



**HAL**  
open science

## **Serious Game, Simulateur, Serious play : état de l'art pour la formation en santé**

Catherine Pons Lelardeux, David Panzoli, Julian Alvarez, Michel Galaup,  
Pierre Lagarrigue

### ► **To cite this version:**

Catherine Pons Lelardeux, David Panzoli, Julian Alvarez, Michel Galaup, Pierre Lagarrigue. Serious Game, Simulateur, Serious play : état de l'art pour la formation en santé. e-virtuoses / SEGAMED 2012, Université de Nice, Oct 2012, Nice, France. hal-04024997

**HAL Id: hal-04024997**

**<https://hal.science/hal-04024997v1>**

Submitted on 23 Aug 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Serious Game, Simulateur, Serious play : état de l'art pour la formation en santé

Catherine Lelardeux<sup>1</sup>, David Panzoli<sup>2</sup>, Julian Alvarez<sup>3</sup>, Michel Galaup<sup>1</sup>, Pierre Lagarrigue<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Serious Games Research Network, Université de Toulouse, France

<sup>2</sup> Institut de Recherche en Informatique de Toulouse, France

<sup>3</sup> Ludoscience, Villeneuve d'Asq, France

<sup>4</sup> Institut Clément Ader, Toulouse, France

<sup>1</sup> email : catherine.lelardeux@univ-jfc.fr

<sup>2</sup> email : david.panzoli@irit.fr

<sup>3</sup> email : julian@ludoscience.com

<sup>4</sup> email : pierre.lagarrigue@univ-jfc.fr

## Abstract

Cette communication vise à proposer un état de l'art des outils numériques pour la formation en santé. A cette occasion, elle dresse un panorama de ces objets selon 3 catégories : Serious Game, Serious Play et simulateur. L'analyse de ces catégories nous amène à préciser à la fois les caractéristiques, les usages, les publics, les objectifs... de chacune d'entre elles. Ainsi, nous établissons un lien entre Serious Play et simulateur et démarquons nettement les simulateurs des Serious Games. Le simulateur s'appuyant parfois sur des modèles numériques, certes reproduit un comportement fidèle de la réalité mais ne propose pas d'objectifs explicites. Une relation tierce, assurée par la présence d'un instructeur est donc nécessaire pour encadrer des utilisateurs de simulateurs dans le cadre d'une formation. Il adresse, essentiellement, un public d'experts. A l'inverse, le Serious Game, en intégrant un scénario pédagogique qui sous-tend des objectifs, des contraintes et des moyens associées, offre la possibilité de s'affranchir le cas échéant de la présence d'une relation tierce.

## 1. Introduction

Cette communication vise à établir une distinction claire entre les objets Serious Game et Simulateur. Après avoir présenté le concept de Serious Game et exposé la différence que l'on peut établir entre jeu (vidéo) et jouet (vidéo), nous établirons le lien avec la notion de simulateur. À cette occasion, elle se propose de démontrer que les jouets et par extension les jouets vidéo, que l'on peut désigner par le vocable "Serious Play" lorsqu'ils visent une fonction utilitaire, sont assimilables à des simulateurs. Enfin, pour illustrer cette classification, nous dresserons un inventaire des objets qui viendront illustrer nos différentes catégories en nous positionnant dans le domaine de la formation en santé.

## 2. Serious Games

### 2.1 Définir le Serious Game

Les champs d'application du Serious Game concernent à ce jour de nombreux secteurs à l'instar de la santé, de la défense, de l'éducation, de la politique, de la formation et

de l'écologie... Ces champs continuent de s'élargir. Le Serious Game s'adresse donc à un ensemble de marchés. Ce positionnement s'accompagne ainsi d'une variété de termes visant à le désigner : Educational Games, Simulation, Virtual Reality, Alternative Purpose Games, Edutainment, Digital Game-Based Learning, Immersive Learning Simulations, Social Impact Games, Persuasive Games, Games for Change, Games for Good, Synthetic Learning Environments, Games with an Agenda... Ce recensement reflète le nombre conséquent d'acteurs qui s'intéressent au Serious Game et la diversité de leurs approches.

Au-delà de cette diversité d'appellations, plusieurs définitions contemporaines du Serious Game sont proposées.

La plus générale semble être celle des game designers Sande Chen & David Michael[1]: "Jeux dont la finalité première n'est pas le simple divertissement"[2]. Dans le même temps, le professeur Michael Zyda [3], actuellement directeur du laboratoire USC GamePipe à Los Angeles, propose une définition plus spécifique : "Un défi cérébral contre un ordinateur impliquant le respect de règles spécifiques, et qui s'appuie sur le divertissement pour atteindre des objectifs liés à la formation institutionnelle ou professionnelle, l'éducation, la santé, la politique intérieure ou la communication" [4].

Dans ces définitions, nous trouvons une base commune avec la vision du Serious Game mise en avant par Benjamin Sawyer [5]: "Toute utilisation pertinente de technologies issues de l'industrie du jeu vidéo à des fins autres que le simple divertissement"[6]. En tant que consultant, Sawyer est une des figures importantes de ce secteur aux Etats-Unis. Il a notamment fondé en 2002 "The Serious Game Initiative", un organisme indépendant ayant pour mission de développer le Serious Game et son industrie. Cependant, certains acteurs ne procèdent pas ainsi. Par exemple, dans le secteur de la formation professionnelle, quelques-uns s'appuient sur des jeux de rôle ou de plateau plutôt que sur du jeu vidéo [7]. Kevin Corti [8] l'illustre parfaitement à travers un article très critique qui appelle à l'élargissement des définitions usuelles du Serious Game. Il rappelle également que certains des acteurs, parfois cités pour illustrer le Serious

Game, ne se reconnaissent pas dans ce terme, et lui préfèrent d'autres appellations comme Game-Based Learning ou Simulation. Cette revendication nous renvoie à l'ouvrage "Serious Game" de Clark Abt publié en 1970[9]. Dans ses écrits, ce chercheur voit dans les jeux un support permettant d'enrichir les cursus scolaires en réduisant la frontière entre "apprentissage scolaire" et "apprentissage informel". Il appuie sa thèse par de nombreux exemples pratiques d'enseignement par le jeu pour des thèmes allant de la physique aux sciences humaines, en passant par la politique. Bien qu'inspiré par les premières simulations informatiques, Abt propose à l'époque une définition du terme "Serious Game" qui ne se limite pas au seul jeu vidéo (computer game). Dans les années 1970, un "Serious Game" peut ainsi être un jeu sur ordinateur, un jeu de société, un jeu de rôle ou même un jeu de plein air.

Aujourd'hui, ce lien avec le support informatique semble être une constante dans l'industrie du Serious Game. Néanmoins, les professionnels ne se fédèrent pas autour d'une même définition de l'objet.

Conscient qu'il existe une multitude d'approches différentes du Serious Game, nous savons que s'inscrire dans l'une d'elles implique des limites. Cependant, pour avancer dans nos propos, nous devons nous positionner. Ainsi, dans le cadre de cette communication nous choisissons de nous rattacher à la définition suivante du Serious Game, élaborée durant nos précédents travaux[10]: "Application informatique, dont l'intention initiale est de combiner, avec cohérence, à la fois des aspects utilitaires (Serious) tels, de manière non exhaustive et non exclusive, l'enseignement, l'apprentissage, la communication, ou encore l'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (Game). Une telle association, qui s'opère par l'implémentation d'un scénario utilitaire, qui, sur le plan informatique correspond à implémenter un habillage (sonore et graphique), une histoire et des règles idoines, a donc pour but de s'écarter du simple divertissement."

Cette définition peut se résumer par la mise en relation suivante : Serious Game = jeu (vidéo) + scénario utilitaire

## **2.2 Les fonctions utilitaires des Serious Games**

L'appréciation des finalités qu'un concepteur souhaite viser à travers la réalisation d'un "Serious Game" est loin d'être simple.

Au final, les différentes catégories de "finalité" généralement utilisées servent apparemment à différencier la nature du message diffusé par les Serious Games. En classifiant les messages par leur nature, nous proposons alors de les recenser comme suit :

- Le message informatif, visant à diffuser un point de vue neutre.
- Le message éducatif, visant à transmettre un savoir ou un enseignement.

- Le message marketing/persuasif, visant à influencer ou induire un comportement
- Le message subjectif, visant à diffuser une opinion.

Cependant, tous les Serious Games n'ont pas pour finalité de diffuser un message. En effet, nous recensons des jeux appartenant aux catégories "Training and Simulation Games" ou "Games for Health" qui visent une autre finalité : prodiguer un entraînement.

Par exemple, Pulse!! sert à entraîner les médecins urgentistes à gérer des situations de crise, tandis que MoSBE (Breakaway, 2007) permet de préparer des soldats à des opérations militaires. La notion d'entraînement se traduit ici par le développement de compétences physiques ou cognitives suite à la pratique du jeu.

Une troisième finalité, moins répandue, nous semble également intéressante à recenser pour classifier les "Serious Games" : les jeux destinés à favoriser l'échange de données. Dans ce registre, nous recensons par exemple Google Image Labeler (Google, 2007). Ce Serious Game a été développé par la société Google dans l'optique d'améliorer la pertinence de son moteur de recherche d'images. Chaque partie jouée est ainsi un moyen d'enrichir sa base de données, de collecter des données statistiques pour affiner les liens entre certaines images et les listes de mots associées. Ce type d'application, appelé datagame, littéralement "jeu sur les données", est encore assez peu répandu à ce jour. De tels datagames peuvent aussi contribuer à la recherche scientifique. Par exemple, Foldit (University of Washington, 2008), sollicite les internautes pour trouver des solutions innovantes en matière de pliage de protéines. En septembre 2011, les joueurs de ce Serious Game ont réussi à résoudre l'énigme de la structure d'une enzyme liée au VIH en quelques semaines, alors que les recherches étaient restées infructueuses durant une décennie. La recherche scientifique sur le VIH a donc pu avancer grâce à ce datagame un peu particulier.

En résumé, nous proposons donc de classifier les finalités selon trois grandes catégories :

- Diffuser un message: le Serious Game vise à diffuser un ou plusieurs messages. Ces derniers peuvent être de quatre natures différentes : éducatif (ex: Edugames), informatif (ex: Newsgames), persuasif (ex: Advergames) et subjectif (ex: Militant games, Art games). Un même jeu peut cumuler plusieurs natures de message.
- Prodiguer un entraînement: le Serious Game vise à améliorer les capacités cognitives ou physiques du joueur (ex: Exergames)
- Favoriser l'échange de données: le Serious Game est destiné à favoriser l'échange de données (ex: Datagames) entre les joueurs, ou entre le diffuseur du jeu et les joueurs.

## **2.3 Les Serious Games dédiés au secteur de la santé**

Pour illustrer ce que peuvent représenter des Serious Games dédiés au secteur de la santé en fonction de leurs fonctions utilitaires, voici quelques exemples :

### 2.3.1 Diffuser un message

Diffuser un message (marketing, éducatif, informatif, subjectif)

Captain Novolin (Super Nintendo, 1992) (Fig. 1) se destine à aider et à éduquer les enfants atteints de diabète. En incarnant un héros diabétique dans un jeu de plateforme, l'objectif est de sensibiliser les enfants à l'importance du contrôle de taux de glucose et à la manière de gérer l'insuline. On note également que les joueurs doivent surveiller l'index glycémique des bonus alimentaires qu'ils ramassent.



Fig. 1. Captain Novolin - Super Nintendo, 1992

Re-Mission: Dans le même registre, le Serious Game "Re-Mission" (HopeLab, 2006) propose aux patients adolescents atteints de cancer de plonger au cœur des cellules infectées pour éradiquer la maladie en appliquant une chimiothérapie, ici personnifiée par un personnage virtuel. L'objectif de ce jeu est d'abord d'expliquer simplement le principe des traitements contre le cancer mais aussi d'initier un dialogue avec les patients à propos de leur maladie.

Hopital Waste Disposal : Ce titre vise à sensibiliser les professionnels de santé à la gestion des déchets en milieu hospitalier. Le principe est simple : divers déchets d'activités de soins sont disposés sur une table; l'apprenant doit les jeter dans la poubelle adéquate. Il apprend ainsi à distinguer les déchets assimilés aux ordures ménagères (DAOM : déchets d'activité de soins assimilés aux ordures ménagères) de ceux présentant un risque infectieux (DASRI : déchets d'activité de soins à risque infectieux).

### 2.3.2 Dispenser un entraînement

Dans ce registre, l'un des titres les plus médiatisés dans le domaine de la santé est "Pulse!!".

Pulse!! (Breakaway Games, 2007) : Fruit d'une commande du gouvernement américain, il est autant connu pour la diversité des situations proposées (plus de

25 000 cas cliniques) que pour son budget colossal (10 millions USD investis pour sa réalisation). Ce Serious Game (Fig. 2) propose un environnement 3D immersif, réaliste et collaboratif (i.e. plusieurs apprenants sont réunis dans le jeu par le biais de leur avatar). Il permet de dispenser un entraînement autour des compétences cliniques requises pour faire face à des situations d'urgence telles des accidents de transports ou des attaques bio-terroristes. En plus du comportement très réaliste du patient virtuel, les procédures médicales sont reproduites avec une grande fidélité.



Fig. 2. Pulse !!, Breakaway Games, 2007

CliniSpace: Dans une logique similaire (Fig. 3), Clinispace (Innovation in Learning Inc, 2010) permet à son public d'incarner un médecin, et de s'entraîner au suivi de pathologies sur des patients virtuels. L'apprenant aborde les aspects opérationnels (consulter le dossier médical, dispenser une consultation) mais également les aspects organisationnels (planifier une intervention). La possibilité pour l'enseignant de concevoir des études de cas à partir d'objectifs pédagogiques en fait un véritable environnement d'apprentissage.



Fig. 3. CliniSpace, Innovation in Learning Inc, 2010

3DiTeams : L'objectif de "Team Training in a Virtual Interactive Environment" [Virtual Heroes, 2007] est l'enseignement et l'entraînement à la communication entre les praticiens lors des soins du patient, 70% des événements sentinelles ayant pour cause une défaillance de communication. Les scénarios proposés sont issus du curriculum TeamSTEPPS de l'agence américaine pour la recherche et de la qualité des soins de santé. En fin de session, les apprenants sont virtuellement regroupés pour un compte-rendu de leur performance, enregistrements vidéo à l'appui, par le responsable de l'équipe.

3D Virtual Operating Room (Serious Game Research Network, Hôpitaux de Toulouse, KTM Advance, Novamotion 2013) (Fig. 4): “3D Virtual Operating Room” est également centré sur la communication et le travail en collaboration, mais dans un contexte de prévention et de gestion des risques dans le bloc opératoire. À travers un environnement en 3D, 3DVOR propose un entraînement collaboratif à l’ensemble des personnels du bloc opératoire.

Certains Serious Games à destination des professionnels ne proposent par un environnement 3D immersif mais leur contenu est tout de même réaliste.



Fig. 4. 3D Virtual Operating Room, Serious Game Research Network, Hôpitaux de Toulouse, KTM Advance, Novamotion

### 2.3.3 Prodiguer un entraînement thérapeutique

Rehal I.T.: “RehaL I.T.” est un Serious Game médical pour la revalidation des cérébrolésés, développé par la société Fishing Cactus utilisant les technologies Kinect et Xbox 360 (Microsoft). Ce Serious Game s’adresse aux personnes présentant des perturbations des fonctions cognitives, en l’occurrence des fonctions attentionnelles (ex : concentration, attention sélective, attention divisée), des fonctions exécutives (ex : planification, flexibilité) et des mémoires (ex : maintien à court terme d’une information, apprentissage et récupération d’une information). Sur le plan moteur, il vise les désordres au niveau des interactions vision-objet nécessaires à tout acte de préhension, les troubles de l’orientation dans l’espace, les pertes de l’équilibre et les problèmes de proprioception.

Voracy Fish: Voracy fish (GENIOUS/DIDACT, 2012) (Fig. 5) est un Serious Game dont l’objectif est la rééducation fonctionnelle des membres supérieurs. Le patient est placé face à une caméra et un écran vidéo. Ses mouvements lui permettent de déplacer un poisson dans un univers marin. Le poisson piloté doit ainsi se nourrir d’autres poissons et éviter de se faire dévorer. Il se déplace en fonction des mouvements bi-manuels ou manuels latéraux effectués par le patient. L’objectif visé consiste à intégrer le logiciel dans un processus de soin.



Fig. 5. Voracy Fish, GENIOUS/DIDACT, 2012

JeStiMule: Dans un autre type d’usage, le Serious Game “JeStiMule (CEA List, 2010) : autisme et entraînement aux habiletés sociales” est un jeu éducatif pour la stimulation multisensorielle d’enfants atteints de troubles envahissants du développement. Il se destine aux enfants, adolescents et aux adultes présentant un trouble du spectre autistique. Je StiMule propose d’expérimenter en réalité virtuelle les interactions sociales réciproques, la reconnaissance des émotions exprimées avec différents indices sociaux (visages, gestes et en situation).

### 2.3.4 Permettre la collecte de données

Les Serious Games peuvent être utilisés dans le contexte de la Recherche. Par exemple, le projet FoldIt (Fig. 6) propose au grand public de contribuer à la recherche scientifique en leur présentant des problèmes de pliage de protéines représentées en 3 dimensions. Les joueurs doivent proposer des solutions manuelles de pliage de la structure tridimensionnelle d’une protéine utile à l’élaboration de nouveaux médicaments contre des maladies telles le VIH ou le cancer. Les solutions collectées sont alors transmises à un laboratoire en charge d’élaborer de nouveaux traitements médicaux.



Figure 6: FoldIt, University of Washington, 2008

## 3. Serious Play

Introduite par Caillois [11] en 1958, puis actualisée par Frasca [12] en 2003, la notion de “paidia” et de “ludus” fait état de deux formes ludiques distinctes. Leur différence se situe sur la construction de la structure ludique. Par exemple, Sim City (Maxis, 1989) semble tenir de la “paidia”, car il ne propose pas d’objectif explicite à atteindre permettant au joueur de “gagner”. Selon les définitions proposées par Salen & Zimmerman [13], Sim City est en effet un jeu dépourvu de “quantifiable outcome”, un état final mettant fin à la partie tout en proposant une évaluation de la performance du joueur. Pour Sim City, il est certes possible d’imaginer une forme d’évaluation de la performance du joueur à partir de facteurs tels que le nombre d’habitants ou le budget restant. Cependant, ce sera bien au joueur de fixer les critères d’évaluation, contrairement à un jeu “ludus” où ces derniers sont définis par le concepteur du jeu. Cela signifie que Sim City est un jouet vidéo [14].

A l’inverse, un jeu “ludus” comme Pac-man (Namco, 1980) définit des objectifs explicites (manger toutes les pastilles en évitant les fantômes) qui sont utilisés pour évaluer la performance du joueur, à travers un retour positif (gain de points de score) ou négatif (perte d’une vie). Nous sommes, dans ce cas, face à un jeu vidéo.

Pour illustrer, par analogie, la différence entre “jouet vidéo” et “jeu vidéo”, prenons une poupée Barbie (Ruth Handler, 1959) et le jeu du Monopoly (Charles Darrow, 1935). La poupée Barbie est un jouet car aucune notice n’est fournie dans la boîte pour nous dire quelles règles suivre et comment gagner. Il s’agit ici de s’amuser, donc de paidia. Un jouet vidéo propose une approche similaire. Dans le cas du Monopoly, il y a des règles de jeu à suivre pour gagner. Cela sous-tend un objectif : ruiner l’ensemble de ses adversaires. Il s’agit ici de ludus. C’est exactement que ce sous-tend un jeu vidéo.

Notons que la différence entre “paidia” et “ludus” équivaut à celle que l’on retrouve entre “play” et “game” dans la langue anglaise [15]. Le “play” se rapproche de l’idée d’amusement (Barbie) alors que le “game” sous-tend la notion de règles de jeu (Monopoly).

En partant de ce principe, nous qualifions de “Serious Play”, les jeux sérieux qui se basent sur une structure “paidia” (jouet) et de “Serious Game” ceux qui se basent sur une structure “ludus” (jeu avec règles).

Au même titre que les Serious Games, les Serious Play sont à même de véhiculer les fonctions utilitaires, diffuser un message, dispenser un entraînement, permettre la collecte de données.

Dans le domaine médical, nous recensons notamment les titres suivants dans chacune de ces 3 catégories.

### 3.1 Diffuser un message

Pumpkin-O-Meter (KidsHealth, 1995-2012) (Fig. 7) : Serious play destiné à faire prendre conscience aux enfants de la quantité de sucre que contiennent les bonbons. L’application invite ici à faire glisser les bonbons dans la

citrouille jusqu’à ce qu’elle explose. Un message expliquant les méfaits de l’excès de sucre est ensuite consultable...



Fig. 7. Pumpkin-O-Meter, KidsHealth 1995-2012

### 3.2 Dispenser un enseignement

Free Dive (Etats-Unis), 2008 (Fig. 8) : Serious Play utilisé en pédiatrie afin de divertir les enfants recevant des procédures de soins lourds, en les immergeant dans un univers “relaxant” pour les aider à oublier leur condition et leur apprendre à gérer la douleur le cas échéant.



Fig. 8. Free Dive, 2008

### 3.3 Permettre la collecte des données

Free Hugs (Ministère de la santé et des solidarités / INPES (France), 2007) (Fig. 9) : Serious Play destiné à sensibiliser les internautes à la discrimination envers les séropositifs. Ce jouet vidéo invite pour cela les utilisateurs à s’échanger des câlins virtuels. Le nombre de ces échanges est comptabilisé et affiché. En parallèle des données concernant chaque utilisateur sont recensées et servent sans doute à produire des statistiques pour le compte de l’INPES.



Fig. 9. Free Hugs, 2007

#### 4. Simulateurs

Les notions de simulateur et de simulation sont extrêmement variables suivant la discipline concernée ou l'usage attendu.

Dans le domaine de l'informatique, un simulateur peut être défini comme étant caractérisé par (i) un modèle numérique, i.e. une abstraction des données et/ou du système réel ou hypothétique et (ii) par la possibilité de conduire des expérimentations, la modification des entrées ayant une influence sur les sorties. Dès lors, un simulateur informatique peut être défini comme un programme logiciel offrant la représentation d'un modèle et permettant, à travers son exécution et les interactivités proposées, la simulation de son comportement et de son évolution.

En santé, la définition peut se restreindre à l'utilisation d'un matériel (mannequin ou simulateur procédural), d'un logiciel informatique (simulateur numérique), d'un dispositif de réalité virtuelle ou d'un patient standardisé pour reproduire des situations ou des environnements de soin, dans le but d'enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques pour répéter des processus, des concepts médicaux ou des prises de décision par un professionnel de santé ou une équipe de professionnels.

Toujours dans le domaine de la santé, selon G. Chiniara (2007) [16], la figure 10 catégorise les méthodes de simulation les plus utilisées. Cette classification a été reprise dans le rapport de la Haute Autorité de Santé en France en 2012 [17].

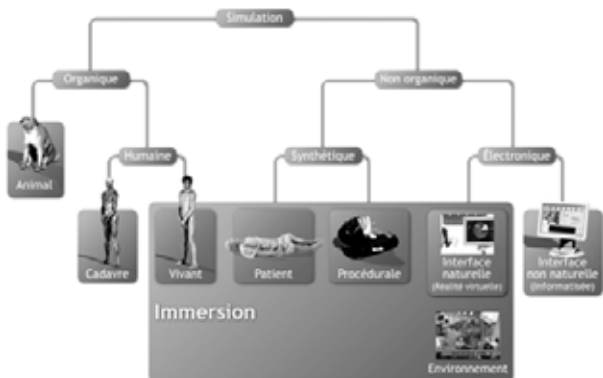


Fig. 10. Champs de la simulation en santé (HAS 2012)

Ce schéma illustre parfaitement l'existence de différents types de simulateur, la simulation s'opérant sur ou avec des êtres vivants (animaux, cadavres), sur des matières synthétiques ou bien au travers d'interfaces numériques utilisant ou non des techniques de réalité virtuelle.

Le terme de réalité virtuelle (RV) renvoie à un large spectre de techniques et de dispositifs matériels qui servent un intérêt commun : offrir à l'utilisateur une expérience riche, et plus ou moins proche de la réalité. Pour cela, différents degrés de réalisme sont proposés dans une application de RV. Ils peuvent se mesurer à travers deux axes : la fidélité et l'interactivité. Une application de réalité virtuelle repose *a minima* sur une présentation du contenu en 3D. Le niveau de fidélité peut être enrichi jusqu'à l'immersion totale d'un utilisateur dans un environnement 3D, par exemple par le biais d'un casque de RV.

Différents degrés d'interactivité peuvent également être proposés, de la simple visualisation du contenu à sa manipulation au moyen de dispositifs haptiques ou neuronaux. Par conséquent, nous pouvons constater qu'il existe différents degrés d'imbrication de la représentation numérique et du réel dans la simulation. Milgram & al. [18] définissent le terme de réalité mixte comme étant une combinaison de la réalité virtuelle et de la réalité. Si nous transposons le schéma de continuum reality de Milgram au domaine de la simulation, nous pouvons définir trois types de simulateur : les simulateurs non numériques, les simulateurs numériques, les simulateurs mixtes.

Les simulateurs mixtes combinent à la fois une partie logicielle et une partie dite « physique » composée d'objets embarquant de l'informatique et/ou de l'électronique communicant avec le(s) logiciel(s) via une interface numérique. Les simulateurs numériques se basent entièrement sur un logiciel informatique.

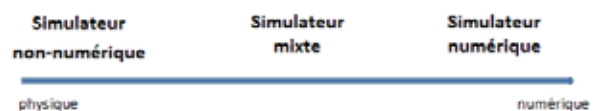


Fig. 11. Différents types de simulateur

Dans cette étude sur les simulateurs en santé, nous nous intéressons exclusivement aux simulateurs numériques ou mixtes.

Parmi ces simulateurs, nous dégagons 4 fonctions principales : permettre la compréhension de concepts, guider le praticien et permettre l'anticipation, travailler un geste technique et apprendre à coopérer.

#### 4.1 Comprendre

Les simulateurs virtuels offrent la possibilité, par le biais d'informations contextuelles, par exemple, d'expliquer les mécanismes internes qui régissent le fonctionnement d'une machine ou déterminent l'évolution de l'état d'un patient.

La Virtual Anesthesia Machine (VAM), développée par l'Université de Floride (<http://vam.anest.ufl.edu/>) est une machine virtuelle d'anesthésie dont le fonctionnement interne a été transposé de manière abstraite mais réaliste sur une interface numérique.

Ce fonctionnement interne peut être montré aux futurs praticiens (mode de transparence des mécanismes, fig. 12.a) afin de faciliter l'apprentissage de son utilisation, ou bien masqué auquel cas elle apparaît comme une boîte noire (mode opaque, fig. 12.b).

Les expérimentations ont montré que les étudiants praticiens ayant utilisé la VAM en mode transparent durant la formation avaient mieux appréhendé les concepts que ceux qui l'avaient uniquement utilisé en mode opaque [19]



Fig. 12. Virtual Anesthesia Machine, University of Florida

#### 4.2 Guider et permettre l'anticipation

Le projet collaboratif PASSPORT, mené par l'IRCAD, est un outil de planification chirurgicale personnalisée pour la chirurgie mini-invasive de la tumeur du foie. Il offre au chirurgien la possibilité de mener une analyse préopératoire en modélisant les conditions réelles de l'intervention (caractéristiques du foie du patient, localisation de la tumeur, etc.) pour planifier la procédure de manière optimale.

Le projet est basé sur un ensemble de modules réalisés par l'IRCAD, dont VR-Planning pour la planification et la manipulation de l'organe virtuel et VR-Render (Fig. 13) pour le rendu temps réel.

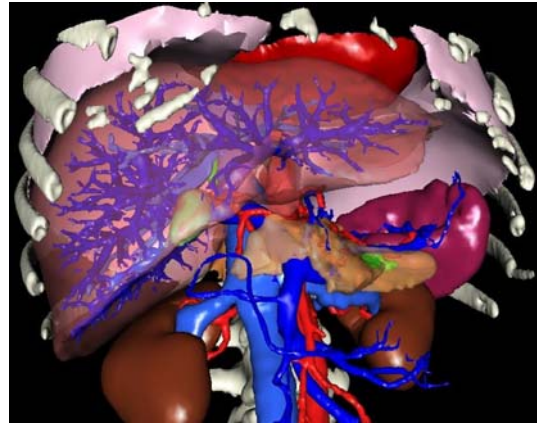


Fig. 13. L'IRCAD a développé une gamme d'outils permettant l'acquisition, la manipulation et l'affichage d'organes virtuels pour la planification d'opérations.

#### 4.3 Travailler un geste technique

Les simulateurs haptiques en chirurgie, comme par exemple le simulateur VOXEL-MAN Tempo (Fig. 14), sont particulièrement bien adaptés à l'entraînement par la répétition des gestes chirurgicaux.

En neurochirurgie, le simulateur "Neuro Touch" (CNRC - Montréal) permet aux chirurgiens de répéter sans risque les gestes chirurgicaux précis, subtils et délicats de certaines interventions de microchirurgie crânienne autrement que sur de vrais cerveaux. Le simulateur reproduit en 3 dimensions ce que le neurochirurgien voit dans son microscope et ressent au toucher lorsqu'il opère un vrai cerveau humain.

Le simulateur reproduit, en fonction de la tumeur cérébrale, le comportement de la matière du cerveau, la rigidité des tissus, leur flexibilité, leur élasticité en surface comme en profondeur. Le sens du toucher est très important pour le praticien. En effet, l'élasticité, la rigidité... ne sont pas les mêmes s'il s'agit de tissus malades ou de tissus sains. Le simulateur utilise la stéréovision et des outils bi-manuels avec retour d'effort, parmi lesquels un aspirateur chirurgical, des ciseaux bipolaires et des microciseaux. Des modules de formation élaborés à partir du dossier de patients atteints de tumeurs au cerveau sont disponibles et des mesures de performances fournissent automatiquement une évaluation objective des habiletés techniques.





Fig. 14. Le simulateur haptique VOXEL-MAN Tempo propose un entraînement virtuel à la chirurgie de l'oreille.

#### 4.4 Apprendre à coopérer

Certains simulateurs appelés en didactique par Pastré [20] « simulateurs pleine échelle » cherchent à reproduire la situation de travail dans toutes ses dimensions. Dans les domaines de l'anesthésie, de la chirurgie ou de l'imagerie médicale, il existe de nombreuses initiatives proposant des outils de formation simulant le contexte d'exercice des médecins et/ou paramédicaux basés entièrement, partiellement ou pas du tout sur des technologies numériques.



Fig. 15. Simulateurs d'anesthésie du CHU de Toulouse (a). Il s'agit d'une reconstitution d'un bloc opératoire dans lequel les anesthésistes peuvent pratiquer sur un mannequin électronique (b).

L'Université de Toulouse par exemple dispose d'un simulateur d'anesthésie (Fig. 15) pour former les médecins et infirmières anesthésistes du bloc opératoire. Ce simulateur est en fait une salle réelle reconstituant l'univers du bloc opératoire pédagogiquement "aménagée". Il contient un patient virtuel sous forme de mannequin électronique (human patient simulator doté de pouls, pression artérielle) allongé sur un lit médicalisé mais aussi les équipements de monitoring réel (respirateur, système de perfusion). Des étudiants internes en médecine et élèves infirmiers sont placés à l'intérieur du simulateur alors que des cas cliniques à risque sont proposés par le médecin-enseignant et simulés sur le mannequin. Il s'agit alors pour les étudiants de s'entraîner à développer leurs capacités de réaction face aux situations critiques et leurs aptitudes à collaborer. Ils progressent selon trois axes :

compétences cognitives (les savoirs), compétences relationnelles et communicationnelles (les capacités à travailler en équipe) et compétences psychomotrices (comment faire une injection, comment prendre le pouls...).

L'usage des simulateurs réels dans les dispositifs de formation destinés aux professionnels est répandu du fait de leurs nombreux avantages. En plus de leur réalisme et de leur fidélité, ils permettent à l'apprenant de commettre des erreurs dans un environnement sécurisé où la vie d'aucun patient n'est mise en danger. Ils offrent également la possibilité à l'enseignant de proposer un vaste panel de cas cliniques, élaborés par exemple sur la base d'un socle de compétences ou d'un curriculum. Certaines études montrent qu'ils facilitent aux élèves l'apprentissage et l'acquisition de compétences. [21]

Cependant, ces résultats doivent être nuancés. En effet, de nombreux travaux ont tenté d'évaluer l'impact de l'usage de simulateurs dans les processus de formation. Van Nortwick et al. [22] ont réalisé en 2010 une analyse de la validité des résultats avancés. Dans ce cadre, 83 études ont été examinées. Leurs conclusions montrent qu'en majorité, l'évaluation est réalisée par les hommes, que cela soit par le biais d'évaluateurs présents en temps réels ou à partir d'analyse de séquence vidéo. Les critères d'évaluation portent le plus fréquemment sur la durée de la tâche, l'économie de gestes, les erreurs techniques, le nombre de mouvements réalisés. 82% des études sont conduites dans un seul établissement et sur une population cible très faible (taille de l'échantillon de 37 en moyenne).

#### 5. Distinguer les objets Serious Game, Serious Play et Simulateur

A présent, nous avons passé en revue l'ensemble des objets Serious Game, Serious Play et simulateur. Mais, sommes-nous pour autant en présence de trois objets distincts ?

Pour y répondre, croisons les caractéristiques que nous recensons pour chacun de 3 objets. Nous obtenons le tableau 1.

A la lumière de ce tableau, dont les 12 caractéristiques mises en présence ne sont pas exhaustives, il apparaît des différences entre les 3 objets.

Ainsi l'objet Serious Game est le seul à proposer des objectifs à atteindre et à évaluer si l'utilisateur les atteint (caractéristiques 4 et 6). L'objet Serious Game, à l'instar du Serious Play peut convoquer une métaphore ce qui n'est pas le cas d'un simulateur [23].

Par contre, il semble que la frontière entre le Serious Play et Simulateur soit plus poreuse. En effet, si l'on fait abstraction des Serious Plays qui convoquent des modèles imaginaires ou des métaphores (caractéristiques 9 et 10), il ne reste plus que l'adoption de la posture ludique (caractéristique 7).

Tableau 1 Grille analytique

		Serious Game	Serious Play	Simulateur
	<b>Caractéristiques</b>			
1	Permet de diffuser un message	X	X	X
2	Permet de dispenser un entraînement	X	X	X
3	Permet la collecte de données	X	X	X
	<b>OBJECTIFS (définition, évaluation)</b>			
4	Propose des objectifs à atteindre	X		
5	Permet à un instructeur de fixer des objectifs		X	X
6	Juge si les objectifs proposés sont atteints	X		
	<b>Usages</b>			
7	Invite à adopter une posture ludique	X	X	
8	Son utilisation nécessite la présence d'un instructeur/formateur ou un haut niveau d'expertise de l'utilisateur			X
9	Peut s'utiliser en autonomie	X	X	
	<b>Représentation</b>			
8	Peut reproduire avec fidélité le réel	X	X	X
9	Peut convoquer un modèle imaginaire	X	X	
10	Peut convoquer une métaphore	X	X	
	<b>Public cible</b>			
11	s'adresse à un public averti	X	X	X
12	S'adresse au grand public	X	X	

Ce constat, nous amène à considérer le cas de figure suivant :



Fig. 17. simulateur humain et poupée

Les deux figures ci-dessus présentent d'un côté, un mannequin médical dédié à la formation et de l'autre, une poupée destinée à jouer. Si l'on cherche à différencier de manière formelle ces deux objets, l'affaire devient plus

complexe : nous sommes dans les deux cas, en présence, si l'on fait abstraction de la complexité des modèles numériques embarqués ou pas dans ces objets, d'un morceau de plastique moulé de manière à donner une représentation humaine. La différenciation se passe donc au niveau des activités associées à ces objets. Dans un cas, l'utilisateur adopte une posture d'apprenant, dans le second cas, une posture ludique. Mais, est-ce réellement l'objet qui va permettre à l'utilisateur d'adopter telle ou telle posture ? Cette posture n'est probablement pas liée qu'à l'objet. Le cadre et le contexte jouent très certainement un rôle clé. Ainsi, la poupée qui invite un enfant à jouer dans un contexte domestique, peut servir à former des sages-femmes. Cela nous renvoie à Madame Du Coudray, qui, au XVIII<sup>e</sup> siècle [24], parcourt les campagnes françaises dans le but d'enseigner « l'art des accouchements » avec une panoplie de mannequins pour simuler des manœuvres obstétricales.

Le choix de la posture est donc une dimension qui échappe à l'objet lui-même. Ainsi toute poupée, peut faire office de simulateur. A l'inverse, un simulateur non numérique ou mixte, peut très bien faire office de jouet. En partant de ce constat, il nous semble que la frontière séparant le jouet et le simulateur est extrêmement ténue, pour ne pas dire inexistante du point de vue de l'objet. C'est finalement des éléments extrinsèques à l'objet, comme les usages, les postures des utilisateurs et le contexte qui semblent plutôt les distinguer.

## 6. Analyse

### 6.1 Point de vue du public visé

Les simulateurs en santé s'adressent à notre connaissance exclusivement aux professionnels et non au grand public. Même si nous avons relevé quelques exemples de simulateurs pouvant s'adresser aux juniors en formation, la grande majorité des simulateurs s'adressent aux professionnels en formation continue dans un objectif de perfectionnement. Par contre, les Serious Games du domaine de la santé s'adressent à un public beaucoup plus large : patient, famille des patients, grand public, professionnels (médecins, personnels infirmiers, cadre de santé, pharmaciens...)

### 6.2 Distinction sur l'essence même de l'artefact et son usage

Le simulateur intègre en son sein les modèles numériques permettant de reproduire un comportement fidèle de la réalité. Pour autant, il nécessite la présence d'un instructeur car il ne contient pas le savoir utile à son usage. Par opposition, le Serious Game est constitué à la fois de modèles numériques permettant une représentation aussi fidèle que l'exige l'objectif visé mais aussi les scénarios d'accompagnement utiles à un public non averti.

Les modèles numériques présents dans le Serious Game ne couvrent pas l'ensemble des comportements attendus mais seulement ceux utiles à l'atteinte des objectifs visés. En ce

sens, ils peuvent ne pas reproduire fidèlement la réalité mais présenter a minima une réalité qui dessert les objectifs visés. À l'inverse, le simulateur propose l'ensemble des comportements attendus et offre ainsi au formateur la possibilité d'imaginer une multitude de scénarios pédagogiques.

### **6.3 Point de vue de l'apprentissage**

Les caractéristiques 4, 5, 6, 11 et 12 (tableau 1) mettent en lumière des différences fondamentales entre chacun des objets étudiés. Alors que le Serious Game détient le savoir et peut être utilisé ou non en présence d'un formateur dans le cadre de formation en présentiel, hybride ou à distance, le simulateur nécessite la présence d'un instructeur. Son usage se restreint donc à un contexte de formation en présentiel.

Au terme de ce panorama certes un peu large, il ressort que parmi les différents artefacts étudiés, certains semblent combiner plusieurs facteurs pouvant s'avérer être des éléments plutôt positifs pour l'apprentissage. Les contours de cette assertion semblent s'épaissir formant aujourd'hui un large consensus. Ce constat nous conduit vers la question continuellement renouvelée de l'impact de ces « nouvelles » technologies numériques sur les apprentissages. Il nous semble intéressant de voir, pour cette synthèse conclusive, comment la recherche actuelle en didactique se saisit de ces questions d'enseignement-apprentissage liées à ces outils numériques utilisés à des fins de formation ou de sensibilisation des professionnels. A la suite de Schubauer-Leoni et Leutenegger [25] nous postulons que les recherches didactiques s'articulent autour de trois programmes (épistémologique, didactique et cognitif) interdépendants sur lesquels nous allons nous appuyer pour construire cette synthèse.

Le programme épistémologique préside à la conception de ces différents artefacts, il prend en compte les situations qui vont être des supports d'apprentissage pour les étudiants. Une caractéristique étant de pouvoir articuler l'apprentissage de savoirs avec un respect des situations réelles d'une activité. Pour cela, la technologie de ces artefacts supporte une modélisation de situations didactiques qui s'appuie à la fois à des situations professionnelles de référence et à des savoirs médicaux. Ainsi, le simulateur en santé intègre des modèles numériques permettant de reproduire un comportement fidèle de la réalité. De ce fait, les simulateurs s'adressent plus spécifiquement au public des experts dans un objectif de perfectionnement. Le Serious Game est constitué à la fois de modèles numériques fidèles permettant une représentation des scénarios et une validité des objets de savoirs produits, il s'adresse plutôt à la formation des professionnels de la santé, il peut être utile à un public non averti. Les Serious Games offrent quant à eux une synergie entre scénarios ludiques et utilitaires à travers une application informatique qui se suffit presque à elle-même dans un objectif d'apprentissage. Ainsi, les Serious Games du domaine de la santé de par leur conception, s'adressent

à un public beaucoup plus large : patient, famille des patients, grand public, professionnels (médecins, personnels infirmiers, cadre de santé, pharmaciens...).

Le deuxième programme que nous examinons dans cette analyse est le programme didactique, il permet de rendre compte du fonctionnement du système didactique aux prises avec ces différents artefacts. Pour cela, nous nous appuyons sur la théorie de Brousseau [26] en considérant ces nouvelles technologies comme un milieu didactique. Lors de leur utilisation, l'élève est placé dans un environnement informatique sous engagement tacite avec l'enseignant, dans une visée d'acquisition de connaissances. Mais, ces artefacts ne font pas "milieu" de la même façon pour les élèves et il s'avère nécessaire que, malgré tout, à certains moments l'enseignant doive "didactiser" ce milieu pour que les élèves puissent surmonter les obstacles rencontrés. Le simulateur qui permet certes de reproduire un comportement fidèle de la réalité ne contient pas de savoir utile à son usage, il est donc nécessaire d'avoir la présence d'un instructeur pour exposer notamment le contexte et les objectifs à atteindre. Par opposition, le Learning Game en raison de sa double constitution basée sur un modèle numérique d'une représentation fidèle et un scénario pédagogique permet une certaine autonomie d'un utilisateur novice. Seuls les Serious Games conçus à partir d'une combinaison entre scénarios ludiques et utilitaires à travers une application informatique peuvent se suffire presque à eux-mêmes dans un objectif d'apprentissage. En effet, comme nous l'avons vu, les Serious Games disposent en leur sein de scénarios pédagogiques et par conséquent ils peuvent être utilisés ou non en présence d'un formateur dans le cadre de formation en présentiel, hybride ou à distance. Les Serious Games peuvent favoriser les situations a-didactiques, situation d'apprentissage dans laquelle le maître a réussi à faire disparaître sa volonté, ses interventions, en tant que renseignements déterminants de ce que l'élève va faire : ce sont des situations qui fonctionnent sans l'intervention du maître. Pour Margolinas [27], l'élève devient indépendant du système enseignant. Il est alors dans une relation privilégiée avec le savoir disciplinaire. Les Serious Games peuvent ainsi s'affranchir en partie de la présence du formateur ce qui n'est pas le cas des simulateurs.

Enfin, dans cette troisième section nous présentons le troisième programme sur lequel nous sommes appuyés qui est le programme cognitif. Prenant la suite de ce que nous avons évoqué à propos du programme didactique, nous examinons ici tout ce qui agit sur un sujet ou ce sur quoi le sujet agit. Nous synthétisons les différents effets des Serious Games et des simulateurs sur le développement des joueurs. A la suite de l'examen des objectifs visés par ces artefacts, nous retenons en mobilisant les cadres de la psychologie cognitive trois grands axes récurrents : les capacités attentionnelles ; les habiletés perceptivo-motrices ; et la socialisation des sujets. En effet, nous avons vu que les simulateurs offrent la possibilité aux étudiants de comprendre les concepts, de développer leurs capacités de réaction face aux situations critiques et de développer leurs aptitudes à collaborer. Les simulateurs

peuvent notamment permettent aux chirurgiens de mener une analyse préopératoire, d'anticiper et de travailler un geste technique. L'examen des différents effets des Serious Games sur le développement des joueurs met en avant plusieurs points comme l'entraînement collaboratif à l'ensemble des personnels du bloc opératoire ou la dispense d'un entraînement aux habiletés sociales ou thérapeutique. Dans notre état de l'art, selon les trois grands axes retenus, nous avons été amenés à souligner plusieurs caractéristiques favorisant le développement des capacités attentionnelles, les habiletés perceptivo-motrices ainsi que la socialisation des sujets.

Les trois programmes (épistémologique, didactique et cognitif) interdépendants sur lesquels nous nous sommes appuyés pour construire cette synthèse nous ont permis de mettre en dialogue quelques différences entre Serious Games et simulateurs, c'est en quelque sorte un « effet loupe ». Cette approche didactique a consisté à aborder la problématique de la conception de ces deux types d'artefacts liés aux situations professionnelles de référence et aux savoirs. Nous avons également présenté différents concepts mobilisés pour accéder au fonctionnement du système didactique aux prises avec ces deux artefacts et aux différents effets sur le développement des joueurs.

## **7. Conclusion**

De manière synthétique, cette étude montre la faculté des Serious Games à fournir un pendant aux atouts de chacun des autres types d'artefact destinés à la formation de professionnels de santé. La fidélité des simulateurs pleine échelle est reproduite au moyen d'environnements de réalité virtuelle extrêmement réalistes. Un Serious Game donne la même liberté qu'un autre artefact dans la conception des scénarios, et la même validité des objets pédagogiques produits.

En dressant un panorama de ces outils pédagogiques et en proposant une classification, nous avons toutefois mis en lumière une différence fondamentale entre les Serious Games et les outils traditionnels. Nous avons montré que seuls les Serious Games offrent une synergie entre scénarii ludique et utilitaire, à travers une application informatique qui se suffit à elle-même dans un objectif d'apprentissage. Le simulateur, certes reproduit un comportement fidèle de la réalité mais ne contient pas de savoirs utiles à son usage. La présence d'un instructeur est donc nécessaire pour exposer notamment le contexte et les objectifs à atteindre. Outre leur plus grande facilité d'accès, les Serious Games visent donc un public plus large en s'affranchissant de la présence du formateur, élément indispensable des formations sur simulateur, et qui en limite la portée.

Durant notre état de l'art, nous avons été amené à souligner les différentes caractéristiques à la fois en terme d'objectifs, d'usage et de publics visés entre Serious Games, simulateurs et Serious Play. Il serait intéressant de pouvoir approfondir la comparaison entre Serious Game et

simulateurs de manière objective, en se basant sur des critères liés aux compétences abordées par exemple.

## **Références**

- [1] Sande Chen, David Michael, « Serious Games: Games that Educate, Train and Inform », Thomson Course Technology, 2005.
- [2] "Games that do not have entertainment, enjoyment or fun as their primary purpose"
- [3] Mike Zyda, « From Visual Simulation to Virtual Reality to Games », Computer 38(9), 2005.
- [4] "A mental contest, played with a computer in accordance with specific rules, that uses entertainment, to further government or corporate training, education, health, public policy, and strategic communication objectives"
- [5] Benjamin Sawyer. « The "Serious Games" Landscape », Article présenté à the Instructional & Research Technology Symposium for Arts, Humanities and Social Sciences, Camden, USA, mars 2007.
- [6] "Any meaningful use of computerized game/game industry resources whose chief mission is not entertainment"
- [7] Le Centre International de la Pédagogie d'Entreprise (CIPE) est un exemple de ces acteurs : <http://www.cipe.fr/>
- [8] Kevin Corti, « Serious Games - Are We Really A Community? », 2007. Disponible sur <http://www.seriousgamework.com/item.php?story=15832>
- [9] Clark Abt, « Serious Games », The Viking Press, 1970.
- [10] Julian Alvarez, Damien Djaouti, « Serious Games et Gameplay », 3e Serious Games Sessions Europe, Lyon, décembre 2007.
- [11] Roger Caillois, « Les jeux et les Hommes », Gallimard, 1958
- [12] Gonzalo Frasca, « Simulation versus Narrative: Introduction to Ludology ». Dans J.P. Wolf et B. Perron, « The Video Game Theory Reader », Routledge, 2003.
- [13] Katie Salen et Eric Zimmerman, « The Rules of Play », MIT Press, 2003.
- [14] Stéphane Natkin, « Jeux vidéo et médias du XXIe siècle : Quels modèles pour les nouveaux loisirs numériques ? », Vuibert, 2004.
- [15] Gilles Brougères, « Jouer/Apprendre », Economica, 2005.
- [16] G. Chiniara, "Simulation médicale pour acquisition des compétences en anesthésie," in Congrès national d'anesthésie et de réanimation 2007. Elsevier Masson SAS, 2007.
- [17] Granry & Moll, (État de l'art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé, 2012)
- [18] P. Milgram and F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays," IEICE Trans. on Information and Systems (Special Issue on Networked Reality), vol. E77-D(12), pp. 1321-1329, 1994.

- [19] I. Fishler, C. E. Kaschub, D. E. Lizdas, and S. Lamptang, "Understanding of anesthesia machine function is enhanced with a transparent reality simulation," *Simulation in Health-care*, vol. 3, pp. 26–28, 2008.
- [20] P. Pastré, "Apprendre à faire," in *Apprendre et faire apprendre*, C.G.BourgeoisÉtienne,Ed. PUF,Paris,2006,pp.109–121.
- [21] Andreatta PB, Woodrum DT, Birkmeyer JD, Yellamanchilli RK, Doherty GM, Gauger PG, et al. Laparoscopic skills are improved with LapMentor training: results of a randomized, double-blinded study. *Ann Surg* 2006;243(6):854-60
- [22] Van Nortwick SS, Lendvay TS, Jensen AR, Wright AS, Horvath KD, Kim S. Methodologies for establishing validity in surgical simulation studies. *Surgery*. 2010 May;147(5):622-30. doi: 10.1016/j.surg.2009.10.068. Epub 2009 Dec 16.
- [23] C. Lelardeux, J. Alvarez, T. Montaut, M. Galaup, and P. Lagarrigue, *Serious Games for Healthcare : Applications and Implications*. IGI Global, 2012, ch. Healthcare Games and the Metaphoric Approach, pp. 23–43.
- [24] Rattner Gelbart N. *The king's midwife. A history and mystery of madame du Coudray*. Berkeley: University of California Press; 1998.
- [25] M. L. Schubauer-Leoni, F. Leutenegger, Une relecture des phénomènes transpositifs a la lumière de la didactique comparée. *Revue Suisse des Sciences de l'éducation*, 2005, n° 27, pp. 407-429.
- [26] G. Brousseau, "Le contrat didactique : le milieu," in *Recherches en Didactique des Mathématiques*, L. P. Sauvage, Ed., Grenoble, 1988, vol. 9, no. 3, pp. 309–336.
- [27] C. Margolinas, *De l'importance du vrai et du faux dans la classe de mathématiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage, 1993.
- Name1, X.; Name2, Y.; Name3, Z. (year) Article Title, *Journal Title*, 10(6): 1-10
- Name1, X.; Name2, Y. (year) Title of book, City: Publisher, 176p