

Le potentiel pédagogique de la réalité augmentée dans les méthodes d'apprentissage innovantes appliquées dans l'enseignement K12

Mémoire présenté par

Sarra Ait Yahia

Pour l'obtention du Master 1 MIAGE

De l'université

Paris 1 Panthéon – Sorbonne

Année Universitaire : **2020-2021**

Date de soutenance: **02/09/2021**

Directeur de mémoire : **Nicolas Herbaut**

Membre du jury: **Rébecca Deneckère**

Liste des abréviations

API	Application Programming Interface
CL	Collaborative Learning
GPS	Global Positioning System
HMD	Head Mounted Display
IHM	Interface Homme Machine
LCD	Écran à cristaux liquides
LMS	Système de gestion d'apprentissage
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PL	Personalized learning
PDA	Personal Digital Assistant
RA	Réalité augmentée
RFID	Radio Frequency Identification Device
RV	Réalité virtuelle
SVT	Sciences et Vie de la Terre
TIC	Technologies de l'information et de la communication

Table des matières

1.Introduction	7
2. La réalité augmentée.....	9
2.1. Qu'est-ce que la réalité augmentée ?	9
2.2. L'histoire de la réalité augmentée.....	10
2.3. Les fondements de la réalité augmentée	12
2.4. Les domaines et applications de la réalité augmentée	16
3.L'innovation de l'apprentissage à l'ère de l'économie créative	19
3.1. L'apprentissage collaboratif	19
3.2. L'apprentissage personnalisé (sur mesure)	20
3.3. L'apprentissage ou classe inversée	21
4. L'apport de la réalité augmentée aux méthodes d'apprentissage innovantes.....	23
4.1. La réalité augmentée au service de l'apprentissage collaboratif	24
4.1.1.Comment la réalité augmentée participe à l'apprentissage collaboratif ?	24
4.1.2.Les outils RA adaptés à l'apprentissage collaboratif	26
4.2. La réalité augmentée au service de l'apprentissage personnalisé	29
4.2.1.Comment la réalité augmentée participe à l'apprentissage personnalisé ? ...	30
4.2.2.Les outils RA adaptés à l'apprentissage personnalisé.....	31
4.3. La réalité augmentée au service de l'apprentissage inversé	36
4.3.1.Comment la réalité augmentée participe à l'apprentissage inversé ?	36
4.3.2.Les outils RA adaptés à l'apprentissage inversé	38
4.4. Limites de l'application de la réalité augmentée dans les méthodes d'apprentissage innovantes.....	47
5. Recommandations d'utilisation de la réalité augmentée dans les méthodes d'apprentissage innovantes	49
6. Conclusion.....	53
7. Bibliographie	54

Table des illustrations

Figure 1 Continuum entre le monde réel et virtuel. [4].....	9
Figure 2 La première machine virtuelle réalisée par Ivan Stherland [52]	10
Figure 3 La première version de EyeTap portée par son créateur Steve Mann [52]	10
Figure 4 Le jeu mobile Pokémon Go utilisé dans un environnement réel [52]	11
Figure 5 Différents dispositifs d'affichage [7]	12
Figure 6 Les composants technologiques "building blocks" d'un système de RA [6]	13
Figure 7 Le système ARToolKit propose un marqueur pour le suivi de type template : il est en noir et blanc, un simple motif entouré d'une bordure noire. [6].....	14
Figure 8 Comparatif entre vidéo et optical see-through. Dans ce dernier cas , l'information virtuelle est insérée dans le champ de vision de l'utilisateur. [54].....	15
Figure 9 Reconstruction des scènes pompéiennes sur des ruines existantes -projet LIFEPLUS- [55]	16
Figure 10 Utilisateur équipé du dispositif LIFEPLUS [55]	16
Figure 11 Le paquet de céréales proposé par Nestlé incluant un jeu de réalité augmentée [56].....	17
Figure 12 Superposition de l'image virtuelle montrant un nouveau né sur l'image réelle d'un mannequin de soin, l'utilisateur dispose de deux dispositifs d'affichage sur cette image. [13]	18
Figure 13 A gauche, l'interface du jeu EmoFindAR qui propose les deux modes collaboratif et compétitif. A droite le pourcentage actuel qui correspond à l'émotion du personnage. [35].....	27
Figure 14 Les objets qui peuvent être lancés. [35]	27
Figure 15 les différents affichage du jeu au cours des différentes étapes [36]	28
Figure 16 A gauche, les élèves cherchent l'objet à scanner (marqueur RA) , a droite ils ont réussi à faire afficher la balle en trouvant l'objet. [36].....	29
Figure 17 L'étudiant a scanné la carte et a fait apparaître le nom arabe de l'objet. [40]	30
Figure 18 Dissection d'une grenouille avec l'application Froggipedia [57]	32
Figure 19 Architecture de la plateforme FI-AR Learning.[44].....	33
Figure 20 Contenu d'une unité centrale présenté en réalité augmentée sur le lecteur de RA de la plateforme FI-AR. [44].....	34

Figure 21 A gauche, le matériel PapART . A droite, Une étudiante qui utilise la carte multisensorielle tactile. [42].....	35
Figure 22 La carte en mode construction: la carte utilise Wikki stix et des magnets combinés à la projection et des retours audio. [42]	35
Figure 23 Deux scènes d'interaction différentes avec l'enseignant de Mondly AR. [58]	38
Figure 24 Les trois modes d'utilisation du MagicBook: réalité, réalité augmentée et immersion en RV. [48]	39
Figure 25 Encyclopédie Dokéo [60].....	40
Figure 26 La caméra doit être orientée sur le marqueur pour afficher les objets virtuels sur l'environnement réel [49]	41
Figure 27 Exemple d'un AR pop-up book avec marqueur intégré dans les pages du livre.[61]	41
Figure 28 A gauche, les constituants du système Carreta. A droite, l'espace partagé entre élèves qui reçoit la projection depuis le LCD projector.[51]	42
Figure 29 La tablette personnelle affiche une représentation de l'espace partagé. [51]	42
Figure 30 Structure du système d'apprentissage inversé basé sur la réalité augmentée. [28].....	43
Figure 31 Description du processus d'apprentissage et la liste des activités. [28] ...	43
Figure 32 Interface de visionnage des vidéos et d'annotation. [28]	44
Figure 33 Feuille d'exercice [28].....	44
Figure 34 L'interface de guidage pour la réalité augmentée. [28].....	45
Figure 35 Message d'erreur en cas de mauvaise manipulation. [28].....	45
Figure 36 Des images virtuelles animées superposées sur la réalité. [28]	46
Figure 37 Création de l'Aura sur le site Aurasma https://studio.aurasma.com/home [63]	50
Figure 38 L'objet réel (le pont) a été augmentée avec une vidéo et un texte de présentation. [63].....	50
Figure 39 Application de RA développée avec Wikitude. [64]	51

1.Introduction

Dans un monde où les nouvelles technologies sont devenues incontournables dans notre quotidien, la réalité augmentée s'impose peu à peu avec une interface riche et polyvalente et ouvre de nouvelles perspectives dans différents domaines. Le monde de l'éducation s'est à son tour emparé du dispositif afin de l'adapter au contexte de l'apprentissage. D'ailleurs, la RA vient s'ajouter aux différentes technologies de l'information et de la communication qui ont fait naître la notion d'innovation pédagogique très présente depuis quelques années.

Au cours des dernières décennies, un grand nombre d'études ont été menées pour améliorer la compatibilité et l'applicabilité de la RA dans l'apprentissage. Grâce à ces travaux, plusieurs applications de réalité augmentée ont pu être utilisées comme outil pédagogique, favorisant ainsi l'implication et la motivation des apprenants. Mais l'innovation pédagogique a également porté sur l'adaptation de nouvelles méthodologies d'apprentissage. Des approches comme la classe inversée, l'apprentissage collaboratif ou personnalisé constituent des méthodes très créatives, pratiques et humaines. Appliquées dans l'enseignement K12 (qui désigne l'ensemble du cursus scolaire de la maternelle au secondaire, terme couramment employé aux États-Unis), ces méthodes d'apprentissage ont été combinées à l'utilisation des TIC, pour arriver à répondre de plus en plus aux besoins des élèves et à lutter contre l'échec scolaire.

Néanmoins, si les avantages de la RA dans l'éducation sont de plus en plus reconnus par les chercheurs sur le sujet, qu'en est-il de l'apport que peut porter la réalité augmentée à chaque méthode d'apprentissage innovante ? Et si cette technologie présente un potentiel pour la réussite de ces innovations pédagogiques, alors comment choisir les outils de RA les mieux adaptés à chaque approche d'apprentissage ? Et quelles sont les limites rencontrées lors de l'utilisation de ces différents outils ?

A travers ce mémoire, nous nous proposons d'apporter des éléments de réponses à ces questions. La première partie expose le concept de la réalité augmentée ainsi que son fondement. La deuxième partie expose trois différentes approches pédagogiques innovantes, le concept de chacune des méthodologies est expliqué brièvement. La troisième partie apporte les réponses attendues par ce mémoire, en expliquant comment la RA participe à la bonne application de chaque approche pédagogique innovante mentionnée

dans la partie précédente . Quelques exemples des outils de RA adaptés à chaque approche pédagogique sont présentés ainsi que leurs limites. Dans la quatrième partie, des recommandations ainsi que des conseils sont donnés pour orienter les enseignants et les apprenants dans leurs choix des outils de réalité augmentée. Selon l'approche pédagogique, il est recommandé d'utiliser l'outil qui apporte le potentiel le plus important à la méthode d'apprentissage. En conclusion, nous soulignons les avantages de la RA dans le secteur de l'éducation et les différents axes d'amélioration qui annoncent un avenir très prometteur pour cette technologie.

2. La réalité augmentée

2.1. Qu'est-ce que la réalité augmentée ?

La réalité augmentée désigne une expression née au début des années 1990 permettant de qualifier une nouvelle forme d'interaction homme-machine . Cette technologie permet de superposer des informations d'imagerie virtuelles créées par l'ordinateur sur des objets réels issus de l'environnement direct ou indirect en temps réel. [1][2]

Les technologies de RA, à la différence de celles de la réalité virtuelle, ne visent pas une substitution du monde réel par une analogie virtuelle. L'environnement est réel, mais étendu et enrichi par des informations et des images du système, et le fossé entre les objets réels et virtuels est comblé de façon transparente. [1][2][3] Pour comprendre cette différence, Milgram et al ont cherché à établir une relation entre la RV et la RA. Ils ont décrit un continuum entre le monde réel et le monde virtuel, appelé réalité mixte, où la réalité augmentée évolue, proche du monde réel tandis que la virtualité augmentée évolue, proche du monde virtuel. [4]

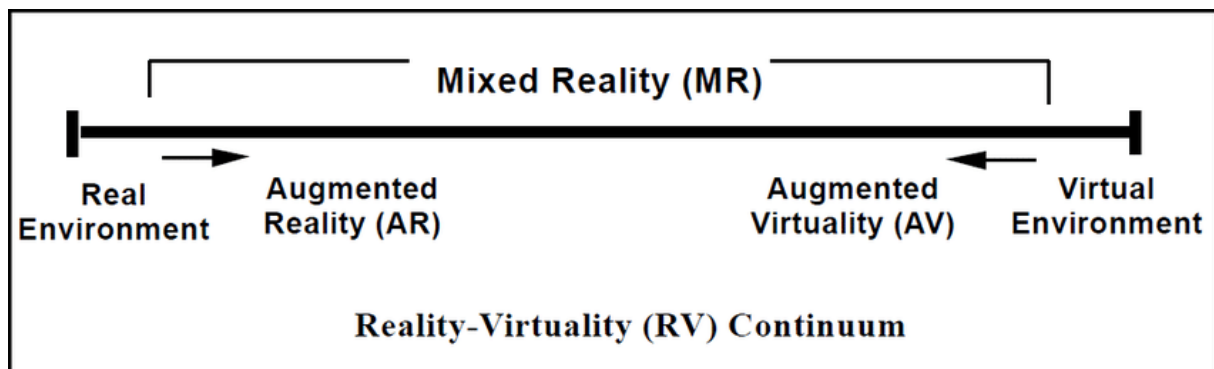


Figure 1 Continuum entre le monde réel et virtuel. [4]

La finalité de la RA a été précisée par Hugues et al [5] comme suit : « La finalité de la réalité augmentée est de permettre à une personne de réaliser des activités sensorimotrices et cognitives dans un espace mixte associant l'environnement réel et un environnement artificiel. » Le terme « sensorimotrices » a été employé pour exprimer le fait que l'utilisateur peut percevoir et agir avec les différents objets du monde mixte. De plus, en combinant perceptions et informations, cette technologie a fait évoluer l'ergonomie des interfaces utilisateurs. Son usage s'est accru et diversifié notamment avec la démocratisation des smartphones et des tablettes. En effet, la présence d'une ou plusieurs caméras sur ces

appareils les rend particulièrement adaptés pour capter le réel, et l'afficher sur l'écran de l'appareil avec d'autres informations. [1]

Actuellement, la formation est l'un des deux domaines d'application privilégiés de la RA avec l'assistance au suivi de procédures. L'IHM grâce à la RA est devenue intuitive et facile à utiliser, il peut donc constituer un environnement favorable à l'apprentissage, puisqu'il stocke et délivre les informations à l'apprenant et accroît sa motivation. [3]

2.2. L'histoire de la réalité augmentée

L'ingénieur Américain Ivan Sutherland est le premier à avoir conçu dans les années 1960 un logiciel de modélisation 3D et de simulation visuelle, le Sketchpad dans le cadre de sa thèse dans l'université de Boston « MIT ». [52]

En 1968, il crée à l'université de Salt Lake City des lunettes pour voir des images en 3D, véritables ancêtres des Google Glass. Le dispositif était si lourd et imposant qu'il a été surnommé « l'épée de Damoclès ». [52]

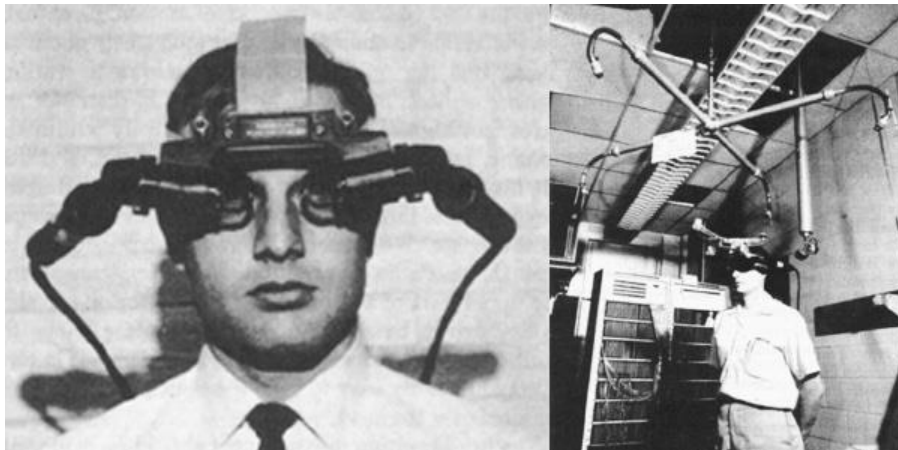


Figure 2 La première machine virtuelle réalisée par Ivan Sutherland [52]

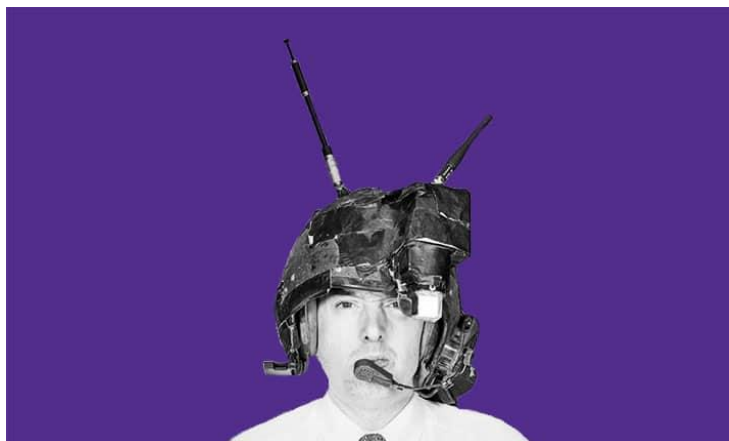


Figure 3 La première version de EyeTap portée par son créateur Steve Mann [52]

En 1980 , Steve Mann a créé le EyeTap, un casque qui affiche des informations virtuelles devant les yeux de l'utilisateur. De nos jours, ce dispositif a été retravaillé jusqu'à devenir très simple et discret. [52]

En 1992, Tom Caudell et David Mizell proposent le terme de réalité augmentée et le définissent comme étant la superposition de matériel informatisé sur le monde réel. [53]

Au cours des années qui suivent , les progrès de la RA ont servi des secteurs comme la défense militaire et l'industrie et c'est à partir de 2007, que le monde de la publicité s'accapare de cette technologie en constante évolution. [52]

En 2012, Google lance Google Glass, le premier dispositif RA à la disposition du public. La RA est devenue par la suite à la portée de tous les utilisateurs avec l'évolution de l'informatique mobile qui a permis le développement de plusieurs applications de réalité augmentée notamment des jeux mobiles comme Pokemon Go et les réseaux sociaux qui proposent des fonctionnalités de RA comme les filtres. En outre, l'usage de la réalité augmentée est devenu possible à l'intérieur et à l'extérieur et vise d'ailleurs un public plus large que par le passé, puisque les utilisateurs possèdent leurs propres dispositifs mobiles et savent comment les utiliser. [52] [53][6]



Figure 4 Le jeu mobile Pokémon Go utilisé dans un environnement réel [52]

2.3. Les fondements de la réalité augmentée

La réalité augmentée est transdisciplinaire, plusieurs disciplines entrent en jeu pour les avancées de cette technologie : comme la vision par ordinateur, l'informatique, l'électronique, l'ergonomie , la psychologie, etc.. Mais elle appartient principalement au domaine des STIC (Sciences et Techniques de l'information et de la Communication). [6]

En général, l'architecture matérielle, commune à tous les systèmes de RA, fixes ou mobiles, comporte principalement quatre éléments :

- **Caméra** : permet de filmer l'environnement réel . [6]
- **Ordinateur** : chargé d'effectuer les calculs nécessaires pour le positionnement des objets et leurs suivis. [6]
- **Dispositif d'affichage** : permet à l'utilisateur de visualiser la scène augmentée. Il peut être :
 - *Un HMD(Head-Mounted Displays)* : le système a la forme d'un casque ou lunette et il est positionné sur la tête de l'utilisateur.
 - *Un écran* : la visualisation est faite à travers un écran, à l'aide d'une caméra couplée à cet élément qui peut être un ordinateur de bureau, portable, smartphone ou tablette.
 - *Affichage par projection* : La visualisation est faite sur une surface du monde réel, une table , un mur ou une surface quelconque. [6] [7]



Figure 5 Différents dispositifs d'affichage [7]

- **Capteurs** : différents capteurs peuvent être utilisés, comme les capteurs de localisation et de suivi : GPS, Wifi , etc. [6]

Dans certains systèmes de réalité augmentée, une seule entité matérielle peut regrouper un ou plusieurs éléments parmi ceux présentés ci-dessus. Effectivement, certains smartphones ou tablettes, largement utilisés aujourd'hui par le grand public, peuvent intégrer en même temps tous ces composants matériels. [6] [8]

Bimber et al expliquent dans leur livre « Spatial Augmented reality Merging Real and Virtual Worlds » la composition générale d'un système de RA. Et dans le schéma suivant, on peut distinguer les différents composants technologiques d'un système de RA organisés par couche. [6]



Figure 6 Les composants technologiques "building blocks" d'un système de RA [6]

Couche de base : cette couche inclut les composants fondamentaux qui se trouvent au plus bas niveau :

- Le suivi (ou le tracking) : permet de déterminer en continu la position et l'orientation de l'environnement ou l'objet réel pour coïncider le contenu virtuel sur le réel.
Plusieurs technologies sont utilisées aujourd'hui pour le suivi :
 - *La technologie radio* : utilisation des ondes électromagnétiques envoyées par un émetteur et reçues par un objet mobile. Les solutions radios permettent d'estimer l'emplacement d'une cible mobile dans l'environnement par estimation d'une ou plusieurs propriétés de l'onde envoyée . [6]

- *La technologie ultrason* : utilisation de capteurs télémétriques qui déterminent la distance qui sépare la source ultrasonore d'un objet de l'environnement. [6]
- *La technologie optique* : il s'agit d'un suivi visuel qui peut utiliser une ou deux caméras.

Le suivi peut être avec marqueur ou sans marqueur.

Dans la première catégorie, on incruste des marqueurs (des boules bleues, des rectangles blancs..) dans la scène réelle. Le système ARToolKit représente une solution possible à base de cible codée qui permet de déterminer la transformation géométrique d'un objet.

Dans la deuxième catégorie, il faut avoir une connaissance préalable sur les objets à localiser dans la scène, couplée à des méthodes et algorithmes robustes pour calculer les changements de positions et les distances. [6] [9]

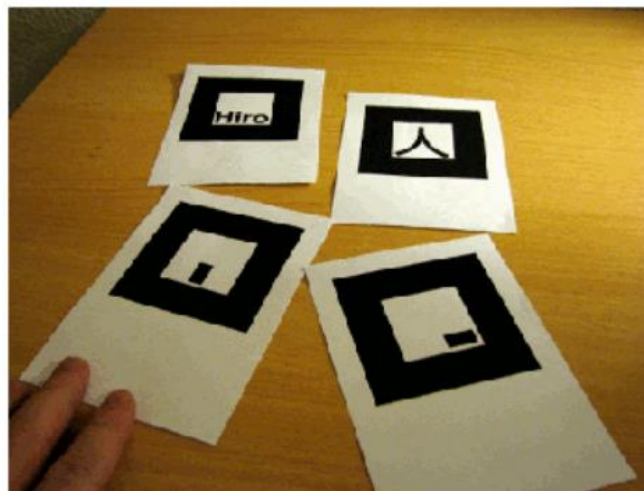


Figure 7 Le système ARToolKit propose un marqueur pour le suivi de type template : il est en noir et blanc, un simple motif entouré d'une bordure noire. [6]

- Le recalage : est le procédé de superposer et d'unifier les objets virtuels sur le réel pour les fusionner. [6]
- Le rendu : qui peut être graphique, haptique , audio, etc. Dans le cas où le rendu est graphique, les moteurs de rendu combinent les textures, l'illumination et les ombres et déterminent la valeur de couleur de chaque pixel. [6]
- Les technologies et modèles d'affichage : Deux modèles d'affichage existent, le premier est direct (optical see-through) ou l'utilisateur peut visualiser directement à travers un

dispositif HMD. Alors qu'avec le deuxième modèle, l'affichage est indirect (video see-through) ou la vidéo du monde réel est combinée d'abord au rendu puis présentée à l'utilisateur. [6]

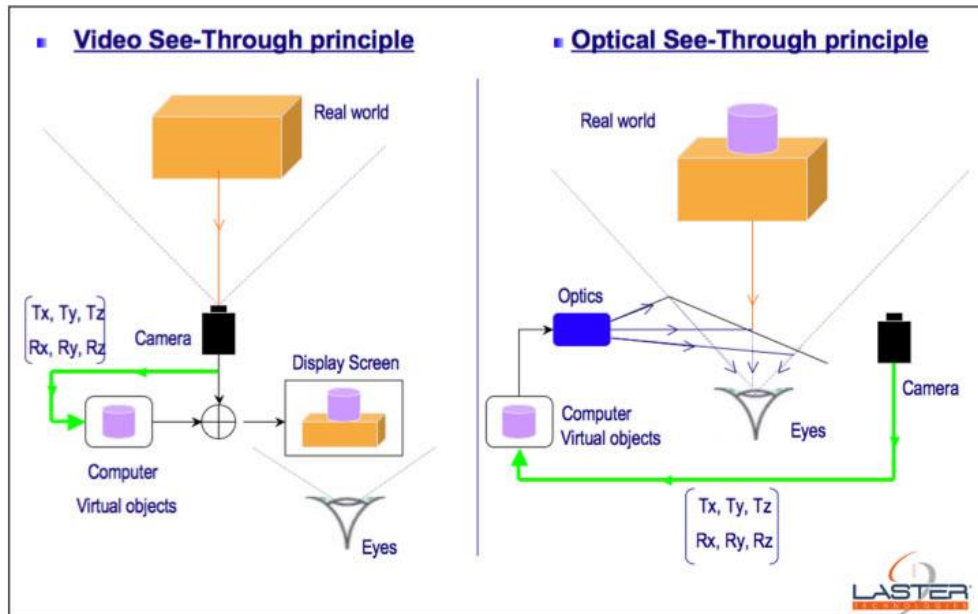


Figure 8 Comparatif entre vidéo et optical see-through. Dans ce dernier cas , l'information virtuelle est insérée dans le champ de vision de l'utilisateur. [54]

Les travaux de recherche ciblent principalement cette couche , pour améliorer les performances des dispositifs utilisant la RA.

Deuxième couche : inclut principalement des composants de type logiciel qui s'occupent des méthodes d'interaction avec l'utilisateur, de la façon de présenter les informations virtuelles et des moyens de les afficher. [6]

Troisième couche : ce niveau représente l'application de RA. [6]

Quatrième couche ou couche utilisateur : ce niveau fait intervenir plusieurs disciplines en sciences cognitives et en ergonomie. [6]

Une autre couche doit être mentionnée, elle représente la reconnaissance et le calcul de pose de la caméra. Elle permet d'identifier l'objet , sa position , son orientation et ses dimensions, ces informations sont indispensables pour superposer du contenu virtuel et augmenter l'objet réel si besoin. Mooser et al rapportent que la majorité des travaux en RA se sont consacrés à résoudre le problème de reconnaissance d'objets et pose de caméra. [6] [8] [9]

2.4. Les domaines et applications de la réalité augmentée

De nos jours, la réalité augmentée est utilisée dans plusieurs domaines grâce à l'évolution qu'elle a connue et son optimisation de l'interface homme-machine. Il est possible de trouver des solutions en RA dans les domaines médical, militaire, artistique, architectural, éducatif, publicitaire, industriel, etc. Voici quelques exemples de son utilisation :

Le projet LIFEPLUS 2002-2004

En 2002, le projet LIFEPLUS avait pour objectif de permettre à l'utilisateur de visualiser des sites archéologiques en plein air, en superposant des reconstructions virtuelles 3D et des scènes pompéiennes sur des ruines existantes. Le système était constitué de lunettes HDM, d'un ordinateur portable et d'une caméra. Les mouvements de l'utilisateur sont enregistrés pour connaître la transformation géométrique entre le réel et le virtuel. [10]



Figure 9 Reconstruction des scènes pompéiennes sur des ruines existantes -projet LIFEPLUS- [55]



Figure 10 Utilisateur équipé du dispositif LIFEPLUS [55]

Le jeu de réalité augmentée sur les paquets de céréales pour la promotion des ventes

Nestlé a proposé en 2009 un paquet de céréales hors du commun pour promouvoir ses ventes. En se connectant sur le site de Chocapic ou Nesquik et en présentant le pictogramme sur le dos du paquet de céréales face à la webcam de l'ordinateur ou du téléphone, l'utilisateur peut jouer avec un des personnages des Minimoys en 3D. Le groupe a fait appel à Dassault Systèmes , leader mondial des logiciels 3D pour tirer profit de cette technologie de réalité augmentée. Les enfants ont eu la surprise de voir leur paquet de céréales se transformer en console de jeu vidéo et naturellement ces paquets ont été vendus comme des petits pains. [11]



Figure 11 Le paquet de céréales proposé par Nestlé incluant un jeu de réalité augmentée [56]

L'apprentissage du geste médical

Le domaine médical représente un domaine où les enjeux sont très importants, les universités ont donc investi pour améliorer l'apprentissage du corps médical et plusieurs systèmes utilisant la RA ont vu le jour. Par exemple , le système présenté par Sielhorst et al (35) consiste en un simulateur d'accouchement qui permet d'apprendre sur un mannequin les gestes d'aide à adopter en situation réelle. Il propose également un retour visuel, sonore et haptique ainsi qu'un important nombre de données physiologiques telle la pression sanguine, la douleur, etc. [12]



Figure 12 Superposition de l'image virtuelle montrant un nouveau né sur l'image réelle d'un mannequin de soin, l'utilisateur dispose de deux dispositifs d'affichage sur cette image. [13]

L'utilisation de la réalité augmentée en formation est devenue une pratique courante. Comme dans l'exemple précédent, la RA fournit un environnement favorable à l'apprentissage. Dans un contexte scolaire, ou de nouvelles méthodologies d'enseignement sont appliquées, la RA fait partie des pratiques pédagogiques basées sur le numérique qu'utilisent les enseignants pour mieux appliquer les différentes approches d'apprentissage innovantes et la partie qui suit vient présenter quelques exemples de ces approches.

3.L'innovation de l'apprentissage à l'ère de l'économie créative

3.1. L'apprentissage collaboratif

La collaboration est devenue une tendance du 21ème siècle , le besoin de réfléchir et de travailler ensemble dans la société a augmenté , ce qui a déplacé les efforts individuels au travail de groupe et l'indépendance à la communauté. L'application de cette approche dans l'enseignement a créé l'apprentissage collaboratif, qui peut être définie comme une méthode pédagogique impliquant des groupes d'apprenants de même niveau cognitif travaillant ensemble dans un but commun pour résoudre un problème, accomplir une tâche ou créer un produit. [14] L'apprentissage collaboratif est interactif , en effet les apprenants doivent communiquer de façon soutenue, et argumenter, voire s'opposer sans imposer leurs points de vue. [15]

Dans l'environnement de l'apprentissage collaboratif (CL) , les élèves sont mis au défi à la fois socialement et émotionnellement car ils doivent respecter et écouter les perspectives des autres, défendre leurs idées et mettre en commun leurs connaissances pour faire avancer l'activité à réaliser [14] [15] Le travail collaboratif leur permet également de se remettre en question et d'échanger avec leurs pairs sur plusieurs sujets et être par conséquent plus engagés dans l'apprentissage. [14] Néanmoins, avec l'apprentissage collaboratif les élèves ne se responsabilisent peut être pas assez en travaillant dans un groupe, et leurs niveaux d'implication ne sont certainement pas similaires. Les enseignants ne peuvent pas contrôler l'implication de chaque élève et il est donc difficile d'observer ce genre de déséquilibre. [15] Il existe également plusieurs études contradictoires quant à savoir si cette approche conduit à de meilleures relations entre les élèves en classe. Mais la majorité de ses recherches a révélé l'impact positif du travail collaboratif sur la réussite des élèves et leur intégration sociale, et ses avantages ont une importance considérable, ce qui a poussé plusieurs écoles à l'adopter. [16]

Il est important de distinguer le travail collaboratif du travail coopératif . Ce dernier est accompli par une répartition du travail dans laquelle chaque personne est responsable d'une partie de la résolution du problème, il sera assigné à chaque élève une tâche claire et concrète. Alors que dans l'approche collaborative, il n'y a aucune répartition du travail. Tous les participants s'engagent dans un effort coordonné pour réaliser chaque étape de l'activité et il est attendu des membres des groupes collaboratifs qu'ils participent de façon équivalente à la résolution du problème. [17] [18]

Plusieurs fonctionnements collaboratifs existent et les deux grandes orientations de l'apprentissage collaboratif sont la collaboration contradictoire et la collaboration constructive. Pour comprendre la différence entre ces deux modes de collaboration, une étude a été menée en école primaire (reporté par Baudrit, 2007), où une activité scolaire classique a été proposée à des enfants dont l'âge moyen est de 8.5 ans. Dans l'exercice proposé par l'enseignant, il a été demandé aux élèves de placer des nombres dans une grille verticalement ou horizontalement, et de travailler en groupe. Dans un premier temps, une découverte et recherche collectives ont été réalisées par les différents groupes pour mieux cerner le problème. Par la suite, certains ont essayé de trouver une solution en associant leurs connaissances ou savoirs respectifs. Leur collaboration s'est basée sur une relation d'aide et de complémentarité des rôles, il s'agit dans ce cas d'une collaboration constructive où les membres d'un groupe travaillent ensemble dans la construction des hypothèses pour arriver à une réponse commune. Alors que dans d'autres groupes, les élèves ont fait des tentatives de placement de nombres mais sur la base de désaccords existant entre eux. Cette divergence de points de vue et permutation des rôles définit la collaboration contradictoire qui se base sur le choc des idées suscitant ainsi le besoin de réexaminer, revoir, et justifier son propre point de vue. Ces deux orientations de l'apprentissage collaboratif très différentes partagent néanmoins le même point commun puisqu'il est indispensable avant d'entamer la résolution d'un problème d'explorer d'abord son domaine et réorganiser ses connaissances. [18]

3.2. L'apprentissage personnalisé (sur mesure)

La prémisse de base de l'apprentissage personnalisé (PL) est la conviction que chaque élève est unique et apprend de différentes manières. [19] Dans le monde d'aujourd'hui, les élèves sont entourés d'un monde extérieur personnalisé mais ils sont obligés de mettre de côté leurs passions et leurs besoins quand ils entrent dans les écoles. La personnalisation de l'apprentissage vient apporter la solution à ce problème et rend l'éducation plus adaptatif et opportun du point de vue de l'élève, elle augmente également ses chances pour maîtriser une sélection de sujets et de concepts les plus importants. Cette approche pédagogique représente donc une avancée importante car elle reconnaît que les élèves viennent d'horizons, d'intérêts et de niveaux d'aptitude différents. De plus, elle libère les enseignants de la routine et leur donne plus de temps pour servir de coachs pédagogiques et de mentors aux étudiants. [20]

L'apprentissage personnalisé peut être appliqué avec plusieurs méthodes : des interfaces personnalisées, des mentors pour guider chaque apprenti, des salles de classe centrées sur l'étudiant et des systèmes de gestion de l'apprentissage dont le but essentiel est de fournir un enseignement adapté aux besoins individuels des élèves. [21] Plutôt que de proposer des horaires rigides et une évolution annuelle avec une maîtrise minimale des compétences et des concepts, cette méthodologie met les élèves en contrôle de leur rythme d'apprentissage. Les apprenants ont accès au matériel d'enseignement 24h/ 24 et en s'appuyant sur les conseils de leurs enseignants, ils entreprennent des cours en fonction de leur approche d'apprentissage préférée, ce qui les aide à acquérir des compétences plus élevées . [20]

Pour fournir des expériences d'apprentissage personnalisé il est devenu primordial d'utiliser la technologie, pour accéder au contenu et ressources spécifiques à chaque élève, ainsi que les évaluations qui mesurent sa progression. Dans certaines écoles, plutôt que d'avoir un enseignant par classe, on emploie un enseignant pour chaque équipe ciblée . C'est le cas de la New York City School of One qui a opté pour un apprentissage personnalisé avec utilisation de différents outils d'innovation numérique. Chaque élève reçoit une playlist quotidienne avec une variété d'activités pédagogiques adaptés à leurs besoins . Les activités peuvent se faire avec un enseignant en tête-à-tête ou avec un ordinateur / tablette qui leur délivrent des instructions à exécuter selon leurs rythmes. Les progrès sont mesurés et analysés , et les élèves passent au niveau suivant lorsqu'ils montrent une maîtrise appropriée des compétences. Les élèves ayant des besoins spéciaux peuvent obtenir plus de temps et d'attention, tandis que les élèves doués peuvent accélérer le rythme et passer rapidement à des exercices plus exigeants. [20]

3.3. L'apprentissage ou classe inversée

Dans nos institutions éducatives , le modèle le plus répandu est le modèle transmissif. Selon cette pédagogie, l'élève ou l'étudiant doit écouter et suivre l'enseignant durant la phase dite d'acquisition , il doit ensuite imiter, répéter et appliquer durant la phase d'utilisation des connaissances. La pédagogie inversée propose d'inverser ces deux phases. Cette approche est apparue aux Etats-Unis à la fin des années 1990, où l'idée principale consiste à déplacer le contenu des cours et de les faire consulter par les élèves en amont sous format numérique ou littéral. Ensuite les enseignants consacrent le temps de classe à l'application des contenus pédagogiques dans la résolution des problèmes ; Et à travers des travaux de groupe ainsi que des dialogues explicatifs , ils approfondissent la compréhension

des élèves. [22] [23] La classe inversée redéfinit donc les rôles et statuts du triangle pédagogique : l'élève, l'enseignant et le savoir. En effet, le professeur doit accepter un véritable lâcher prise en abandonnant le contrôle et en monopolisant beaucoup moins la parole. Il doit aussi élaborer des plans de travail et des projets coopératifs. [24]

Il faut reconnaître que le numérique a donné un nouvel essor à cette approche en permettant d'extérioriser le cours magistral sur une plateforme d'échange, le plus souvent sous la forme d'un diaporama vidéo commenté en voix off ou d'une brève explication du professeur filmé, appelée « capsule vidéo ». Le numérique n'est certes qu'un outil mais il a permis de rendre le savoir accessible partout et à tout instant. [24]

Dans une classe inversée, les interactions entre les élèves et le professeur ainsi qu'entre les élèves eux-mêmes – sont amplifiées, l'enseignant n'est pas le maître sur l'estrade mais il est sollicité par les élèves une fois que ceux-ci sont confrontés à un problème et qu'ils ont mobilisé entre eux les prérequis. Il doit les accompagner dans leur activité en les invitant à s'interroger sur leurs méthodes de travail et en leur proposant d'autres outils de remédiation. L'apprentissage inversé permet également aux étudiants de recevoir un accompagnement personnalisé. En effet, grâce aux questions qui accompagnent les cours, le professeur peut constituer des groupes de besoin avec les élèves ayant obtenu des résultats insuffisants, afin de leur expliquer de manière personnalisée ce qu'il n'ont pas compris, en petit comité. Les élèves les plus avancés peuvent jouer le rôle d'enseignant pour leurs pairs et consolider ainsi leur savoir et leur maîtrise de la notion expliquée. [24] [25]

Il existe de multiples façons de pratiquer la classe inversée, mais elles s'appuient toutes sur les mêmes principes fondamentaux qui sont : l'augmentation des interactions entre enseignant et élèves en classe, création d'un environnement d'apprentissage qui rend l'apprenant le plus autonome possible et responsable de son apprentissage, et le développement de méthodes actives et une pédagogie collaborative. [26]

La littérature professionnelle et les comptes rendus de pratique témoignent de l'enthousiasme exprimé vis-à-vis cette approche. Les recherches disponibles ont montré une importante augmentation de la motivation et de l'engagement des élèves quelque soit le niveau d'enseignement considéré, ainsi qu'une forte croissance des notes et des résultats scolaires expliquant pourquoi des dizaines de milliers d'enseignants et une centaine d'écoles ont opté pour cette méthodologie d'enseignement. [26]

4. L'apport de la réalité augmentée aux méthodes d'apprentissage innovantes

Les méthodes traditionnelles d'éducation telles que nous les connaissons font désormais partie du passé, l'introduction des innovations technologiques en classe a permis de révolutionner les pratiques pédagogiques et de renouveler la façon de faire la classe.

Depuis sa démocratisation, la réalité augmentée fait partie du faisceau de pratiques pédagogiques basées sur le numérique que disposent les enseignants. Les applications de RA dans un contexte scolaire offrent de nouvelles façon d'enseigner et d'apprendre , ses avantages et ses intérêts peuvent être résumés dans les points suivants :

➤ **La RA fournit un double support réel et virtuel :**

- Les enseignants de l'éducation préscolaire jusqu'au lycée, rencontrent souvent des difficultés pour exposer et présenter certains aspects du monde réel ou virtuel. Les applications de RA permettent de visualiser simultanément les artefacts physiques et les notions abstraites qui y sont associées.
- La superposition du contenu virtuel sur l'environnement réel rend les applications de la RA très faciles à manipuler et à utiliser notamment pour les élèves de maternelle et des écoles primaires . En s'appuyant sur l'image des objets réels qu'ils l'entourent, l'apprenant peut comprendre facilement les notions apportées par le dispositif.
- De plus, la manipulation des objets donnerait une sensation forte de présence ce qui faciliterait à l'apprenant la mémorisation de la notion expliquée durant le cours.

➤ **Les applications de RA stockent les informations** et facilitent l'accès aux matériels d'apprentissage, elles minimisent également l'utilisation de supports en papier ce qui laisse les mains libres lors des activités qui l'exigent durant le cours.

➤ **La RA accroît la motivation des élèves** par le fait de la nouveauté du mode d'interaction, les applications utilisées souvent pour l'apprentissage scolaire sont conçues comme des jeux vidéo ce qui les rends plus attrayants aux yeux des apprenants. [3]

Avec les nouvelles interfaces de RA , l'environnement de travail a évolué. L'élève est devenu plus autonome dans l'acquisition des connaissances favorisant ainsi la mise en place de l'approche éducative de classe inversée. Le travail collaboratif est devenu plus facile à mettre en place grâce à l'interactivité apportée par l'utilisation des applications de RA. Et avec des outils à utilisation personnelle , l'élève peut apprendre à son rythme et personnaliser son apprentissage. [1] L'apport de la réalité augmentée aux méthodes d'apprentissage innovantes est détaillé dans les sanctions suivantes.

4.1. La réalité augmentée au service de l'apprentissage collaboratif

Des études ont montré que la technologie peut améliorer les expériences d'enseignement et d'apprentissage. La réalité augmentée , comme nouvelle technologie, présente un potentiel non négligeable dans la conception d'un environnement propice à la mise en place d'un apprentissage collaboratif. [27]

Pour rappel, le principe de l'apprentissage collaboratif consiste à assigner des tâches ou des activités aux apprenants à réaliser en groupe. Le but étant de pousser les étudiants à interagir avec leurs pairs pour stimuler leurs compétences cognitives. Ils peuvent apprendre de chacun , en discutant et échangeant des idées pour résoudre les problèmes liés aux projets ou à l'activité scolaire, mais également en se lançant dans une recherche collaborative pour explorer le sujet. L'apprentissage collaboratif combine le cours, l'application des notions pratiques ainsi que l'évaluation. [28]

4.1.1.Comment la réalité augmentée participe à l'apprentissage collaboratif ?

Plusieurs articles de recherche abordent le thème de la collaboration et de l'interaction en réalité augmentée. Les applications de RA dites collaboratives sont plus intéressantes pour les élèves travaillant en équipe que l'utilisation des matériaux conventionnels, puisqu'elles autorisent une interaction entre les membres d'un groupe, l'enseignant et le contenu numérique en utilisant une seule interface. [29] Redondo et al [30] mentionnent que la RA améliore l'interaction des élèves en classe en créant une atmosphère particulière. Par conséquent, les apprenants améliorent leurs relations socio-affectives , apprennent comment interagir avec leurs pairs et communiquer au sein d'une équipe facilitant ainsi le travail collaboratif.

Avec l'apprentissage collaboratif, l'école et la classe deviennent des lieux d'entraide et de mutualisation des savoirs, mais avec la crise sanitaire due à la Covid 19, les interactions générées par les environnements numériques sont à interroger. A distance, il est difficile pour des élèves d'une classe primaire de travailler en équipe et de collaborer en utilisant le matériel traditionnel. Les enseignants ne peuvent pas non plus expliquer à leurs élèves comment effectuer des manipulations complexes. Ce problème peut être résolu par l'utilisation d'une application de RA. En effet, Billingsley, Smith, Smith et Meritt (2019) [31] affirment que la technologie RA permet le contrôle et la rétroaction à distance. [32] [29]

L'un des inconvénients de l'apprentissage collaboratif est la difficulté que peut rencontrer les enseignants pour contrôler l'implication des élèves au sein d'une équipe. En travaillant en groupe, l'élève peut manquer de motivation et s'impliquer moins que les autres membres de son équipe dans l'activité. La majorité des articles qui traitent l'impact de la RA dans l'éducation, mentionnent un impact positif de cette technologie sur la motivation, ce qui amène les élèves à dépenser plus de temps sur la tâche éducative et à être plus engagés au sein de l'équipe. En 2009, Dunleavy, Dede et Mitchell [33] ont conçu un jeu mobile de RA « Alien Contact » et ont expérimenté son utilisation sur des élèves d'un collège et d'un lycée. Le concept de ce jeu est basé sur un scénario d'invasion extraterrestre. Les participants doivent travailler en équipe de quatre, assumant le rôle d'un chimiste, cryptologue, pirate informatique et un agent FBI. Le jeu permettait aux élèves d'appliquer leurs connaissances en mathématiques, sciences et en littérature. Des niveaux élevés d'engagement des étudiants ont été observés, d'autant plus que chaque membre d'une équipe devait assumer son rôle pour faire avancer l'enquête. [27] [29]

Dans un travail collaboratif, chaque élève doit s'exprimer et partager son point de vue. Cependant, faire comprendre ses idées peut s'avérer être une tâche très complexe lorsqu'elles sont liées à des éléments ou des phénomènes difficiles à conceptualiser. Le contenu virtuel ajouté à l'environnement réel permet donc de faciliter la communication entre les membres d'une équipe, ou il suffit de pointer l'objet virtuel ou le manipuler pour présenter ses idées.

Dans l'apprentissage collaboratif, l'enseignant doit accompagner chaque équipe dans la réalisation des différentes tâches, les élèves doivent attendre leur tour pour solliciter son aide, ce qui risque de ralentir leur avancement dans l'activité. De plus, avoir un feedback continu peut les aider énormément dans la réussite du travail. En 2011, Campos, Pessanha et Jorge [34] ont présenté un jeu basé sur la réalité augmentée et ils ont étudié son impact sur l'apprentissage collaboratif entre des élèves de la maternelle. Le jeu permettait de se

familiariser avec les animaux de plusieurs environnements en utilisant des marqueurs de RA. Deux versions ont été déployées, dans la première, un feedback continu est donné aux élèves alors que la deuxième version permettait d'avoir un feedback qu'à la fin du jeu. Les résultats ont montré que l'utilisation de l'application de RA a un effet très positif sur l'avancement des activités, et dans sa réussite notamment lorsque les enfants ont reçu un retour immédiat leur permettant de corriger leurs erreurs. [27]

4.1.2. Les outils RA adaptés à l'apprentissage collaboratif

Il existe plusieurs outils de réalité augmentée collaborative, nous retenons les exemples suivants qui ont été mentionnés dans des articles de recherche et appliqués dans le milieu scolaire :

EmoFindAR :

EmoFindAR est un jeu multijoueur qui permet aux enfants de primaire de reconnaître les émotions et d'effectuer des actions basées sur leurs compétences liées à la perception, la compréhension et la régulation des émotions. Dans ce jeu, les participants découvrent des personnages dans l'environnement réel qui montrent différentes émotions telles que la colère, la tristesse, la joie, etc.. Les joueurs ont à leurs dispositions des objets qui représentent des actions pour améliorer les émotions des personnages et si un élève arrive à atteindre l'objectif, il peut capturer le personnage comme dans Pokémon Go. [35]

Au début du jeu, les personnages sont positionnés aléatoirement dans l'environnement physique, les élèves doivent donc se déplacer pour se rapprocher d'eux et leur lancer les objets. Le jeu propose deux modes aux utilisateurs, le premier étant de jouer en collaboration avec les autres joueurs, avec le but d'améliorer l'émotion de tous les personnages et maximiser le total des points. Le deuxième mode est compétitif, chaque élève essaie de maximiser ses propres points, mais il peut voir les actions réalisées par les autres et comment ils arrivent à lancer avec succès les objets sur les personnages, ce qui peut l'aider à améliorer son jeu et corriger ses erreurs. Dans le mode collaboratif, les élèves apprennent la coordination et la communication entre pairs, en effet, ils doivent créer un fil de communication ordonné pour atteindre l'objectif commun. [35]



Figure 13 A gauche, l'interface du jeu EmoFindAR qui propose les deux modes collaboratif et compétitif. A droite le pourcentage actuel qui correspond à l'émotion du personnage. [35]

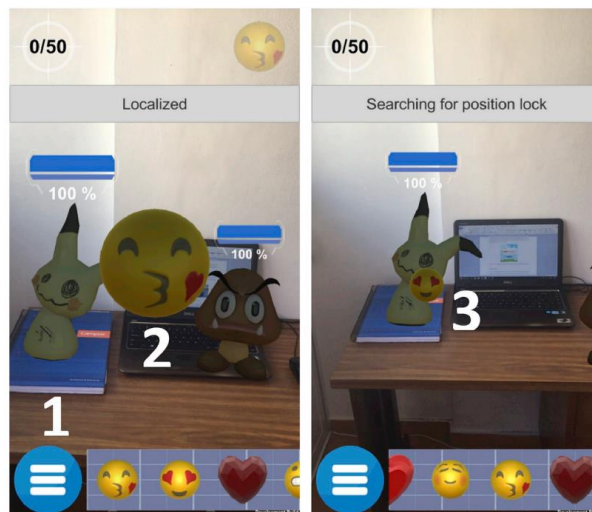


Figure 14 Les objets qui peuvent être lancés. [35]

MathMon :

MathMon est un jeu de chasse qui incite les élèves à appliquer leur connaissances en mathématiques pour capturer des monstres cachés dans leur environnement réel. Les élèves divisées en équipe travaillent ensemble pour résoudre une série de problèmes sur les nombres premiers, et la première équipe qui arrive à trouver tous les monstres gagne la partie. [36]

L'interface du jeu présente au début les 10 monstres cachés et les tâches qui sont à faire pour pouvoir les capturer. Chaque tâche se compose de trois sessions, une session

d'échauffement, une session d'analyse de RA et une session de résolution de problèmes. Dans la session d'échauffement, des questions simples sont posées comme l'identification des nombres premiers sur une liste. Les élèves en donnant les bonnes réponses passent à la session de RA. Ils reçoivent un indice pour chercher un objet réel spécifique dans leur environnement, s'ils arrivent à le trouver, son scan fait apparaître une balle virtuelle sur l'écran, indiquant la réussite de cette étape et le passage à la session de résolution de problème. La dernière session demande aux élèves un maximum de concentration et de collaboration pour résoudre un calcul plus avancé, d'autant plus que le jeu ne propose que cinq tentatives pour chaque session. Les élèves doivent entrer la bonne réponse pour attraper le monstre mathématique caché et passer à la tâche suivante. [36]

Ce jeu a été utilisé dans une école primaire de Kaohsiung à Taiwan, l'expérience a été menée sur un total de 24 élèves de sixième et elle a montré que le jeu a permis d'établir une atmosphère positive pour soutenir la collaboration. [36]



Figure 15 les différents affichage du jeu au cours des différentes étapes [36]



Figure 16 A gauche, les élèves cherchent l'objet à scanner (marqueur RA) , a droite ils ont réussi à faire afficher la balle en trouvant l'objet. [36]

4.2. La réalité augmentée au service de l'apprentissage personnalisé

La personnalisation de l'apprentissage est au cœur des recherches actuelles . Si le sujet a été évoqué depuis les années 1800, c'est au cours des dernières années que cette approche a connu un regain d'intérêt dû en partie aux récents progrès des technologies éducatives qui la rendent plus facile à mettre en place. [37]

Quelle que soit la façon dont les écoles définissent l'apprentissage personnalisé, quatre composantes de base sont quasi présentes lorsque cette approche est adoptée.

- Tout d'abord, le profil de l'élève est identifié, en intégrant ses besoins et ses intérêts. Les travaux antérieurs des apprenants sont pris en compte, des formulaires explorant leurs préférences sont analysés , des systèmes de collecte de données auprès d'un Learning Management System (LMS) peuvent être également utilisés.
- Ensuite , des parcours personnalisés sont fournis pour chaque élève , ils s'adaptent à leurs profils , objectifs et à leur rythme d'apprentissage . Ce dernier se base sur la progression des apprenants dans l'acquisition des connaissances. Le parcours tient compte aussi des commentaires des enseignants , des parents et du personnel de soutien.
- Des environnements d'apprentissage flexibles sont fournis pour s'adapter aux divers besoins de l'élève, notamment pour les apprenants en situation de handicap.
- Et pour gérer la complexité de ce processus, la technologie est indispensable dans cette approche.

Dans un exemple d'application de l'apprentissage personnalisé, Imran et al (2016) [38] ont développé une plate-forme hautement sophistiquée qui propose des recommandations de parcours personnalisé. Le système est basé sur des algorithmes puissants qui utilisent les données collectées sur les élèves pour générer leurs profils et leurs proposer les cours qui leur correspondent le plus. [37]

4.2.1. Comment la réalité augmentée participe à l'apprentissage personnalisé ?

Comme précisé ci-dessus, la personnalisation des parcours d'apprentissage se base sur les données collectées sur l'élève. Les applications de RA augmentent l'interactivité de son utilisateur, et génèrent une multitude d'informations qui peuvent être ajoutées à son profil. A travers ses interactions, la progression peut être également suivie grâce à des algorithmes automatiques, et les programmes peuvent être adaptés en fonction des compétences et du progrès de l'élève. De plus, certaines applications offrent la possibilité aux apprenants de partager leurs remarques positives ou négatives, permettant ainsi d'améliorer le contenu d'apprentissage et de le personnaliser. [39]

L'utilisation des outils de réalité augmentée destinés à l'apprentissage donne la possibilité aux étudiants de choisir ce qu'ils veulent apprendre et comment ils veulent aborder les tâches données. Kraut et al (2015) décrivent dans leur article [40] le processus de développement d'un outil de RA qui a été appliqué sur 24 élèves d'une école primaire à USIM (University Sains Islam Malaysia) pour leur apprendre l'arabe. Basé sur des flashcards, l'application a été développée avec Aurasma (Outil de création de RA). Une analyse statistique descriptive a été réalisée pour identifier le niveau de satisfaction des élèves, et les résultats montrent qu'ils ont apprécié l'outil d'autant plus qu'il leur permettait d'accomplir les tâches à leur propre rythme. Les élèves ont mentionné également qu'ils pouvaient utiliser les flashcards en dehors de leur classe et continuer leur apprentissage chez eux ce qui rend leur environnement d'apprentissage plus flexible. [40]



Figure 17 L'étudiant a scanné la carte et a fait apparaître le nom arabe de l'objet.[40]

La personnalisation du parcours scolaire est nécessaire pour les élèves en situation de handicap. En effet, le contenu éducatif numérique doit être adapté aux déficiences des apprenants, par exemple les vidéos doivent être sous-titrées pour les élèves avec des problèmes auditifs, et le choix des couleurs adapté aux élèves daltoniens. L'utilisation de la réalité augmentée permet de mieux personnaliser les systèmes éducatifs et de les adapter aux besoins de chaque élève. [41] Une étude récente a porté sur la conception d'un prototype de réalité augmentée pour l'apprentissage de la pensée spatiale chez les enfants avec déficience visuelle (étude de AlbouysPerrois, Laviolle, Briant, & Brock, 2018) [42] Le dispositif permet à l'utilisateur de construire des cartes et des itinéraires qu'il projette sur une table. L'élève reçoit un retour tactile et sonore lorsqu'il sélectionne un élément lui permettant d'identifier les objets. Appliqués sur des étudiants ayant une déficience visuelle, tous les utilisateurs ont réussi à utiliser le système, et ont montré une très grande satisfaction par rapport à l'apport de la réalité augmentée pour répondre à leurs besoins. Le prototype est présenté dans la section « des outils RA adaptés à l'apprentissage personnalisé » [41] Pour les malentendants, les applications de RA s'appuient sur les images avec les sous-titres, les couleurs et les chiffres pour orienter les élèves. Les instructions peuvent être données sous forme de texte ou en langage des signes, l'enseignant n'est donc sollicité que pour contrôler l'avancement et le bon déroulement des activités. [43]

4.2.2. Les outils RA adaptés à l'apprentissage personnalisé

Les outils de réalité augmentée utilisés dans les milieux scolaires sont souvent conçus pour être utilisés individuellement, donnant ainsi plus de liberté à l'élève pour choisir comment aborder les tâches qui lui sont assignées, et de suivre son propre rythme.

En cours de Sciences et Vie de la Terre (SVT), les élèves apprennent à approfondir leurs connaissances en anatomie en faisant des dissections réelles sur des grenouilles. Le travail en groupe sur ces dissections ne leur permet pas de contrôler leur apprentissage sans oublier que certains peuvent être répu gnés par l'activité de dissection et refusent d'y participer.

Application de dissection virtuelle « Froggipedia »:

Cette application de dissection virtuelle de grenouille est disponible sur l'App store. Une fois la grenouille apparue virtuellement sur la table ou sur le sol, les utilisateurs peuvent se déplacer autour de l'animal, et en se rapprochant, les détails deviennent de plus en plus précis. Les élèves peuvent sélectionner le système qu'ils souhaitent étudier, système

digestif, nerveux, squelette ,etc.. et ceux qui avaient horreur des cours de dissection apprécieront l'utilisation de cette application. [57]

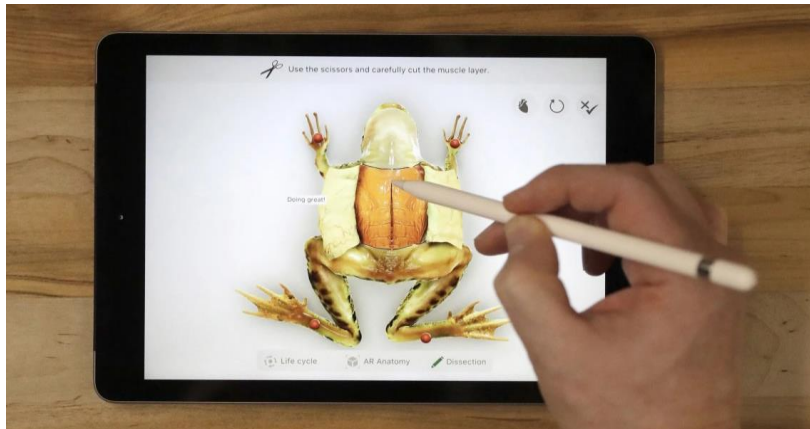


Figure 18 Dissection d'une grenouille avec l'application Froggipedia [57]

Pour faire la dissection , les élèves doivent fixer virtuellement la grenouille sur la table avec des punaises avant d'inciser. Une fois l'abdomen de l'animal ouvert, ils peuvent retirer les organes et les visualiser en détail. Les enfants peuvent également apprendre en utilisant Froggipedia le cycle de vie de la grenouille et suivre sa croissance grâce à la fonctionnalité "Life Cycle". [57]

Exemple d'un système de personnalisation du parcours d'apprentissage :

FI-AR learning Platform:

FI-AR est un outil qui permet de rajouter des applications de réalité augmentée (leçons et exercices basées sur la RA) dans des plateformes LMS existantes comme Moodle. Il est basée sur FIWARE, une infrastructure open source basée sur le cloud qui permet de créer et de publier des applications grâce à différentes API. [44]

L'architecture du cadre d'apprentissage FI-AR est divisée en quatre parties : l'éditeur de contenu (AR Content Editor), le lecteur de contenu (AR Player), le système de gestion et le store qui présente les différentes applications sur l'interface. [44]

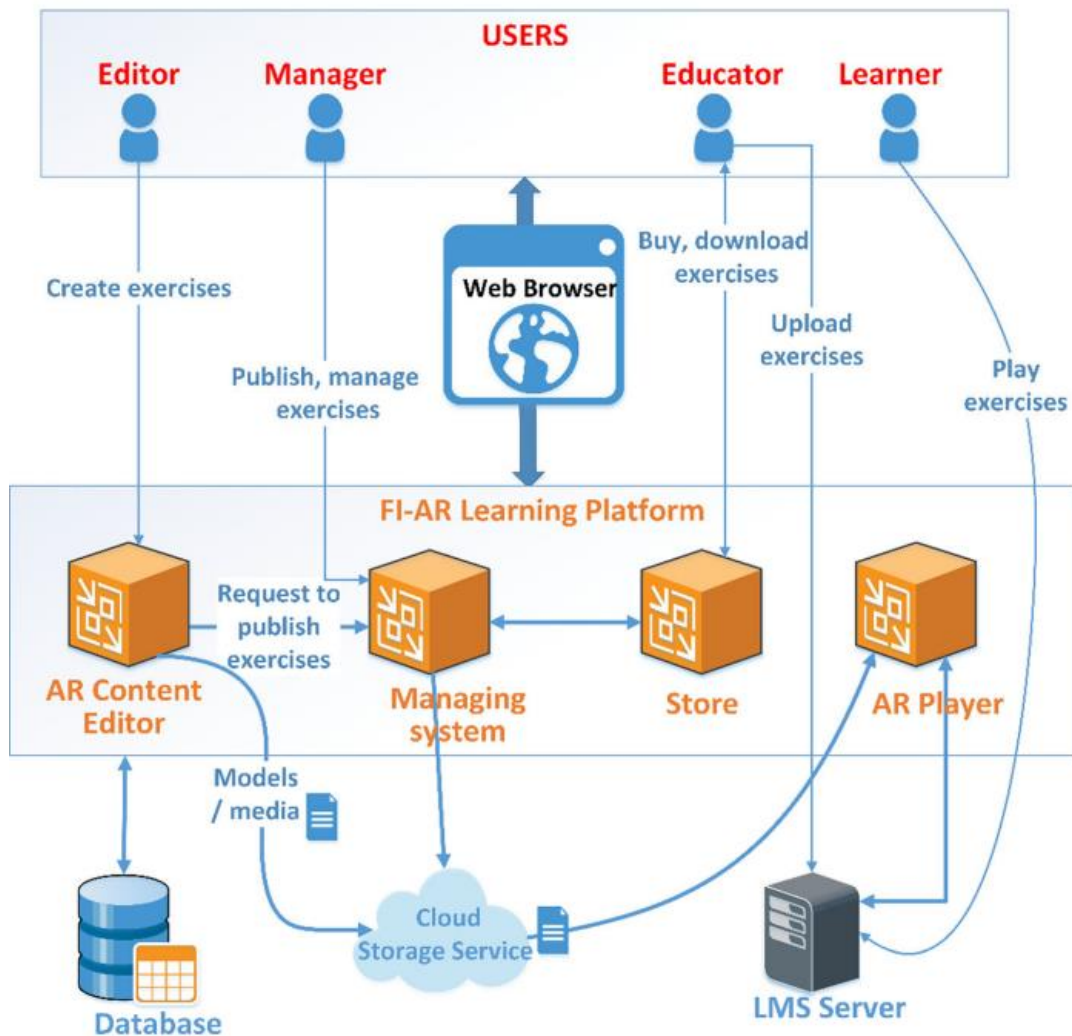


Figure 19 Architecture de la plateforme FI-AR Learning.[44]

- Grâce à l'éditeur, le matériel pédagogique associé à la réalité augmentée est créé. Il est ensuite enregistré et stocké dans le cloud.
- Le système de gestion permet de contrôler la publication des leçons et des exercices.
- Le store expose les applications aux éducateurs qui ont les droits d'accès. Si l'enseignant décide d'acheter et de télécharger des leçons et des exercices, ces derniers sont intégrés sans plugins au LMS.
- Les apprenants utilisent le lecteur ou AR Player pour lire le contenu depuis une fenêtre LMS hébergée par un serveur LMS.

Les plateformes de système de gestion d'apprentissage (LMS) se chargent donc de la distribution du contenu d'apprentissage, et pour personnaliser ce contenu, elle utilise les profils des élèves stockés dans son serveur mais également les différentes interactions

(score des exercices , taux d'avancement , etc..) des apprenants avec les applications de RA. [44]



Figure 20 Contenu d'une unité centrale présenté en réalité augmentée sur le lecteur de RA de la plateforme FI-AR. [44]

Exemple de dispositif de RA pour les personnes en situation de handicap :

Carte de réalité augmentée multisensorielle pour les aveugles et personnes malvoyantes :

Il s'agit d'une carte qui s'affiche sur l'environnement réel , le dispositif se base sur l'utilisation du toolkit PapART (un dispositif de création de projection interactive) , d'une caméra de couleur pour détecter les objets, d'un projecteur pour afficher les informations ,

d'une caméra de profondeur pour détecter le mouvement des mains, d'une sortie audio et l'utilisation de jetons tactiles. [41] [42]



Figure 21 A gauche, le matériel PapART . A droite, Une étudiante qui utilise la carte multisensorielle tactile. [42]

En associant une projection vidéo avec des retours audio-tactiles, les utilisateurs arrivent à utiliser le dispositif facilement. Deux modes d'utilisation existent, le mode d'exploration qui permet de parcourir des documents existants et de recevoir des feedbacks tactiles et sonores, et le mode de construction où les utilisateurs utilisent des Wikki Stix et des plaques aimantées pour construire des itinéraires sur les cartes. [41]



Figure 22 La carte en mode construction: la carte utilise Wikki stix et des magnets combinés à la projection et des retours audio. [42]

4.3. La réalité augmentée au service de l'apprentissage inversé

De nombreux chercheurs ont souligné qu'avec l'apprentissage inversé, les enseignants peuvent concevoir des activités plus efficaces et guider les élèves à avoir une réflexion d'ordre supérieur, une pensée critique et plus d'interactions avec leurs pairs. Ils ont également indiqué que l'utilisation des technologies éducatives appropriées pourrait améliorer l'efficacité de l'apprentissage inversé, notamment les outils interactifs et collaboratifs qui peuvent être utilisés en classe ainsi que les outils personnalisés à utiliser au domicile de l'élève. Et parmi les technologies émergentes, la réalité augmentée est reconnue comme une technologie qui peut aider les élèves à faire des activités et des tâches du monde réel en s'appuyant sur les systèmes numériques. [28]

4.3.1. Comment la réalité augmentée participe à l'apprentissage inversé ?

Dans l'apprentissage inversé, l'élève doit acquérir des connaissances avant le cours grâce à des vidéos pédagogiques, des diaporamas ou des livres. Sans accompagnement, il peut rencontrer des difficultés pour apprendre ses leçons, notamment les leçons de grammaire et de prononciation où l'interactivité avec un enseignant est primordiale. Grâce à la réalité augmentée, l'élève peut avoir à sa disposition un assistant virtuel d'apprentissage, et avec un interlocuteur réaliste qui comprend et répond à tout ce que l'apprenant peut dire, l'élève va bénéficier d'un retour instantané sur sa prononciation. De plus, ces interactions intelligentes et continues rendent l'apprentissage amusant et dynamique. Face à un simple manuel scolaire, l'élève peut rapidement se désintéresser de sa leçon. En intégrant la réalité augmentée dans un livre qui peut paraître ordinaire, on peut capter l'attention de son lecteur et enrichir son imagination, cette idée a été concrétisée dans le projet de MagicBook.

L'apprentissage inversé vise à développer la pensée critique, mais souvent les élèves manquent d'imagination notamment lorsqu'il s'agit d'apprendre sur les cultures historiques et des civilisations antiques. La réalité augmentée, à travers des applications, permet à l'enseignant de présenter des visualisations 3D des différents monuments et temples historiques, ce qui rend le cours plus intéressant et suscite la curiosité et l'intérêt des élèves. [45]

En classe, l'enseignant doit guider ses élèves dans la réalisation des exercices applicatifs mais il est dans l'incapacité d'adapter son rythme à chaque élève. La réalité

augmentée peut pallier ce problème. En utilisant un outil individuel , chaque apprenant peut s'entraîner à son propre rythme, le système numérique peut lui fournir des conseils personnalisés et accroître son intérêt à l'activité.. Dans une expérience décrite par Chang S.-C. et Hwang G.-J. [28] , 111 élèves de cinquième année (école primaire) ont été divisés en deux classes, le premier a été guidé par un système d'apprentissage inversé basé sur la réalité augmentée, le deuxième était un groupe témoin qui a appris avec l'approche classique de l'apprentissage inversée. Le but du cours était d'enseigner aux élèves comment appliquer les effets électromagnétiques. Les apprenants ont répondu par la suite à des questionnaires et les résultats de l'expérience ont montré une différence significative entre les deux groupes . Les élèves qui ont appris avec le système de guidage d'exploitation de RA ont montré une performance de projet significativement meilleure que le groupe témoin, ils ont également été plus motivés et critiques. Des entretiens ont été réalisés également pour avoir des avis plus directs sur l'expérience , et l'analyse des commentaires a révélé trois points de vue concernant l'utilisation de l'approche d'orientation opérationnelle de RA dans l'apprentissage inversé. Les élèves ont apprécié la possibilité de travailler à leur rythme, et d'avoir eu des instructions qui correspondent à leur taux de progression actuel. Ils s'étaient montrés plus intéressés par l'activité et par le sujet du projet par rapport au groupe témoin. [28]

Dans l'apprentissage inversée, les élèves apprennent le cours par eux-mêmes , ils peuvent se sentir anxieux et frustrés notamment lorsqu'ils font face à des tâches complexes à réaliser en classe, l'apprentissage interactif et collaboratif doit donc être privilégié. En effet, lorsque les apprenants travaillent en groupe pour réaliser des activités et des projets , ils peuvent échanger sur les notions acquises et construire de nouvelles pensées et idées, ce qui les aide à être plus performants et efficaces. Plusieurs outils de RA proposent des interfaces collaboratives , qui peuvent être utilisées par tous les membres d'un groupe. Le système **CarettaKids** est destiné à l'apprentissage collaboratif en face à face en intégrant des espaces privés et partagés, il sera présenté dans la section "des outils adaptés à l'apprentissage inversé ". L'espace privé de ce dispositif permet à l'élève d'avancer à son rythme et de mettre en pratique ce qu'il a appris durant la première phase de la classe inversée. L'espace partagé permet aux élèves d'explorer et résoudre les problèmes avec leurs pairs et d'échanger sur les solutions proposées par chaque membre du groupe. [28] [46]

4.3.2. Les outils RA adaptés à l'apprentissage inversé

Comme présenté dans la section précédente, l'approche pédagogique de la classe inversée combinée à l'utilisation des applications de RA a un bon potentiel pour améliorer les performances des élèves et augmenter leur implication dans l'apprentissage. Plusieurs outils de RA peuvent être utilisés durant les deux phases de la classe inversée. Certains sont à utiliser uniquement durant la première phase, d'autres ne peuvent être utilisés qu'en classe, et il existe également des outils qui accompagnent l'élève dans son apprentissage durant les deux phases.

Exemples d'outils à utiliser durant la première phase de la classe inversée :

Mondly AR pour apprendre les langues et la prononciation :

Cette application fournit des scènes interactives qui rendent l'apprentissage des langues amusant, et permet aux utilisateurs d'avoir des conversations réalistes avec un humain virtuel. Il fournit également un retour immédiat sur la prononciation de l'utilisateur et la grammaire. Mondly AR intègre l'enseignant virtuel dans le monde réel, il peut changer de vêtements pour s'adapter à l'environnement d'apprentissage. [47]



Figure 23 Deux scènes d'interaction différentes avec l'enseignant de Mondly AR. [58]

Limites :

- Outre le dialogue oral , les utilisateurs ne peuvent pas interagir avec l'enseignant virtuel dans d'autres approches hormis celles imposées par l'application.
- Le produit est destiné à des utilisateurs individuels mais pas à plusieurs utilisateurs (ne peut pas être utilisé en classe).
- Les utilisateurs ne peuvent pas se voir à l'écran. [47]

Les livres augmentés :

En 2000 , durant la conférence Siggraph , un livre ordinaire a été présenté à plus de 2500 personnes comme un livre augmenté. Le livre pouvait être feuilleté et lu comme tout livre sans technologie additionnelle. Néanmoins , à l'aide d'un casque de visualisation semi-transparent , on pouvait voir apparaître des modèles virtuels 3D sur les pages. Les objets virtuels étaient animés, et l'utilisateur pouvait s'il le souhaitait complètement s'immerger dans le monde virtuel présenté par ce livre. Cette présentation marque l'apparition du MagicBook. [48]

Le dispositif était constitué d'un casque de vision opaque monté au bout d'un manche. Une caméra est placée au centre du casque pour filmer l'environnement réel auquel est ajouté du contenu virtuel. Des marqueurs spécifiques sont imprimés sur les pages et sont reconnus par la caméra. Lorsque l'utilisateur veut passer en mode de réalité virtuelle immersive, il appuie sur l'interrupteur qui se trouve sur le manche. [48-50]

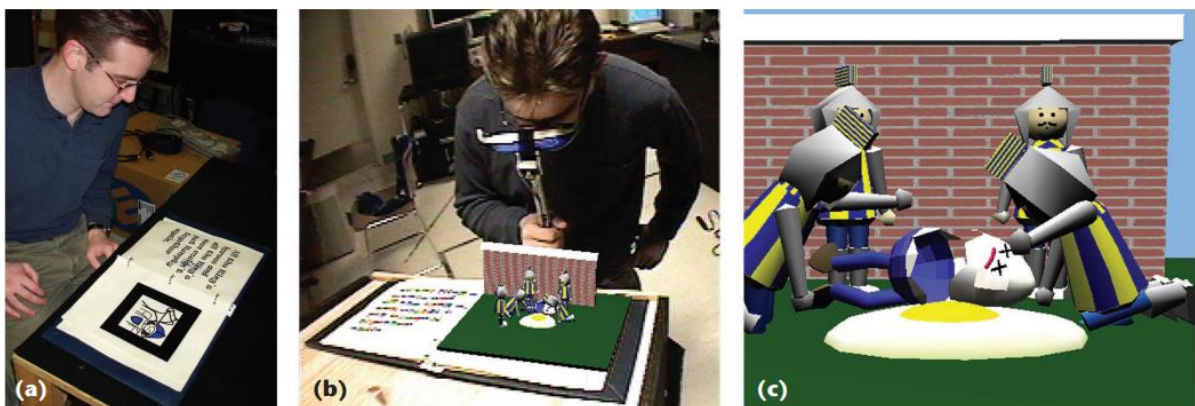


Figure 24 Les trois modes d'utilisation du MagicBook: réalité, réalité augmentée et immersion en RV.

[48]

Le Magicbook a par la suite été amélioré. Et plusieurs livres augmentés sont aujourd'hui disponibles sur le marché. Le casque avec le manche ont été remplacés par les tablettes et les smartphones. Pour activer le dispositif, une application doit être téléchargée, et l'usage de la caméra arrière du téléphone doit être autorisé. Nous retenons quelques exemples de livres augmentés très demandés sur le marché :

La collection Dokéo:

Les livres de cette collection permettent d'apprendre sur l'histoire, les sciences, les animaux et bien plus. Ils peuvent être utilisés chez les enfants dès l'âge de 3 ans. Parmi les livres proposés, on retrouve une encyclopédie en réalité augmentée qui explique le fonctionnement de plusieurs appareils électroniques. Pour activer la réalité augmentée sur ce livre , un logiciel doit être installé , l'utilisateur doit le récupérer depuis le site officiel de Dokéo. [59] [62]

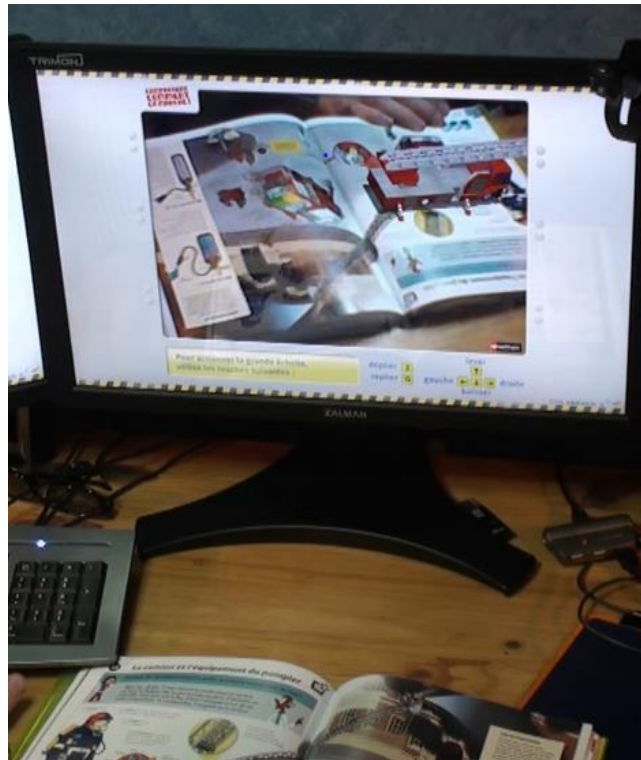


Figure 25 Encyclopédie Dokéo [60]

AR Pop-Up Book :

Le produit a été créé par Zooburst , une application qui intègre la réalité augmentée dans des livres et les transforme en 3D pop-up books. Si le livre est utilisé avec marqueur, les mouvements de l'utilisateur effectués au-dessus de ce marqueur sont reportés à l'écran,

ainsi , l'élève peut tourner les pages du livre affiché sur l'écran de l'ordinateur en agitant la main de droite vers la gauche. [49]

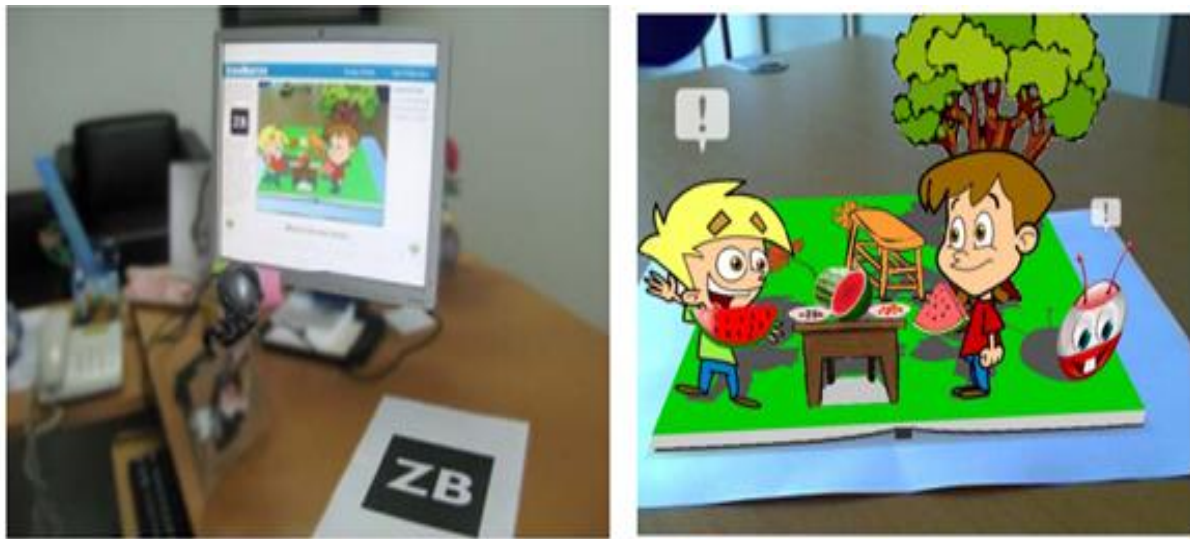


Figure 26 La caméra doit être orientée sur le marqueur pour afficher les objets virtuels sur l'environnement réel [49]

Le marqueur dans l'image suivante est caché dans le livre :



Figure 27 Exemple d'un AR pop-up book avec marqueur intégré dans les pages du livre.[61]

Limites des livres numériques :

- Le livre convient à une utilisation individuelle, même si un mode collaboratif existe également, où chaque élève doit tenir son propre dispositif (casque, smartphone etc..) [50]

Exemple d'outil à utiliser durant la deuxième phase de la classe inversée :

CarettaKid :

Le système Caretta est une application qui permet l'apprentissage de l'urbanisme et des sujets qui portent sur l'environnement. Les utilisateurs peuvent se mettre en face-à-face autour d'un espace partagé, représenté par une table tactile qui reçoit la projection depuis un LCD projecteur. Chaque utilisateur dispose d'un PDA qui constitue une tablette personnelle pour les activités individuelles. Les objets présentés sur la table peuvent être posés et détectés à l'aide d'étiquettes RFDI qui utilisent la technologie radio pour assurer le suivi. [50]

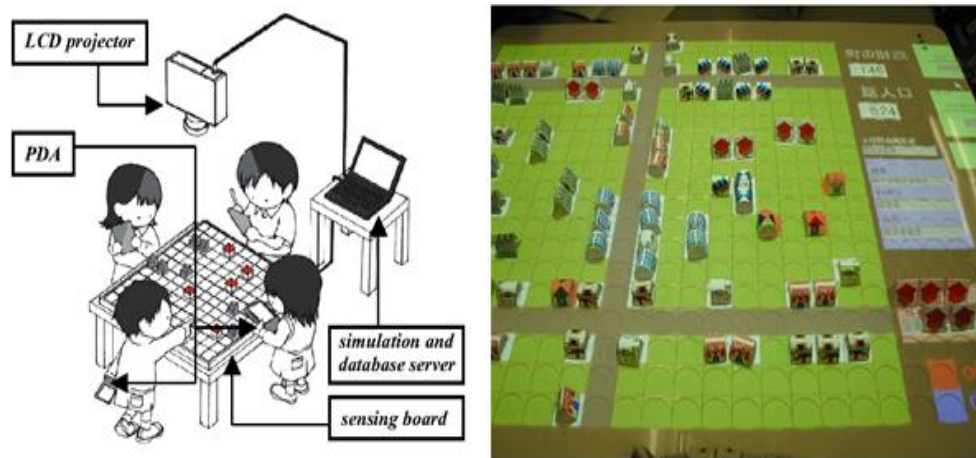


Figure 28 A gauche, les constituants du système Carreta. A droite, l'espace partagé entre élèves qui reçoit la projection depuis le LCD projector.[51]

L'application comporte un module de support intelligent qui propose des suggestions à l'utilisateur pour le guider en se basant sur ses manipulations précédentes. [50]



Figure 29 La tablette personnelle affiche une représentation de l'espace partagé. [51]

Exemple d'outils à utiliser durant les deux phases de la classe inversée :

Plateforme 1Know.net - Espace numérique de travail scolaire - :

Dans l'expérience décrite dans la section " Comment la réalité augmentée participe à l'apprentissage inversé ?", un espace numérique de travail scolaire a été enrichi par la réalité augmentée grâce à un outil de développement de jeux 3D « Unity ». La plateforme utilisée dans l'expérience contient plusieurs base de données, une base de données contenant le matériel d'apprentissage (les fiches d'apprentissage- guides d'instructions..) , une base de données avec les profils des élèves, une base de données du portfolio des connaissances de chaque appreni, et une base de données contenant le matériel d'enseignement (vidéos pédagogiques). [28]

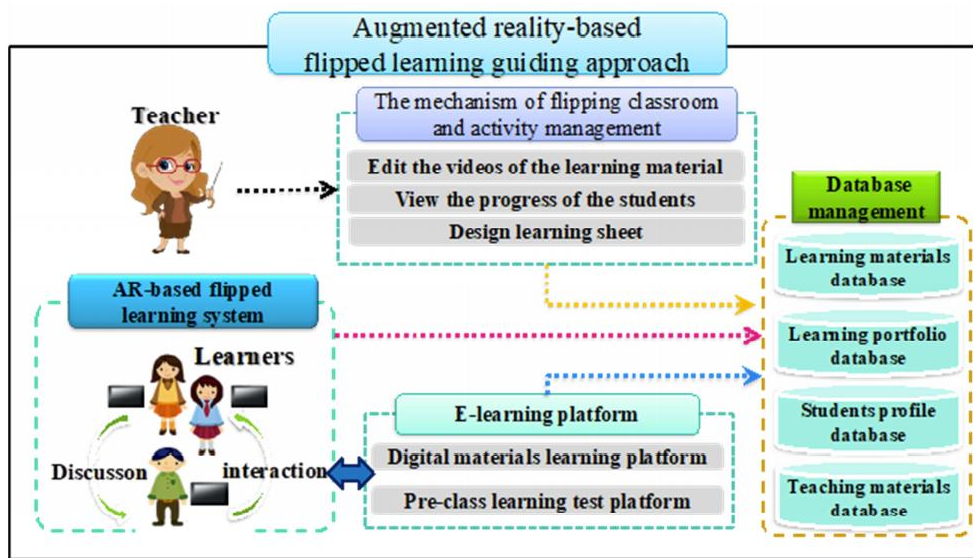


Figure 30 Structure du système d'apprentissage inversé basé sur la réalité augmentée. [28]

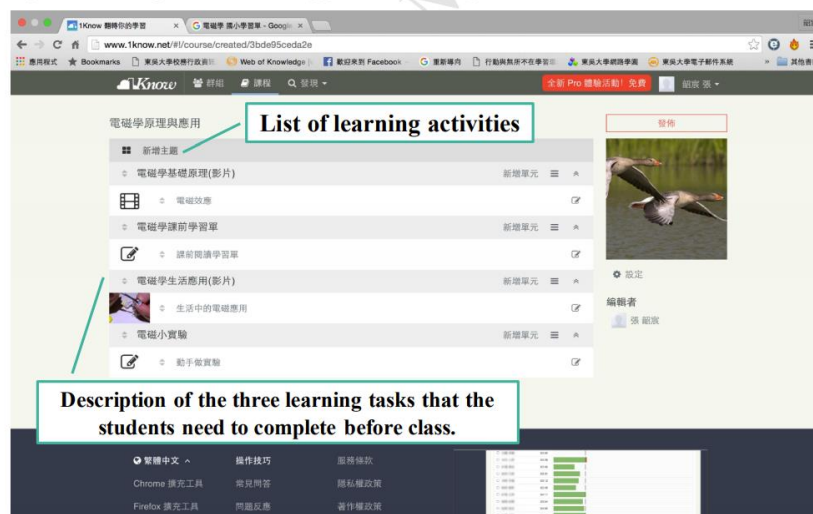


Figure 31 Description du processus d'apprentissage et la liste des activités. [28]

Les élèves se connectent à la plate-forme pour visionner les vidéos pédagogiques avant le cours. [28]



Figure 32 Interface de visionnage des vidéos et d'annotation. [28]

Ils peuvent visionner les vidéos à leur rythme et laisser des notes et des remarques pour en discuter avec les autres élèves et l'enseignant plus tard dans la classe. [28]

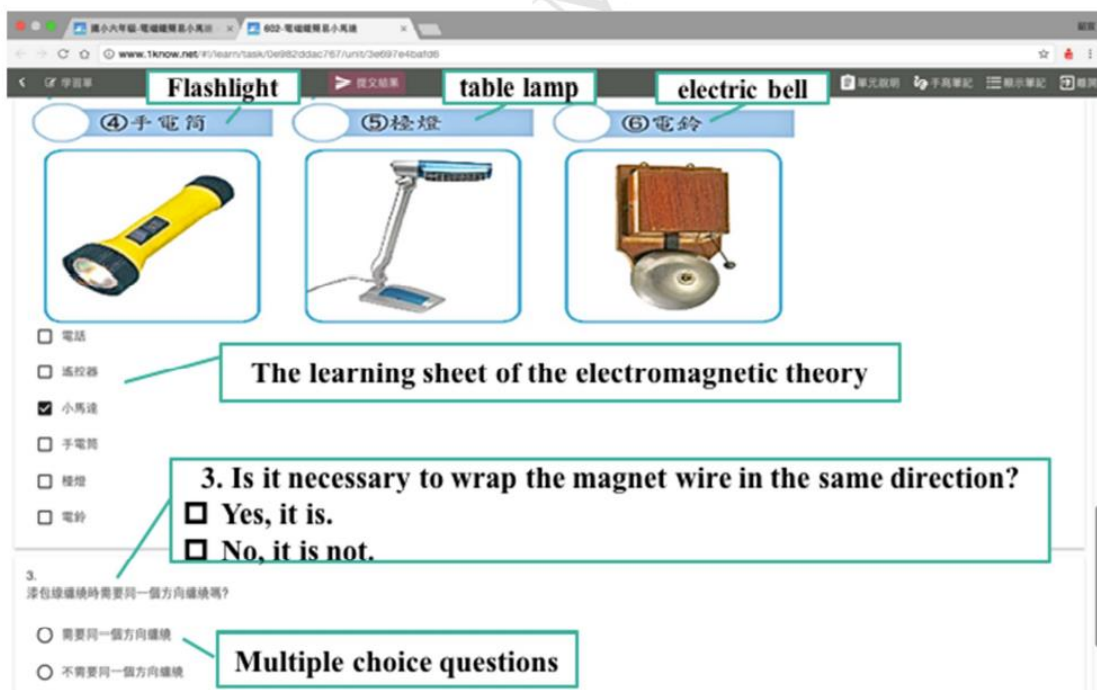


Figure 33 Feuille d'exercice [28]

La plate-forme propose des exercices de compréhension aux élèves sous forme de questionnaire simple. [28]

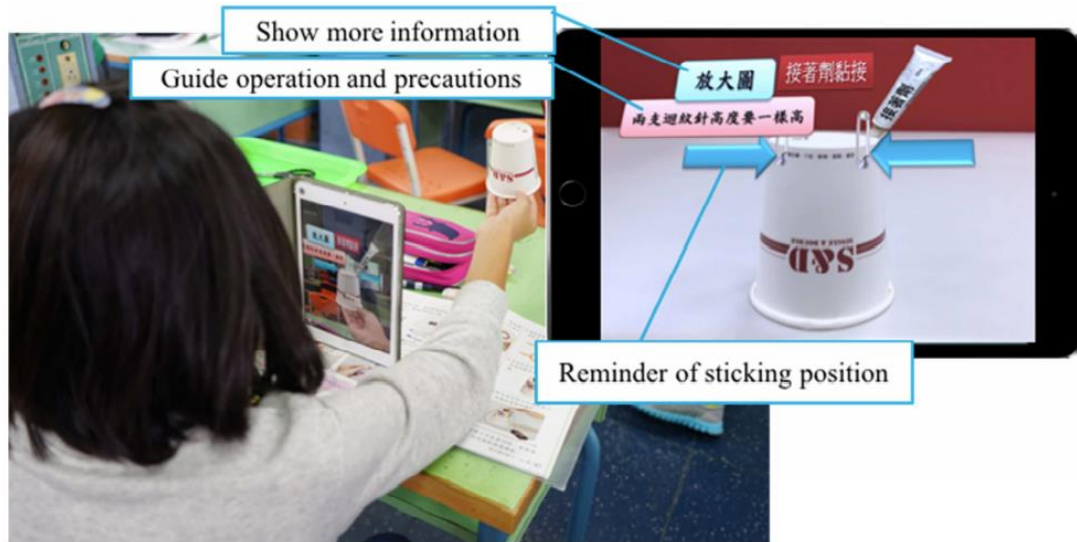


Figure 34 L'interface de guidage pour la réalité augmentée. [28]

L'espace de travail propose une interface basée sur la réalité augmentée pour guider les élèves dans la réalisation de la partie pratique du cours. A travers des instructions et des flèches, l'apprenti comprend comment utiliser les différents équipements et accessoires des travaux pratiques. [28]



Figure 35 Message d'erreur en cas de mauvaise manipulation. [28]

Si les élèves font des erreurs, le système prend l'initiative de les informer, et il les guide en fonction de leur progression actuelle. Si l'élève souhaite refaire une partie de l'exercice, il peut sélectionner l'étape en question. [28]



Figure 36 Des images virtuelles animées superposées sur la réalité. [28]

Le système propose également des images animées comme la direction du flux et l'étendu du champ magnétique comme le montre la figure 37, le but est de faire comprendre aux élèves le principe d'interaction électromagnétique. [28]

4.4. Limites de l'application de la réalité augmentée dans les méthodes d'apprentissage innovantes

Fort pertinente, la technologie de réalité augmentée présente un potentiel très important qui peut servir les différentes approches d'apprentissage innovantes, mais elle n'est pas encore parfaite et son utilisation connaît quelques limites.

- **Limites techniques :**

- Certaines difficultés d'ordre technique peuvent être rencontrées lors de l'utilisation des applications de RA, comme l'échec de la reconnaissance des objets. Cette technologie est basée sur l'image, elle peut donc être affectée par les lumières, le reflet du soleil et les angles, par conséquent la perception du monde réel est détériorée et l'utilisateur est induit en erreur. [28]
- De point de vue ergonomique, les interfaces de RA utilisées en apprentissage doivent être améliorées. Les travaux et les recherches se focalisent souvent sur la couche basique du système pour augmenter ses performances liées au suivi et à la reconnaissance des objets. Les couches application et utilisateur qui nécessitent beaucoup de recherches sur l'ergonomie des interfaces homme-machine sont souvent négligées. Et il est primordial de réduire la surcharge visuelle et la difficulté d'accès à l'information pour motiver l'apprenant à utiliser l'application de RA. [1]

- **Limites fonctionnelles :**

- Les dispositifs de RA utilisés dans un contexte scolaire ont été conçus pour les apprenants, rares sont les prototypes qui sont destinés à aider les enseignants. Pourtant , dans les différentes approches d'apprentissage innovantes, les enseignants jouent un rôle très important dans le guidage et l'accompagnement de leurs élèves , mais les outils de RA ne leur permettent pas de développer leurs compétences et de les orienter dans l'approche pédagogique qu'ils ont appliquée. Une explication possible à ce constat est le fait que la RA en tant que ressource pédagogique est rarement développée sur la base d'une analyse systématique de l'activité et des besoins de ses futurs utilisateurs, formateurs ou apprenants. En conséquence , les tâches des acteurs de l'enseignement sont peu différenciées et les usages prévus sont limités car peu cernés. [3]
- Les outils de RA sont souvent conçus pour être utilisés individuellement, alors que la collaboration entre les élèves est devenue indispensable pour la réussite des méthodes

d'apprentissage innovantes. Un mode collaboratif doit être inclus comme c'est déjà le cas dans certains outils. [28]

- **Limite liée au coup :**

Les appareils mobiles ainsi que les applications et dispositifs de RA coûtent cher et sont parfois difficilement accessibles à tous. Les établissements scolaires hésitent alors à se les procurer en grande quantité de peur de dépasser leur budget annuel.

Dans certaines écoles où la réalité augmentée a été utilisée, les smartphones appartenaient à l'établissement scolaire, les élèves qui n'avaient pas les moyens pour s'acheter une tablette ou un téléphone mobile ne pouvaient donc pas continuer à se former chez eux, ce qui va à l'encontre de l'apprentissage personnalisé où l'apprenant peut se former à son rythme chez lui. [40]

5. Recommandations d'utilisation de la réalité augmentée dans les méthodes d'apprentissage innovantes

L'intégration de la réalité augmentée dans les méthodes d'apprentissages innovantes est facilitée lorsque bien réfléchie. Dans un premier temps, l'enseignant doit planifier l'utilisation des applications de RA de manière globale. Il doit s'assurer que les outils de RA choisis peuvent être exploités pour le bon déroulement de la méthode pédagogique appliquée en classe.

Dans l'apprentissage collaboratif, les élèves travaillent en équipe et collaborent en échangeant leurs idées, et en partageant leurs connaissances pour réussir les activités scolaires. L'enseignant doit donc sélectionner les applications de RA collaboratives qui sont à sa disposition pour permettre aux élèves d'interagir simultanément. L'interface de l'application de RA choisie peut être individuelle mais elle doit permettre aux élèves de communiquer avec leurs pairs. De préférence, l'interface doit être collaborative, et dans ce cas, son utilisation est partagée entre les membres de chaque équipe. Il est également recommandé d'utiliser un outil de RA qui peut accompagner et orienter les groupes d'élèves dans leur activité scolaire. En effet, les instructions doivent être précises et claires, et les feedbacks continus pour assurer le bon avancement du travail collaboratif.

L'apprentissage personnalisé offre à l'apprenant une éducation qui prend en compte ses prérequis ainsi que ses progrès. Les outils de RA les plus adaptés à cette approche pédagogique sont les outils souvent d'utilisation individuelle qui présentent des ressources d'apprentissage facilement adaptables aux besoins de l'apprenant.

Le choix de l'outil dépend de la méthode de personnalisation adoptée par l'école ou par l'enseignant. Par exemple, si un système de gestion d'apprentissage (LMS) est utilisé pour personnaliser le parcours de l'élève, le choix va porter sur des applications de RA individuelles pouvant être connectées à la base de données du LMS. De préférence, il faut opter pour des applications qui proposent des évaluations continues aux élèves assurant ainsi le suivi de leur progression et la personnalisation de leur contenu d'apprentissage. Cependant, l'intégration des applications de RA non open-source dans les plateformes d'enseignement est compliquée à faire, mais il existe plusieurs applications qui permettent aux enseignants de développer leurs propres outils de RA.

Aurasma est un exemple d'application qui met la réalité augmentée à portée de tous. Depuis un poste informatique, un smartphone ou une tablette, l'application Aurasma Studio

peut être téléchargée gratuitement et installée avec un compte gratuit. Les images trigger doivent être préparées et scannées avec l'application Aurasma avant de leur rajouter du contenu virtuel ou Overlays. Des images, vidéos, textes ou même des liens URL peuvent être superposés sur les objets réels. La fusion des images triggers avec les Overlays va créer l'Aura ou l'objet réel augmenté. L'aura doit ensuite être partagé via le site Aurasma pour permettre aux utilisateurs de visualiser l'objet augmenté en utilisant l'application sur leur smartphone ou tablette. [63]

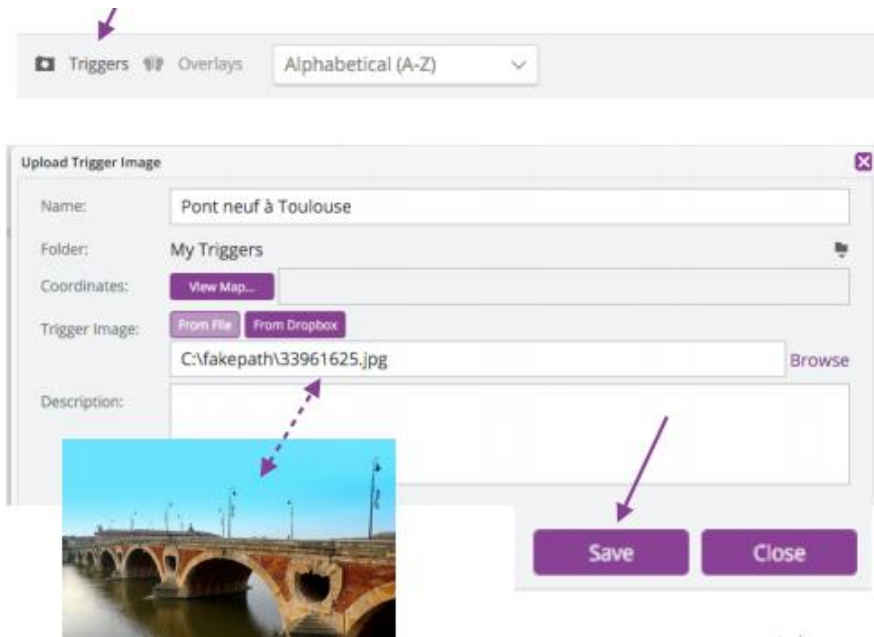


Figure 37 Création de l'Aura sur le site Aurasma (<https://studio.aurasma.com/home>) [63]

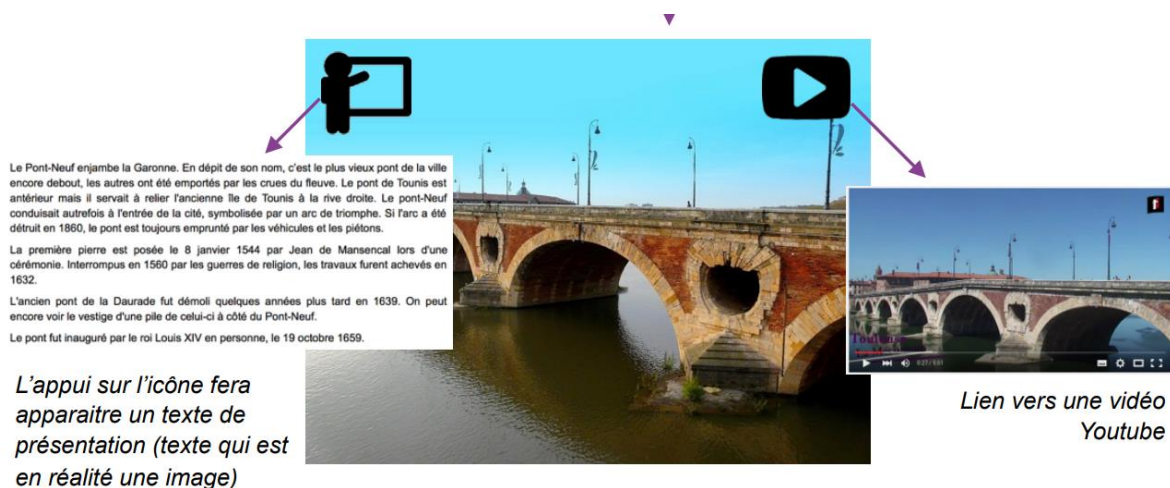


Figure 38 L'objet réel (le pont) a été augmentée avec une vidéo et un texte de présentation. [63]

Wikitude est un autre exemple d'application qui permet d'augmenter le matériel pédagogique, en géolocalisant des marqueurs d'informations partout dans le monde (avec Google Maps par exemple). Le kit de développement étant facile à utiliser, les enseignants peuvent s'en servir pour créer plusieurs applications de RA. Par exemple, ils peuvent sélectionner différents endroits dans l'enceinte de l'école sur Google Earth et leur associer du contenu pédagogique (Vidéo, texte, images animées en 2 ou 3 D). Selon l'objectif de la matière enseignée, les élèves pourront aller à la recherche d'informations virtuelles en utilisant des appareils mobiles. [62]



Figure 39 Application de RA développée avec Wikitude. [64]

Dans l'approche de classe inversée, on distingue deux phases d'apprentissage où les outils de RA augmentée doivent être choisis différemment. Avant le cours, l'élève doit apprendre ses leçons par lui-même et à son rythme, si l'enseignant choisit un outil de réalité augmentée comme support de cours, il réussira à motiver ses élèves et à capter leur attention avec une application d'aspect ludique, et dynamique ou un assistant virtuel pourrait les guider pour surmonter les difficultés de compréhension. Et pour constituer les groupes de travail de la deuxième phase d'apprentissage, des quiz doivent être proposés par l'outil pour connaître le niveau d'avancement de chaque élève. En classe, le travail collaboratif est privilégié, il est donc recommandé d'utiliser les outils de réalité augmentée collaboratifs.

Pour optimiser le rendement , seulement quelques outils doivent servir à un ensemble d'activités individuelles ou de groupes. Le but étant d'exploiter à fond un outil pour servir l'approche pédagogique innovante. Les scénarios pédagogiques de l'application doivent être aussi simples que possible pour obtenir de meilleurs résultats, en effet l'élève face à une technologie aussi avancée peut facilement se perdre si l'activité est difficile à comprendre. L'enseignant reste au centre des interactions et il n'est en aucun cas remplacé par l'assistant virtuel de l'application de RA. Il doit s'imposer et encadrer ses élèves qui peuvent durant une activité ludique oublier ou ne pas saisir le but de l'exercice. [62]

6. Conclusion

L'objectif de ce mémoire était de synthétiser les apports réels de la RA pour différentes méthodes d'apprentissage innovantes dans l'enseignement K12. Nous avons vu que l'utilisation de la RA dans l'apprentissage collaboratif, personnalisé et inversé apporte plusieurs avantages à ces approches pédagogiques.

Dans les différents domaines de son application, la RA est vue comme un outil ou une aide qui permet aux opérateurs de mieux se servir des objets réels de travail en leur ajoutant des fonctionnalités utiles. Alors que dans un cadre scolaire, les systèmes de RA constituent de véritables ressources pédagogiques notamment dans la classe inversée, où elle joue un rôle très important dans la transmission des informations. De plus, la réalité augmentée a non seulement le pouvoir d'engager les apprenants de diverses manières interactives, mais elle peut également fournir à chaque élève un parcours d'apprentissage unique avec un contenu riche et diversifié. Elle favorise le travail collaboratif tant à distance qu'en présentiel et permet la conception collaborative sur les projets scolaires. La RA a également rendu l'apprentissage plus rapide et efficace grâce à l'importance qu'elle accorde à la pratique et à la stimulation de la mémoire visuelle.

L'avenir de la RA en tant que technologie appliquée à l'éducation s'annonce prometteur comme le montre l'intérêt suscité dans les différentes études et recherches. De nouvelles pistes de son intégration peuvent être explorées et ses interactions avec le monde réel peuvent être améliorées. Les méthodes de conception ergonomique de l'interface homme-machine doivent être centrées sur l'utilisateur, et sur ses besoins. En effet, pendant la conception d'un système de RA à usage scolaire, il faut mener une réflexion sur la situation d'apprentissage ainsi que les objectifs de la formation. Il faudrait également définir les différents utilisateurs du système (élève, enseignant, parent) pour une meilleure adaptation de l'outil.

En conclusion, des études supplémentaires sont nécessaires pour examiner les différents points d'amélioration et trouver des solutions aux problèmes liés aux coûts, dans l'espoir d'attirer davantage l'attention des établissements scolaires et les inciter à adopter cette technologie de réalité augmentée.

7. Bibliographie

1. Dugas, Julien. "La réalité augmentée dans un contexte d'apprentissage."(2018).
2. Lee, Kangdon. "Augmented reality in education and training." TechTrends 56.2 (2012): 13-21.
3. Anastassova, Margarita Svétoslavova, et al. "L'ergonomie de la réalité augmentée pour l'apprentissage: Une revue." Le travail humain 70.2 (2007): 97-125.
4. Paul Milgram & Fumio Kishino. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Trans. Information Systems, vol. E77-D, 1994.
5. Hugues, Olivier. Réalité Augmentée pour l'Aide à la Navigation. Diss. Université de Bordeaux, 2011.
6. Ghouaïel, Nehla. Ingénierie de la conception de systèmes de réalité augmentée mobile. Applications de la réalité augmentée mobile au tourisme culturel. Diss. Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2014.
7. Grasset, Raphaël, and Jean-Dominique Gascuel. "Réalité Augmentée et environnement collaboratif: Un tour d'horizon." AFIG'03. 2003.
8. Azuma, Ronald T. "A survey of augmented reality." Presence: teleoperators & virtual environments 6.4 (1997): 355-385.
9. Mooser, Jonathan, et al. "An augmented reality interface for mobile information retrieval." 2007 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. IEEE, 2007.
10. Damala, Areti, et al. "La réalité augmentée adaptative, Vers une nouvelle expérience de visite au musée." HyperText et HyperMedia (H2PTM). 2013.
11. Muratore, Isabelle, and Olivier Nannipieri. "L'expérience immersive créée par un jeu promotionnel en réalité augmentée destiné aux enfants." Décisions Marketing 1 (2016): 27-40.
12. Bayart, Benjamin. Réalité augmentée haptique: théorie et applications. Diss. Université d'Evry-Val d'Essonne, 2007.
13. Sielhorst, Tobias, et al. "An augmented reality delivery simulator for medical training." International workshop on augmented environments for medical imaging-MICCAI Satellite Workshop. Vol. 141. 2004.
14. Laal, Marjan, and Mozghan Laal. "Collaborative learning: what is it?." Procedia-Social and Behavioral Sciences 31 (2012): 491-495.
15. Baudrit, Alain. "Apprentissage coopératif/Apprentissage collaboratif: d'un comparatisme conventionnel à un comparatisme critique." Les Sciences de l'éducation-Pour l'Ère nouvelle 40.1 (2007): 115-136.
16. Tolmie, Andrew Kenneth, et al. "Social effects of collaborative learning in primary schools." Learning and instruction 20.3 (2010): 177-191.
17. Dillenbourg, P., et al. "L'évolution de la recherche sur l'apprentissage collaboratif." Séminaire de recherche Apprentissage collaboratif et co-formation 2002 (2001).

18. Baudrit, Alain. "Apprentissage collaboratif: des conceptions éloignées des deux côtés de l'Atlantique?." Carrefours de l'Éducation 1 (2009): 103-116.
19. Nandigam, David, Sreenivas Sremath Tirumala, and Nilufar Baghaei. "Personalized learning: Current status and potential." 2014 IEEE Conference on e-Learning, e-Management and e-Services (IC3e). IEEE, 2014.
20. West, M. D. "Using Technology to Personalized Learning and Assess Students in Real-Time." (2011).
21. Bulger, Monica. "Personalized learning: The conversations we're not having." Data and Society 22.1 (2016): 1-29.
22. Failliet, Vincent. "La pédagogie inversée: recherche sur la pratique de la classe inversée." Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation 21.1 (2014): 651-665.
23. Thobois-Jacob, Laëtitia, Éric Christoffel, and Pascal Marquet. "L'adhésion des étudiants à la classe inversée: une approche par le style d'apprentissage." Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation 24.3 (2017): 37-61.
24. Le Jeune, Jean-Marie. "La classe inversée: le triangle pédagogique sens dessus dessous." Synergies Turquie 9 (2016): 161-172.
25. Lebrun, Marcel. "L'école de demain: entre MOOC et classe inversée." Économie et management 156 (2015): 41-47.
26. Peraya, Daniel. "La classe inversée peut-elle changer l'école?." Résonances. Mensuel de l'école valaisanne. 6 (2015): 8-9.
27. Phon, Danakorn Nincarean Eh, Mohamad Bilal Ali, and Noor Dayana Abd Halim. "Collaborative augmented reality in education: A review." 2014 International Conference on Teaching and Learning in Computing and Engineering. IEEE, 2014.
28. Chang, Shao-Chen, and Gwo-Jen Hwang. "Impacts of an augmented reality-based flipped learning guiding approach on students' scientific project performance and perceptions." Computers & Education 125 (2018): 226-239.
29. Lewis, François, Patrick Plante, and Daniel Lemire. "Pertinence, efficacité et principes pédagogiques de la réalité virtuelle et augmentée en contexte scolaire: une revue de littérature." Médiations et médiatisations 5 (2021): 11-27.
30. Redondo, Beatriz, et al. "Integration of augmented reality in the teaching of English as a foreign language in early childhood education." Early Childhood Education Journal 48.2 (2020): 147-155.
31. Billingsley, Glenna, et al. "A systematic literature review of using immersive virtual reality technology in teacher education." Journal of Interactive Learning Research 30.1 (2019): 65-90.
32. Fleck, Stéphanie, and Luc Massou. "Le numérique pour l'apprentissage collaboratif: nouvelles interfaces, nouvelles interactions." Médiations et médiatisations 5 (2021): 3-10.
33. Dunleavy, Matt, Chris Dede, and Rebecca Mitchell. "Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning." Journal of science Education and Technology 18.1 (2009): 7-22.

34. Campos, Pedro, Sofia Pessanha, and Joaquim Jorge. "Fostering collaboration in kindergarten through an augmented reality game." *International Journal of Virtual Reality* 10.3 (2011): 33-39.
35. López-Faican, Lissette, and Javier Jaen. "EmoFindAR: Evaluation of a mobile multiplayer augmented reality game for primary school children." *Computers & Education* 149 (2020): 103814.
36. Cheng, Ya-Wen, et al. "An in-depth analysis of the interaction transitions in a collaborative Augmented Reality-based mathematic game." *Interactive Learning Environments* 27.5-6 (2019): 782-796.
37. Huggins, Erin S., and Shaun Kellogg. "Technology-enabled personalized learning: A promising practice in need of robust research." *School Science and Mathematics* 120.1 (2020): 1-3.
38. Imran, Hazra, et al. "Plors: a personalized learning object recommender system." *Vietnam Journal of Computer Science* 3.1 (2016): 3-13.
39. Kraut, Bojan, and Jelena Jeknić. "Improving education experience with augmented reality (AR)." 2015 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). IEEE, 2015.
40. Zainuddin, Nurkhamimi, et al. "Scaffolding a conceptual support for personalized arabic vocabulary learning using augmented reality (ar) enhanced flashcards." *Journal of Personalized Learning* 2.1 (2018): 95-103.
41. Macé, Marc J-M., et al. "Les nouvelles technologies pour les apprentissages spatiaux chez les personnes déficientes visuelles." *ANAE-Approche Neuropsychologique des Apprentissages Chez L'enfant* 31.159 (2019): pp-167.
42. Albouys-Perrois, Jérémy, et al. "Towards a multisensory augmented reality map for blind and low vision people: A participatory design approach." *Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems*. 2018.
43. Ahmad, H., et al. "Augmented reality to memorize Al-Quran for hearing impaired students: a preliminary analysis." *Journal of Fundamental and Applied Sciences* 10.2S (2018): 91-102.
44. Coma-Tatay, Inmaculada, et al. "FI-AR learning: a web-based platform for augmented reality educational content." *Multimedia Tools and Applications* 78.5 (2019): 6093-6118.
45. Buchner, Josef, and Elke Höfler. "Flipped learning mit augmented reality." *Inverted Classroom* (2018): 61.
46. Chalon, René. *Réalité mixte et travail collaboratif: IRVO, un modèle de l'interaction homme-machine*. Diss. Ecole Centrale de Lyon, 2004.
47. Cai, Ming-Yuan, et al. "A Digital Reality Theater with the Mechanisms of Real-Time Spoken Language Evaluation and Interactive Switching of Scenario & Virtual Costumes: Effects on Motivation and Learning Performance." 2020 IEEE 20th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT). IEEE, 2020.
48. Billinghurst, Mark, Hirokazu Kato, and Ivan Poupyrev. "The MagicBook: a transitional AR interface." *Computers & Graphics* 25.5 (2001): 745-753.

49. Vate-U-Lan, Poonsri. "Augmented Reality 3D pop-up children book: Instructional design for hybrid learning." 2011 5th IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (ICELIE). IEEE, 2011.

50. Chalon, René. Réalité mixte et travail collaboratif: IRVO, un modèle de l'interaction homme-machine. Diss. Ecole Centrale de Lyon, 2004.

51. Sugimoto, Masanori, Kazuhiro Hosoi, and Hiromichi Hashizume. "Caretta: a system for supporting face-to-face collaboration by integrating personal and shared spaces." Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. 2004.

Sites internet:

52. L'histoire de la Réalité Augmentée. Contenu mis à jour le 30 septembre 2020. <https://numerized.com/fr/realite-augmentee/histoire-realite-augmentee/>

53. Elise Lamiabie. Réalité augmentée : une invasion programmée dans notre quotidien. <https://www.anthedesign.fr/autour-du-web/realite-augmentee-ra/>

54. <http://www.agnola.com/actualites.html>

55. Areti DAMALA Centre d'Étude et de Recherche en Informatique du CNAM. Réalité Augmentée et Applications Culturelles: Petit point d'histoire. Atelier réalité augmentée. http://www.club-innovation-culture.fr/wp-content/uploads/atelierclic_damala.pdf

56. Vincent Alzieu .Test : la réalité augmentée à la sauce Chocapic - Arthur. Publié le 09/12/09. <https://www.lesnumeriques.com/loisirs/test-realite-augmentee-sauce-chocapic-arthur-n11983.html>

57. Grégoire Martinez. Ces applications de réalité augmentée qui veulent réinventer l'enseignement(2018). <https://www.europe1.fr/technologies/ces-applications-de-realite-augmentee-qui-veulent-reinventer-lenseignement-3615533>

58. <https://www.mondly.com/ar>

59. <http://www16.dokeo-commentcamarche.com/?sub1=20210821-0538-30c2-adb3-bb1744013776>

60. <https://www.youtube.com/watch?v=t0Jsu2BPCco>

61. https://www.researchgate.net/figure/The-display-of-an-AR-based-interactive-pop-up-book_fig1_337717128

62. Felipe Antaya. La réalité augmentée au service de l'apprentissage, 2017. <https://ecolebranchee.com/realite-augmentee-apprentissage/?fbclid=IwAR1EfFYLEFW-tRMuap4gjT0GKphyDpNGXzn9uf1yQN7H0WjpvuU0s2oti-4>.

63. Réalité Augmentée - Principe et réalisation avec Aurasma - Formateurs Ac. Toulouse - Mars 2016. <http://ien-epinay.circo.ac-creteil.fr/IMG/pdf/aurasma-didacticiel-159.pdf>

64. <https://www.kcsitglobal.com/blogs/detail-blog/augmented-reality-transforming-travel>