.

Mayer, R.E. & Moreno, R. (2002). Animation as an aid to multimedia learning. Educational Psychology Review, **14**, 87–99.

McCabe, B. (2011). An integrated approach to the use of complementary visual learning tools in an undergraduate microbiology class. Journal of Biological Education, **45**, 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**, 75–104.

McGaghie, W.C., Issenberg, S. B., Cohen, M. E., 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**, 706.

McNamara, D.S., Kintsch, E., Songer, N.B. & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better? Text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. Cognition and Instruction, **14**, 1–43.

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**, 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**, 248–255.

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 and Education, **70**, 29–40.

Meyer, K., Rasch, T. & Schnotz, W. (2010). Effects of animation’s speed of presentation on perceptual processing and learning. Learning and Instruction, **20**, 136–145.

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**, 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**, 417–433.

Montreuil, V., Vanderlinde, R., Courtois, C., Schellens, T. & De Marez, L. (2014). A qualitative study about the implementation of tablet computers in secondary education: The teachers’ role in this process. Procedia – Social and Behavioral Sciences, **112**, 481–488.

Moore, M.S. & MacArthur, C.A. (2016). Student use of automated essay evaluation technology during revision. Journal of Writing Research, **8**, 149–175.

Moos, D.C. & Azevedo, R. (2008). Self-regulated learning with hypermedia: The role of prior domain knowledge. Contemporary Educational Psychology, **33**, 270–298.

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, **17**, 177–213.

Mueller, P.A. & Oppenheimer, D.M. (2014). The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking. Psychological Science, **25**, 1159–1168.

Mutlu, J., Van Deemput, C. & Amadieu, F. (2019). A critical literature review of perceptions of tablets for learning in primary and secondary schools. Educational Psychology Review, **31**(3), 631–662.

Mysirlis, J. & Mutlu, B. (2011). Designing motivational agents: The role of praise, social comparison, and embodiment in computer feedback. Computers in Human Behavior, **27**, 1643–1650.

Mundell, C.W., 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.

Münecke, J. (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. In: Instructional design for multimedia learning, H. Niegemann, R. Brünken & D. Leutner (Eds.), Waxmann.

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.

Ng, H.K., Kalyuga, S. & Sweller, J. (2013). Reducing transience during animation: a cognitive load perspective. Educational Psychology, **33**, 755–772.

Ng, W. (2012). Can we teach digital natives digital literacy? Computers and Education, **59**, 1065–1078.

Ngantcha, M., Janssen, É., Godeau, É. & Spilka, S. (2016). Les pratiques d’écrans chez les collégiens. Agora, **4**, 117–128.

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.

Olson, R.K. (2000). Individual differences in gains from computer assisted remedial reading. Journal of

Experimental Child Psychology, **77**, 197–235.

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**, 49–64.

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**, 195–220.

Pea, R.D. & Kurland, D.M. (1984). On the cognitive effects of learning computer programming. New Ideas in Psychology, **2**, 137–168.

Peterson, M. (2010). Computerized games and simulations in computer-assisted language learning: A meta-analysis of research. Simulation & Gaming, **41**, 72–93.

Pichault, F. & Pleyers, M. (2010). Pour en finir avec la génération Y… Enquête sur une représentation managériale. Actes du XXIe congrès de l’AGRH.

Pilegard, C. & Mayer, R.E. (2018). Game over for Tetris as a platform for cognitive skill training. Contemporary Educational Psychology, **54**, 29–41.

Pintrich, P.R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In: M. Boekaerts, P. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), The Handbook of Self-Regulation: Theory, Research and Applications. Academic Press: 451–502.

Plass, J., Mayer, R.E. & Homer, B. (Eds.). (2020). Handbook of game-based learning. MIT Press.

Ploetzner, R. & Lowe, R. (2012). A systematic characterisation of expository animations. Computers in Human Behavior, **28**, 781–794.

Potocki, A. & Billoet, E. (2020). Incidence du numérique sur l'apprentissage du lire, dire, écrire. Cnesco.

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.

Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants. On the Horizon, **9**, 1–6.

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 and Education, **53**, 1040–1047.

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**, 761–769.

Robins, A. (2017). Learning and teaching programming. In: Encyclopedia of computer science and technology, CRC Press: 551–561.

Robins, A., Rountree, J. & Rountree, N. (2003). Learning and teaching programming: A review and discussion. Computer Science Education, **13**, 137–172.

Roche, L. & Rolland, C. (2019). Enseigner l’EPS avec le numérique : quels dispositifs d’enseignement pour quels apprentissages ? AEEPS.

Roediger, 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. Academic Press, **55**, 1–36.

Romero, M. & Kalmpourtzis, G. (2020). Constructive alignment in game design for learning activities in

Higher Education. Information, **11**(3), 126. https://www.mdpi.com/2078-2489/11/3/126

Romero, M., Lepage, A. & Lille, B. (2017). Computational thinking development through creative programming in higher education. International Journal of Educational Technology in Higher Education, **14**, 42. https://doi.org/10.1186/s41239-017-0080-z

Romero, M., Viéville, T., Duflot-Kremer, M., de Smet, C. & Belhassien, D. (2018). Analyse comparative d’une activité d’apprentissage de la programmation en mode branché et débranché. Educode – Conférence internationale sur l’enseignement au numérique et par le numérique, Aout, Bruxelles.

Rouet, J.-F. (2006). The skills of document use: From text comprehension to web-based learning. Erlbaum.

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**, 307–331.

Roussel, S. (2020). Apports du numérique à l’enseignement-apprentissage des langues. Cnesco.

Royant-Parola, S., Londe, V., Tréhout, S. & Hartley, S. (2018). Nouveaux médias sociaux, nouveaux usages, nouveaux dangers pour les adolescents. L’Encephale, **44**, 321–328.

Russell, M.L., Goldberg, A. & O’Connor, K. (2003). Computer-based testing and validity: A look back into the future. Educational Measurement: Issues, policy & practice, **10**, 279–293.

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

Salmerón, L., Kintsch, W. & Cañas, J.J. (2006). Reading strategies and prior knowledge in learning from hypertext. Memory & Cognition, **34**, 1157–1171.

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

Sensevy, G., Mercier, A. & Schubauer-Leoni, M. L. (2000). Vers un modèle de l’action didactique du professeur en jeux de la course à 20. Recherches en didactique des mathématiques, **20**, 263–304.

Serres, M. (2012). Petite Poucette. Le Pommier.

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

Sidi, Y., Shpigelman, M., Zalmanov, H. & Ackerman, R. (2017). Understanding metacognitive inferiority through exposing cues for depth of processing. Learning and Instruction, **51**, 61–73.

Simard, Y., Gauthier, C. & Richard, M. (2019). L’efficacité de la formation à distance au niveau postsecondaire: une méta-analyse. Revue canadienne de l’enseignement supérieur, **49**, 17–36.

Singer, L.M. & Alexander, P.A. (2017). Reading on Paper and Digitally: What the Past Decades of Empirical Research Reveal. Review of Educational Research, **87**, 1007–1041.

Singh, A.M., Marcus, N. & Ayres, P. (2012). The transient information effect: Investigating the impact of segmentation on spoken and written text. Applied Cognitive Psychology, **26**, 848–853.

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

Skolnik, R. & Puzo, M. (2008). Utilization of laptop computers in the school of business classroom.

Academy of Educational Leadership Journal, **12**, 1–10.

Soury-Lavergne, S. (2020). La géométrie dynamique pour l’apprentissage et l’enseignement des mathématiques. Cnesco.

Spanjers, I.E., van Gog, T., Wouters, P. & van Merriënboer, J.J.G. (2012). Explaining the segmentation effect in learning from animations: The role of pausing and temporal cueing. Computers and Education, **59**, 274–280.

Springer, L., Stanne, M. & Donovan, S. (1999). Effects of small-group learning on undergraduates in science, mathematics, engineering and technology: A meta-analysis. Review of Educational Research, **69**, 21–52.

Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory. Springer.

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**, 4–28.

Tanes, Z. & Cemalcilar, Z. (2010). Learning from SimCity: An empirical study of Turkish adolescents. Journal of Adolescence, **33**, 731–739.

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.

Teo, T. (2013). An initial development and validation of a Digital Natives Assessment Scale (DNAS). Computers & Education, **67**, 51–57.

Teo, T. (2016). Do digital natives differ by computer self-efficacy and experience? An empirical study. Interactive Learning Environments, **24**, 1725–1739.

Teo, T., Kabakci Yurdakul, I. & Ursavas, O.F. (2016). Exploring the digital natives among pre-service teachers in Turkey: A cross-cultural validation of the Digital Native Assessment Scale. Interactive Learning Environments, **24**, 1231–1244.

Tricot, A. (2020). Quelles fonctions pédagogiques bénéficient des apports du numérique ? Cnesco.

Tricot, A., Sahut, G. & Lemarié, J. (2016). Le document: communication et mémoire. De Boeck.

Valentín, A., Mateos, P.M., González Tablas, M.M., Pérez, L., López, E. & Garcia, I. (2013). Motivation and learning strategies in the use of ICTs among university students. Computers and Education, **61**, 52–58.

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**, 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, **52**, 111–121.

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.

Wagner, V. & Acier, D. (2017). Factor structure evaluation of the French version of the digital natives assessment scale. Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, **20**, 195–201.

Wasson, R., Mould, D., Biddle, R. & Martinez, C.S. (2013). A sketching game for art history instruction. In: SBM: 23–32.

Weitz, R. R., Wachsmuth, B. & Mirliss, D. (2006). The tablet PC for faculty: A pilot project. Educational Technology and Society, **9**(2), 8–8.

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.

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**, 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 and Education, **100**, 94–109.

Wing, J. (2006). Computational thinking. Communications of the ACM, **49**, 33–35.

Wong, A., Leahy, W., Marcus, N. & Sweller, J. (2012). Cognitive load theory, the transient information effect and e-learning. Learning and Instruction, **22**, 449–457.

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**, 73–84.

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

Wouters, P., Van Nimwegen, C., Van Oostendorp, H. & Spek, E.D. van der (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. Journal of Educational Psychology, **105**, 249–265.

Yukselturk, E. & Bulut, S. (2007). Predictors for student success in an online course. Educational Technology & Society, **10**, 71–83.

Yusop, F.D., Cheong, L.S., Abdullah, H.S.L., Muhamad, A.S., Tusey, 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.

Zheng, L. (2016). The effectiveness of self-regulated learning scaffolds on academic performance in computer-based learning environments: a meta-analysis. Asia Pacific Education Review, **17**, 187–202.

Zimmerman, B.J. (1990). Self-regulated learning and academic achievement: An overview. Educational Psychologist, **25**, 3–17.

Zimmerman, B.J. & Martinez-Pons, M. (1988). Construct validation of a strategy model of student self-regulated learning. Journal of Educational Psychology, **80**, 284–290.