

**UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE DE LILLE 2**

**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

Année de soutenance : 2018

N°:

**THESE POUR LE  
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement le 08 juin 2018

Par Robin SFEIR

Né le 16 septembre 1993 à Compiègne – France

**La simulation en réalité virtuelle : une nouvelle approche pédagogique en  
odontologie**

**JURY**

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur Jérôme VANDOMME

Monsieur le Docteur Claude LEFEVRE

Monsieur le Docteur Maxime BEAURAIN

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	P-M. ROBERT
Doyen	:	Pr. E. DEVEAUX
Vice-Doyens	:	Dr. E. BOCQUET, Dr. L. NAWROCKI et Pr. G. PENEL
Responsable des Services	:	S. NEDELEC
Responsable de la Scolarité	:	M.DROPSIT

## **PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.**

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES :**

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Professeur Emérite Parodontologie
E. DEVEAUX	Dentisterie Restauratrice Endodontie <b>Doyen de la Faculté</b>
<b>G. PENEL</b>	Responsable du Département de <b>Biologie Orale</b>

## **MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES**

<b>T. BECAVIN</b>	Responsable du Département de <b>Dentisterie Restauratrice Endodontie</b>
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
<b>F. BOSCHIN</b>	Responsable du Département de <b>Parodontologie</b>
<b>E. BOCQUET</b>	Responsable du Département d' <b>Orthopédie Dento-Faciale</b>
<b>C. CATTEAU</b>	Responsable du Département de <b>Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.</b>
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. DELCAMBRE	Prothèses
<b>C. DELFOSSE</b>	Responsable du Département d' <b>Odontologie Pédiatrique</b>
F. DESCAMP	Prothèses
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDEBERT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
<b>J.M. LANGLOIS</b>	Responsable du Département de <b>Chirurgie Orale</b>
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	<b>Biologie Orale</b>
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L.ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
<b>M. SAVIGNAT</b>	Responsable du Département des <b>Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux</b>
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
<b>J. VANDOMME</b>	Responsable du Département de <b>Prothèses</b>

### ***Réglementation de présentation du mémoire de Thèse***

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille 2 a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

# Remerciements

*Aux membres du jury,*

**Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX**

**Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD**

*Département de Dentisterie Restauratrice – Endodontie*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille 2

Habilité à Diriger des Recherches

Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Lille

Membre associé national de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Responsable des Relations Internationales de la Faculté de Chirurgie Dentaire de  
Lille

Personne Compétente en Radioprotection

Ancien Président de la Société Française d'Endodontie

*Qui me fait l'honneur de présider ce jury.*

*Je vous remercie infiniment pour la lecture de ce travail, et  
l'intérêt que vous avez porté à son égard. Votre volonté de  
faire avancer l'enseignement vers des méthodes aussi  
novatrices est admirable.*

*Veillez agréer, Monsieur le Doyen, l'expression de mon plus  
profond respect.*

**Monsieur le Docteur Jérôme VANDOMME**

**Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD**

*Section de Réhabilitation Orale*

*Département de Prothèses*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Biologie de l'Université de Lille

Master II Biologie Santé

Master I des Sciences Biologiques et Médicales

Responsable du Département de Prothèses

*Qui me fait l'honneur d'accepter de siéger dans ce jury.*

*Je vous remercie sincèrement pour toute l'aide que vous m'avez apportée durant la réalisation de ce travail, lorsque j'en avais besoin. Merci d'avoir rendu cette thèse possible en portant autant d'intérêt aux nouvelles technologies dont il est question ici, et en essayant sans cesse de les améliorer, pour le bien des futurs étudiants.*

*Veillez agréer, Docteur Vandomme, l'expression de mon plus profond respect.*

**Monsieur le Docteur Claude LEFEVRE**

**Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD**

*Section de Réhabilitation Orale*

*Département de Prothèses*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en odontologie de l'Université de Lille 2

Responsable des Relations avec l'Ordre et avec les Partenaires Industriels.

*Qui me fait l'honneur d'accepter de siéger dans ce jury.*

*Je vous remercie pour votre disponibilité et votre gentillesse.*

*Veillez agréer, Docteur Lefevre, l'expression de mon plus  
profond respect.*



**Monsieur le Docteur Maxime BEURAIN**

**Assistant Hospitalo-Universitaire des CSERD**

*Département de Dentisterie Restauratrice – Endodontie*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master 1 en Biologie et Santé – parcours Biomatériaux

C.E.S d'Odontologie Chirurgicale mention Médecine Buccale – Lille 2

C.E.S d'Odontologie Conservatrice et Endodontie – Lille 2

Master 2 Dispositifs Médicaux et Biomatériaux

*Qui me fait l'honneur d'accepter de siéger dans ce jury, et  
d'avoir dirigé cette thèse.*

*Je tiens à te remercier infiniment pour tous les moments que tu  
as consacré à ce travail, qui n'est non pas le fruit de ma seule  
réflexion mais de la tienne également.*

*Merci pour tes précieux conseils, dispensés lors de la  
rédaction de cet écrit, mais également tout au long de mon  
cursus universitaire. Je pense parler au nom de tous les  
étudiants de la faculté en disant que tu es un pédagogue  
exceptionnel et très compréhensif.*

*Je suis heureux d'avoir dû rédiger cette thèse, car elle m'a  
permis de mieux te connaître.*

*Reçois, Maxime, l'expression de mon plus profond respect.*



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>La simulation dans le domaine de la santé : un état des lieux</b>	<b>14</b>
2.1	Généralités	14
2.1.1	Quelques définitions	14
2.1.2	Fidélité de la simulation	16
2.1.3	Historique	17
2.2	Les simulateurs dans le monde de la médecine	18
2.2.1	Historique	18
2.2.2	Principes de la simulation médicale	22
2.3	La simulation en chirurgie dentaire	24
2.3.1	Les simulateurs physiques	24
2.3.1.1	La robotique	25
2.3.1.2	La simulation assistée par ordinateur	26
2.3.2	Les simulateurs virtuels	27
2.3.2.1	Concept	27
2.3.2.2	Principes d'utilisation	27
2.3.2.3	L'apprentissage par la simulation	30
2.3.2.3.1	Concepts de l'apprentissage	30
2.3.2.3.2	Mémoire déclarative et procédurale	32
<b>3</b>	<b>Le VirtEasy® Dental</b>	<b>34</b>
3.1	Présentation du simulateur	34
3.1.1	Présentation générale	34
3.1.2	Présentation des composants	36
3.1.2.1	Ecran supérieur	36
3.1.2.2	Lunettes 3D	37
3.1.2.3	Ecran inférieur	37
3.1.2.4	Souris 3D	38
3.1.2.5	Pédale	38
3.1.2.6	Clavier	39
3.1.2.7	Bras haptique	39
3.1.2.8	Autres composants du simulateur	40
3.2	Fonctionnalités du VirtEasy® Dental : mode d'emploi [10]	41
3.2.1	Les différents types de profil utilisateur	41
3.2.1.1	L'administrateur	41
3.2.1.2	L'enseignant	41
3.2.1.3	L'apprenant	42
3.2.2	Le menus du module de navigation	42
3.2.3	Les types d'exercices réalisables	43
3.2.3.1	Les ateliers	43
3.2.3.2	Les cas cliniques	43
3.2.4	La gestion de la caméra en phase de simulation	44
3.2.5	Les aides disponibles en phase de simulation	45
3.3	Mode d'emploi destiné à l'étudiant	46
3.3.1	Première utilisation du VirtEasy® Dental	46
3.3.1.1	Démarrer le logiciel VirtEasy® Dental	46

3.3.1.2	S'identifier en tant qu'utilisateur.....	48
3.3.1.3	Lancer un exercice de simulation .....	48
3.3.2	Rechercher un exercice .....	54
3.3.3	Rechercher un contenu théorique .....	54
3.3.4	L'évaluation .....	55
3.3.4.1	Les phases d'évaluation .....	55
3.3.4.1.1	La première phase d'évaluation .....	55
3.3.4.1.2	La seconde phase d'évaluation.....	56
3.3.4.2	L'interface d'évaluation en dentisterie restauratrice, endodontie, et prothèse	57
3.3.4.3	L'interface d'évaluation en implantologie .....	58
3.3.5	La planification en implantologie .....	59
3.3.5.1	Visualisation des coupes transversales .....	59
3.3.5.2	Sélection des coupes sagittales .....	60
3.3.5.3	La planification.....	60
3.3.5.4	Résultats .....	62
<b>4</b>	<b>Discussion.....</b>	<b>63</b>
4.1	Avantages du simulateur virtuel.....	63
4.1.1	Un gage de qualité dans la formation universitaire .....	63
4.1.2	La réponse à un nombre croissant d'étudiants.....	64
4.1.3	L'augmentation du réalisme .....	66
4.1.4	Une initiation à l'implantologie.....	67
4.1.5	L'objectivité de l'évaluation .....	67
4.1.6	Coût des travaux pratiques conventionnels.....	68
4.1.7	Absence de soucis éthiques et sanitaires .....	69
4.2	Inconvénients.....	70
4.2.1	Un entraînement préclinique incomplet .....	70
4.2.2	La maîtrise de l'auto-évaluation.....	71
4.2.3	L'investissement initial .....	71
4.3	Tableau comparatif : simulation réelle VS. simulation virtuelle .....	73
4.4	Axes d'amélioration de la simulation virtuelle .....	74
4.5	Problèmes rencontrés lors de l'installation des VirtEasy® Dental à Lille .....	75
4.6	De l'utilité d'un questionnaire de satisfaction .....	76
4.7	De l'utilité d'une fiche d'utilisation .....	78
<b>5</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>79</b>
	<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>80</b>
	<b>Références iconographiques .....</b>	<b>82</b>
	<b>Annexes .....</b>	<b>84</b>
	Annexe 1 : Mode d'emploi : pour une première utilisation du VirtEasy® Dental ...	84

# 1 Introduction

Le développement des compétences nécessaires à l'exercice de la chirurgie dentaire est un processus psycho-moteur très complexe. Au cours de son cursus, l'étudiant doit faire face à de nombreux « challenges » intellectuels et développer sa dextérité afin de proposer aux patients des soins de qualité.

Au contraire d'exercices théoriques, les exercices pratiques nécessitent davantage de moyens, chaque étudiant devant être apte à prendre en charge un patient en clinique. Pour ce faire, des « fantômes » ont été mis au point et sont devenus une référence pour la formation dentaire dans de nombreuses disciplines, et ce, à l'échelle mondiale [3] [8].

Les progrès constants réalisés dans le domaine du numérique ont permis le développement d'un nouveau moyen d'apprentissage. En effet, aux simulateurs physiques utilisés principalement pour la formation initiale s'ajoutent aujourd'hui les simulateurs en réalité virtuelle.

Ce travail a pour objectif de faire un bilan des compétences acquises dans le domaine de la simulation en réalité virtuelle en santé et plus particulièrement en chirurgie dentaire. Il aura également un intérêt pédagogique, par le biais d'un « mode d'emploi » à destination des potentiels utilisateurs de ces simulateurs.

## 2 La simulation dans le domaine de la santé : un état des lieux

### 2.1 Généralités

#### 2.1.1 Quelques définitions

- Simulation : du latin « *simulatio* » : représentation du comportement d'un processus physique, industriel, biologique, économique ou militaire au moyen d'un modèle matériel dont les paramètres et les variables sont les images de ceux du processus étudié. (Les modèles de simulation prennent le plus souvent la forme de programmes d'ordinateurs auxquels sont parfois associés des éléments de calcul analogique.)
- Virtuel : du latin médiéval « *virtualis* » : qui comporte en soi-même les conditions de sa réalisation ; potentiel, possible.
- Réalité virtuelle : « La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne (ou à plusieurs), une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique, ou une simulation de certains aspects du monde réel » [7]. Les notions d'interaction et d'immersion sont le plus souvent retrouvées, et semblent être celles qui correspondent le mieux au monde scientifique.

La réalité virtuelle suggère donc une modification de 3 paramètres pour l'utilisateur : « le temps, le lieu, et/ou de type d'interaction » [7], tout cela dans un environnement simulant ou non la réalité.

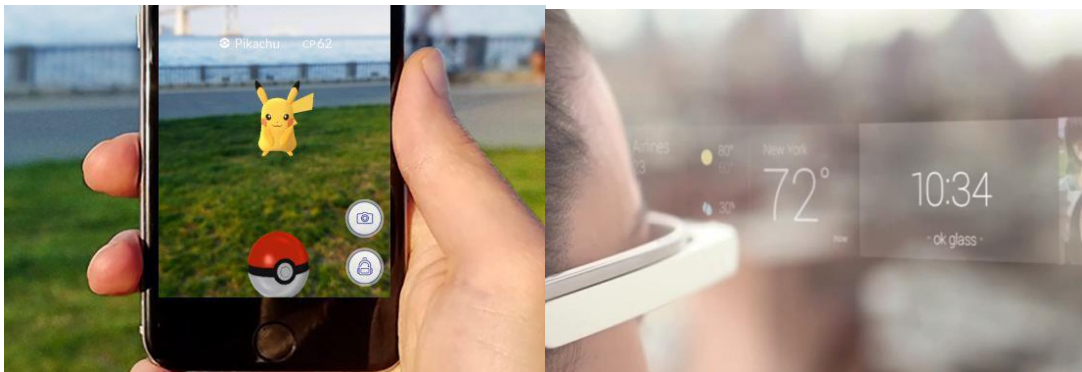
Par ailleurs, il est essentiel de bien différencier la réalité virtuelle avec une notion qui lui est voisine : la réalité augmentée.

La réalité virtuelle va plonger l'utilisateur dans un environnement en 3 dimensions créé de toutes pièces, qu'il soit réaliste ou non, dans lequel il va pouvoir interagir plus ou moins comme il le fait dans le monde réel correspondant donc à un rapport « 75% virtuel, 25% réel » (Fig.1).



*Figure 1: L'Oculus Rift®, dispositif de réalité virtuelle*

D'autre part, la réalité augmentée est un mélange de réalité virtuelle et de notre perception du monde réel. Elle permet à l'utilisateur de superposer des informations virtuelles au monde réel, cela à l'aide d'un smartphone ou d'une tablette par exemple, correspondant ici à un rapport « 25% virtuel, 75% réel » (Fig.2)



*Figure 2: Pokemon Go® et les Google Glasses®, deux dispositifs de réalité augmentée*

Même si ils sont différents, ces deux concepts sont liés par un continuum imaginé par Milgram et coll. [17]. Aux opposés de ce continuum, l'environnement réel et l'environnement virtuel sont séparés par ce qui est appelé des « réalités mixtes », du réel augmenté par des éléments virtuels ou du virtuel augmenté par des éléments réels.

Les applications de ces technologies sont quasi-infinies. Elles permettent la compréhension, l'apprentissage et la réalisation de plusieurs actes médicaux, notamment en chirurgie dentaire.

## 2.1.2 Fidélité de la simulation

Selon la qualité de reproduction de la réalité, ces simulations vont être affublées d'un degré de « fidélité ». Cette fidélité sera notée sur plusieurs critères :

- la fidélité psychologique est le degré avec lequel le participant accepte la simulation comme une alternative valable à la réalité ;
- la fidélité de l'équipement est le degré avec lequel la simulation reproduit l'équipement, aussi bien au niveau de l'aspect visuel qu'au niveau de son utilisation ;
- la fidélité de l'environnement est la reproduction par la simulation des effets visuels et sensoriels réels ;
- la fidélité temporelle est la manière dont le temps passe durant la simulation [1].

Cette classification permettra d'établir 2 types de simulateurs, « basse fidélité » et « haute fidélité ». Ces 2 types de simulateurs ont des applications bien spécifiques : les basses fidélités seront davantage conseillées pour les novices et les hautes fidélités pour les experts.

En effet, les novices ont besoin d'acquérir certaines compétences visiomotrices et de la représentation spatiale. Cette acquisition peut être perturbée par la présence de trop de détails immersifs. C'est une fois qu'une certaine automaticité s'est développée que l'on pourra se pencher sur d'autres compétences plus complexes à obtenir, et ce sur un simulateur haute fidélité (Fig.3) [1].

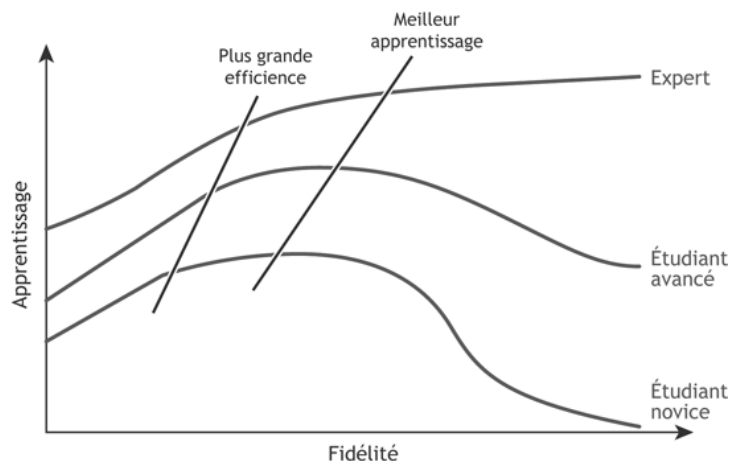


Figure 3: Courbes d'apprentissage selon la fidélité du simulateur [1]



### 2.1.3 Historique

Il est impossible de définir dans le temps la notion de simulation, car par définition, tout objet ou toute notion est susceptible d'être reproduit ou simulé. Le domaine de l'aviation a été le pionnier en matière de simulation virtuelle. En 1928, Edwin Link a mis au point le « Blue Box » (Fig.4), un simulateur de vol, qui sera utilisé en 1934 par l'armée américaine, suite à une série d'accidents tragiques, le *Airmail Scandal* [6].

Les avantages de ce simulateur sont sa sécurité et la facilité d'apprentissage du vol. Son coût est estimé à 250 fois moins cher qu'un entraînement sur vol réel. De nombreuses innovations ont ensuite été apportées afin d'adapter le simulateur selon le type d'avion à piloter.



*Figure 4: Le simulateur de vol Blue Box*

En 1956, le concept d'environnement virtuel est introduit par Morton Heilig et son « sensorama ». Cette machine est un véritable théâtre immersif : l'utilisateur se balade à bicyclette dans les rues de Brooklyn, et s'enivre des différents parfums disponibles (pizza, jasmin, hibiscus). Le siège de la machine est vibrant et un son stéréophonique est diffusé, le tout en synchronisation avec le film regardé par l'utilisateur. Ici apparaît une première volonté de créer tout un environnement qui va « isoler » l'utilisateur de la réalité (Fig.5).



*Figure 5: Le sensorama de Heilig [6]*

## **2.2 Les simulateurs dans le monde de la médecine**

### **2.2.1 Historique**

La simulation médicale, dans ses formes les plus primitives, est décrite depuis des siècles. Des représentations, de l'anatomie à la pathologie, ont vu le jour bien avant les simulateurs informatiques que l'on connaît aujourd'hui. Les innovations technologiques des 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècles ont participé à son évolution.

Au 18<sup>e</sup> siècle, Madame du Coudray, une sage-femme, met au point un mannequin destiné à simuler les accouchements (Fig.6), dans l'optique d'en enseigner la pratique et ainsi diminuer la mortalité infantile [21]. Il s'agit historiquement du premier simulateur médical, dont le fonctionnement est détaillé dans son ouvrage : « Abrégé de l'art des accouchements » [12].



*Figure 6: Le simulateur d'accouchement de Mme du Coudray*

En 1910 et jusqu'au milieu des années 70, un deuxième mannequin célèbre est utilisé (Fig.7). « Madame Chases » est un mannequin en bois utilisé par les élèves infirmiers du Hartford Hospital training School of Nurses.



*Figure 7: Madame Chases : un simulateur pour le domaine infirmier*

Du même nom que sa conceptrice, ce mannequin permet aux élèves de pratiquer des soins de nursing de base. Il sera notamment utilisé par l'armée américaine pendant la seconde guerre mondiale.

Le domaine de la réanimation cardio-pulmonaire a également bénéficié des progrès de la simulation. L'application des procédures de réanimation sur le vivant étant contestable éthiquement, il semblait judicieux d'élaborer un modèle capable de les reproduire. Ainsi en 1960, Peter Safar, professeur au Baltimore City Hospital collabore avec un médecin et un fabricant de jouets pour mettre au point le Resusci Anne (Fig.8).



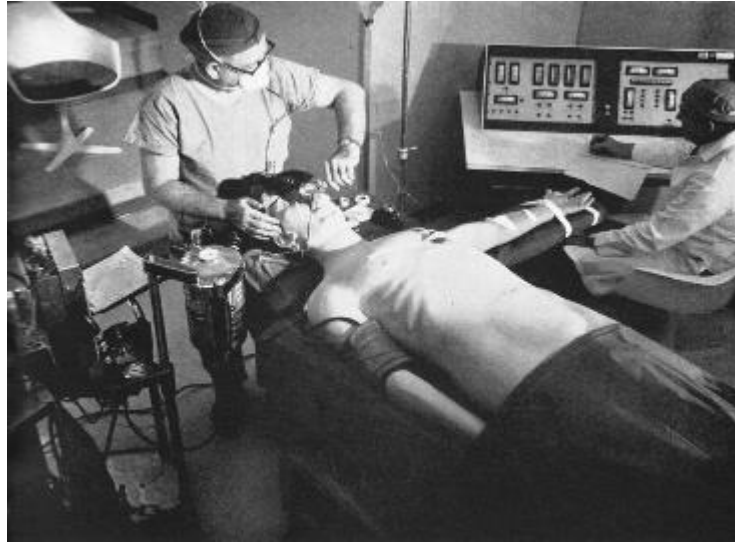
*Figure 8: Resusci Anne, un simulateur intemporel*

Peu de temps après, en 1966, les docteurs Stephen Abrahamson et Judson Denson mettent au point ce qui inspirera nos mannequins haute-fidélité actuels : le premier mannequin contrôlé par ordinateur : le *Sim One* (Fig.9).

Développé dans l'Université de Californie du Sud, celui-ci recréait les conditions d'une anesthésie au bloc opératoire, avec des caractéristiques impressionnantes pour l'époque :

- pulsations cardiaques, temporales et carotidiennes synchronisées,
- clignement des yeux,
- ouverture ou fermeture de la mandibule,
- et même une réponse physiologique lors de l'administration des substances médicamenteuses.
-

Malheureusement, le *SimOne* est « trop en avance » sur son temps : le marché étant quasi-inexistant, le prototype n'est pas retenu et n'existe plus aujourd'hui [6].



*Figure 9: Sim One : le premier mannequin informatisé*

La simulation médicale devient une nécessité absolue à l'aube des années 2000. En effet, eu égard au constat réalisé aux Etats unis sur le nombre de décès inhérents aux erreurs médicales, un article intitulé « *To err is human : building a safer health system* » pointe les lacunes de la pratique médicale et incite à une nouvelle approche pédagogique, la simulation médicale incluse dans le cursus universitaire [14].

L'objectif est de réduire la mortalité liée aux erreurs médicales, jugée supérieure à celle liée aux accidents de la route, au virus du SIDA ou au cancer du sein.

## 2.2.2 Principes de la simulation médicale

Le précepte sur lequel est bâtie la simulation médicale est le suivant : « la première fois d'un apprenant ne doit jamais se faire sur un patient ».

Ce principe de précaution tend à limiter les risques d'erreurs, les implications légales qui en découlent et respecter les obligations éthiques auxquelles nous sommes soumis.

La difficulté des actes médicaux doit respecter un gradient d'apprentissage qui doit mener le praticien à un niveau technique satisfaisant lorsqu'il est confronté à un « vrai » patient [14].

La simulation médicale est définie par : « l'utilisation d'un matériel (mannequin, simulateur procédural, etc.), de la réalité virtuelle ou d'un patient dit « standardisé » pour reproduire des situations ou des environnements de soins, pour enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques et permettre de répéter des processus, des situations cliniques ou des prises de décision par un professionnel de santé ou une équipe de professionnels. » (Fig.10) [2].

En santé, l'environnement se doit d'avoir un réalisme maximal, et il permettra de créer des scénarii ou des mises en situation. Le retour d'expérience est immédiat et le but est d'avoir une évaluation possible de l'acte effectué soit par un évaluateur, soit directement par le logiciel (possibilité d'auto-évaluation).

Ces scénarii peuvent revêtir différents objectifs pédagogiques :

- l'entraînement à des gestes techniques (usuels ou exceptionnels) ;
- la mise en œuvre de procédures (individuelles ou en équipe) ;
- l'entraînement au raisonnement clinique diagnostique et/ou thérapeutique ;
- la gestion des comportements (mise en situation professionnelle, travail en équipe, communication, etc.) ;
- la gestion des risques (reproduction d'événements indésirables, capacité à faire face à des situations exceptionnelles, etc.).

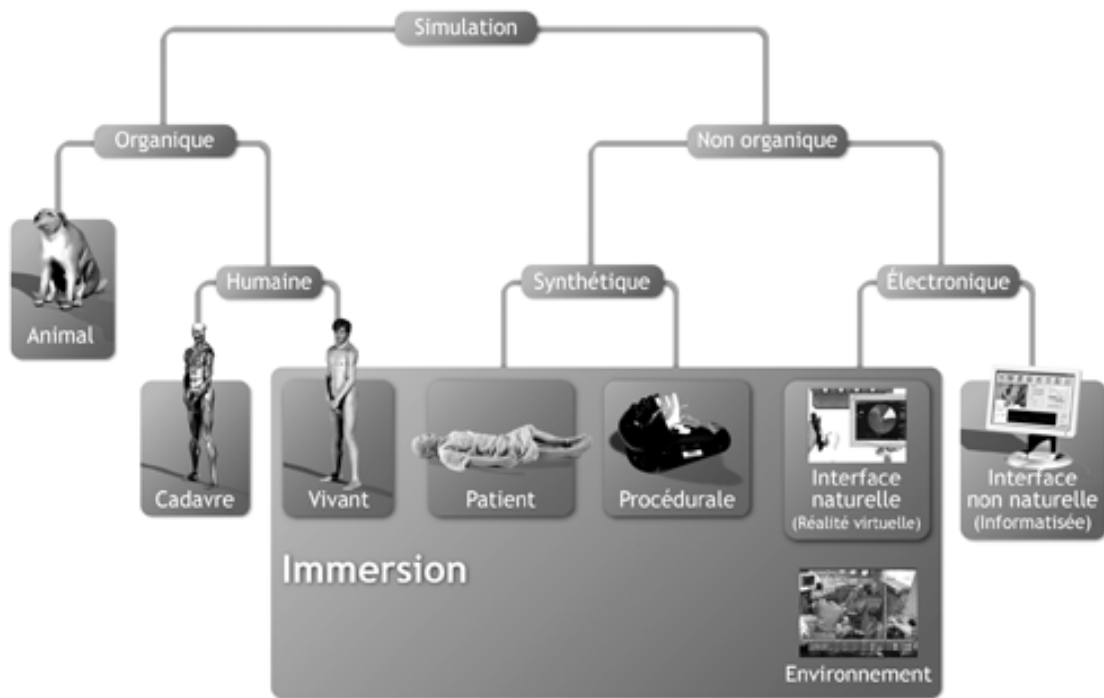


Figure 10: Les différents types de simulation médicale [9]



## 2.3 *La simulation en chirurgie dentaire*

### 2.3.1 Les simulateurs physiques

La simulation physique en chirurgie-dentaire est un étalon-or dans l'ensemble des facultés françaises. Ces simulateurs sont des dispositifs mécanisés qui reproduisent grossièrement une forme humaine. Ils sont constitués de deux parties :

- le corps du simulateur, composé d'un buste et d'une tête, autorise des mouvements de rotation et de translation qui permettent à l'opérateur d'optimiser ses positions de travail. Le réglage de la hauteur et de l'inclinaison du buste permet une ergonomie maximale (Fig.11) ;
- les reproductions des arcades dentaires mandibulaire et maxillaire qui se fixent directement sur les mâchoires du mannequin (Fig.12).



*Figure 11: Buste d'un simulateur physique*



*Figure 12: Modèles Frasaco® reproduisant les arcades dentaires maxillaire et mandibulaire*



La volonté des industriels de reproduire le plus fidèlement possible les conditions du réel a engendré une évolution progressive de ces simulateurs selon 2 axes : la robotique et la simulation assistée par ordinateur.

### **2.3.1.1 La robotique**

Le dernier robot mannequin en matière de simulation dentaire date de 2011. Bien que le modèle soit équivalent à ses prédécesseurs, le « Hanako2 » (Fig.13) atteint un niveau de réalisme exceptionnel, tant sur l'aspect anatomique que physiologique :

- *le réalisme visuel* : la peau est fabriquée en silicone, le souci du détail est très frappant (collier, perruque, vêtements...) ;
- *la reproduction des réflexes physiologiques* : ce robot est capable de simuler un étouffement, un éternuement, une toux, de cligner des yeux, de fermer la bouche, et même de bouger la langue et les bras. Toute la difficulté clinique est alors retranscrite et cela ne peut qu'améliorer la formation ;
- *Le réalisme de l'interaction* : ce robot est également capable d'interagir avec son utilisateur grâce à la reconnaissance vocale Raytron.



*Figure 13: Hanako 2: la robotique au service de la simulation en chirurgie dentaire*

### 2.3.1.2 La simulation assistée par ordinateur

La seule référence commerciale est le DentSim® de Image Navigation (Fig.14 et 15). Son mode de fonctionnement est comparable à celui d'un simulateur classique mais certaines fonctionnalités en font un excellent outil pédagogique :

- l'association de caméras infra-rouges et d'un dispositif de réalité augmentée offre à l'étudiant un monitoring fidèle du travail qu'il réalise. Il a pour référence la « préparation parfaite » de laquelle il tend à se rapprocher au maximum ;
- une variabilité importante (plus de 100 exercices disponibles) ;
- une représentation en trois dimensions de la dent [6].

Ce type de dispositif symbolise la frontière entre la simulation physique et la simulation virtuelle.



Figure 14: Le DentSim® de Image Navigation

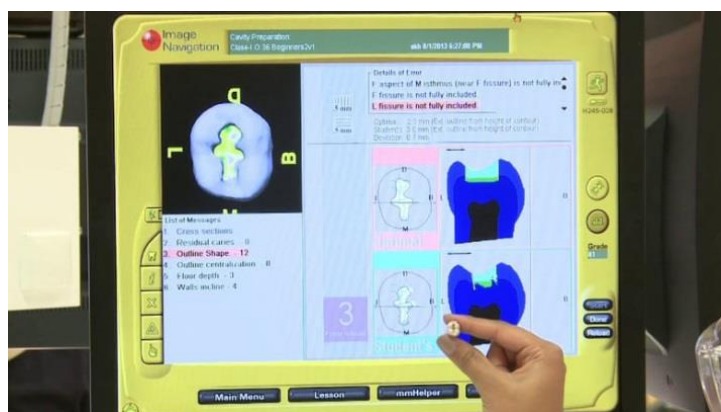


Figure 15: Interface du DentSim® [6]

## **2.3.2 Les simulateurs virtuels**

C'est au début des années 1990 que ces simulateurs apparaissent. A l'époque, et encore maintenant, les universités du monde entier travaillent à développer ces nouveaux systèmes [16], soit de manière autonome, soit en collaboration avec une entreprise productrice. C'est la Harvard School of Dental Medicine qui crée le premier, en collaboration avec l'entreprise Novint Technologies [23].

### **2.3.2.1 Concept**

Le simulateur en réalité virtuelle dentaire entre dans la catégorie des *serious games* : programmes à l'intersection du jeu vidéo et de l'e-formation. Le CERIMES (Centre de ressources et d'informations sur le multimédia pour l'enseignement supérieur) nous donne 2 définitions :

- « Véritable outil de formation, communication, simulation, [le jeu sérieux est] en quelque sorte une déclinaison utile du jeu vidéo au service des professionnels » ;
- « Les *serious games* (ou jeux sérieux) sont des applications développées à partir des technologies avancées du jeu vidéo, faisant appel aux mêmes approches de design et savoir-faire que le jeu classique (3D temps réel, simulation d'objets, d'individus, d'environnements...) mais qui dépassent la seule dimension du divertissement ».
- 

### **2.3.2.2 Principes d'utilisation**

La simulation virtuelle dentaire nécessite une projection sur un écran des gestes réalisés par l'opérateur (Fig.16). Ce contrôle visuel est synchronisé aux mouvements réalisés lors du travail sur l'organe dentaire modélisé.

L'opérateur est équipé de lunettes 3D qui permettent une représentation fidèle des mouvements. Selon l'acte effectué, les positions de travail peuvent être adaptées sous contrôle d'une manette. Par ailleurs, comme chaque discipline et/ou acte nécessite un matériel bien précis, des trousse d'instruments sont proposées par le logiciel afin d'adapter le plateau technique au travail.



*Figure 16: Modèle de synthèse d'une salle de simulation dentaire virtuelle (de la marque VirtEasy® Dental)*

L'intérêt majeur des simulateurs virtuels dentaires est la possibilité de reproduire assez fidèlement la gestuelle. Les soins dentaires impliquent fréquemment l'utilisation d'une séquence opératoire mettant en jeu des instruments rotatifs. Ainsi, la simulation virtuelle répond à cet impératif par le développement d'une technologie bien spécifique : le bras haptique (Fig.17).

Le système « haptique » intervient, lors d'un exercice, quand la fraise entre en contact avec la dent virtuelle. *L'haptique, du grec ἅπτομαι (haptomai) qui signifie « je touche », désigne la science du toucher, par analogie avec l'acoustique ou l'optique. Au sens strict, l'haptique englobe le toucher et les phénomènes kinesthésiques [15] :*

- *le « toucher » en général fait référence à toutes les perceptions ressenties par les contacts peauciers. Ces perceptions peuvent être la température, la douleur, la texture, de faibles vibrations, etc ;*

Exemples : discrimination des différentes couches tissulaires de l'organe dentaire, palpation du caractère fluctuant d'un abcès, chaleur dégagée par une cellulite, etc

- *les « phénomènes kinesthésiques » permettent de situer les membres de notre corps en temps réel dans l'espace. C'est la perception de soi-même.*

Exemples : orientation des instruments rotatifs dans l'espace pour le respect de l'axe, respect des postures recommandées pour éviter les maux de dos, etc



*Figure 17: Bras haptique avec retour de force (modèle SensAble Omni Haptic Simulator®)*

La technologie haptique comprend 2 éléments essentiels à son bon fonctionnement :

- un **système haptique** : composé de capteurs, il envoie les informations des mouvements de l'utilisateur au système de commande ;
- Un **système de commande et de traitement** : il traite les informations liées aux mouvements de l'utilisateur et les croise avec les données du système pour créer par algorithme le retour de force. Ce retour de force est renvoyé au système haptique, et ressenti par l'utilisateur : c'est le **rendu haptique** [5].

Ainsi, l'émail, la dentine, le tissu carié ou pulpaire ont des retours de force différents : la dentine nécessitera moins de pression sur le stylet que l'émail. Les sensations et le toucher sont alors au plus près de la réalité.

La création du logiciel est un véritable travail d'équipe impliquant **le fabricant** dont le but est d'offrir un maximum de réalisme au programme de simulation et **l'opérateur** dont l'expérience doit permettre de proposer des axes d'amélioration avec un objectif commun : immerger l'utilisateur dans l'environnement virtuel.

### **2.3.2.3 L'apprentissage par la simulation**

Qu'elle soit physique ou virtuelle, la simulation est indispensable pour l'acquisition des gestes techniques dans le cursus des étudiants en chirurgie dentaire.

Une étude menée par Von Sternberg compare 2 groupes d'étudiants évalués sur la réalisation d'une chirurgie apicale sur une mâchoire de porc. Elle inclue 41 étudiants, qui n'avaient auparavant jamais réalisé de chirurgie apicale, répartis en deux groupes, dont un bénéficie au préalable d'un entraînement en réalité virtuelle sur VoxelMan® (groupe 1, n=20). Cet entraînement est répété 9 fois, 3 fois au niveau facile, 3 fois en difficile et 3 fois en observation. L'exposition de l'apex par la découpe de la fenêtre osseuse n'a pas été simulée [19].

Elle met en évidence les bénéfices de la réalité virtuelle : les étudiants qui ont bénéficié de l'entraînement virtuel ont réalisé une intervention plus rigoureuse, moins invasive et ont montré des gestes plus maîtrisés. Par ailleurs, l'entraînement en mode « observation » construit un référentiel du travail « parfait » pour les élèves, ce qui améliore l'auto-évaluation.

Tous ces résultats sont à analyser avec précaution, car un « effet placebo » a pu être induit par l'utilisation de la réalité virtuelle. Par extrapolation, la réduction des erreurs cliniques, et donc des coûts humains et matériels du système de santé en général, pourraient représenter un bénéfice non négligeable en matière de santé publique.

#### **2.3.2.3.1 Concepts de l'apprentissage**

L'apprentissage relève de nombreux concepts dont les 3 plus importants sont : *la motivation, le retour d'information et la répétition des gestes.*

En chirurgie dentaire, et dans tous les métiers manuels en général, le geste s'apprend avec *la répétition* de celui-ci, dans différentes situations. Par ailleurs la tâche réalisée doit également permettre un succès, une progression, avec à la fin un objectif : c'est le *retour d'information*. La *motivation* est obtenue par la capacité de l'étudiant à autoévaluer sa progression pratique.

Les 3 concepts s'appliquent à l'apprentissage par la simulation virtuelle.

Par analogie :

- *le retour d'information* est donné par l'évaluation objective du simulateur, sur lequel l'étudiant voit sa progression en temps réel. L'évaluation est réelle, ne peut être biaisée (sauf « bug » lors de l'exercice par exemple), et cela met l'étudiant face à une réalité qu'il ne peut contester.
- *la répétition des gestes* peut se faire à l'infini, pour n'importe quel exercice, sans limite de ressources pécuniaires ou humaines.
- *la motivation de l'étudiant* est encensée par les différents niveaux de difficulté des exercices proposés : s'il réussit un exercice de niveau facile, il passera au niveau suivant avec pour objectif de le réussir à son tour.

Ces concepts s'appliquent dans d'autres domaines médicaux : la chirurgie laparoscopique en est un exemple. Avant l'émergence de la simulation virtuelle, l'entraînement pour ce genre de chirurgie était très compliqué. Depuis que l'entraînement interactif multimédia est instauré dans ce domaine, on observe une hausse de 60% de la courbe d'apprentissage comparé à un entraînement didactique classique [18].

Stice a établi un parallèle entre la méthode d'apprentissage prodigué à l'étudiant et l'acquisition d'informations (Fig.18) [11] :

Méthode	Rétention (%)
Lecture	10
L'écoute	26
La vue	30
La vue et l'écoute	50
La parole	70
La parole et l'action	90

Figure 18: Taux d'acquisition d'informations selon la méthode d'apprentissage [6]

Selon Granry, la formation médicale est passée en quelques années de l'ère du « *to see one, to do one, to teach one* » à celle du « *to sim one, two,..., x, before doing one* » [3]. Cette citation peut être traduite par : « voir, faire apprendre » et « simuler une, deux, x fois avant de pratiquer ». Elle met en valeur le contraste entre la manière de penser l'enseignement avant et après que la simulation virtuelle soit reconnue comme étant utile.

Auparavant, une notion devait être apprise, puis mise en application sur le vivant, avant d'être enseignée à autrui. Aujourd'hui, on peut simuler une notion, une procédure, plusieurs fois avant même de la réaliser sur le vivant. La simulation tend à devenir un outil pédagogique nécessaire et obligatoire dans la formation des professionnels de santé, et ce à cause de la judiciarisation et de la médiatisation des complications médicales.

### **2.3.2.3.2 Mémoire déclarative et procédurale**

- *La mémoire procédurale*

La mémoire procédurale peut être qualifiée de mémoire à long terme, son utilisation se fait surtout « inconsciemment ». On l'utilise dans 2 situations :

- pour se souvenir d'une séquence de gestes. Elle conserve les souvenirs durant de longs mois, même si ils ne sont pas sollicités.
- pour exécuter les gestes machinaux de la vie quotidienne (marcher, faire du vélo, fermer une porte à clé, appuyer sur la pédale pour déclencher la turbine...)

- *La mémoire déclarative*

Elle intervient pour le stockage des données et leur sollicitation ultérieure lors d'une conversation. Elle est utilisée « consciemment » et repose sur la mémorisation d'informations (Fig.19) [25].



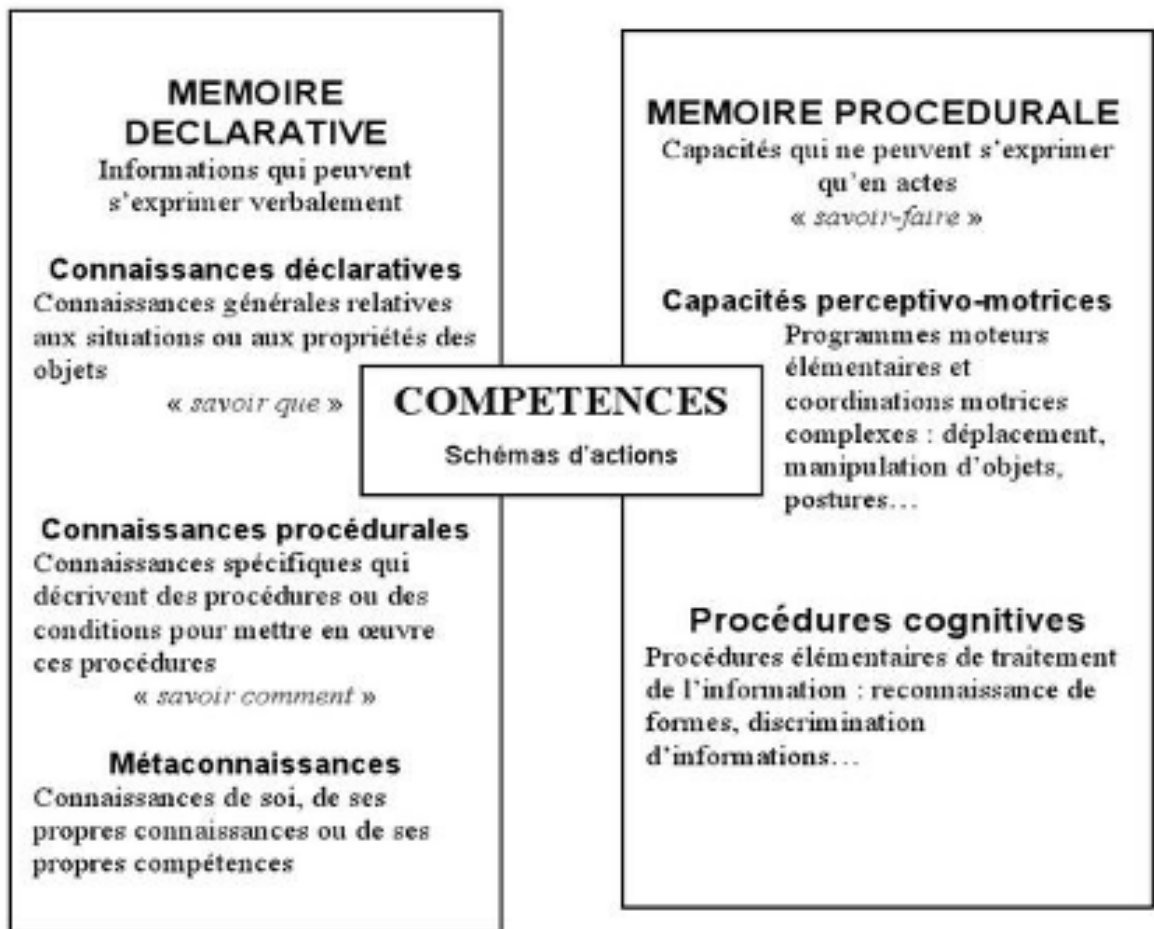


Figure 19: Acquisition des compétences selon Wall en 1986 [25]

Des études ont été réalisées sur des simulateurs physiques [22], d'autres sur simulateurs virtuels [13] [4] [11]. Le bénéfice apporté par l'utilisation de l'un ou l'autre n'a pas donné lieu à des conclusions unanimes. Nous pouvons néanmoins supposer que l'entraînement en RV en plus de la formation classique ne peut que faire progresser l'étudiant, en le maintenant dans une dynamique de travail.

C'est dans cette optique que la faculté de chirurgie dentaire de Lille a mis en place des simulateurs en réalité virtuelle afin d'apporter une alternative à la formation initiale des étudiants. Ainsi 3 simulateurs VirtEasy® Dental de HRV, ont été mis à la disposition des équipes pédagogiques.

### 3 Le VirtEasy® Dental

#### 3.1 Présentation du simulateur

Trois simulateurs en réalité virtuelle VirtEasy® Dental (HRV, France) ont été installés en juillet 2016 au sein de la faculté de chirurgie dentaire de Lille (Fig.20). Leur mise à disposition pour les étudiants est prévue pour le mois de septembre 2018.

##### 3.1.1 Présentation générale



*Figure 20: La salle de simulation en réalité virtuelle à la faculté de chirurgie dentaire de Lille*

La salle de simulation virtuelle n'est pas en accès libre aux étudiants pour le moment. En effet, l'utilisation des simulateurs en réalité virtuelle nécessite la présence d'un enseignant maîtrisant leur prise en main et leur utilisation.

Sur le plan morphologique, le simulateur en réalité virtuelle (Fig.21) ressemble particulièrement au simulateur physique (Fig.22), ce qui prédispose d'ores et déjà à une ergonomie similaire. L'espace entre chaque simulateur offre à son usager un confort de travail optimal.



*Figure 21: Simulateur en réalité virtuelle*



*Figure 22: Simulateur physique (mécanique)*

## 3.1.2 Présentation des composants

### 3.1.2.1 Ecran supérieur



*Figure 23: Ecran supérieur du VirtEasy® Dental*

L'écran supérieur est un écran tactile de 27 pouces (Fig.23). Cet écran permet d'accéder à l'icône VirtEasy® qui ouvre le logiciel de simulation. Lors des exercices, il permet une observation en 2 dimensions du travail effectué.

L'avantage de cet écran de « monitoring » permet d'autre part la création de dossiers qui permettent d'enregistrer les données de l'utilisateur.

Sur un plan pédagogique, la possibilité de navigation qu'offre ce simulateur peut permettre aux enseignants d'ajouter des supports visuels susceptibles d'aider les étudiants lors de la réalisation des travaux (*screenshots*, vidéos pédagogiques...).

### 3.1.2.2 Lunettes 3D



*Figure 24: Lunettes 3D du VirtEasy® Dental*

Ces lunettes 3D (Fig.24) permettent à l'utilisateur d'avoir une vision, dans les 3 dimensions de l'espace, du travail réalisé en temps réel, par un contrôle visuel sur l'écran inférieur. Leur mise en tension se fait grâce au bouton d'allumage situé sur la branche droite. Leur autonomie étant limitée, il convient de les recharger en les branchant sur l'un des ports USB du simulateur.

### 3.1.2.3 Ecran inférieur

L'écran inférieur est intégré au bloc du simulateur et permet de contrôler en 3D l'acte réalisé (Fig.25). Il est par conséquent garant de l'efficacité de la simulation virtuelle.



*Figure 25: Ecran inférieur du VirtEasy® Dental*

Toutes les étapes de démarrage de l'application sont réalisées sur l'écran supérieur. L'écran inférieur n'intervient que lors des exercices à proprement parler.

#### **3.1.2.4 Souris 3D**



*Figure 26: Souris 3D du VirtEasy® Dental*

La souris 3D se présente sous la forme d'un joystick (Fig.26). Elle permet de déplacer la caméra en cours de simulation, et de réaliser des zooms sur la zone de travail.

#### **3.1.2.5 Pédale**



*Figure 27: Pédale du VirtEasy® Dental*

A l'instar d'une pédale de simulateur physique et de fauteuil dentaire, la pédale (Fig.27) reproduit la gestuelle en permettant la mise en action d'instruments rotatifs virtuels, mimant les rotatifs courants utilisés en dentisterie, à savoir la turbine et le contre-angle.



### 3.1.2.6 Clavier



*Figure 28: Clavier du VirtEasy® Dental*

A ranger sur la face arrière du simulateur, le clavier (Fig.28) permet la navigation dans le système d'exploitation grâce à son pad, mais également la saisie de texte. Il est connecté sans-fil au système informatique.

### 3.1.2.7 Bras haptique



*Figure 29: Le bras haptique du VirtEasy® Dental*

Le bras haptique (Fig.29) se situe sous l'écran inférieur et repose sur un socle. La manipulation de ce stylet reproduit la prise en main d'instruments rotatifs comme la turbine et/ou le contre angle et se matérialise visuellement, geste pour geste, en

deux dimensions sur l'écran supérieur et en 3 dimensions sur l'écran inférieur. La colocalisation entre le bras haptique et l'écran inférieur augmente le réalisme de la simulation [25].

Lors du contact entre la fraise et la dent virtuelle, un système de retour de force bloque le bras haptique, en fonction de la densité du tissu traversé, et permet donc un grand réalisme. Il est à manipuler avec précaution.

### **3.1.2.8 Autres composants du simulateur**

- *le dispositif secondaire* : un second stylet faisant office de miroir virtuel si la fonction est activée (Fig.30) ;
- *le bouton d'allumage* : il permet d'allumer le système informatique du simulateur ;
- *la prise USB* : elle permet de recharger les lunettes 3D mais également l'échange de données entre un périphérique externe et le système informatique du simulateur.
- *L'interrupteur* : Situé au pied du simulateur, il autorise l'allumage de l'ordinateur intégré.



*Figure 30: De gauche à droite : dispositif secondaire, bouton de démarrage de l'unité centrale informatique, port USB et interrupteur de mise en tension du simulateur*



## **3.2 Fonctionnalités du VirtEasy® Dental : mode d'emploi [10]**

Le logiciel VirtEasy® offre différentes fonctionnalités qui permettent de manière intuitive à l'utilisateur la manipulation du simulateur, à savoir :

- les différents types de profil utilisateur ;
- les menus du module navigation ;
- les types d'exercices réalisables ;
- la gestion de la caméra en phase de simulation ;
- les aides disponibles en phase de simulation.

### **3.2.1 Les différents types de profil utilisateur**

L'utilisation du simulateur dépend du profil connecté. Ainsi, que l'on soit enseignant, administrateur ou apprenant, la prise en main du logiciel sera variable.

Chaque profil d'utilisateur peut seulement accéder aux modules de navigation qui lui sont attribués.

Une *promotion* est un groupe d'*apprenants*, dont les *enseignants*, définis comme des *référents*, gèrent le contenu.

#### **3.2.1.1 L'administrateur**

L'*administrateur* a un profil qui lui permet de configurer le VirtEasy® Dental. Il a la capacité de :

- créer de nouveaux utilisateurs ;
- gérer les profils d'utilisateurs ;
- configurer un type de connexion à l'application.

#### **3.2.1.2 L'enseignant**

Le profil *enseignant* est en général attribué à un membre de l'équipe pédagogique. L'*enseignant* peut dès lors :

- gérer les *apprenants* ;
- gérer les *promotions* ;
- gérer le contenu des exercices (contenus théoriques, trousse, etc...).

### 3.2.1.3 L'apprenant

Le profil *apprenant* est dédié aux étudiants. Ils peuvent créer un profil d'utilisateur qui leur permet de :

- réaliser les exercices disponibles ;
- accéder aux contenus théoriques disponibles.

Un profil *apprenant* n'a en théorie accès qu'à 3 onglets de navigation : « Parcours », « Exercices », et « Contenus Théoriques ».

### 3.2.2 Le menus du module de navigation

Le module de navigation est composé d'une barre de menus, d'icônes, et d'informations sur l'utilisateur connecté.

- **Parcours**: ce menu permet d'accéder aux exemples, à l'entraînement privé ou à une démonstration
- **Exercices**: ce menu permet d'accéder aux exercices
- **Contenu théorique**: ce menu permet d'accéder aux contenus théoriques : tutoriels concernant l'utilisation du simulateur, cas cliniques d'implantologie, accès à des vidéos ou .pdf.
- **Enseignant**: accessible uniquement par les administrateurs et les enseignants, il permet d'organiser les promotions ou encore de modifier les codes exercices.
- **Gestion**: accessible uniquement par les administrateurs et les enseignants, il permet de créer et gérer les comptes apprenants. Également les contenus accessibles par les différentes promotions.
- **Administration**: accessible uniquement par les administrateurs, il permet de créer, gérer, supprimer les comptes et les mots de passe.
- **Gestion du compte utilisateur**: ici, les informations associées au compte utilisateur peuvent être modifiées.
- **Liste des chirurgies enregistrées**
- **Fermeture de la session active**
- **Fermeture de l'application.**

### 3.2.3 Les types d'exercices réalisables

Les exercices sont divisés en 2 catégories :

- les ateliers ;
- les cas cliniques.

#### 3.2.3.1 Les ateliers

L'*apprenant* va ici travailler en fonction d'un objectif pédagogique ciblé.

Ces exercices comportent 3 étapes :

- **les instructions** : elles présentent l'objectif de l'exercice et donnent les instructions afin d'y parvenir ;
- **la simulation** : c'est la réalisation de l'exercice à proprement parler ;
- **l'évaluation** : ici l'*apprenant* peut revoir le travail réalisé en phase de simulation et est évalué objectivement sur celui-ci. L'objectif pédagogique est alors validé ou non.

#### 3.2.3.2 Les cas cliniques

Grâce à ce type d'exercices, l'*apprenant* va être initié à la résolution de cas cliniques. Ici, l'utilisation de plusieurs objectifs pédagogiques est nécessaire à la réussite de l'épreuve.

Ces exercices sont composés de 5 étapes (ou 6 en Implantologie) :

- **la présentation du patient** : l'*apprenant* peut prendre connaissance du dossier patient virtuel ;
- **le diagnostic (uniquement en Implantologie)** : l'*apprenant* réalise le plan de traitement qu'il mettra en place dans l'étape suivante ;
- **la simulation** : c'est la réalisation de l'exercice à proprement parler ;
- **l'évaluation** : ici l'*apprenant* est évalué objectivement sur les travaux qu'il a réalisés ;

- **la correction** : le plan de traitement d'un chirurgien-dentiste est présenté ;
- **la vidéo du cas clinique** : cette étape présente une vidéo de l'intervention.

### 3.2.4 La gestion de la caméra en phase de simulation

La caméra correspond à l'angle de vue par lequel l'utilisateur perçoit l'exercice qu'il réalise.

Elle est gérée par deux menus : le « **menu souris 3D** » ou le « **menu caméra** ». La caméra peut être manipulée grâce à la souris 3D du simulateur.

#### Menu souris 3D

En cliquant sur le bouton situé sur le côté droit de la souris, l'utilisateur accède au « **menu souris 3D** » et peut alors choisir quel point de vue il manipule avec la molette :

- **tête du patient** : modifie l'orientation de la zone de travail ou du patient ;
- **caméra** : modifie le point de vue du praticien ;
- **miroir** : permet de manipuler l'objet « miroir virtuel » dans le cas où le manipulateur seconde main n'est pas disponible.

Un simple clic sur le bouton côté droit de la molette permet la sortie de ce menu.

#### Menu caméra

Le « **menu caméra** » s'ouvre en cliquant sur l'icône correspondante. Il permet :

- d'adopter le point de vue *apprenant* : il permet à l'*enseignant* ou à un binôme de voir exactement ce que l'*apprenant* voit sur son écran ;
- d'adopter le point de vue assistant : c'est un point de vue défini différemment pour chaque exercice, qui permet d'avoir un angle de vue optimal sur la réalisation de l'exercice ;
- de zoomer sur la zone de travail ;
- d'inverser les yeux selon l'œil directeur de l'opérateur.

### 3.2.5 Les aides disponibles en phase de simulation

Un onglet « aide » permet à l'opérateur de gérer certains paramètres qu'il souhaite voir apparaître ou non :

- la profondeur ;
- la température de l'outil ;
- l'affichage de la main virtuelle ;
- l'affichage du miroir ;
- l'affichage de la séquence opératoire.

D'autres paramètres peuvent également être modifiés :

- l'affichage du pourcentage d'efficacité : c'est la précision du travail réalisé en temps réel ;
- la couleur de la zone de travail ;
- la simulation guidée : activée, elle permet à l'utilisateur de ne traiter que la dent concernée. Sans activer ce paramètre, l'opérateur devra veiller à ne pas fraiser accidentellement d'autres dents sur l'arcade ;
- en implantologie, l'utilisateur peut décider d'afficher ou non les jauges, les axes de forage et les positions d'impact de forage.

### 3.3 Mode d'emploi destiné à l'étudiant

#### 3.3.1 Première utilisation du VirtEasy® Dental

Pour utiliser le simulateur virtuel en question, il sera nécessaire de savoir comment :

- démarrer le logiciel VirtEasy® Dental ;
- s'identifier en tant qu'utilisateur ;
- lancer un exercice de simulation.

##### 3.3.1.1 Démarrer le logiciel VirtEasy® Dental

- Allumer le simulateur à l'aide du bouton démarrage (Fig.31)

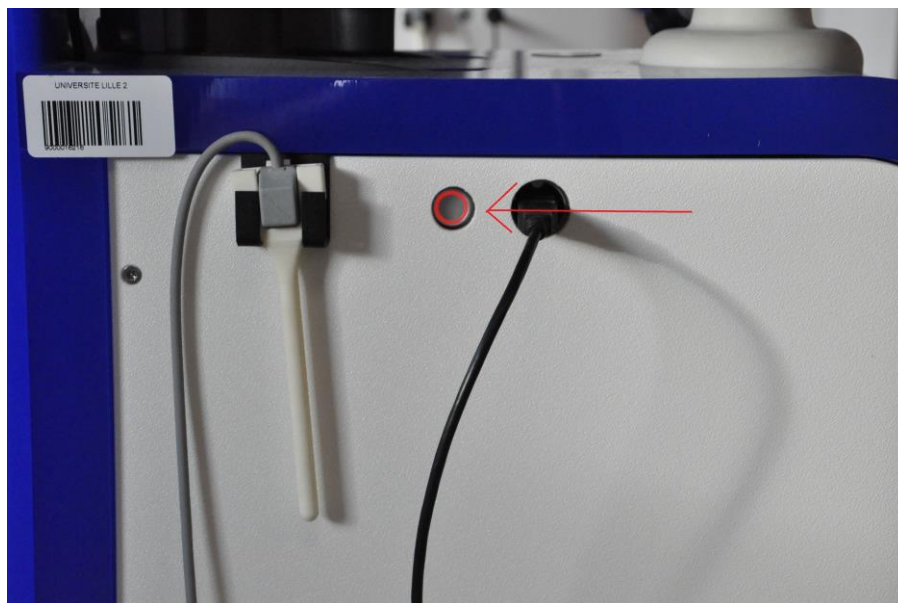


Figure 31: Bouton de démarrage du VirtEasy® Dental

- Lancer le logiciel VirtEasy® Dental en double-cliquant sur l'icône suivante (Fig.32) :



Figure 32: Icône du logiciel VirtEasy® Dental

- S'identifier :

- sur un compte déjà créé dans la base de données VirtEasy® (Fig.33) ;
- en créant un compte au préalable (Fig.34), puis en se connectant dessus.

**Connection**

Choose your login and enter your password

Admin\_HRV

1 2 3

4 5 6

7 8 9

C 0 DEL

Connection by Database

CONNECT

CREATE ACCOUNT

Figure 33: Interface de connexion au compte VirtEasy® Dental

**Create a student account**

Role: STUDENT Group: Group\_HRV

Login: Last Name:

Password: First Name:

Confirm password: Email address:

Gender:  Male  Female

CREATE ACCOUNT CANCEL

Enter student information.

Figure 34: Interface de création d'un compte VirtEasy® Dental

### 3.3.1.2 S'identifier en tant qu'utilisateur

- Une fois le compte créé, choisir un nom d'utilisateur parmi ceux de la liste déroulante (Fig.35)

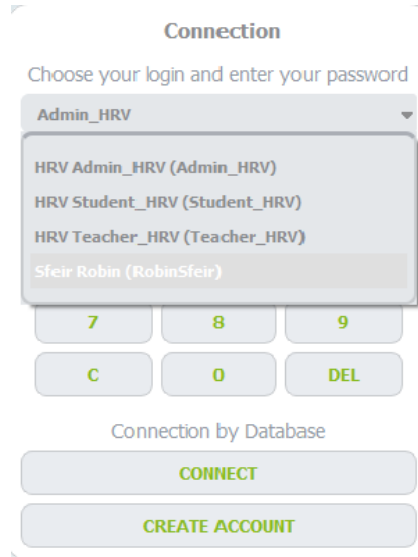


Figure 35: Liste déroulante des profils utilisateurs créés

- Taper le mot de passe correspondant au mot de passe choisi lors de la création du compte.

### 3.3.1.3 Lancer un exercice de simulation

- L'application VirtEasy® Dental s'ouvre alors. Cliquer sur l'onglet «Learn» (Fig.36) dans la barre des menus en haut de la fenêtre, permettant l'accès à tous les exercices disponibles de la promotion à laquelle l'utilisateur est affecté.



Figure 36: Icône d'accès aux exercices de simulation

- Choisir une thématique parmi les 4 proposées :
  - familiarisation ;
  - restauration ;
  - prothèse ;
  - implantologie (Fig.37).



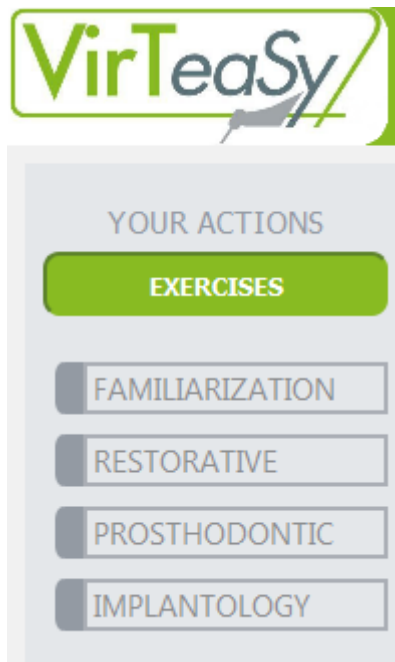


Figure 37: Les différents types d'exercices proposés

Voici quelques captures d'écran des différents exercices proposés suivant la catégorie choisie (Fig.38, 39, 40 et 41) :

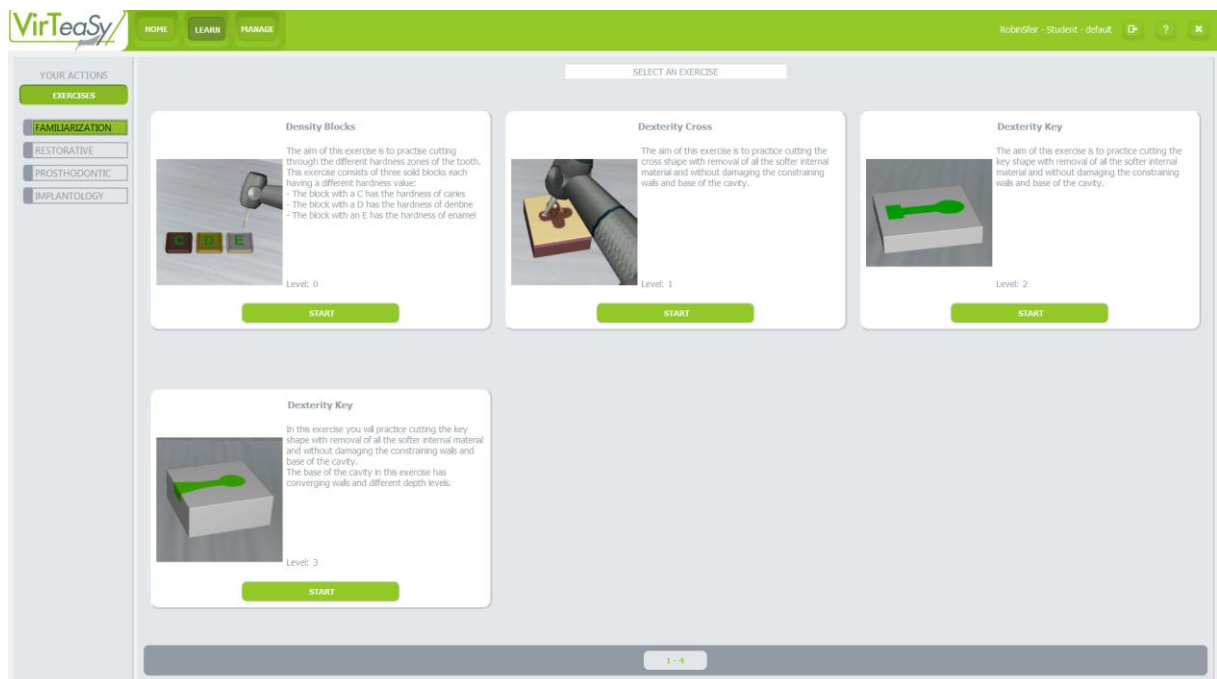


Figure 38: Les exercices de familiarisation avec le simulateur

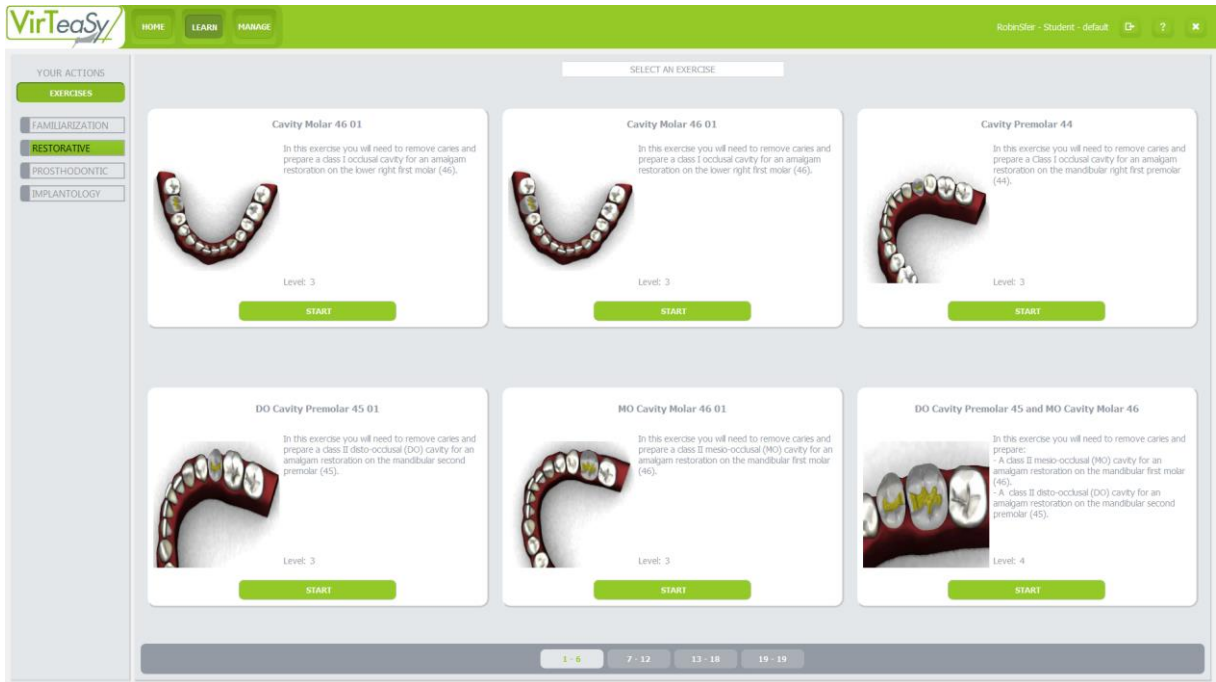


Figure 39: Les exercices de dentisterie restauratrice

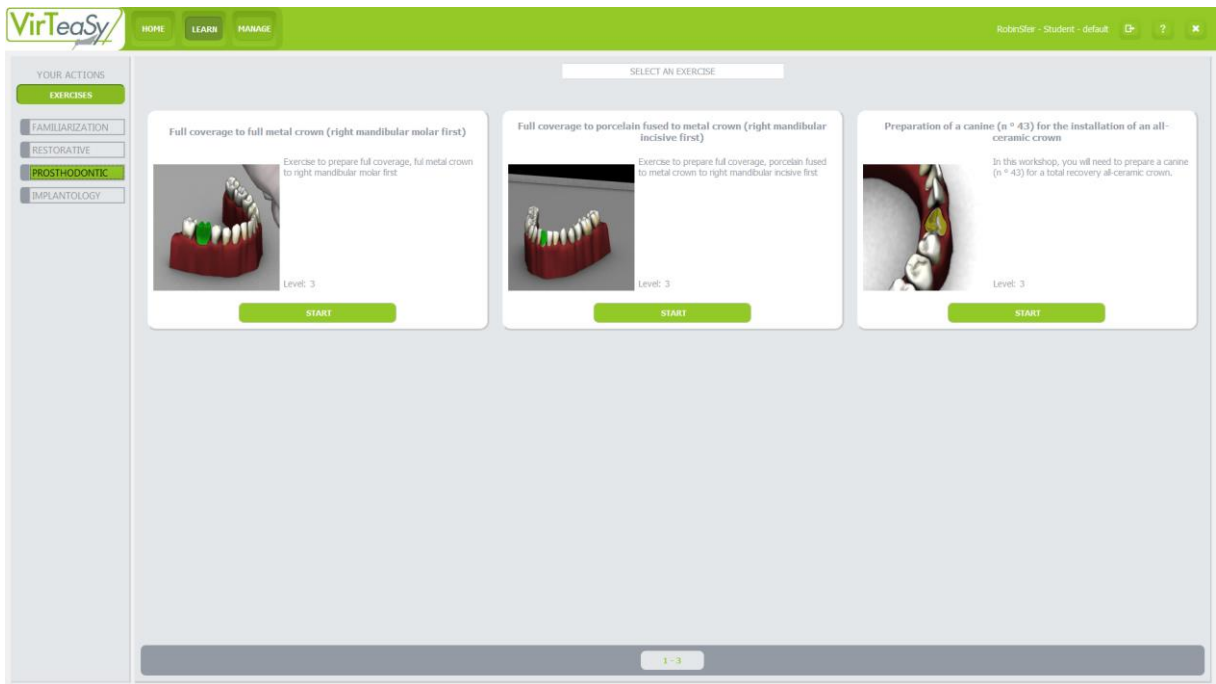


Figure 40: Les exercices de prothèse fixée

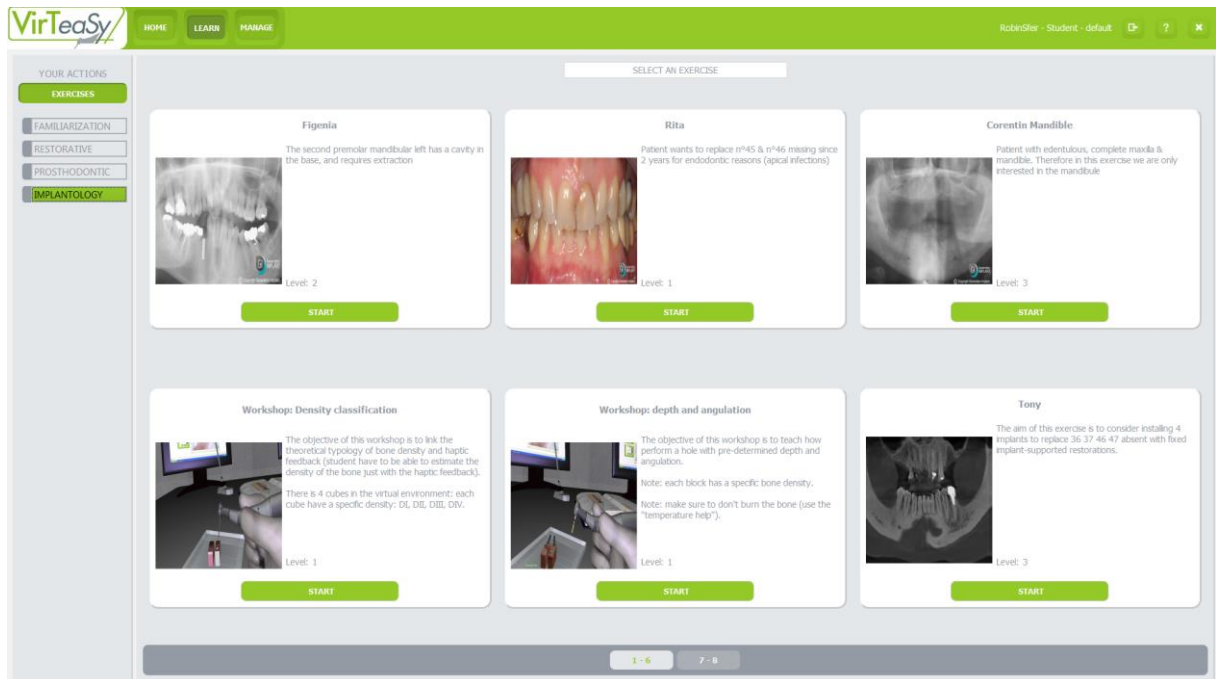


Figure 41: Les exercices d'implantologie

- Différents exercices s'affichent alors, 6 par 6. Par exemple en odontologie conservatrice, ils diffèrent selon la dent à traiter et le type de cavités à réaliser. Sélectionner un exercice.
- Prendre connaissance des consignes de l'exercice (Fig.42). Certaines informations seront alors délivrées :
  - les objectifs pédagogiques ;
  - la présentation de l'exercice ;
  - les critères d'évaluation.

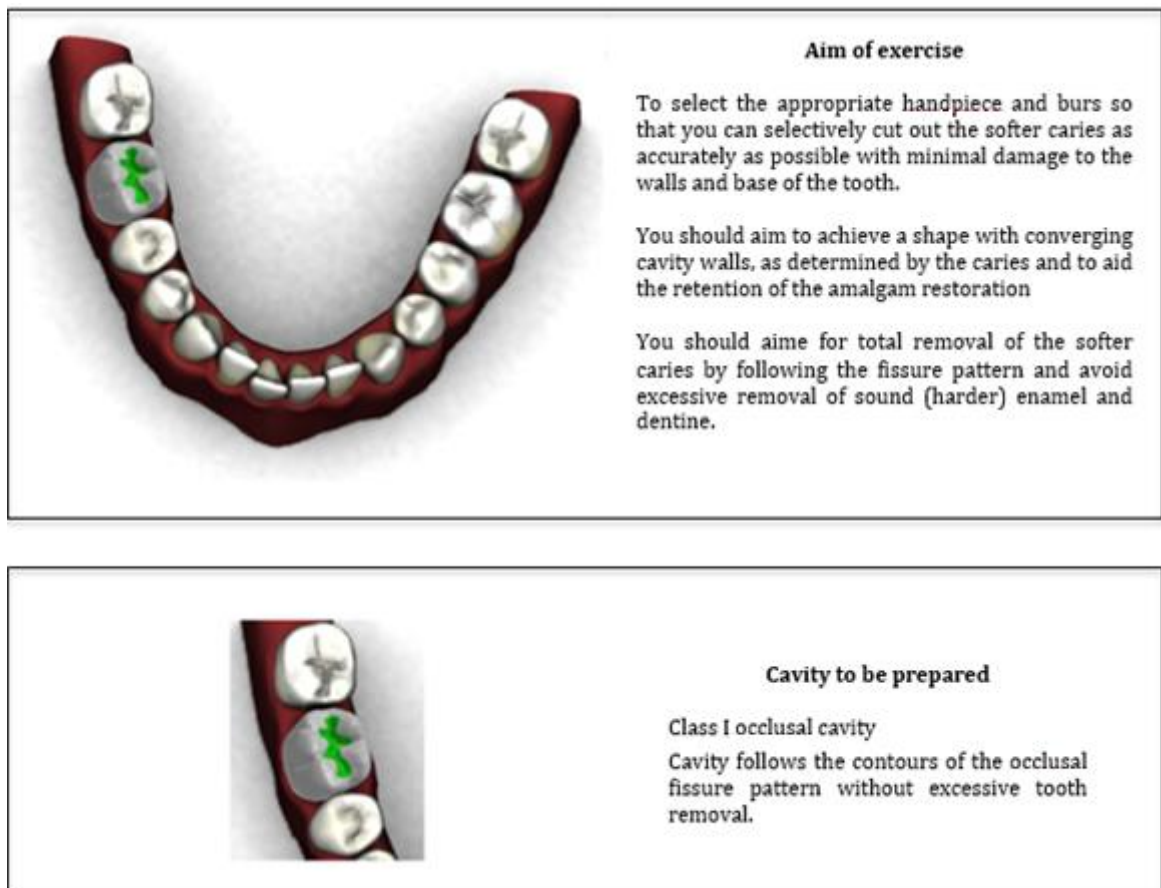


Figure 42: Consignes d'un exercice d'odontologie restauratrice

- Pour lancer la simulation, cliquer sur le bouton « Launch » situé au bas des consignes (Fig.43).

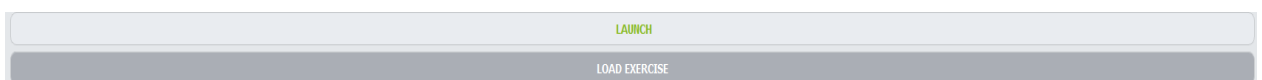


Figure 43: Bouton de lancement d'un exercice, ou de reprise d'un exercice préalablement commencé

- Choisir une trousse d'instruments parmi celles qui sont proposées (Fig.44 et 45). Les troussees proposées sont constituées des rotatifs d'usage (contre-angle et turbine), parmi lesquels il faut sélectionner différentes fraises classées par marques et par diamètres. Une sonde est également à disposition (Fig.46) et permettra de contrôler les différents critères d'évaluation, notamment en odontologie conservatrice pour le contrôle des cavités.



Figure 44: Fraises et forêts proposés pour le contre-angle

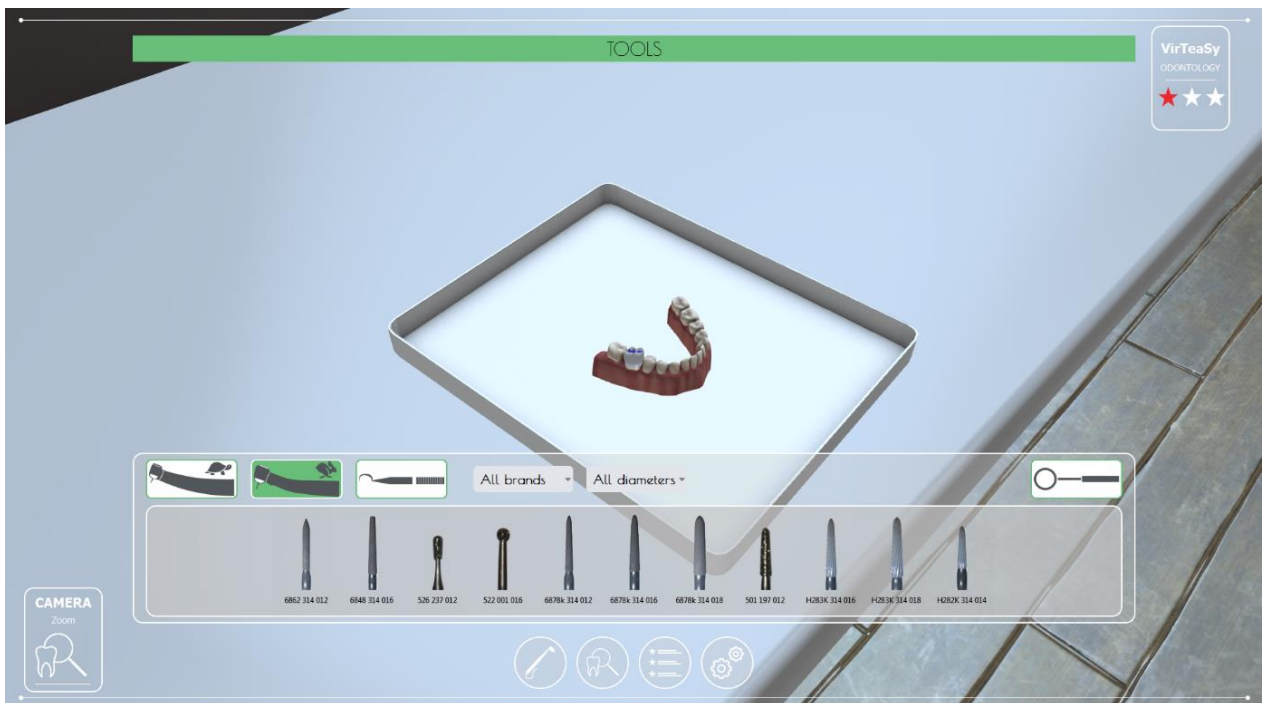


Figure 45: Fraises proposées pour la turbine

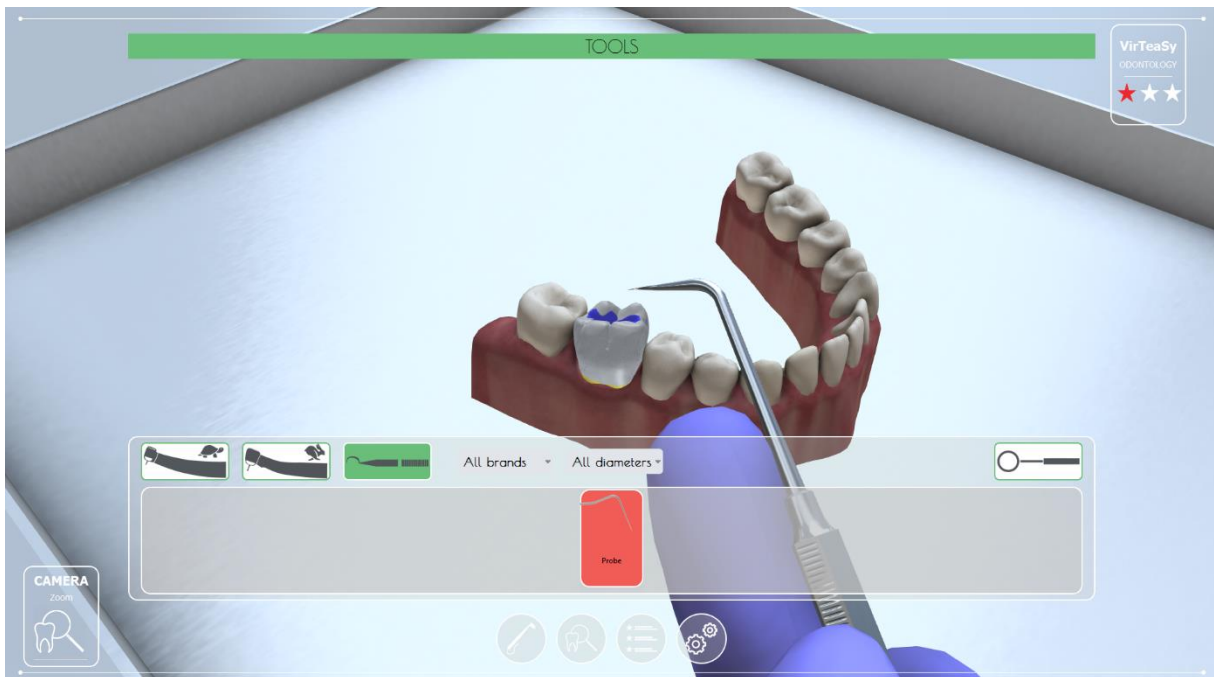


Figure 46: Sélection de la sonde en phase de simulation

- L'environnement virtuel s'affiche et l'exercice peut commencer.

### 3.3.2 Rechercher un exercice

- Cliquer sur l'onglet « exercice » dans la barre de menus.
- Cliquer sur « je recherche un exercice » dans la colonne de gauche.
- Choisir un critère de recherche parmi ceux proposés :
  - thématique (discipline) ;
  - type d'exercice (planification, simulation ou cas clinique) ;
  - difficulté de l'exercice (allant de 1 à 5 en fonction des difficultés disponibles dans votre promotion).
- Pour réaliser l'exercice choisi, cliquer sur « accéder à l'exercice ».

### 3.3.3 Rechercher un contenu théorique

- Cliquer sur l'onglet « contenu théorique » sur la barre de menus.
- Cliquer sur « je recherche du contenu théorique » pour lancer une recherche.
- Choisir un critère de recherche parmi ceux proposés :

- thématique : tutoriel ou implantologie (cas cliniques ou vidéos) ;
  - type de contenus : format .pdf ou format vidéo.
- Les contenus théoriques disponibles sont alors accessibles
  - En thématique *tutoriel*, faire défiler les contenus et cliquer sur « regarder la vidéo » ou « ouvrir le .pdf » pour y accéder.
  - En thématique *implantologie*, choisir une des 5 sous-thématiques qui sont proposées :
    - édentement unitaire ;
    - édentement partiel ;
    - édentement total ;
    - divers ;
    - workshop.

Puis faire défiler les contenus et cliquer sur « regarder la vidéo » ou « ouvrir le .pdf » pour y accéder.

### **3.3.4 L'évaluation**

L'évaluation est l'intérêt majeur de ces nouveaux simulateurs. Elle est immédiate et permet aux *apprenants* d'objectiver leur travail. Celle-ci est divisée en deux phases :

#### **3.3.4.1 Les phases d'évaluation**

##### **3.3.4.1.1 La première phase d'évaluation**

Elle est réalisable à tout moment durant l'intervention virtuelle et n'interrompt pas la simulation (Fig.47). L'utilisateur est libre de reprendre son travail après l'avoir consultée.

- Pour y accéder, cliquer sur le bouton « évaluation ».
- Lorsque le résultat obtenu est satisfaisant, cliquer sur « sauvegarder » pour valider le travail.



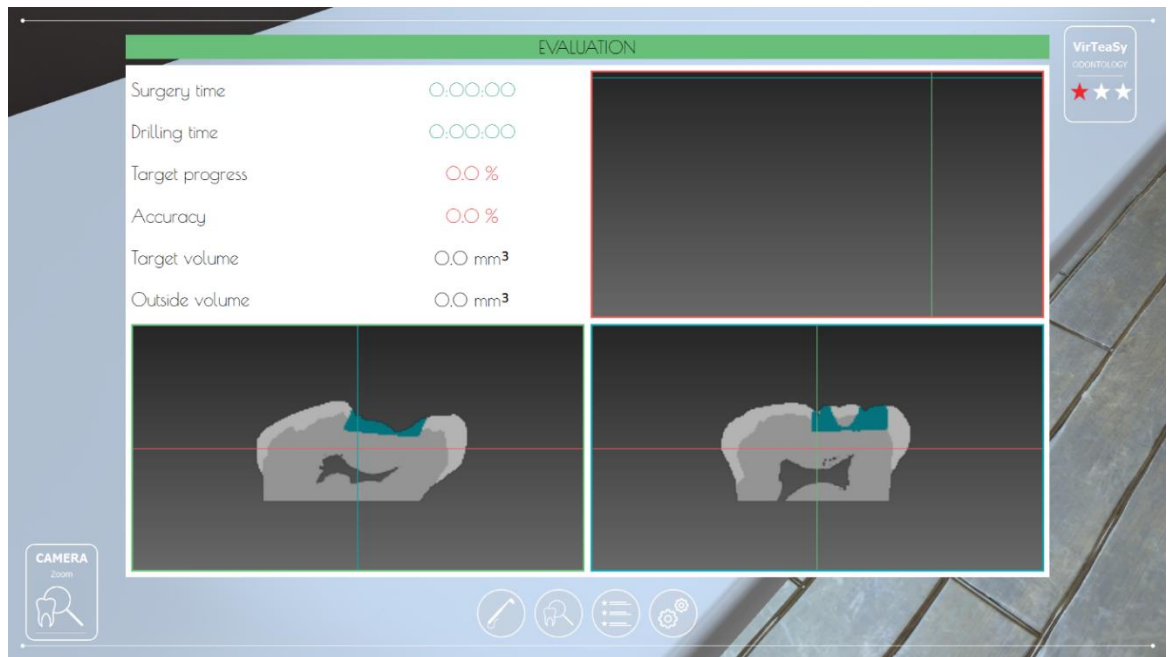


Figure 47: Evaluation en temps réel du travail simulé

### 3.3.4.1.2 La seconde phase d'évaluation

Elle s'utilise hors simulation. Grâce à elle, l'utilisateur peut revenir sur les différentes simulations qu'il a validées avec son profil.

- Pour accéder aux anciennes évaluations, aller dans le menu « exercice » du module de navigation.
- Choisir l'exercice souhaité et sélectionner l'étape « évaluation » grâce aux onglets situés en haut à gauche de l'écran.
- Faire ensuite défiler les évaluations disponibles (uniquement si il y en a plusieurs) à l'aide des flèches directionnelles.
- Plusieurs informations permettent de cibler l'évaluation d'intérêt :
  - numéro de la chirurgie ;
  - date et heure de réalisation ;
  - durée totale ;
  - durée de forage.
- Cliquer sur « revoir l'évaluation » pour accéder aux résultats obtenus.



### **3.3.4.2 L'interface d'évaluation en dentisterie restauratrice, endodontie, et prothèse**

L'évaluation n'est pas la même en fonction de la discipline choisie. Pour la dentisterie restauratrice, l'endodontie et la prothèse, les actions suivantes sont réalisables :

- Visualiser le travail réalisé sous différents angles :
  - en manipulant le modèle en 3D ;
  - en zoomant sur la zone souhaitée ;
  - en affichant/cachant différents paramètres (solide, transparence, cible et coupe).
  
- Réaliser un scanner de la zone de travail :
  - permettant de voir une coupe de celle-ci, selon un axe X, Y ou Z (3 sens de l'espace).
  
- Prendre des mesures de distance et d'angulation :
  - ces mesures sont parfaitement objectives car calculées par le système informatique.
  - cela nécessite d'avoir sélectionné un plan de coupe au préalable. Un numéro lui sera affecté et les mesures effectuées seront liées à cette coupe numérotée.
  - une prise de notes peut être associée à une mesure effectuée (elle-même associée à un plan de coupe).
  
- Prendre des notes sur le travail effectué ou sur une mesure :
  - cliquer sur l'élément d'interface « notes » ou « commentaires » ;
  - deux types de notes peuvent être édités, soit une note « globale » concernant l'exercice évalué, soit une note liée à une mesure réalisée sur une coupe.
  
- Sauvegarder le résultat du travail effectué :
  - pour cela, cliquer sur le bouton « sauvegarde ». Une première fenêtre indiquera l'état de chargement de la sauvegarde, puis une seconde indiquera si la sauvegarde a été réalisée avec succès.

- si une sauvegarde a déjà été réalisée sur le même travail, il faut la supprimer pour enregistrer la nouvelle.

### **3.3.4.3 L'interface d'évaluation en implantologie**

Pour les exercices réalisés en implantologie, les actions suivantes sont légèrement différentes :

- Visualiser la représentation 3D (scanner) de la zone de travail ;
- Visualiser le travail effectué sous différents angles :
  - en manipulant le modèle en 3D ;
  - en zoomant sur la zone souhaitée ;
  - en affichant/cachant différents paramètres (solide, transparence, coupe, planification, forage, ou détails du forage).
- Réaliser un scanner du travail selon un axe coronal :
  - pour cela, cliquer sur l'élément d'interface « vue sagittale » ;
  - le plan de coupe peut être déplacé à volonté grâce au curseur situé en bas de la vue.
- Obtenir des données quantitatives sur le travail réalisé :
  - pour cela, cliquer sur l'élément d'interface « rapport et paramètres » situé au bas de l'écran. Plusieurs onglets s'ouvrent alors ;
  - l'onglet « rapport de la chirurgie » présentent des données relatives à l'intervention virtuelle. Ces données sont des comparaisons du travail virtuel effectué avec le travail virtuel planifié à la base :
    - ➔ différence de position du point d'impact ;
    - ➔ différence angulaire des axes de révolution ;
    - ➔ profondeur du forage ;
    - ➔ présence de perforation ;
    - ➔ temps de l'intervention globale et temps de forage.

Ces données permettent à l'opérateur de comparer sa pose d'implant en virtuel, avec sa planification qui, en principe, se rapproche au maximum de la pose d'implant parfaite ;

- l'onglet « commentaires de la chirurgie » permet de prendre des notes sur le travail ;
- l'onglet « mesures et outils » permet de prendre des mesures objectives sur le travail ;
- l'onglet « paramètres » permet d'afficher ou de cacher les profils des implants planifiés et réalisés.

### **3.3.5 La planification en implantologie**

La discipline implantaire demande une certaine rigueur. A juste titre, il est nécessaire de réaliser avant toute intervention chirurgicale une préparation précise du cas clinique : c'est la planification implantaire. Celle-ci est prévue dans les exercices de type cas clinique, et est composée de 4 onglets :

- visualisation des coupes transversales ;
- sélection des coupes sagittales ;
- planification ;
- résultats.

#### ***3.3.5.1 Visualisation des coupes transversales***

Cet onglet permet à l'utilisateur de visualiser l'ensemble des coupes transversales du cas clinique sélectionné. Pour naviguer parmi ces coupes, déplacer le curseur situé en bas de l'interface ou utiliser les flèches aux extrémités. Le numéro du scanner se met à jour en fonction du défilement des coupes.

Plusieurs paramètres d'affichage sont disponibles :

- *La luminosité* : la luminosité du scanner peut être réglée en sélectionnant le scanner, et en déplaçant le curseur à gauche ou à droite.
- *Le contraste* : le contraste du scanner peut être réglé en sélectionnant le scanner, et en déplaçant le curseur en haut ou en bas.

### **3.3.5.2 Sélection des coupes sagittales**

Cet onglet permet à l'utilisateur de sélectionner les coupes qui lui seront utiles lors de la planification. Pour sélectionner les coupes à planifier, utiliser la barre de défilement de ces coupes au bas de l'interface. Les coupes sélectionnées apparaissent alors en vert dans la barre de défilement et s'affichent dans la partie haute de l'interface. Faire la manipulation inverse pour désélectionner un scanner. La luminosité et le contraste sont toujours modifiables.

### **3.3.5.3 La planification**

Cet onglet permet à l'utilisateur de réaliser, au préalable de l'intervention virtuelle, la planification d'un ou de plusieurs implants sur les coupes de travail sélectionnées. Plusieurs outils sont mis à disposition de l'utilisateur.

Cette planification se réalise en 6 étapes :

- choisir les calques d'implants ;
  - positionner les calques d'implants ;
  - sélectionner l'implant adéquat ;
  - affiner la position ;
  - visualiser la vue panoramique ;
  - valider la planification de l'implant.
- 
- Choisir les calques d'implants :
    - l'ensemble des calques d'implants, classés par diamètre et forme, sont situés dans le menu « gestion des calques » ;
    - pour naviguer parmi ces calques, utiliser les curseurs ;
    - sélectionner un calque pour le faire apparaître sur la fenêtre principale.
    - un calque regroupe plusieurs implants.
  
  - Positionner les calques d'implants :
    - une fois envoyé sur la fenêtre principale, déplacer le calque en appuyant sur ce dernier et en le faisant glisser. Il est également possible de réaliser des translations et des rotations ;

- **pour translater le calque** (à l'horizontale ou à la verticale), appuyer au centre de l'implant et effectuer un déplacement rectiligne dans la direction souhaitée ;
  - **pour effectuer une rotation du calque**, appuyer sur le côté du calque et effectuer des mouvements circulaires.
- Sélectionner l'implant adéquat :
    - une fois le calque mis en place, il faut choisir un implant parmi l'ensemble des implants d'un calque ;
    - pour ce faire, appuyer sur le calque contenant l'implant, et appuyer sur le bouton de sélection d'un implant.
- Affiner la position :
    - pour préciser le positionnement de l'implant, des flèches vertes situées en haut à gauche de l'écran permettront de déplacer l'implant de manière plus précise ;
    - il est également possible de zoomer sur la future zone implantée.
- Visualiser l'implant sur la vue panoramique :
    - une fois l'implant choisi et positionné, l'image de la radiographie panoramique devient rouge. Cela signifie que la position de l'implant a été modifiée.
    - appuyer sur le panoramique pour la mettre à jour quant à la nouvelle place de l'implant. Celui-ci apparaît en bleu.
- Valider la planification de l'implant :
    - lorsque le positionnement de l'implant est terminé et vérifié, il faut compléter la planification en apportant certaines informations :
      - ➔ le nom de la planification ;
      - ➔ l'enfouissement de l'implant ;
      - ➔ l'angulation mésio-distale ;
      - ➔ la densité osseuse estimée du cas.

- enfin, pour finaliser tout cela, cliquer sur l'onglet « zone sélection » et choisir la zone à implanter virtuellement. La dent concernée s'affichera alors en vert.

#### **3.3.5.4 Résultats**

Dans cet onglet, un récapitulatif de la planification précédemment établie sera présenté. Il est possible d'y ajouter des commentaires et de sauvegarder la planification. Pour cela, cliquer sur « sauvegarder/save » situé en haut à droite.

## 4 Discussion

### 4.1 Avantages du simulateur virtuel

L'intérêt des universités du monde entier pour la simulation en réalité virtuelle n'est plus à prouver, si bien que les investissements se multiplient. Il est probable que les simulateurs virtuels ne remplacent jamais les simulateurs physiques, si l'on se base sur les avancées technologiques actuelles. L'objectif est d'apporter un outil pédagogique en plus à la formation pratique existante [8].

#### 4.1.1 Un gage de qualité dans la formation universitaire

Voici la liste des facultés de chirurgie dentaire qui bénéficient aujourd'hui d'un simulateur VirtEasy® Dental (Fig.48).



Figure 48: Liste des facultés de chirurgie dentaire en collaboration avec l'entreprise HRV

Plusieurs facultés françaises se sont équipées de simulateurs virtuels, en s'inspirant du modèle américain. En effet, les Etats-Unis et le Canada sont aujourd'hui les leaders en matière de simulation virtuelle. Outre Atlantique, la simulation fait partie intégrante du cursus universitaire, elle est utilisée chaque jour :

- à des visées techniques (apprendre à reproduire des gestes) ;
- mais aussi purement comportementale (relation patient-praticien, travail interdisciplinaire...).

On l'exploite en médecine, en chirurgie, mais également dans les formations paramédicales (infirmiers, kinésithérapeutes), diététiques et pharmaceutiques. Il est important de distinguer :

- un « *programme de simulation* » : c'est un outil pédagogique de la formation ;
- d'un « *centre de simulation* » : c'est un centre dédié uniquement à la formation sur simulateur.

Une structure peut alors disposer d'un *programme de simulation* sans pour autant posséder de *centre de simulation*.

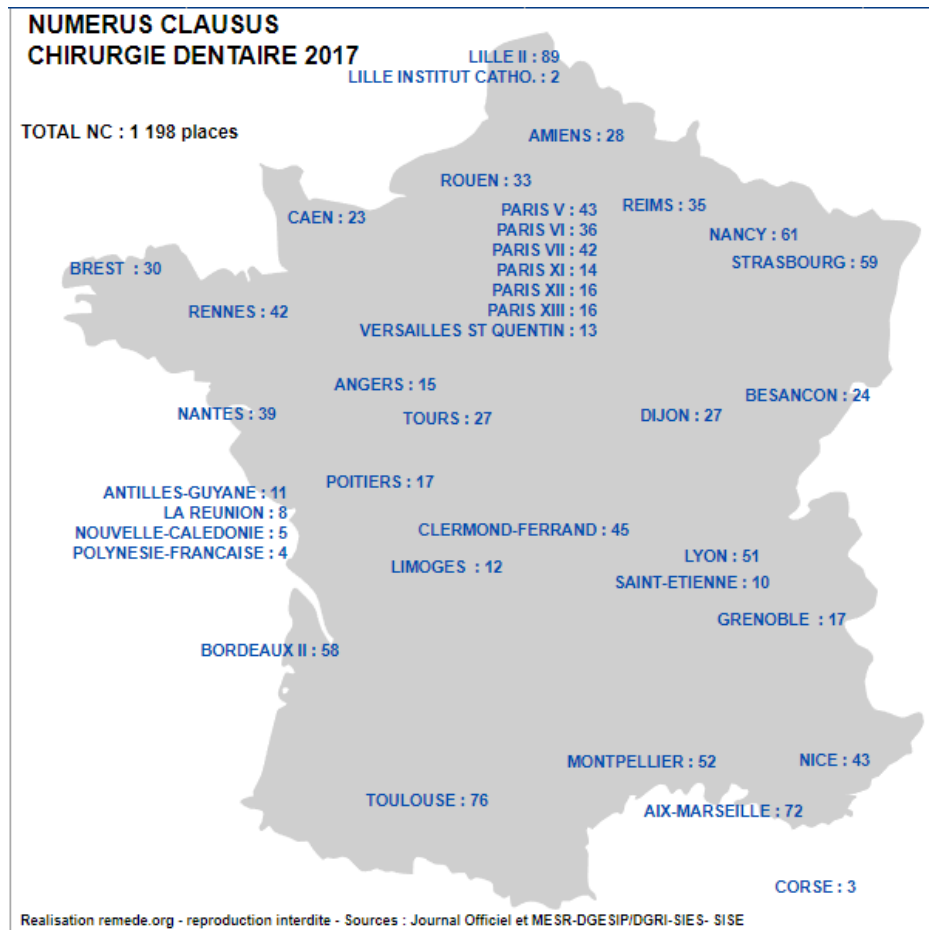
La majorité de ces *centres* se situent dans les universités. On en recense (en 2009) environ une soixantaine. A l'heure actuelle, une université ne disposant pas de ce type de centres est nettement moins prisée par les étudiants (qui recherchent la formation la plus complète qui soit), comme par les patients (qui recherchent une « sécurité » dans le risque d'erreurs) [14].

Les universités françaises tendent vers ce modèle nord-américain, il est donc nécessaire de s'équiper en conséquence.

#### **4.1.2 La réponse à un nombre croissant d'étudiants**

La faculté de chirurgie dentaire de Lille 2 se place au sommet du podium français du plus grand nombre d'étudiants pour une faculté de chirurgie dentaire (Fig.49). Heureusement, elle est dotée de la plus grande salle de simulation physique dentaire en Europe. Par exemple, en deuxième année pour l'année universitaire 2017/2018, le nombre d'étudiants est de 145. Lors d'un T.P. de dentisterie restauratrice, le nombre d'enseignants est de 4 pour 36 étudiants par groupe, ce qui nous donne un ratio de 1 enseignant pour 9 étudiants.





*Figure 49: Répartition du numérus clausus de chirurgie dentaire en France*

Cette carte nous informe sur le numérus clausus général de chirurgie dentaire en France, et sa répartition dans les différentes facultés. La faculté de chirurgie dentaire de Lille accueille à la fois les étudiants lillois, mais également les étudiants rouennais, ce qui fait gonfler le numérus clausus au fil des années.

Les simulateurs virtuels apportent à l'étudiant une véritable possibilité de travailler en autonomie, grâce à l'auto-évaluation, ou à la consultation de contenus théoriques mis en ligne par les enseignants. Ainsi le bénéfice est double : ces derniers seront moins sollicités et les étudiants pourront obtenir les réponses à leurs questions en toute autonomie.

### 4.1.3 L'augmentation du réalisme

Paradoxalement, les simulateurs virtuels se veulent plus réalistes dans leur expérience de simulation que les typodonts.

Le travail sur typodonts des étudiants de deuxième année commence, en dentisterie restauratrice, par la réalisation des cavités de Black (Fig.50). Ces cavités type ne correspondent pas à la réalité clinique car les dents en résine ne présentent pas les nuances de couleur et de dureté de la dent naturelle, ni la possibilité d'une topographie des lésions carieuses.



*Figure 50: Préparation d'une cavité de site 2 sur modèle Frasaco®*

Le manque de réalisme se caractérise également par la densité des couches dentaires sur les dents typodonts. Ainsi les tissus amélaire et pulpaire ont exactement la même résistance à la pression du rotatif. Les sensations tactiles acquises par la simulation physique sont donc très rudimentaires. Les dents d'apparence cariées ou contenant différentes couches de densité existent sur le marché mais sont très coûteuses et ne sont pas utilisés à la faculté de Lille 2.

Enfin, l'absence des mouvements cervicaux et linguaux du « patient » sur les simulateurs physiques ne laisse aucune place à l'imprévu. C'est pourtant cet imprévu qui est le plus déroutant lors de la prise en charge de nos premiers patients. Selon une étude, certains étudiants très compétents en travaux pratiques ne le seront pas

en clinique, et inversement. Il est également établi que la majorité des étudiants seront moins performants en clinique qu'en T.P. [16].

#### **4.1.4 Une initiation à l'implantologie**

Ces dispositifs permettent aux étudiants de s'initier à une nouvelle discipline : l'implantologie. Dans le programme actuel, cette initiation ne commence qu'à partir de la 5<sup>e</sup> année avec des cours théoriques. Les travaux pratiques ne seront abordés que plus tard en 6<sup>e</sup> année. Le problème est qu'il n'existe pas de corrélation temporelle entre les cours et la pratique, ce qui rend la réalité clinique très difficile à visualiser pour les étudiants.

Grâce au module implantologie des simulateurs, il serait possible de commencer l'initiation des étudiants plus tôt, et de la coupler directement avec des planifications ou des poses d'implants virtuels. Ainsi la réalité clinique leur paraîtrait plus claire.

En outre, l'implantologie est une discipline qui connaît un essor fulgurant depuis quelques années. La maîtrise de cette discipline, même pour un omnipraticien, est indispensable de nos jours. La simulation virtuelle se révèle alors être un atout majeur lors de la formation universitaire, à l'ère où la plupart des plans de traitements « idéaux » contiennent une étape implantaire.

#### **4.1.5 L'objectivité de l'évaluation**

Chaque dentiste, aussi formé soit-il, garde un regard très subjectif sur les soins prodigués, par lui-même ou les autres, et cela pour plusieurs raisons : la formation initiale et continue qu'il a reçues, ou son expérience clinique par exemple. Cette subjectivité se retrouve dans l'évaluation des étudiants en travaux pratiques.

A Lille 2, celle-ci est réalisée en double aveugle, avec des critères généraux. Mais on ne retrouve pas de listes de critères précis, qui feraient de cette évaluation une notation standardisée au niveau national, ou international. C'est bien souvent le ressenti clinique de l'enseignant qui parle, et donc des critères qui paraissent

facultatifs pour les uns, sont décisifs pour les autres.

Le simulateur virtuel, grâce à un système de calcul et d'évaluation intrinsèque, offre aux étudiants un retour totalement objectif sur leurs travaux, qu'ils ne peuvent contester.

#### 4.1.6 Coût des travaux pratiques conventionnels

Un certain nombre de consommables sont nécessaires à la réalisation de ces travaux pratiques. A la faculté de chirurgie dentaire de Lille, des modèles de la marque Frasaco® ainsi que leurs dents en résine sont utilisés. Une dent en résine classique à l'unité coûte environ 3 euros. Une arcade complète coûte donc environ 48 euros, et une bouche 96 euros. Les dents cariées, « spéciale endodontie » ou incluant les différentes couches de densité se vendent à un prix plus élevé (Fig.51).



*Figure 51: Dent Frasaco® cariée et dents pour l'exercice de l'endodontie*

Mises bout à bout, ces dépenses constituent un budget conséquent pour chaque étudiant, surtout si il souhaite s'entraîner hors du cadre des travaux pratiques obligatoires. Un simulateur physique engendre également auprès de la faculté des dépenses liées à son entretien

L'utilisation des simulateurs virtuels permet d'acquérir la dextérité manuelle nécessaire à la dentisterie, en amoindrissant les coûts étudiants. Un investissement initial est nécessaire, au même titre que les simulateurs physiques, mais les simulations ne demandent pas de coûts supplémentaires pour les étudiants.

Quant à leur entretien, il est supposé être très simple. Le ratio de 1 enseignant pour 3 étudiants est censé limiter le risque de débordement en salle de simulation. La mise en fonction des VirtEasy® Dental dans notre faculté n'ayant pas encore eu lieu, il paraît difficile d'estimer leur coût de maintenance pour le moment.

#### **4.1.7 Absence de soucis éthiques et sanitaires**

Pour aller encore plus loin, la question du consentement éthique pour l'utilisation d'une dent extraite d'un patient peut être posée. Selon le code de santé publique : « Le prélèvement d'éléments du corps humain et la collecte de ses produits ne peuvent être pratiqués sans le consentement préalable du donneur. » (Article L 1211-2). Pourtant, aucune directive n'est donnée aux étudiants en matière d'acquisition du consentement du patient.

Par ailleurs, la collecte de dents naturelles correspondantes à celles demandées en travaux pratiques est parfois compliquée. Les étudiants seront évalués avec les mêmes critères, sur des dents possédant des anatomies et des niveaux de difficultés différents, ce qui engendre un biais dans l'évaluation.

De même, la question sanitaire se pose en endodontie, du fait de la présence de potentiels agents pathogènes sur les dents extraites utilisées. Le simple protocole de désinfection à l'hypochlorite de sodium dilué à 50% (règle mise en place à la faculté de chirurgie dentaire de Lille 2) a été démontré inefficace [20].

Ces deux questions n'ont pas lieu d'être avec l'utilisation des simulateurs virtuels.

## **4.2 Inconvénients**

Malgré les nombreux avantages que présente un simulateur virtuel, le tyodont reste aujourd'hui le gold standard en matière d'entraînement en chirurgie dentaire. Plusieurs axes d'amélioration peuvent être creusés pour inverser cette tendance.

### **4.2.1 Un entraînement préclinique incomplet**

Malgré la large palette d'actes que cette machine propose, ceux-ci ne sont jamais amenés jusqu'à leur finalité clinique. Et pourtant cela est d'une importance capitale pour l'étudiant en formation. L'enchaînement de plusieurs phases opératoires, va créer chez l'apprenant l'acquisition d'automatismes, qui lui permettront d'accomplir un travail plus rapide et plus protocolaire. Malheureusement, notre simulateur virtuel n'offre pas la possibilité d'effectuer chacune de ces phases opératoires, pour le moment.

Par exemple, lors du traitement virtuel d'une carie, l'utilisateur ne pourra simuler que la phase de curetage.

Ainsi, dans chaque discipline, l'utilisation du simulateur physique sera indispensable en complément, notamment pour pratiquer les techniques suivantes :

- *en dentisterie restauratrice* :
  - la pose du champ opératoire (digue) ;
  - la pose d'une matrice (Tofflemire®, Apis®, Palodont®) ;
  - la stratification d'un composite ;
  - le polissage d'un composite et la vérification des critères de réussite ;
- *en endodontie* :
  - la recherche des canaux dentaires ;
  - la préparation canalair ;
  - l'irrigation ;
  - l'obturation canalair (latérale à froid ou verticale à chaud) ;
  - le contrôle post-opératoire ;
- *en prothèse fixée* :
  - la réalisation d'un isomoulage avant taille ;

- la réalisation d'une dent provisoire (Tab 2000®, Structur2®) ;
  - le rebasage et l'ajustage d'une dent provisoire ;
  - les différentes techniques d'empreinte (double mélange, wash technique) ;
  - le contrôle et la pose d'une couronne périphérique ;
  - la réalisation de cavités onlays, *etc...*
- *en prothèse amovible* :
    - la réalisation des empreintes (primaires ou secondaires) ;
    - l'enregistrement de la relation inter-maxillaire ;
    - l'essayage d'une armature, d'un modèle en cire, *etc...*

A terme, simuler toutes ces techniques virtuellement révolutionnerait l'enseignement en dentisterie.

#### **4.2.2 La maîtrise de l'auto-évaluation**

La possibilité pour l'utilisateur de s'évaluer en temps réel est un des critères qui rend les simulateurs virtuels si intéressants aux yeux des universités. Mais il peut également poser problème quand cette auto-évaluation est mal utilisée. En effet, il ne faut pas que l'étudiant devienne dépendant de celle-ci au détriment de la réflexion clinique, au risque de ne plus savoir juger son travail de manière objective [24].

#### **4.2.3 L'investissement initial**

Un simulateur VirtEasy® Dental coûte environ 60 000 euros contre 15 000 pour un simulateur physique. L'investissement initial est donc conséquent, mais potentiellement rentable sur le long terme.

Reste la question de la durée de vie de ces simulateurs. Les simulateurs physiques sont installés à la faculté de chirurgie dentaire depuis 10 ans. Certes, de nouvelles machines ont été ajoutées pour répondre au nombre croissant d'étudiants, mais la majorité des simulateurs injectés à la base sont encore en état de

fonctionnement. De multiples réparations ont déjà été effectuées et sont envisageables dans le futur, mais pourra-t-on faire le même constat dans quelques années concernant les simulateurs en réalité virtuelle ?

Ce concentré de technologie nécessite une maintenance informatique très pointue, pour laquelle le personnel de la faculté de Lille 2 n'est pas formé, ce qui peut s'avérer problématique en cas de panne. Une collaboration rapprochée avec le fournisseur et la formation d'un des membres du personnel sont donc indispensables.



### 4.3 Tableau comparatif : simulation réelle VS. simulation virtuelle

	<i>Points positifs</i>	<i>Points négatifs</i>
<i>Simulateur physique</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• permettent d'accueillir un plus grand nombre d'étudiants</li> <li>• un retour sur l'expérience datant de nombreuses années</li> <li>• la possibilité de réaliser une large palette d'actes cliniques</li> <li>• l'ergonomie est celle de la réalité clinique</li> <li>• la durée de vie</li> <li>• la présence de personnel de maintenance compétent à la faculté</li> <li>• moins coûteux à l'achat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• moins réaliste</li> <li>• les actes pratiqués sont cliniquement décontextualisés</li> <li>• l'évaluation de l'enseignant perd en objectivité</li> <li>• germes proliférant dans les « joues » et les « fausses gencives »</li> <li>• question éthique concernant les dents utilisées en endodontie</li> <li>• l'entraînement est plus coûteux pour l'étudiant</li> </ul>
<i>Simulateur virtuel (VirtEasy Dental)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• un critère d'attraction des étudiants pour la faculté</li> <li>• l'acquisition de la dextérité manuelle pour les P2 et P3</li> <li>• l'autonomie de travail</li> <li>• une approche théoriquement plus réaliste du travail clinique</li> <li>• une initiation intéressante à l'implantologie</li> <li>• l'auto-évaluation</li> <li>• pas de soucis éthiques et sanitaires</li> <li>• économique pour les étudiants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• l'impossibilité de réaliser certains actes pourtant essentiels dans la pratique quotidienne</li> <li>• le temps de familiarisation avec cette nouvelle technologie</li> <li>• l'ergonomie qui s'éloigne de la réalité clinique</li> <li>• aucune information sur la longévité</li> <li>• la maintenance plus compliquée</li> <li>• les pannes</li> <li>• l'investissement initial pour la faculté</li> </ul>

#### **4.4 Axes d'amélioration de la simulation virtuelle**

Les technologies de simulation virtuelle n'en sont qu'à leur début dans le domaine dentaire, et d'autres améliorations restent à apporter pour faire vivre à l'utilisateur l'expérience la plus réaliste possible (Fig.52).

Voici les principales améliorations souhaitables :

- une meilleure ergonomie du poste de travail ;
- un logiciel de simulation plus rapide (diminution des temps de chargement) ;
- un élargissement du choix des fraises ;
- une expérience de simulation plus réaliste. L'interaction avec les tissus mous (saignements sulculaires) par exemple, accroîtrait le niveau de difficulté de certains exercices, et reflèterait mieux la réalité clinique ;
- des graphismes de meilleure qualité ;
- l'ajout de contenu audio ;
- proposer plus d'exercices. L'ajout d'un mode « consultation » par exemple, permettrait à l'utilisateur d'établir un plan de traitement en fonction du patient simulé, et de le soigner virtuellement de A à Z, grâce à une chronologie d'exercices.
- permettre l'essayage des mises à jour avant installation.



*Figure 52: La simulation virtuelle dentaire du futur*

#### **4.5 Problèmes rencontrés lors de l'installation des VirtEasy® Dental à Lille**

Le décalage temporel entre l'installation des simulateurs et la mise à disposition pour les étudiants s'explique par le fait que l'équipe pédagogique de chirurgie dentaire de Lille a d'abord collaboré avec l'entreprise HRV®, et ce dans le but d'offrir la meilleure expérience de simulation possible.

Le principal souci a été de calibrer la densité des tissus dentaires virtuels, pour la faire correspondre avec la réalité. Ainsi, le bras haptique offre aujourd'hui une sensation tactile plutôt réaliste : le fraisage de l'émail virtuel et de l'émail réel nécessite une force de pression sensiblement identique.

Par la suite, les exercices de prothèses ont été sujets à certaines modifications. La modélisation des fraises a été retravaillée pour paraître plus représentative du matériel utilisé cliniquement. Leur vitesse de rotation a été revue à la hausse. Des débris fantômes restaient en suspens après fraisage de la dent, ce bug a été corrigé. La réduction occlusale est maintenant possible, ce qui n'était pas le cas au début.

D'autres points restent à améliorer avant la mise en fonction publique des simulateurs en septembre 2018. En effet, une mise à jour de décembre 2017 a créé un dysfonctionnement qui empêche le bras haptique d'être reconnu. A l'heure actuelle, l'équipe pédagogique attend toujours l'intervention des ingénieurs de HRV®.

Le public visé par ces simulateurs est susceptible d'être élargi : ils pourraient prendre place dans le cursus de formation du Diplôme Universitaire d'implantologie de l'université de Lille. Les simulateurs virtuels interviendraient ainsi dans la formation initiale, comme dans la formation continue.

## 4.6 De l'utilité d'un questionnaire de satisfaction

Les VirtEasy® Dental installés à la faculté de chirurgie dentaire de Lille 2 ne sont pas encore utilisables par les étudiants. Ils n'ont servi pour le moment qu'à un petit nombre d'enseignants. On peut imaginer à leur mise en fonction, un questionnaire de satisfaction à visée étudiante, mais également enseignante, qui permettrait, en collaboration avec le fournisseur, de corriger et d'améliorer certaines fonctionnalités (Fig.53). Voici une ébauche de questionnaire :

### Questionnaire d'évaluation du VirtEasy® Dental de HRV (2017) réalisé selon l'échelle de Likert

Nom de l'étudiant :

N° attribué :

Année d'étude :

#### I. *A priori* :

- Avez-vous, auparavant, travaillé sur des machines de simulation virtuelle ?
- Pensez-vous que la simulation virtuelle peut reproduire les sensations tactiles, visuelles et auditives ?
- Quels sont, selon vous, les raisons de vos échecs en travaux pratiques ?
- *Question enseignante : Quels ont été les difficultés de l'étudiant en question lors des évaluations en TP ?*
- Pensez-vous pouvoir les améliorer en vous entraînant sur simulateur virtuel ?

#### II. *Le poste de simulation virtuelle* :

Prise en main/ Compréhension du logiciel :

Très facile	Facile	Peu aisée	Difficile
-------------	--------	-----------	-----------

Ergonomie du poste de travail :

Très satisfaisante	Satisfaisante	Moyenne	Insuffisante
--------------------	---------------	---------	--------------

Points d'appuis :

Très satisfaisants	Satisfaisants	Moyens	Insuffisants
--------------------	---------------	--------	--------------

Reproduction des mouvements/ Retour de force haptique :

Très précis	Précis	Approximatif	Imprécis
-------------	--------	--------------	----------

Qualité graphique de la simulation/ Modélisation des instruments :

Très immersive	Immersive	Peu immersive	Insuffisante
----------------	-----------	---------------	--------------

III. *Exercices proposés :*

Compréhension des exercices :

Très facile	Facile	Peu aisée	Difficile
-------------	--------	-----------	-----------

Diversité des exercices :

Largement suffisante	Suffisante	Moyenne	Insuffisante
----------------------	------------	---------	--------------

Adéquation entre la difficulté théorique et effective des exercices :

Très pertinente	Pertinente	Peu pertinente	Inadaptée
-----------------	------------	----------------	-----------

Qualité de l'évaluation intrinsèque :

Très pertinente	Pertinente	Peu pertinente	Inadaptée
-----------------	------------	----------------	-----------

Liberté de travailler en autonomie :

Totale	Partielle	Nulle (cause d'incompréhension du système)	Nulle (car trop de bugs)
--------	-----------	--	--------------------------

Adéquation entre le matériel proposé et l'exercice demandé :

Très satisfaisante	Satisfaisante	Peu satisfaisante	Insatisfaisante
--------------------	---------------	-------------------	-----------------

IV. *A posteriori :*

Progression en simulation virtuelle :

Très importante	Importante	Peu importante	Nulle
-----------------	------------	----------------	-------

Dextérité manuelle en travaux pratiques classiques (comparaison avant/après simulation virtuelle) :

Très supérieure	Supérieure	Egale	Inférieure
-----------------	------------	-------	------------

- *Question enseignante : L'étudiant a-t-il su transférer la progression en simulation virtuelle à une pratique réelle en travaux pratiques ? |*

Appréciation générale de la simulation :

Très utile	Utile	Moyennement utile	Inutile
------------	-------	-------------------	---------

Bugs informatiques :

Incompatibles avec un entraînement correct	Redondants	Ponctuels	Inexistants
--	------------	-----------	-------------

- Pensez-vous vous être amélioré grâce au simulateur virtuel ? Si oui, de quelle manière ?
- Cela vous met-il plus en confiance pour l'entrée en clinique ?

Figure 53: Exemple de questionnaire de satisfaction à destination des utilisateurs du VirtEasy® Dental

#### **4.7 De l'utilité d'une fiche d'utilisation**

L'utilisation d'un système aussi complexe nécessite chez les enseignants comme les étudiants une phase d'apprentissage. Une fiche d'utilisation a donc été conçue pour les aider lors de leur première utilisation (annexe 1).

Cette fiche, qui se veut très simplifiée, apporte à l'utilisateur des informations basiques. Il poursuivra l'expérience de simulation en découvrant par lui-même les fonctionnalités disponibles, grâce au logiciel VirtEasy®, très intuitif, ou en consultant cet écrit, plus exhaustif.

## 5 Conclusion

La simulation en réalité virtuelle a encore de beaux jours devant elle. Son avènement dans le monde des sciences, de la médecine, puis du dentaire, modifie peu à peu la perception de la pédagogie ancrée dans les esprits universitaires depuis plusieurs décennies.

C'est un outil, non négligeable, qui n'a pas vocation à réformer, mais plutôt à compléter la formation pratique en chirurgie dentaire. Ainsi, le passage du simulateur au patient se ferait de manière plus progressive, plus sereine, même si toujours générateur d'un certain stress.

Il n'est pas impossible qu'un jour, l'ensemble des facultés de chirurgie dentaire du monde entier proposent une expérience de simulation virtuelle dans leur programme universitaire. En attendant, plusieurs facultés françaises jouent le jeu du progrès, en exploitant au maximum chaque aspect de ces nouvelles technologies. La modernisation des travaux pratiques semble tomber à point nommé, à l'heure où toute une génération, bercée par un environnement numérique et virtuel depuis l'enfance, pousse les portes des universités.

## Références bibliographiques

1. Alessi SM. Fidelity in the design of instructional simulations. *J Comput-Based Instr.* 1988;40.
2. America's Authentic Government Information HR 855. To amend the Public Health Service Act to authorize medical simulation enhancement programs, and for other purposes. 2009.
3. Boet S, Granry J-C, Savoldelli G. *La simulation en santé: De la théorie à la pratique.* Springer Science & Business Media; 2013. 439 p.
4. da Cruz JAS, dos Reis ST, Cunha Frati RM, Duarte RJ, Nguyen H, Srougi M, et al. Does Warm-Up Training in a Virtual Reality Simulator Improve Surgical Performance? A Prospective Randomized Analysis. *J Surg Educ.* 2016 1;73(6):974–8.
5. Dang Q-V. Conception et commande d'une interface haptique à retour d'effort pour la CAO. *Des Control Force Feedback Haptic Interface Appl CAD Syst.* 2013;154.
6. Doan Minh-Tran B. *La réalité virtuelle comme alternative aux modèles physiques dans l'enseignement en odontologie conservatrice : principes, systèmes existants et enjeux.* Université Paris Descartes; 2015.
7. Fuchs P, Moreau G, Berthoz A. *Le traité de la réalité virtuelle volume 1 : L'Homme et l'environnement virtuel.* France, Europe; 2006.
8. Gottlieb R, Vervoorn JM, Buchanan J. *Simulation in dentistry and oral health [Internet].* New YorkSpringer9781461459927; 2013 [cited 2018 May 7]. Available from: <https://dare.uva.nl/search?identificer=5668f7df-48e8-4a65-8599-bbed0f40f3b6>
9. Granry J-C, Moll M-C. Haute Autorité de Santé - Simulation en santé : état des lieux et perspectives de développement [Internet]. <https://www.has-sante.fr>. 2012 [cited 2017 Oct 26]. Available from: [https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c\\_1173211/fr/simulation-en-sante-etat-des-lieux-et-perspectives-de-developpement](https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_1173211/fr/simulation-en-sante-etat-des-lieux-et-perspectives-de-developpement)
10. HRV. *VirtEasy Dental : guide de l'utilisateur (pour le logiciel VirtEasy Dental 1.5.0).* HRV Simulation; NC.
11. Konak A, Clark TK, Nasereddin M. Using Kolb's Experiential Learning Cycle to improve student learning in virtual computer laboratories. *Comput Educ.* 2014 1;72:11–22.
12. Le Boursier du Coudray AM, *History of Medicine Collections (Duke University) NcD. Abrégé de l'art des accouchements [Internet].* Paris : Debure; 1777 [cited 2018 May 6]. 288 p. Available from: <http://archive.org/details/abrgdelartdesacc01lebo>
13. Lehmann KS, Ritz JP, Maass H, Çakmak HK, Kuehnappel UG, Germer CT, et al. *A Prospective Randomized Study to Test the Transfer of Basic Psychomotor Skills From Virtual Reality to Physical Reality in a Comparable Training Setting.* 2005;



14. LT K, JM C, MS D. Report of the Institute of Medicine on Medical Mistakes: "To Err is Human: Building a Safer Health System." *Hist Doc* 1999. 1999;
15. Mirghani I, Mushtaq F, Allsop MJ, Al-Saud LM, Tickhill N, Potter C, et al. Capturing differences in dental training using a virtual reality simulator. *Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur.* 2016 19;
16. Nunez DW, Taleghani M, Wathen WF, Abdellatif HMA. Typodont versus live patient: predicting dental students' clinical performance. *J Dent Educ.* 2012;76(4):407–13.
17. Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, Fumio Kishino. *Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum.* 2009;
18. Ramshaw BJ, Young D, Garcha I, Shuler F, Wilson R, White JG, et al. The role of multimedia interactive programs in training for laparoscopic procedures. *Surg Endosc.* 2001;15(1):21–7.
19. von Sternberg N, Bartsch MS, Petersik A, Wiltfang J, Sibbersen W, Grindel T, et al. Learning by doing virtually. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007;36(5):386–90.
20. Tate WH, White RS. Disinfection of Human Teeth for Educational Purposes. *J Dent Educ.* 1991;55(9):583–5.
21. Todd C. *The King's Midwife: A History and Mystery of Madame du Coudray.* *J Eur Stud.* 1998;(4):416.
22. Torkington J, Smith SGT, Rees BI, Darzi A. Skill transfer from virtual reality to a real laparoscopic task. *Surg Endosc.* 2001 1;15(10):1076–9.
23. Wang D, Li T, Zhang Y, Hou J. Survey on multisensory feedback virtual reality dental training systems. *Eur J Dent Educ.* 2016;(4):248.
24. Wierinck E, Puttemans V, Swinnen S, van Steenberghe D. Effect of augmented visual feedback from a virtual reality simulation system on manual dexterity training. Belgium, Europe; 2005.
25. Zerbib M. *Apport de la réalité virtuelle dans l'enseignement préclinique de l'odontologie restauratrice.* Université Paris Diderot; 2013.

## Références iconographiques

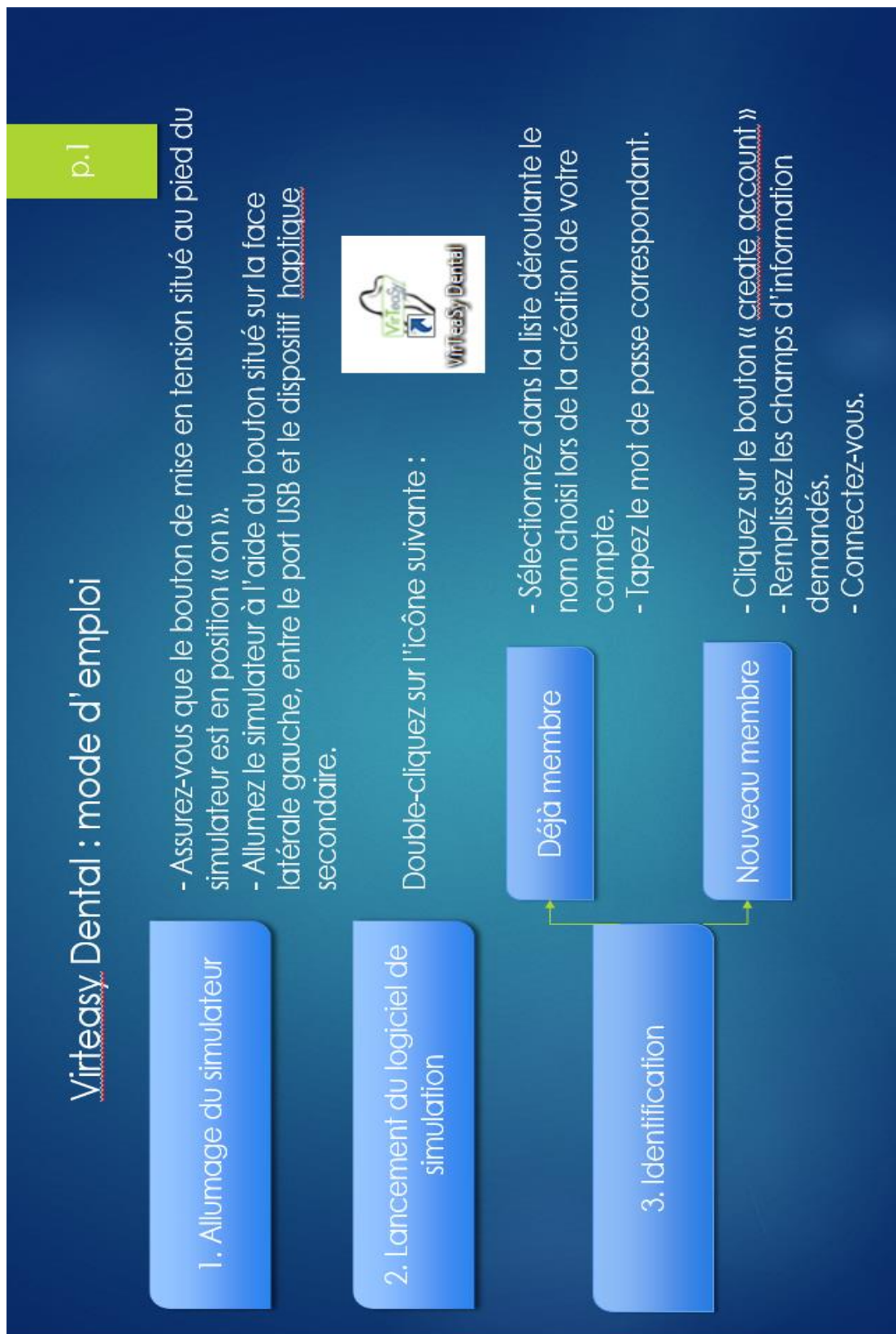
Figure 1: L'Oculus Rift®, dispositif de réalité virtuelle .....	15
Figure 2: Pokemon Go® et les Google Glasses®, deux dispositifs de réalité augmentée .....	15
Figure 3: Courbes d'apprentissage selon la fidélité du simulateur [1].....	16
Figure 4: Le simulateur de vol Blue Box .....	17
Figure 5: Le sensorama de Heilig [6] .....	18
Figure 6: Le simulateur d'accouchement de Mme du Coudray .....	19
Figure 7: Madame Chases : un simulateur pour le domaine infirmier .....	19
Figure 8: Resusci Anne, un simulateur intemporel.....	20
Figure 9: Sim One : le premier mannequin informatisé .....	21
Figure 10: Les différents types de simulation médicale [9] .....	23
Figure 11: Buste d'un simulateur physique.....	24
Figure 12: Modèles Frasaco® reproduisant les arcades dentaires maxillaire et mandibulaire	24
Figure 13: Hanako 2: la robotique au service de la simulation en chirurgie dentaire .....	25
Figure 14: Le DentSim® de Image Navigation.....	26
Figure 15: Interface du DentSim® [6] .....	26
Figure 16: Modèle de synthèse d'une salle de simulation dentaire virtuelle (de la marque VirtEasy® Dental) .....	28
Figure 17: Bras haptique avec retour de force (modèle SensAble Omni Haptic Simulator®)	29
Figure 18: Taux d'acquisition d'informations selon la méthode d'apprentissage [6] .....	31
Figure 19: Acquisition des compétences selon Wall en 1986 [25].....	33
Figure 20: La salle de simulation en réalité virtuelle à la faculté de chirurgie dentaire de Lille .....	34
Figure 21: Simulateur en réalité virtuelle .....	35
Figure 22: Simulateur physique (mécanique).....	35
Figure 23: Ecran supérieur du VirtEasy® Dental.....	36
Figure 24: Lunettes 3D du VirtEasy® Dental .....	37
Figure 25: Ecran inférieur du VirtEasy® Dental .....	37
Figure 26: Souris 3D du VirtEasy® Dental .....	38
Figure 27: Pédale du VirtEasy® Dental .....	38
Figure 28: Clavier du VirtEasy® Dental .....	39
Figure 29: Le bras haptique du VirtEasy® Dental .....	39
Figure 30: De gauche à droite : dispositif secondaire, bouton de démarrage de l'unité centrale informatique, port USB et interrupteur de mise en tension du simulateur .....	40
Figure 31: Bouton de démarrage du VirtEasy® Dental.....	46
Figure 32: Icône du logiciel VirtEasy® Dental .....	46
Figure 33: Interface de connexion au compte VirtEasy® Dental .....	47
Figure 34: Interface de création d'un compte VirtEasy® Dental.....	47
Figure 35: Liste déroulante des profils utilisateurs créés .....	48
Figure 36: Icône d'accès aux exercices de simulation .....	48
Figure 37: Les différents types d'exercices proposés .....	49
Figure 38: Les exercices de familiarisation avec le simulateur.....	49
Figure 39: Les exercices de dentisterie restauratrice.....	50
Figure 40: Les exercices de prothèse fixée.....	50
Figure 41: Les exercices d'implantologie .....	51
Figure 42: Consignes d'un exercice d'odontologie restauratrice .....	52
Figure 43: Bouton de lancement d'un exercice, ou de reprise d'un exercice préalablement commencé.....	52

Figure 44: Fraises et forêts proposés pour le contre-angle .....	53
Figure 45: Fraises proposées pour la turbine.....	53
Figure 46: Sélection de la sonde en phase de simulation .....	54
Figure 47: Evaluation en temps réel du travail simulé .....	56
Figure 48: Liste des facultés de chirurgie dentaire en collaboration avec l'entreprise HRV ....	63
Figure 49: Répartition du numéris clausus de chirurgie dentaire en France .....	65
Figure 50: Préparation d'une cavité de site 2 sur modèle Frasaco®.....	66
Figure 51: Dent Frasaco® cariée et dents pour l'exercice de l'endodontie.....	68
Figure 52: La simulation virtuelle dentaire du futur.....	74
Figure 53: Exemple de questionnaire de satisfaction à destination des utilisateurs du VirtEasy® Dental .....	77

Les figures 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 et 47 sont des photographies de l'auteur.

## Annexes

### Annexe 1 : Mode d'emploi : pour une première utilisation du VirtEasy® Dental



#### 4. Lancement d'un exercice de simulation

- Cliquez sur l'onglet « learn » situé à gauche de la barre de navigation.

LEARN

p.2

- Choisissez la discipline à laquelle vous souhaitez vous entraîner sur la barre latérale gauche.
- Vous accédez alors aux exercices disponibles pour votre promotion, sélectionnez-en un.
- Lisez-en attentivement les consignes.
- Cliquez sur le bouton « lauch » situé au bas des consignes.

#### 5. Sélection de la trousse

- Sélectionnez les outils adéquats pour la réalisation de l'exercice : rotatif et fraises.

#### 6. Bien réussir son exercice

- Essayez de respecter au maximum les positions de travail qui vous ont été transmises en cours/TP.
- Manipulez le bras haptique avec la plus grande précaution, sans forcer. Il vaut mieux fraiser par à-coups plutôt qu'en une seule fois. Si vos mouvements ne sont pas retransmis correctement à l'écran, recalibrez le dispositif.
- Déplacez la caméra pour vous permettre de contrôler votre axe à tout moment.

La simulation en réalité virtuelle : une nouvelle approche pédagogique en odontologie /  
**SFEIR Robin.**- p.86 : ill.; réf. 25.

**Domaines** : Pédagogie, enseignement.

**Mots clés Rameau**: Médecine - Etude et enseignement - Simulation , Méthode de ;  
Simulation par ordinateur – Logiciels ; Réalité augmentée ; Simulateur ; Toucher.

**Mots clés FMeSH**: Simulation numérique – utilisation ; Simulation sur patients  
standardisés ; Formation par simulation.

**Mots clés libres** : Dispositif haptique ; VirtEasy Dental ; Simulateur médical ; Simulation  
virtuelle ; Typodont.

Résumé de la thèse :

L'installation de trois simulateurs dentaires en réalité virtuelle à la faculté de Lille a piqué la curiosité du corps enseignant comme des étudiants. En quoi cela consiste-il ? Dans quel cadre peuvent-ils être utilisés ? Comment fonctionnent-ils ? Quel en est la finalité pédagogique ?

L'intérêt principal de cet écrit est de répondre à toutes ces questions, et d'initier les principaux intéressés à ces nouvelles machines.

Après quelques rappels sur la simulation et l'historique des simulateurs les plus célèbres, ce travail s'intéresse de plus près aux domaines médical, puis dentaire. Un modèle sélectionné par la faculté de chirurgie dentaire de Lille, le VirtEasy® Dental, est présenté et autopsié dans ses moindres détails. Un mode d'emploi permettra aux étudiants de l'utiliser de manière optimale. Une dernière partie ouvre le débat autour de ces nouvelles technologies, expose leurs avantages, leurs inconvénients, et les problèmes qui peuvent éventuellement être rencontrés.

**JURY**

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur Jérôme VANDOMME

Monsieur le Docteur Claude LEFEVRE

Monsieur le Docteur Maxime BEURAIN