

Illustrations pédagogiques à l'ère de la réalité augmentée : potentiel et enjeux

Pedagogical illustrations in the era of augmented reality: potential and stakes

Article publié le 15 décembre 2024.

Clémence Rougeot

🔗 <http://preo.ube.fr/textesetcontextes/index.php?id=5092>

Le texte seul, hors citations, est utilisable sous [Licence CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont susceptibles d'être soumis à des autorisations d'usage spécifiques.

Clémence Rougeot, « Illustrations pédagogiques à l'ère de la réalité augmentée : potentiel et enjeux », *Textes et contextes* [], 19-2 | 2024, publié le 15 décembre 2024 et consulté le 14 décembre 2025. Droits d'auteur : Le texte seul, hors citations, est utilisable sous [Licence CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont susceptibles d'être soumis à des autorisations d'usage spécifiques.. URL : <http://preo.ube.fr/textesetcontextes/index.php?id=5092>

La revue *Textes et contextes* autorise et encourage le dépôt de ce pdf dans des archives ouvertes.

PREO

PREO est une plateforme de diffusion [voie diamant](#).

Illustrations pédagogiques à l'ère de la réalité augmentée : potentiel et enjeux

Pedagogical illustrations in the era of augmented reality: potential and stakes

Textes et contextes

Article publié le 15 décembre 2024.

19-2 | 2024

Ionomorphoses : appropriation, éthique et partage - Représentations du monde hispanique actuel dans les séries télévisées

Clémence Rougeot

🔗 <http://preo.ube.fr/textesetcontextes/index.php?id=5092>

Le texte seul, hors citations, est utilisable sous [Licence CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont susceptibles d'être soumis à des autorisations d'usage spécifiques.

-
1. Illustrer pour mieux apprendre
 - 1.1. Le rôle historique des illustrations en situation d'apprentissage
 - 1.2. Les limites des formats traditionnels et les défis des nouveaux formats
 2. Une dimension supplémentaire
 - 2.1. L'apport de la 3D
 - 2.2 La réalité augmentée : une distinction fondamentale
 - 2.3. L'exemple du projet Foxar
 3. Un potentiel à exploiter : réalité augmentée et hétérogénéité des publics
 - 3.1. Apports empiriques
 - 3.2 Comment expliquer ce phénomène ?
 - 3.2.1 Interaction entre le format de l'illustration et les compétences de raisonnement spatial
 - 3.2.2 Le revers de la médaille du niveau d'expertise
 4. Appréhensions liées aux innovations technologiques
- Conclusion
-

1. Illustrer pour mieux apprendre

1.1. Le rôle historique des illustrations en situation d'apprentissage

- 1 Grâce à la recherche en psychologie cognitive, nous avançons dans la connaissance de notre architecture cognitive, notamment en ce qui concerne la manière dont nous recevons et traitons les informations provenant de diverses sources. Entre 1969 et 1971, Allan Paivio a démontré que les textes et les illustrations n'étaient pas traités de la même façon, bien qu'ils soient perçus tous deux par le même sens. Les informations textuelles et imagées sont traitées chacune par un canal distinct, ce qui permet de traiter simultanément deux sources et de construire une trace plus riche en mémoire, une version unifiée grâce à ces deux sources distinctes. En 1988, les travaux de John Sweller sur la charge cognitive préciseront les limites intrinsèques de ces deux systèmes de traitement, principalement en termes de quantité de ressource. Répartir la quantité d'informations sur plusieurs canaux évite une surcharge d'un seul canal et favorise le traitement. L'utilisation d'illustrations en complément d'un texte permet donc de mieux répartir l'effort mental, ce qui est particulièrement important pour les apprentissages où la difficulté de la tâche elle-même mobilise déjà une partie conséquente des ressources cognitives disponibles. Enfin, la théorie de l'intégration de Wolfgang Schnotz (2002) a permis de préciser l'apport des illustrations pour l'apprentissage. Non seulement l'utilisation d'illustrations permet d'enrichir la trace mnésique résultante et de répartir les charges sur deux canaux distincts, mais elle jouerait un rôle actif dans l'intégration des informations textuelles. Les allers-retours attentionnels effectués par l'apprenant entre les deux sources permettent d'organiser les informations comme un tout unifié et non seulement comme deux sources différentes. La trace mnésique, autrement dit l'apprentissage qui en résulte, est alors un modèle unifié du texte et de l'illustration qui lui correspond. Russel Carney et Joel Levin ont proposé en 2002 une catégorisation des illustrations utilisées dans un contexte pédagogique, selon cinq finalités. Les *illustrations décoratives* ont un rôle d'embellissement, elles peuvent rendre attrayant un contenu mais leur plus-

value pédagogique est faible (e.g., un dessin de fusée intégré à une activité sur le Système solaire). Les *illustrations représentatives* sont une représentation plus ou moins réaliste du concept à comprendre (e.g., un plan en coupe d'un cœur) et elles facilitent la mémorisation et la compréhension. Les *illustrations organisationnelles* aident à structurer l'information (e.g. flèches signifiant une interaction). Les *illustrations explicatives* surpassent la simple représentation car elles mettent en saillance les éléments importants, donnent à voir les étapes d'un processus ou les relations entre des éléments. Enfin les *illustrations d'interprétation* apportent une aide supplémentaire, par exemple en fournissant une analogie visuelle (e.g., illustration matérialisant les nombres au moyen de billes dans un manuel de mathématiques). Les illustrations décoratives ont pendant longtemps représenté la majorité des illustrations présentes dans les manuels scolaires, malgré leur pertinence limitée pour l'apprentissage (Gyselinck, 1996). La tendance tend à s'inverser progressivement grâce aux avancées significatives apportées par la psychopédagogie.

1.2. Les limites des formats traditionnels et les défis des nouveaux formats

- 2 L'objectif visé par l'illustration doit donc être considéré lors de sa conception, particulièrement lorsqu'il s'agit des nouvelles formes d'illustrations que permettent désormais les nouvelles technologies comme la réalité virtuelle et augmentée (RV, RA). Depuis quelques années, des formats enrichis comme des animations et des vidéos sont utilisés couramment pour transmettre des notions aux apprenants. Ces formats impliquent des précautions particulières compte tenu de leur utilisabilité, de leur efficacité, et des défis techniques qu'elles représentent encore pour le système cognitif des apprenants. La plus-value de cette forme d'illustration peut donc varier en fonction de la qualité de cette dernière, mais aussi du domaine étudié et des compétences de l'apprenant. Les apprenants novices tireraient davantage profit des illustrations car ils ne possèdent aucun modèle mental pré-défini de la notion (Paas et al., 2003). A l'inverse, pour les apprenants initiés ou experts dans le domaine étudié, l'exposition à une nouvelle forme de représentation peut entrer en conflit avec un modèle mental existant, venant alors le fragiliser voire le déconstruire, augmen-

tant la difficulté ressentie (Kalyuga, 2007). Les compétences individuelles de raisonnement spatial peuvent également jouer un rôle important. Pour tirer profit d'une illustration, il faut être capable de traiter les informations qu'elle contient, être en mesure de sélectionner au niveau attentionnel les éléments pertinents pour les associer afin de construire un modèle cohérent à partir de ces derniers (Johnson-Laird, 1980). Un modèle mental ne serait alors pas analogue à une photocopie mentale de l'image, mais serait une représentation singulière élaborée par l'apprenant.

Un modèle mental est une représentation cognitive interne de la réalité externe qui permet aux individus de comprendre et de prédire leur environnement. Ces modèles sont construits à partir de l'expérience et de la perception, et sont utilisés pour simuler les interactions et les événements du monde réel. (Johnson-Laird, 1980)

- 3 Ainsi, une illustration classique en deux dimensions, comme celles des manuels scolaires, exige un effort important de *génération mentale* pour construire un modèle mental élaboré, en particulier lorsque l'apprentissage porte sur un mouvement ou une structure en trois dimensions. Par exemple, un schéma de la structure d'un atome ne permet pas de saisir d'emblée la structure dans l'espace d'un atome, de l'organisation dynamique des électrons et de leurs mouvements. L'apprenant doit inférer ces éléments manquants. La marge d'erreurs, d'imprécisions et d'incohérences potentielles lors de cette génération est conséquente. Le modèle mental ainsi élaboré peut se révéler fragile ou inexact. Si la suite de l'apprentissage repose sur ce modèle, les répercussions peuvent être importantes et des lacunes pourront apparaître. L'enjeu d'un modèle mental cohérent et fiable est fondamental pour l'apprentissage. Une question essentielle se pose à la lumière de ces constatations : Comment dépasser ces limites afin d'assurer à chaque élève la construction de représentations plus fidèles aux objets d'apprentissage ?

2. Une dimension supplémentaire

2.1. L'apport de la 3D

- 4 Il a été établi par le biais de nombreuses études que les représentations plus réalistes et riches en trois dimensions peuvent faciliter la construction du modèle mental (Wu, Krajcik, et Soloway, 2001 ; Barak, 2007, Barak et Dori, 2005 ; Urhahne et al., 2009). Une des raisons à cela réside dans la possibilité qu'offrent ces formats d'accéder de manière directe à la complexité du concept, permettant l'observation de ses différentes caractéristiques de manière spatialisée, limitant ainsi la marge d'erreur possible car l'apprenant n'a que peu d'inférences à réaliser. L'observation attentive de ce type de modèles contribue directement à la mémorisation de ce dernier. Des études ont en effet mis en évidence le lien direct entre l'activité du regard sur le modèle 3D et la qualité du modèle mental qui en résultera (e.g. Cheng, Hsiao et She, 2015). Les modèles 3D offrent ainsi la possibilité de conceptualiser de manière plus fidèle, dépassant dès lors les écueils du format 2D. Toutefois, certaines caractéristiques ne peuvent être données à voir, même avec un modèle 3D. Les échelles de tailles ou de distances par exemple, ne peuvent être appréhendées lorsque le cadre est limité (un écran, une feuille, etc.) tout comme la taille réelle d'un objet ou son volume dans l'espace.

2.2 La réalité augmentée : une distinction fondamentale

- 5 Bien que sa démocratisation soit récente, le premier prototype de réalité augmentée a vu le jour en 1968. Le terme de « réalité augmentée » englobe une multitude de formats, dont les caractéristiques communes sont la combinaison du réel avec le virtuel, l'interactivité en temps réel, le registre en 3D (Azuma, 1997). On peut ainsi visualiser les objets virtuels grâce à des lunettes spécifiques ou un écran.
- 6 La réalité augmentée se distingue de la réalité virtuelle par une différence essentielle : elle n'isole pas l'utilisateur du monde extérieur, en laissant apparaître l'environnement au travers du dispositif, là où la réalité virtuelle en crée un nouveau. Dans un contexte scolaire, cette distinction est primordiale, car les interactions sociales sont alors permises. Les élèves peuvent collaborer autour d'un même objet et échanger avec leur enseignant. En n'isolant pas l'utilisateur dans un

casque le coupant de toute réalité, la réalité augmentée permet à chacun de se déplacer avec plus de sécurité et de confort. L'engagement est lui aussi accru car les craintes liées à la présence d'objets dans l'environnement, qui peuvent entraver l'exploration en réalité virtuelle, disparaissent. Il devient également possible de spatialiser l'information, de la superposer avec un modèle réel pour y ajouter des informations (e.g., faire apparaître des légendes à une œuvre d'art). De multiples bénéfices en émergent, spécifiquement dans le domaine pédagogique, comme l'ont montré les 10 dernières années de recherche en psychologie des apprentissages (Chang et al., 2022). La technologie semble avoir un effet positif sur la progression en termes résultats bruts (Garzón et Acevedo, 2019; Garzón et al., 2019, 2020) et agirait de surcroît sur d'autres aspects comme la motivation, l'engagement ou la collaboration entre les élèves (Akçayir et Akçayir, 2017).

2.3. L'exemple du projet Foxar

- 7 Le projet Foxar a vu le jour en 2018, émanant de la volonté de rendre plus accessible les notions complexes du programme scolaire. Né de l'intuition d'ingénieurs spécialisés dans les technologies immersives, le projet Foxar a pour ambition la création d'une encyclopédie virtuelle composée de maquettes pédagogiques. Si l'on apprend naturellement en observant et en manipulant, l'observation directe ne permet toujours pas la compréhension d'un phénomène trop complexe ou infiniment grand, comme c'est le cas du système solaire par exemple. Des représentations schématisées qu'on appelle des « modèles » sont alors créées. Une définition de ces modèles est proposée par Drouin en 1988 et explicitée de la manière suivante dans son article « Le modèle en questions » :

On peut retenir quelques traits minima jugés nécessaires pour la pertinence du concept, le modèle est 'quelque chose' (objet concret, représentation imagée, système d'équations...) qui se substitue au réel trop complexe, ou inaccessible à l'expérience, et qui permet de comprendre ce réel par un intermédiaire plus connu ou plus accessible à la connaissance ; mais ce substitut a parfois pour fonction, non pas d'expliquer un processus, mais d'en calculer les variations de faire des « prévisions » alors même que le réel étudié garde son statut de 'boîte noire'.

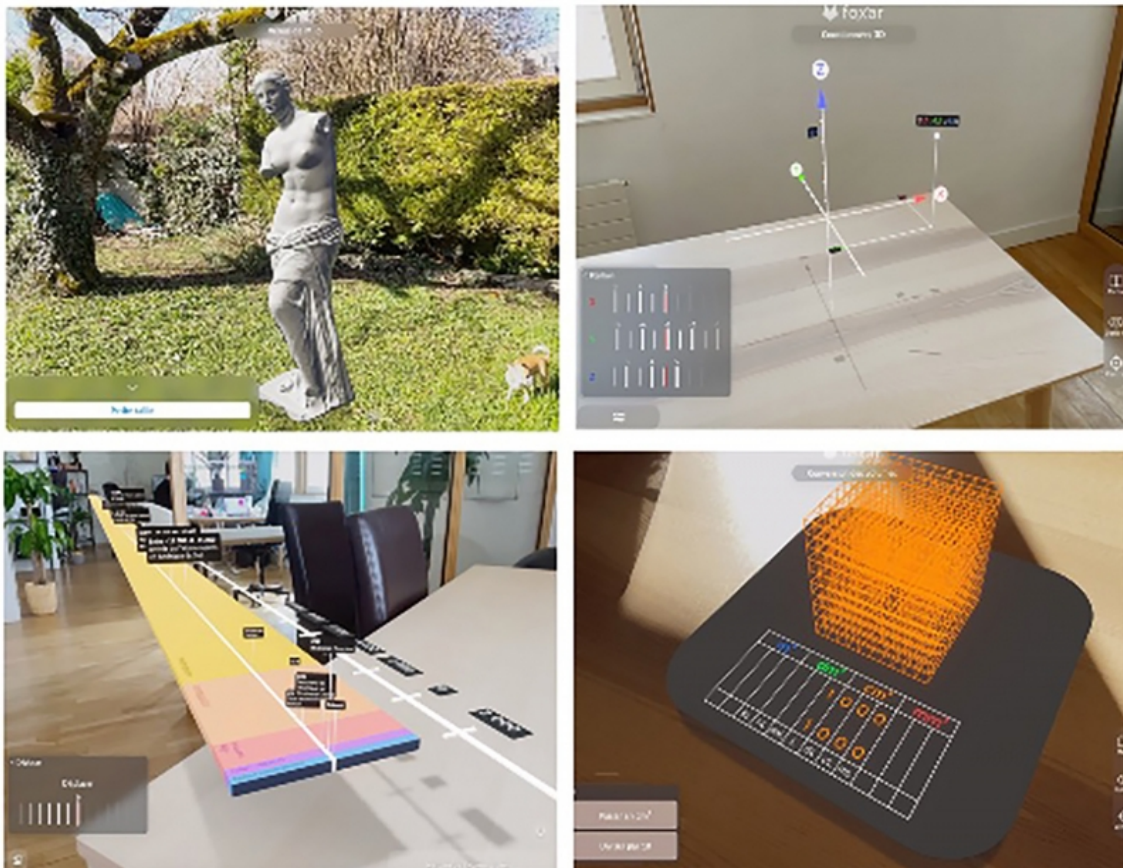
- 8 Bien que ces types de supports physiques soient très efficaces, les modèles, que l'on peut ici appeler « maquettes » lorsqu'ils sont éducatifs, ne sont pas toujours aisés à l'usage en contexte scolaire, en dépit de leur efficacité pédagogique, au regard de leur coût de fabrication ou encore de leur temps d'installation. Une version virtuelle permettrait de dépasser ces limites. L'encyclopédie développée dans le cadre du projet Foxar porte sur des concepts issus du programme scolaire avec des maquettes virtuelles touchant aux mathématiques, géométrie, physique-chimie, sciences et techniques, etc. ainsi que des notions générales en sciences de la vie, en astronomie, en art. Chaque maquette permet un ancrage dans l'environnement réel et une interaction avec l'objet. On peut alors adopter plusieurs points de vue sur un objet, modifier des paramètres pour observer les effets produits sur ce dernier, ce qui aide à la compréhension. Il devient possible de visualiser un volume dans l'espace, de placer un point sur un repère en 3 dimensions (figure 4) de faire apparaître à l'échelle la frise chronologique de l'histoire de l'humanité (figure 5), une œuvre en taille réelle (figure 3) ou un concept mathématique (figure 6). L'encyclopédie est conçue en itération avec des enseignants et testées au cours d'expérimentations. Ces sessions de tests permettent d'améliorer chaque paramètre et de tester l'efficacité pédagogique de l'outil, dans une perspective de progression scolaire et de réduction de la charge cognitive ressentie.

Figure 1 : Vénus de Milo en taille réelle.

Figure 2 : coordonnées en 3 dimensions.

Figure 3 : frise chronologique à l'échelle.

Figure 4 : tableau de conversion des volumes en taille réelle.



Crédits : Foxar.

3. Un potentiel à exploiter : réalité augmentée et hétérogénéité des publics

3.1. Apports empiriques

- 9 Plusieurs méta-analyses récentes ont exploré l'effet global des outils mobilisant la réalité augmentée sur les performances d'apprentissage en synthétisant les résultats d'expériences menées sur l'utilisation de ces outils. Ces méta-analyses ont révélé un effet significatif moyen de

la réalité augmentée sur l'apprentissage (e.g. Garzón, Pavón, Baldiris, 2019 ; Li et al., 2021), voire un effet fort (Chang et al., 2022). Les limites de cet effet doivent toutefois être précisées car il pourra être modulé selon le type contenu, le type d'apprentissage, les caractéristiques de la technologie utilisée. Il existe pourtant un consensus grandissant quant à l'apport de cette innovation. Il est intéressant désormais d'explorer plus précisément les raisons de cet avantage. L'analyse approfondie de Chang et al., (2022) a examiné les effets de la technologie sur des activités dont la durée variait de deux minutes à un semestre, révélant une corrélation positive entre la durée de l'intervention et les résultats obtenus. Les résultats ont révélé un lien de corrélation entre la durée de l'intervention et son impact positif. Ces constatations remettent en question l'hypothèse selon laquelle l'efficacité de la réalité augmentée ne serait attribuable qu'à la motivation accrue qu'elle provoque chez les élèves, résultant elle-même de l'effet nouveauté. Théorisé dans les années 1930 par Elton Mayo, psychologue et sociologue australien, l'effet de nouveauté, ou effet Hawthorne a été découvert après qu'un changement minime avait été opéré dans une chaîne de production industrielle, augmentant temporairement la productivité des employés. Ainsi, chaque changement dans notre quotidien provoquerait un pic motivationnel transitoire, disparaissant lorsque l'habitude s'installe de manière durable. Lorsqu'il s'agit de tester des nouveautés pédagogiques, cet effet doit être pris en compte. Des études longitudinales permettent d'étudier l'impact réel une fois cet effet temporaire dépassé. Au cours d'une étude de 2017 menée à Helsinki (Salmi, Thuneberg et Vainikainen), 146 élèves âgés de 11 à 13 ans ont pris part à une tâche d'apprentissage portant sur l'effet Doppler en utilisant un dispositif de réalité augmentée ou non. Le niveau initial des élèves a été mesuré afin de réaliser 3 groupes de niveaux, selon qu'ils se situent sous la moyenne de la classe (25% des élèves), au niveau de la moyenne de la classe (50% des élèves) ou au-dessus de la moyenne de la classe (25% des élèves). Les performances d'apprentissage ont été mesurées grâce à une méthode de pré-test et post-test. L'utilisation de la réalité augmentée a été bénéfique pour tous, particulièrement pour les élèves dont les performances initiales étaient inférieures à la moyenne de leur classe, pour qui la progression a été significativement plus importante. Un autre exemple empirique de ce phénomène a été observé dans une étude menée au Mexique en 2020 (Ibáñez et al.). Une application permettant de

s'exercer à la géométrie en réalité augmentée ainsi que son homologue sans réalité augmentée ont été utilisés par 93 élèves issus d'une école privée et d'une école publique, où les inégalités sociales sont très marquées dans ce pays. Le niveau scolaire moyen des élèves issus d'une école privée est alors plus élevé. Au cours de cette expérience, les performances en pré-test ainsi qu'en post-test ont été mesurées. La progression observée chez les élèves de l'école privée est la même quelle que soit le support, alors que la progression observée chez les élèves issus de l'école publique est nettement plus marquée pour les participants ayant utilisé le dispositif de réalité augmentée que pour les participants du groupe contrôle. Il semblerait que le niveau initial, ici aussi, joue un rôle déterminant dans la plus-value d'un outil innovant. Un format traditionnel pourrait avantager les élèves déjà compétents, laissant les élèves moins à l'aise plus démunis face à un format limité dont ils ne parviendraient pas à tirer entièrement bénéfice. Un format enrichi comme la réalité augmentée leur offrirait une opportunité de compréhension plus directe et plus intuitive, contribuant ainsi à prévenir des lacunes et l'accentuation des disparités entre les élèves au fil de leur scolarité.

3.2 Comment expliquer ce phénomène ?

3.2.1 Interaction entre le format de l'illustration et les compétences de raisonnement spatial

- 10 La capacité de raisonnement spatial, aussi appelée aptitude spatiale ou habileté spatiale, est un ensemble de sous-aptitudes cognitives regroupant l'orientation dans l'espace, la manipulation mentale, ou encore la capacité à construire et maintenir en mémoire une représentation mentale d'un concept visuel, de telle sorte qu'un modèle mental est construit (Carroll, 1993 ; Höffler, 2010). Ce modèle est alors mobilisable pour être manipulé mentalement. Cette compétence joue un rôle essentiel dans la majorité des situations d'apprentissage. La réussite dans les domaines liés aux mathématiques par exemple dépend essentiellement des compétences spatiales d'un élève (Sarama et Clements, 2009). Une des sous-dimensions de cette compétence – la capacité à générer une représentation mentale – est une étape in-

dispensable dans la construction d'un modèle mental mobilisable, nécessaire à la poursuite des apprentissages (Clements, 2016). Pourtant, les élèves sont loin d'être égaux face à cette compétence (Hegarty et Waller, 2005). Les conséquences de ces inégalités deviennent de plus en plus prégnantes au fur et à mesure de des apprentissages, en particulier lorsqu'un nouveau format de présentation est intégré car ce dernier peut être animé ou interactif et représenter un défi important pour les apprenants en difficulté (Hegarty, 2004a). A l'opposé, un format trop restreint car statique, dépourvu de couleurs et interactions, peut s'avérer difficile à appréhender pour ces élèves, qui n'en tireront pas davantage profit (Höffler et Leutner, 2007). L'idée selon laquelle un niveau suffisant de compétences spatiales est nécessaire pour traiter des formats animés, interactifs est théorisée sous le terme « *habiletés amplificatrices* » (Huk, 2006 ; Mayer et Sims, 1994 ; Plaas et al., 2003). Ainsi, conformément à cette hypothèse, seuls les élèves dont les compétences spatiales sont assez développées pourront apprendre efficacement avec des formats comme les animations, la réalité virtuelle ou la réalité augmentée. Selon l'hypothèse opposée, le niveau de compétences spatiales compenserait un format moins riche. L'hypothèse des « *habiletés compensatrices* » proposée par Mayer et Sims (1994) suggère qu'à l'inverse, les formats de présentation les plus complets comme les animations, aideraient les apprenants à construire des modèles mentaux plus fidèles à la notion. Proposer d'emblée une représentation complète, agirait comme une « *prothèse cognitive* » (Hegarty et Kriz, 2008) minimisant le risque d'erreurs et d'imprécisions lorsque l'élève construit sa représentation mentale. Par conséquent, cette hypothèse autorise à penser que des formats riches comme les animations, la réalité virtuelle et la réalité augmentée pourraient au contraire aider tous les élèves, particulièrement ceux dont le niveau initial de raisonnement spatial est bas. Les résultats des expériences précédentes, montrant que les élèves ayant un niveau initial inférieur ont davantage profité de la réalité augmentée que du format traditionnel, peuvent être interprétés à la lumière de cette hypothèse. Toutefois, certaines études ont pu montrer l'effet inverse, apportant des éléments empiriques en faveur de l'hypothèse des habiletés comme amplificatrices (e.g. Krüger, Palzer, et Bodemer, 2022). Davantage d'expérimentations doivent être réalisées pour préciser les conditions d'efficacité de ces nouveaux formats en interaction avec les compétences initiales de raisonnement spatial.

3.2.2 Le revers de la médaille du niveau d'expertise

- 11 Ces nouvelles formes d'illustrations particulièrement riches, comme nous l'avons vu, peuvent être d'autant plus efficaces pour les élèves dont le niveau de raisonnement spatial est moins développé. Mais le niveau de connaissances préalables que possède un apprenant face à la notion qui lui est présentée peut jouer un rôle crucial lui aussi. L'apprenant « expert » d'une notion possède déjà un ensemble de modèles mentaux, une représentation établie et stable d'une notion, et se trouve désavantagé lorsqu'il est confronté à une nouvelle représentation complexe de cette même notion. Cette confrontation, dont ne souffrent pas les élèves novices, entraîne un conflit entre les deux représentations qui amène parfois à l'altération ou la déconstruction de la représentation mentale pourtant précédemment acquise. C'est ce que Kalyuga, Ayres, Chandler et Sweller ont appelé en 2003 « *l'effet revers de l'expertise* » ou '*expertise reversal effect*'. Dans une expérience princeps en 1998, les auteurs ont comparé deux formats de présentation d'une leçon portant sur les circuits électriques. L'un des formats était composé de simples diagrammes tandis que le second présentait ces mêmes diagrammes accompagnés d'explications textuelles. On pourrait supposer que le second format conduirait à des meilleures performances d'apprentissage pour tous les apprenants. Or, les auteurs ont montré que seuls les apprenants novices ont pu tirer profit du format intégré textes-diagrammes. Ils n'ont pas pu exploiter le format ne contenant que les diagrammes et n'ont donc pas progressé. Inversement, les apprenants considérés comme experts n'ont su tirer profit que du format le plus limité, ne contenant que les diagrammes. Les textes présents dans le format textes-diagrammes ont pu provoquer un effet de redondance avec leurs connaissances établies. Comme l'ont rapporté les apprenants, l'effort cognitif qu'ils ont éprouvé était plus important pour cette condition, ce qui souligne la difficulté qu'ils ont ressentie. Cet effet très robuste a été observé à travers de nombreuses répliques de cette expérimentation, manipulant des paramètres différents, par exemple avec l'ajout d'une narration (Kalyuga et al., 2000) ou d'une interactivité (Pollock, Chandler et Sweller, 2002). En ce qui concerne les formats interactifs et complexes comme ceux que permet la technologie de réalité aug-

mentée, cet effet doit être pris en compte pour éviter un éventuel effet contre-productif lors de l'utilisation de ce format en milieu scolaire. Son intégration doit donc se faire avec une certaine prudence. Il semblerait que ce format représente un potentiel intéressant pour des activités introductives, particulièrement à l'égard d'élèves débutants ou en difficulté.

4. Appréhensions liées aux innovations technologiques

- 12 En dépit du potentiel qu'elles représentent, certaines innovations tardent à se démocratiser. Au-delà de leur coût, les difficultés techniques de prise en main peuvent expliquer en partie ce constat. Adopter une technologie implique d'acquérir les compétences d'utilisation pour en exploiter son potentiel. Cette phase d'apprentissage pourrait décourager une partie des potentiels utilisateurs. L'acceptation sociale joue aussi un rôle important dans l'adoption de ces technologies. Cette acceptation est entravée par des craintes, des cycles récurrents de réticences et appréhensions qui accompagnent ces innovations. Chaque innovation comporte un lot d'incertitudes, qui entraîne une peur voire une diabolisation de cette nouveauté. En 2020, Amy Orben a théorisé ce phénomène sous le terme de « Sisyphean Cycle of Technology Panics ». Déjà au XVIII^e siècle, avec la démocratisation des romans et de la lecture, était véhiculée la crainte d'une addiction à la lecture, qui selon les croyances populaires aurait été la cause de comportements immoraux et de prises de risques chez les jeunes (Furedi, 2015). Comme le souligne l'auteur, cette crainte est réapparue dans les années 40 tandis qu'un nombre grandissant de foyers américains se dotaient d'une radio, comme le souligne cet extrait cité dans les travaux de Amy Orben.

Here is a device, whose voice is everywhere [...] We may question the quality of its offering for our children, we may approve or deplore its entertainments and enchantments; but we are powerless to shut it out [...] it comes into our very homes and captures our children before our very eyes.

- 13 Si ce cycle répétitif peut s'observer sur plusieurs décennies, il a aujourd'hui un impact conséquent sur les recherches qui sont menées, car les débats médiatiques autour des implications éthiques et des potentiels abus liés à ces technologies peuvent amplifier les préoccupations. Une grande partie de ces recherches sont alors centrées sur cette hypothèse née des craintes de la population quant aux effets néfastes d'une innovation, ce qui ralentit la recherche menée dans un but d'amélioration et d'adaptation de ces technologies. Aux antipodes de cette crainte, il est souvent improductif de considérer qu'une technologie innovante représente une plus-value systématique pour un domaine, simplement car elle offre de nombreuses applications à ce domaine. Ce biais de raisonnement appelé « solutionnisme technologique » (Morozov, 2014) est parfois une conséquence de l'effet nouveauté. Lorsqu'il s'agit des nouvelles technologies tout particulièrement, l'engouement se généralise à grande échelle, ce qui engendre parfois des dépenses importantes pour acquérir un matériel dont la pertinence n'a pas encore fait l'objet de tests systématiques. Bien que les pratiques adaptées à cette technologie se développent, le TNI (Tableau Numérique Interactif) a longtemps été un exemple caractéristique de ce phénomène (Kazadi, 2015). Un des enjeux les plus cruciaux pour les chercheurs, les enseignants et les concepteurs consiste à trouver l'équilibre entre réticences sociétales envers les technologies et « solutionnisme technologique » afin de promouvoir le progrès technologique dans un souci de pertinence et d'efficacité.

Conclusion

- 14 Les nouvelles possibilités de visualisation qu'offre la réalité augmentée sont indéniables. Elle a le pouvoir de modifier les représentations en transcendant les formats classiques, en donnant à voir des dimensions jusqu'alors invisibles. D'autres avantages émergent au fil des avancées technologiques et scientifiques. Outre les nouvelles dimensions qui sont données à voir, des avantages pédagogiques se dessinent peu à peu, comme l'accroissement de la motivation ou la réduction des disparités de performances dues aux inégalités de niveau entre les élèves. Au-delà du contexte scolaire, la réalité augmentée a le potentiel de transformer notre quotidien en superposant en continu des objets virtuels à notre environnement réel. Toutefois, les freins à la généralisation de cette technologie sont encore nombreux.

Les freins majoritaires sont la crainte vis-à-vis de la technologie, leur coût et les écueils ergonomiques encore trop nombreux. Les sciences humaines sociales doivent s'emparer de cette problématique pour étudier la manière dont cette innovation impacte la cognition, les comportements humains, et les répercussions afin que les développements réalisés soient éclairés par des théories solides. Ainsi, les développements ne seront pas réalisés uniquement sur la base de possibilités techniques, sur le modèle d'une « approche centrée technique » encore majoritaire aujourd'hui, mais sur la base de l'impact que cette technologie aura sur la cognition. Cette approche, « approche centrée apprenant », considère que l'on doit renverser la tendance dominante, en se basant sur la manière dont on peut mettre la technologie au service de l'humain (Norman, 1993). Son intégration en serait alors plus éthique et respectueuse des limites de la cognition.

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>

Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>

Barak, M. (2007). Transition from traditional to ICT-enhanced learning environments in undergraduate chemistry courses. *Computers & Education*, 48(1), 30-43. <https://doi.org/10.1016/j.comp.edu.2004.11.004>

Barak, M., & Dori, Y. J. (2005). Enhancing undergraduate students' chemistry understanding through project-based learning in an IT environment. *Science Education*, 89(1), 117-139. <https://doi.org/10.1002/sce.20027>

Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73-272. <https://doi.org/10.1561/11000000049>

Carney, R. N., & Levin, J. R. (2002). [No title found]. *Educational Psychology Review*, 14(1), 5-26. <https://doi.org/10.1023/A:1013176309260>

Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. Cambridge University Press.

Chang, H.-Y., Binali, T., Liang, J.-C., Chiou, G.-L., Cheng, K.-H., Lee, S. W.-Y., & Tsai, C.-C. (2022). Ten years of augmented reality in education: A meta-analysis of (quasi-) experimental studies to investigate the impact. *Computers & Education*, 191, 104641. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104641>

Cheng, M.-T., Lin, Y.-W., & She, H.-C. (2015). Learning through playing Virtual Age: Exploring the interactions among

student concept learning, gaming performance, in-game behaviors, and the use of in-game characters. *Computers & Education*, 86, 18-29. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.03.007>

Clements, D. H., & Sarama, J. (2016). Math, Science, and Technology in the Early Grades. *The Future of Children*, 26(2), 75-94. JSTOR. <http://www.jstor.org/stable/43940582>

Dennis, P. M. (1998). Chills and thrills: Does radio harm our children? The controversy over program violence during the age of radio. *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, 34(1), 33-50.

Drouin, A.-M. (1988). Le modèle en questions. *Aster*, 7(1), 1-20. <https://doi.org/10.4267/2042/9214>

Furedi, F. (2015). The media's first moral panic. *History Today*, 65(11), 46-48.

Garzón, J., & Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of Augmented Reality on students' learning gains. *Educational Research Review*, 27, 244-260.

Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31, 100334. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334>

Gyselinck, V. (1996). Illustrations et modèles mentaux dans la compréhension de textes. *L'année psychologique*, 96(3), 495-516. <https://doi.org/10.3406/psy.1996.28911>

Hegarty, M. (2004). Dynamic visualizations and learning: Getting to the diffi-

cult questions. *Learning and Instruction*, 14(3), 343-351.

Hegarty, M., & Kriz, S. (2008). Effects of knowledge and spatial ability on learning from animation. *Learning with animation: Research implications for design*, 3-29.

Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32(2), 175-191.

Höffler, T. N. (2010). Spatial Ability: Its Influence on Learning with Visualizations—a Meta-Analytic Review. *Educational Psychology Review*, 22(3), 245-269. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9126-7>

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

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(1), 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.07.042>

Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of computer assisted learning*, 22(6), 392-404.

Ibáñez, M. B., Uriarte Portillo, A., Zata-rain Cabada, R., & Barrón, M. L. (2020). Impact of augmented reality technology on academic achievement and motivation of students from public and private Mexican schools. A case study in a middle-school geometry course. *Computers & Education*, 145, 103734. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103734>

- Ibáñez, M.-B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental Models in Cognitive Science. *Cognitive Science*, 4(1), 71-115. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0401_4
- Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational psychology review*, 19, 509-539.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The Expertise Reversal Effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23-31. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_4
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2000). Incorporating learner experience into the design of multimedia instruction. *Journal of Educational Psychology*, 92(1), 126-136. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.92.1.126>
- Kazadi, C. (2015). Le tableau numérique interactif (TNI). *Le tableau numérique interactif: Quand chercheurs et praticiens s'unissent pour dégager des pistes d'action*.
- Krüger, J. M., Palzer, K., & Bodemer, D. (2022). Learning with augmented reality: Impact of dimensionality and spatial abilities. *Computers and Education Open*, 3, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100065>
- Li, F., Wang, X., He, X., Cheng, L., & Wang, Y. (2021). How augmented reality affected academic achievement in K-12 education – a meta-analysis and thematic-analysis. *Interactive Learning Environments*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.2012810>
- Mayer, R. E., & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of educational psychology*, 86(3), 389.
- Mayo, E. (2004). *The human problems of an industrial civilization*. Routledge.
- Morozov, E. (2014). *Pour tout résoudre, cliquez ici: L'aberration du solutionnisme technologique*. Fyp éditions.
- Norman, D. (1993). *Things that make us smart: Defending human attributes in the age of the machine*. Addison-Wesley. Reading.
- Orben, A. (2020). The Sisyphean Cycle of Technology Panics. *Perspectives on Psychological Science*, 15(5), 1143-1157. <https://doi.org/10.1177/1745691620919372>
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8
- Paivio, A. (1991). Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology / Revue Canadienne de Psychologie*, 45(3), 255-287. <https://doi.org/10.1037/h0084295>
- Plass, J. L., Chun, D. M., Mayer, R. E., & Leutner, D. (2003). Cognitive load in reading a foreign language text with multimedia aids and the influence of verbal and spatial abilities. *Computers in Human Behavior*, 19(2), 221-243.
- Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12(1),

61-86. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00016-0)

Salmi, H., Thuneberg, H., & Vainikainen, M.-P. (2017). Making the invisible observable by Augmented Reality in informal science education context. *International Journal of Science Education, Part B*, 7(3), 253-268. <https://doi.org/10.1080/21548455.2016.1254358>

Sarama, J., & Clements, D. H. (2009). *Early childhood mathematics education research: Learning trajectories for young children*. Routledge.

Schnotz, W. (2002). [No title found]. *Educational Psychology Review*, 14(1),

101-120. <https://doi.org/10.1023/A:1013136727916>

Urhahne, D., Nick, S., & Schanze, S. (2009). The Effect of Three-Dimensional Simulations on the Understanding of Chemical Structures and Their Properties. *Research in Science Education*, 39(4), 495-513. <https://doi.org/10.1007/s11165-008-9091-z>

Wu, H.-K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821-842. <https://doi.org/10.1002/tea.1033>

Français

Cet article propose un aperçu des opportunités qu'offre la technologie de réalité augmentée dans une perspective essentiellement pédagogique, ainsi que de sa capacité à offrir à nos sens de nouvelles dimensions du réel jusqu'alors impossibles à représenter dans un format classique, 2D ou 3D. Après une introduction relative au rôle des illustrations pour soutenir les apprentissages, l'aspect disruptif de la réalité augmentée sera évoqué. Le potentiel de cette technologie pour accroître la motivation et lisser les disparités de réussite entre les élèves sera évoqué, au regard de deux théories explicatives. Le projet Foxar est abordé comme exemple d'application concrète des données issues de la recherche en psychologie cognitive des apprentissages. Nous aborderons la question du rythme de démocratisation de cette technologie à travers l'idée du cercle sisyphéen de crainte liée à la technologie (Amy Orben, 2020).

English

This article offers an overview of the potential of augmented reality technology, primarily from an educational perspective, and its ability to improve our perceptions with new dimensions of reality, previously unattainable in traditional formats, whether 2D or 3D. After an introduction on the role of illustrations in supporting learning, the disruptive aspect of augmented reality is discussed. The potential of this technology to increase motivation and smoothe out disparities in student success is debated in the light of two explanatory theories. The Foxar project is presented as a concrete application of cognitive psychology research data in the field of technology-enhanced learning. We address the question of the democratization of this

technology and its pace through the idea of the Sisyphean circle of technology-related fear (Amy Orben, 2020).

Mots-clés

apprentissage, illustrations, réalité augmentée, Foxar

Keywords

learning, illustrations, augmented reality, Foxar

Clémence Rougeot

Chargée de projet R&D, Université Rennes 2, Campus Villejean - Place du recteur
Henri Le Moal CS 24307 35043 Rennes cedex

clrougeot@gmail.com

clrougeot@gmail.com