

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

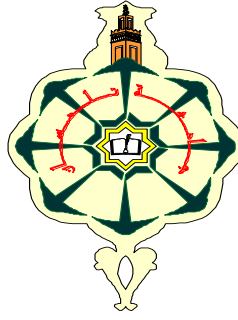
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

ⵜⴰⵎⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ ⵏ ⵜⴰⵎⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ ⵏ ⵜⴰⵎⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ

ABOU BEKR BELKAID UNIVERSITY OF TLEMCEN

FACULTY OF MEDICINE- DR. B. BENZERDJEB

DENTAL MEDICINE DEPARTMENT



جامعة أبو بكر بلقايد

كلية الطب

د. ب. بن زرجب - تلمسان

قسم طب الاسنان

**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE DOCTEUR EN  
MÉDECINE DENTAIRE**

**Thème :**

**La place de la réalité virtuelle dans la formation en médecine dentaire :**

**Enquête menée auprès des étudiants de la même filière de la faculté de médecine de  
Tlemcen.**

Présenté par :

**SELLAM Radjaa**

**MAHLIA Asmaê**

Soutenu le mardi 11 juin 2024.

**Le jury :**

<b>Pr. TALEB BENDIAB Nabila</b>	Professeure en cardiologie	<b>Présidente</b>
<b>Dr. KDROUSSI Abdelkader</b>	Maître-assistant en parodontologie	<b>Assesseur</b>
<b>Dr. HIMEUR Besma</b>	Maître-assistante en odontologie conservatrice/ Endodontie	<b>Assesseure</b>
<b>Pr. ZOUAOUI Amel</b>	Maître des conférences "A" en parodontologie	<b>Encadrante</b>

Année universitaire : 2023-2024.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



**RÉSUMÉ :**



### INTRODUCTION / PROBLÉMATIQUE :

La formation des médecins-dentistes intègre à la fois la théorie et la pratique, avec l'implication de la simulation, plus encore la réalité virtuelle. Mais qu'en est-il de sa place véritable dans notre formation ? C'est pour répondre à cette question que notre choix s'est porté sur la thématique.

### OBJECTIF D'ÉTUDE :

L'objectif de notre enquête était de décrire la véritable place de la réalité virtuelle dans la formation en médecine dentaire selon les apprenants du département de médecine dentaire de Tlemcen.

### MATÉRIELS/ MÉTHODES :

Notre étude était de type enquête CAP (Connaissances, Attitudes et Pratiques) incluant tous les étudiants 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup>, 5<sup>ème</sup> année et internes, réalisée du mois de janvier au mois de mai 2024, via un auto-questionnaire numérique. L'échelle Likert cotée de 1 à 5 a été utilisée pour apprécier les avis.

### RÉSULTATS/ DISCUSSION :

Notre échantillon d'étude était constitué de 304 étudiants (n=304) reflétant un taux de participation de 91,29%, attestant de la validité de l'étude.

La tranche d'âge la plus représentée était celle de 20 ans (21,31%). Le sexe féminin était le plus prévalent (69%).

Quant à la place de la réalité virtuelle dans notre formation, les scores de (très importante, importante, extrêmement importante) étaient respectivement les plus retrouvés (44,82%), (28,09%), (15,05%). Ceci dépendait du niveau académique et du travail déjà sur un simulateur. La relation était statistiquement significative confirmé par le test du Khi-2 respectif ( $p=0,007$ ), ( $p=0,042$ ).

Concernant le désir de l'avoir, les scores de (je veux tellement, je veux extrêmement, je veux) étaient respectivement les plus notés (45,51%), (27,91%), (20,27%). Le niveau académique, la confiance en soi semblaient influencer ce désir. La relation était statistiquement significative confirmé par le test du Khi-2 respectif ( $p=0,009$ ), ( $p=0,000$ ).

### CONCLUSION :

Notre étude démontre clairement la place évidente de la réalité virtuelle dans notre formation. La réussite de son intégration dépend de l'implication collective de tous.

### PERSPECTIVES :

Encouragées et inspirées par ces constats, nous avons lancé un projet visant à créer une application en réalité virtuelle dédiée au « débridement parodontal ».

**MOTS CLÉS :** La réalité virtuelle – apprenants - formation en médecine dentaire.

## **ABSTRACT :**

### **INTRODUCTION / PROBLEM :**

The training of dentists integrates both theory and practice, with the involvement of simulation, and even more so virtual reality. But what about its true place in our training ? To answer this question that our choice fell on the theme.

### **STUDY OBJECTIVE :**

The objective of our survey was to describe the true place of virtual reality in dental training according to learners from the Tlemcen dental department.

### **MATERIALS/METHODS :**

Our study was a CAP (Knowledge, Attitudes and Practices) survey type including all 2nd, 3rd, 4th, 5th<sup>year</sup> and internal students, carried out from January to May 2024, via a digital self-questionnaire. The Likert scale rated from 1 to 5 was used to assess the opinions.

### **RESULTS/DISCUSSION :**

Our study sample consisted of 304 students (n=304) reflecting a participation rate of 91.29%, attesting to the validity of the study.

The most represented age group was 20 years old (21.31%). The female gender was the most prevalent ( 69%).

As for the place of virtual reality in our training, the scores of (Very important, important, extremely important) were respectively the most found (44.82%), (28.09%), (15.05%). This depended on the level academic and work already on a simulator. The relationship was statistically significant confirmed by the respective Chi-square test ( $p=0.007$ ), ( $p=0.042$ ).

Regarding the desire to have it, the scores of (I want so much, I want extremely, I want) were respectively the highest rated (45.51%), (27.91%), (20.27%). Academic level and self-confidence seemed to influence this desire. The relationship was statistically significant confirmed by the respective Chi-square test ( $p=0.009$ ), ( $p=0.000$ ).

### **CONCLUSION :**

Our study clearly demonstrates the obvious place of virtual reality in our training. The success of its integration depends on the collective involvement of everyone.

### **OUTLOOK :**

Encouraged and inspired by these results, we launched a project aimed at creating a virtual reality application dedicated to “periodontal debridement”.

**KEY WORDS :** Virtual reality – learners – dental training.

### المقدمة / الإشكالية:

تدمج دراسة طب الأسنان بين النظري والتطبيقي، مع الاستخدام القوي للمحاكاة وحتى الواقع الافتراضي. ولكن ماذا عن مكانها في تدريبنا؟ للإجابة على هذا السؤال وقع اختيارنا على الموضوع.

### هدف الدراسة:

كان الهدف من استبياننا هو وصف المكانة الحقيقية للواقع الافتراضي في تدريب طب الأسنان حسب آراء الدارسين من قسم طب الأسنان بتلمسان.

### المعدات/الطرق:

كانت دراستنا عبارة عن نوع استطلاع CAP (المعرفة، المواقف والممارسات) بما في ذلك جميع طلاب السنوات الثانية والثالثة والرابعة والخامسة والطلاب الداخليين، تم إجراؤها من شهر يناير إلى مايو 2024، عبر استبيان ذاتي رقمي. تم استخدام مقياس ليكرت من 1 إلى 5 لتقييم الآراء.

### النتائج / المناقشة:

تكونت عينة دراستنا من 304 طالبا (ن=304) بنسبة مشاركة بلغت 91.29%، مما يدل على صحة الدراسة.

كانت الفئة العمرية الأكثر تمثيلاً هي 20 عامًا (21.31%). كان الجنس الأنثوي هو الأكثر انتشاراً (69%).

أما بالنسبة لمكانة الواقع الافتراضي في تدريبنا، فقد كانت درجات (مهم جداً، مهم، مهم للغاية) هي الأكثر شيوعاً على التوالي (44.82%، 28.09%، 15.05%)، ويعتمد ذلك على المستوى الأكاديمي والعمل بالفعل على جهاز محاكاة. وكانت العلاقة ذات دلالة إحصائية مؤكدة من خلال اختبار مربع كاي المعني ( $p = 0.007$ )، ( $p = 0,042$ ).

وفيما يتعلق بالرغبة في الحصول عليه، كانت درجات (أريد بشدة، أريد للغاية، أريد) هي الأعلى تقيماً على التوالي (45.51%)، (27.91%)، (20.27%). يبدو أن المستوى الأكاديمي والثقة بالنفس يؤثران على هذه الرغبة. فلقد كانت العلاقة ذات دلالة إحصائية مؤكدة من خلال اختبار مربع كاي - 2 ( $p=0.000$ )، ( $P=0.009$ ).

### خاتمة:

تبين دراستنا بوضوح المكانة البارزة للواقع الافتراضي في تدريبنا. يعتمد نجاح دمجها على المشاركة الجماعية للجميع.

### التطلعات:

بتشجيع وإلهام من هذه النتائج، أطلقنا مشروعاً لإنشاء تطبيق واقع افتراضي مخصص لـ "تنظيف اللثة العميق".

### الكلمات المفتاحية:

الواقع الافتراضي – المتعلمون – التدريب على طب الأسنان.



# **REMERCIEMENTS ♥**



## قال جليله

﴿أَفْرَأُ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ﴾ ◆ ﴿خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ﴾ ◆ ﴿أَفْرَأُ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ﴾ ◆ ﴿الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ﴾ ◆ ﴿عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ﴾ [العلق: 1 - 5]

*Tout d'abord, « ALLAH » le créateur, l'omniscient et le miséricordieux*

*qui nous a guidé pour mener ce travail, nous a inspiré les bons pas et qui nous a donné l'occasion d'assister ce jour. Le donateur gracieux, merci infiniment pour ça, sans votre témoignage ce travail n'aura jamais abouti.*



*Ce travail résulte de la collaboration de plusieurs individus, à qui nous adressons nos plus sincères remerciements, ainsi que notre plus grande estime et profond respect.*

**À notre encadrante et directrice de mémoire :**

**Madame la professeure, ZOUAOUI Amel.**

*Docteur en médecine dentaire,*

*Maître de conférences « A » en parodontologie,*

*Cheffe d'unité des consultations – service de parodontologie - CHU – Tlemcen.*

*Nous sommes extrêmement reconnaissantes de votre engagement à superviser ce mémoire. Votre patience et votre écoute attentives ont été très appréciées tout au long du processus. Nous tenons à vous remercier pour votre connaissance inestimable, pour la confiance que vous avez nous a accordé. Il est difficile de trouver les mots justes pour exprimer toute notre sincère gratitude pour la qualité exceptionnelle de votre encadrement.*

*Nous vous remercions sincèrement pour votre soutien constant, disponibilité, sérieux, vos encouragements et vos conseils. Nous espérons que ce travail témoigne de notre respect profond envers vous.*

*Enfin, nous sommes fiers et chanceuses d'avoir une encadrante qui incarne à la fois la figure d'une mère affectueuse, d'une enseignante compétente et une humble personne à suivre.*

**À notre présidente de jury :**

**Madame la Professeure, TALEB BENDIAB Nabila.**

*Docteur en médecine.*

*Professeure en cardiologie.*

*Nous vous remercions chaleureusement d'avoir accepté la présidence du jury de notre mémoire et nous exprimons notre profonde gratitude pour évaluer et enrichir ce travail.*

*Veillez trouver ici le témoignage et l'expression de notre plus profond respect et de notre reconnaissance.*

**À notre jury de mémoire :**

**Monsieur le Docteur, KDROUSSI Abdelkader.**

*Docteur en médecine dentaire.*

*Maître assistant en parodontologie.*

*Praticien hospitalier au CHU – Tlemcen.*

*Nous sommes extrêmement honorées de vous avoir parmi les membres du jury de notre mémoire. Votre expertise et votre expérience sont pour nous une source d'inspiration. Nous avons été privilégiées de bénéficier de vos compétences et de votre enseignement durant ces années*

*Vous avez été pour nous comme un père dévoué, un mentor, un guide et un modèle pour nous tous. Nous ne saurons jamais trouver les mots pour exprimer pleinement notre gratitude et notre admiration envers vous.*

*Cher professeur, Grâce à votre enseignement remarquable, nous avons acquis les compétences et la détermination nécessaires pour affronter les défis qui se présentent à nous dans notre parcours futur. Nous vous adressons nos remerciements les plus sincères et nous exprimons ici notre respect éternel.*

*Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait.*



**Madame le Docteur, Himeur Besma.**

*Docteur en médecine dentaire.*

*Maître assistante en odontologie conservatrice / endodontie.*

*Praticienne hospitalière au CHU – Tlemcen.*

*Nous sommes honorées d'accepter de siéger parmi notre jury de mémoire.*

*Notre chère professeure, nous avons eu l'honneur immense de vous avoir comme superviseure de notre éducation toutes ces années. Les mots nous manquent pour exprimer notre gratitude envers vous. Vous avez toujours été prompte à prendre soin de nos affaires et toujours présente.*

*Veillez trouver ici l'expression de notre grand respect et nos vifs remerciements pour tous vos efforts déployés et votre engagement constant à notre réussite.*



**Monsieur, MEZIANI Ilyes.**

*Architecte.*

*Développeur VR.*


*Université ABOU-BEKR BELKAID. Département d'architecture – Tlemcen.*

*Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et notre appréciation pour avoir répondu à notre demande et pour votre participation exceptionnelle à notre projet.*

*Votre performance reflète votre haut niveau de compétence et votre dévouement à notre profession.*

*Nous espérons que ce ne sera pas la dernière fois que nous collaborons et que notre projet pourra s'ouvrir à des nouvelles perspectives dans notre domaine grâce à votre aide.*

*Merci infiniment.*



*Enfin, nous exprimons une immense gratitude envers « les étudiants en médecine dentaire du département de Tlemcen » qui ont généreusement consacré leur temps pour répondre à notre questionnaire.*

*Votre contribution a rendu ce travail réalisable.*



# DÉDICACES ♥



Tout d'abord je tiens à remercier « **ALLAH** », l le miséricordieux, de m'avoir illuminé mon chemin et donné la foi, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ce travail.

*Je dédie ce travail à ceux qui me sont chères :*

### **À l'âme de mon cher papa qui repose en paix**

*Qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études ; pour tous les sacrifices qu'il a fait pour moi et qui serait très fier et heureux s'il était parmi nous ; tu es encore vivant dans mon cœur. Qu'Allah te recueille dans son vaste paradis et que ce travail soit une prière pour votre âme.*

### **À ma très chère mère**

*Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon amour éternel, la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, ma considération pour vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement. Je ne saurais point te remercier comme il se doit. Vous avez guetté mes pas, et m'avez couvé de tendresse, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*Puisse Dieu, tout puissant vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.*

### **À mon cher frère « Djamel Eddine »**

*Ces quelques lignes, ne sauraient traduire le profond amour que je te porte. Pour tous nos bonheurs partagés, pour nos rires passés et futurs. Avec tous mes vœux de bonheur de santé et de réussite dans votre vie.*

*Jimmy, mon amour pour toi est infini.*

### **À ma chère grand-mère maternelle**

*Tu es la lumière qui a toujours éclairé mon chemin. Tes sourires doux et tes mots bienveillants ont rempli ma vie de bonheur et de réconfort. À travers les années, tu as été mon rocher, ma confidente et ma source d'inspiration. Cette dédicace est pour toi, pour toutes les fois où tu as partagé ton amour inconditionnel et ta sagesse infinie. Que cette dédicace soit le témoignage de l'amour immense que j'ai pour toi et de la gratitude éternelle que je ressens pour tout ce que tu as fait pour moi.*

### **À la mémoire de mes chères tantes « Yamina et Kheira » ainsi que de ma grand-mère paternelle**

*Vos souvenirs illuminent toujours mes pensées, et vos présences bienveillantes continuent à réchauffer mon cœur. Vous resterez à jamais gravées dans mes souvenirs, et votre amour perdurera à travers le temps. Cette dédicace humble est un témoignage de l'affection éternelle que je porte à chacune de vous. Puissiez-vous reposer en paix, sachant que vous avez laissé une empreinte indélébile dans nos vies.*

*Avec amour et gratitude infinis.*

### **À l'âme de mon héros « SAYEH Habib »**

*Ta bravoure et ta force continuent à illuminer mon chemin, même en ton absence. Ton exemple de détermination et de courage demeure une source d'inspiration pour moi, et je garde précieusement les souvenirs de nos moments partagés. Vous étiez comme un deuxième père pour moi.*



### **À ma personne préférée Achraf**

*Avec amour à ma personne préférée, qui éclaire chaque instant de ma vie de sa présence rayonnante. Vous êtes mon pilier, mon inspiration et ma source de bonheur constant.*

*Merci d'être toi, simplement.*

### **À mes chères cousines « Souheyla, Derkaouia et Fatima »**

*Pour leurs soutiens tout long de mon parcours universitaire.*

### **Aux praticiens libéraux « Dr FARFOR Abdelghani, BELHADJ Talia, BEKHEDDA Amina, ABDELLI Amine, FILALI Abdelhakim » et les prothésistes compétents Messieurs « Asslaoui, Abdellah, Abdelkarim »**

*Qui m'ont accueillie et qui ont guidé mon parcours. Merci pour tout le temps que vous m'avez consacré à ma formation pratique, vous êtes la preuve vivante des qualités humaines. Je suis heureuse d'avoir eu la chance de travailler avec vous. Vous êtes ma deuxième famille.*

### **À mon binôme « MAHLIA Asmaê »**

*À mon binôme de mémoire, qui a été bien plus qu'une camarade d'étude, mais une alliée précieuse dans ce voyage académique. Ta persévérance, ton soutien et ta joie de vivre ont rendu chaque moment mémorable. Puisseons-nous continuer à partager des souvenirs inoubliables et à construire un avenir plein de réussite ensemble. Avec toute ma gratitude et mon amitié sincère.*

### **À mes meilleures amies « Asma, Chaïma, Narimane, Amel, Zakia, Lina, Nihal, Insaf, Ines, Achouak, Khaoula, Kahina, Yasmina, Assala, Souheyla, Kawther...**

*À celles qui ont été mes confidentes, mes partenaires de folies et mes épaules sur lesquelles j'ai pu m'appuyer. À travers les rires et les larmes, vous avez toujours été là, illuminant ma vie de votre présence chaleureuse et de votre amour inconditionnel. Que notre amitié continue à fleurir et à briller de mille feux, car avec vous, chaque instant devient un trésor précieux. Je vous aime infiniment.*

### **À mes meilleurs collègues « Bahaa, Ali, Hamdi, Alaa, Hamel et Islem »**

*Je vous souhaite tout le bonheur et la réussite*

**Merci à l'ensemble des résidents et généralistes du service d'OCCE, prothèse, PCB « Dr BENYOUB. A, Dr KEDDAR. A, DR TCHOUAR.W, Dr BENMOUSSA. O, Dr SOUIDI. A, Dr MOULAY. A, Dr BENAMEUR, Dr KHERBOUCH ».**

**SELLAM Radjaa**

C'est avec un cœur rempli de gratitude que je m'adresse d'abord à « **ALLAH** », le tout puissant pour m'avoir accordé la volonté et le courage nécessaire pour mener à bien ce travail.

Je dédie ce travail à **ma chère mère** en reconnaissance de son amour inconditionnel et de son soutien indéfectible, qui ont illuminé mon chemin tout au long de ma vie.

J'honore également **la mémoire de mon père**, dont l'influence et les valeurs nobles continuent de guider mes pas.

Ma reconnaissance s'étend à **ma sœur, son mari et leurs filles**, ainsi qu'à **mes frères**, qui ont toujours été présents pour moi, partageants mes joies et m'offrant leurs soutiens fidèles

Un immense merci à **mon mari**, mon confident, pour sa patience inébranlable, sa présence rassurante et ses encouragements constants.

Je ne saurais oublier **mon fils**, mon rayon de soleil et ma source d'inspiration quotidienne.

À **ma chère belle – famille**, vous êtes comme une deuxième famille pour moi. Merci pour votre soutien constant et vos prières pour ma réussite. Votre présence est une bénédiction précieuse.

À **mon binôme Radjaa**, dans l'univers des compagnons, tu brilles comme une étoile. Cette dédicace est un humble témoignage de mon admiration pour ta loyauté éternelle et ton soutien sans faille. Puisse-nous continuer à parcourir ce chemin ensemble, main dans la main.

**MAHLIA Asmaê**

# TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	iii
REMERCIEMENTS.....	vii
DÉDICACES.....	xv
TABLES DES MATIÈRES.....	xviii
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xxiv
LISTE DES TABLEAUX.....	xxvi
LISTE DES FIGURES.....	xxvii
<b>1 INTRODUCTION / PROBLÉMATIQUE : .....</b>	<b>2</b>
<b>2 REVUE DE LA LITTÉRATURE : .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 CHAPITRE I : LA SIMULATION .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 DÉFINITIONS : .....	5
2.1.1.1 La simulation : .....	5
2.1.1.2 Le centre de simulation : .....	5
2.1.2 PARCOURS HISTORIQUE .....	6
2.1.3 LES DIVERSES FORMES DE SIMULATION : .....	7
2.1.4 LA SIMULATION EN ODONTOLOGIE : .....	8
2.1.4.1 La simulation par expérimentation animale : .....	8
2.1.4.2 La simulation humaine : .....	8
<b>2.1.4.2.1 Utilisation des cadavres : .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.4.2.2 Le jeu de rôle : .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.4.2.3 Le patient standardisé : .....</b>	<b>8</b>
2.1.4.3 La simulation synthétique : .....	8
<b>2.1.4.3.1 Simulateur basse fidélité : .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.4.3.2 Simulateurs patients (haute-fidélité) : .....</b>	<b>9</b>
2.1.4.4 La simulation électronique : .....	9
2.1.4.5 La simulation mixte : .....	9
<b>2.2 CHAPITRE II : LA RÉALITÉ VIRTUELLE .....</b>	<b>11</b>
2.2.1 DÉFINITION.....	11
2.2.2 CONTEXTE HISTORIQUE ET ÉVOLUTION : .....	12
2.2.3 COMPOSANTS ÉSSSENTIELS .....	14
2.2.3.1 Matériels : .....	14

<b>2.2.3.1.1 Dispositif d'affichage (casques VR) :</b>	<b>14</b>
2.2.3.1.1.1 Définition :	14
2.2.3.1.1.2 Types des casques VR :	15
2.2.3.1.1.2.1 Oculus Rift :	15
2.2.3.1.1.2.2 Meta Quest 2 :	16
2.2.3.1.1.2.3 HTC Vive :	16
2.2.3.1.1.2.4 Pico néo 3 :	17
<b>2.2.3.1.2 Dispositifs d'entrée : (Périphériques d'interaction : gants – manettes):</b>	<b>17</b>
2.2.3.1.2.1 Les gants numériques :	17
2.2.3.1.2.2 Les manettes (contrôleurs) :	18
<b>2.2.3.1.3 Système de suivi de mouvement :</b>	<b>19</b>
<b>2.2.3.1.4 Audio spatial :</b>	<b>19</b>
<b>2.2.3.1.5 Plateforme informatique :</b>	<b>19</b>
2.2.3.2 Logiciels de la réalité virtuelle :	20
<b>2.2.3.2.1 Plateformes de développement VR :</b>	<b>20</b>
2.2.3.2.1.1 Amazon Sumérien :	20
<b>2.2.3.2.2 Plateformes de visualisation et de simulation :</b>	<b>20</b>
2.2.3.2.2.1 IrisVR :	20
2.2.3.2.2.2 Enscape :	21
2.2.3.2.2.3 SimScale :	21
<b>2.2.3.2.3 Applications professionnelles :</b>	<b>21</b>
2.2.3.2.3.1 STRIVR :	21
2.2.4 TYPES DE LA RÉALITE VIRTUELLE :	22
2.2.4.1 IMMERSIVE :	22
2.2.4.2 NON IMMERSIVE :	22
2.2.4.3 MIXTE :	22
2.2.5 DOMAINES D'APPLICATION DE LA VR :	23
2.2.5.1 Santé médicale et médecine (applications cliniques) :	23
2.2.5.2 Formation médicale / éducation :	25
<b>2.2.5.2.1 Formation médicale :</b>	<b>25</b>
2.2.5.2.1.1 En médecine :	25
2.2.5.2.1.1.1 La plateforme Osso VR :	25
2.2.5.2.1.1.2 Les start-up VRV-Prod et Simango :	25
2.2.5.2.1.1.3 La plateforme MedicActiV :	26
2.2.5.2.1.2 En médecine dentaire :	27
2.2.5.2.1.2.1 Formation pratique :	27
2.2.5.2.1.2.2 Simulations de cas cliniques :	27
2.2.5.2.1.2.3 Accès à des situations rares :	27

2.2.5.2.1.2.4 Amélioration de la coordination œil-main : .....	27
2.2.5.2.1.2.5 Formation continue des professionnels : .....	27
2.2.5.2.1.2.6 Évaluation des compétences : .....	28

**2.2.5.2.2 L'éducation : .....28**

2.2.5.2.2.1 Apprentissage immersif : .....	28
2.2.5.2.2.2 Formation professionnelle : .....	28
2.2.5.2.2.3 Adaptation aux différents styles d'apprentissage : .....	28
2.2.5.2.2.4 Amélioration de l'attention et de la rétention : .....	28
2.2.5.2.2.5 Élargissement des possibilités d'enseignement à distance : .....	29
2.2.5.2.2.6 Recherche et développement des nouvelles technologies : .....	29

**2.3 CHAPITRE III : LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE DANS NOTRE FORMATION : 31**

2.3.1	INTRODUCTION À LA FORMATION PAR LA VR EN DENTISTERIE : .....	31
2.3.2	MATÉRIELS NÉCESSAIRES À LA FORMATION : .....	31
2.3.2.1	Logiciels spécifiques et différents simulateurs numériques pour la formation en médecine dentaire : .....	31
	<b>2.3.2.1.1 DentSim : .....</b>	<b>32</b>
	<b>2.3.2.1.2 PerioSim : .....</b>	<b>32</b>
	<b>2.3.2.1.3 iDental : .....</b>	<b>33</b>
	<b>2.3.2.1.4 Simodont : .....</b>	<b>34</b>
	<b>2.3.2.1.5 IDEA : .....</b>	<b>35</b>
	<b>2.3.2.1.6 VirTeasy : .....</b>	<b>35</b>
	<b>2.3.2.1.7 IDEAL : .....</b>	<b>37</b>
	<b>2.3.2.1.8 Voxel-Man : .....</b>	<b>37</b>
2.3.2.2	Comparaison entre les divers simulateurs haptiques disponibles sur le marché : ..	38
2.3.2.3	Dispositifs haptiques pour une rétroaction tactile précisée : .....	40
	<b>2.3.2.3.1 Les gants haptiques : .....</b>	<b>40</b>
	<b>2.3.2.3.2 Les stylets et stylos haptiques : .....</b>	<b>40</b>
	<b>2.3.2.3.3 Interfaces utilisateur haptiques : .....</b>	<b>41</b>
	<b>2.3.2.3.4 Dispositifs de réalité virtuelle : .....</b>	<b>41</b>
	<b>2.3.2.3.5 Plateformes de simulation médicale : .....</b>	<b>41</b>
2.3.3	APPLICATIONS PRATIQUES DE LA FORMATION PAR VR EN DENTISTERIE : .....	42
2.3.3.1	Exercices de préparation des cavités en odontologie : .....	42
2.3.3.2	Réalisation des implants dentaires virtuels : .....	43
2.3.3.3	Application des techniques d'anesthésie : .....	44
2.3.4	AVANTAGES DU NUMÉRIQUE DANS LA FORMATION DENTAIRE : .....	46
2.3.4.1	Apprentissage préclinique sécurisé : .....	46
	<b>2.3.4.1.1 Physique : .....</b>	<b>46</b>

<b>2.3.4.1.2 Sanitaire :</b>	<b>46</b>
<b>2.3.4.1.3 Psychologique :</b>	<b>46</b>
2.3.4.2 L'efficacité :	46
2.3.4.3 Apprentissage moins sollicitant pour les enseignants :	47
2.3.4.4 Apprentissage par retour sur l'erreur :	48
2.3.4.5 Réduction et économie du matériel dentaire :	48
2.3.4.6 Réalisme des simulations et images ludiques :	48
2.3.4.7 L'auto évaluation :	49
2.3.5 <b>INCONVENIENTS DU NUMERIQUE DANS LA FORMATION DENNTAIRE :</b>	<b>49</b>
2.3.5.1 Difficulté de financement et coût élevé :	50
2.3.5.2 Entraînement préclinique incomplet :	50
<b>2.3.5.2.1 En dentisterie restauratrice :</b>	<b>50</b>
<b>2.3.5.2.2 En prothèse fixée :</b>	<b>50</b>
<b>2.3.5.2.3 En prothèse amovible :</b>	<b>51</b>
<b>2.3.5.2.4 En odontologie pédiatrique :</b>	<b>51</b>
2.3.5.3 Supervision informatisée potentiellement excessive :	51
2.3.5.4 Technologie demeure à stade expérimental :	51
2.3.5.5 Le mal simulateur :	51
2.3.5.6 Difficultés techniques :	52
2.3.5.7 Potentiel de distraction :	52
2.3.5.8 Manque de vraie communication :	52
<b>3 MATÉRIELS / MÉTHODES :</b>	<b>54</b>
<b>3.1 TYPE D'ÉTUDE :</b>	<b>54</b>
3.1.1 CADRE ET DURÉE D'ÉTUDE :	54
<b>3.2 OBJECTIFS D'ÉTUDE :</b>	<b>54</b>
3.2.1 OBJECTIF PRINCIPAL :	54
3.2.2 OBJECTIFS SECONDAIRES :	54
<b>3.3 POPULATION D'ÉTUDE :</b>	<b>54</b>
<b>3.4 CRITÈRES D'INCLUSION :</b>	<b>54</b>
<b>3.5 CRITÈRES DE NON INCLUSION :</b>	<b>54</b>
<b>3.6 MATÉRIELS :</b>	<b>54</b>
<b>3.7 MÉTHODOLOGIE :</b>	<b>55</b>
3.7.1 RECEUIL DES DONNÉES :	55

3.7.2	L'ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES : .....	55
<b>3.8</b>	<b>ÉTHIQUE ET DÉONTOLOGIE : .....</b>	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>RÉSULTATS : .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1</b>	<b>DÉSCRIPTION DES ÉTUDIANTS RETENUS DANS L'ÉTUDE : .....</b>	<b>58</b>
<b>4.2</b>	<b>RÉPARTITION DES RÉPONSES DES ÉTUDIANTS EN FONCTION DE : .....</b>	<b>58</b>
4.2.1	L'ÂGE : .....	58
4.2.2	LE SEXE : .....	59
4.2.3	LEURS NIVEAUX ACADÉMIQUES : .....	60
4.2.4	LA MOYENNE DU CURSUS : .....	61
4.2.5	LA CONFIANCE EN SOI POUR RÉALISER UN ACTE DENTAIRE : .....	62
4.2.6	L'ACTE QUI SEMBLE LE PLUS DIFFICILE À RÉALISER : .....	63
4.2.7	LA CAUSE DE LA DIFFICULTÉ : .....	64
4.2.8	LE TRAVAIL DÉJÀ SUR UN SIMULATEUR : .....	65
4.2.9	LA PLACE DE LA SIMULATION DANS NOTRE FORMATION : .....	66
4.2.10	LA CONNAISSANCE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE : .....	67
4.2.11	L'UTILISATION DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE : .....	68
4.2.12	LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE DANS NOTRE FORMATION : .....	69
4.2.13	LE DÉSIR D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE DANS NOTRE FORMATION : .....	70
4.2.14	LE MEILLEUR AVANTAGE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE : .....	71
4.2.15	L'INCONVÉNIENT LE PLUS DÉRANGEANT DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE : .....	72
4.2.16	LA CONFIANCE EN SOI / LE SEXE : .....	73
4.2.17	LA CONFIANCE EN SOI / LE NIVEAU ACADÉMIQUE : .....	74
4.2.18	LA CONFIANCE EN SOI / LE TRAVAIL DÉJÀ SUR UN SIMULATEUR : .....	75
4.2.19	LA CONFIANCE EN SOI / LA MOYENNE DU CURSUS : .....	76
4.2.20	LA CONFIANCE EN SOI / L'ACTE QUI SEMBLE LE PLUS DIFFICILE À RÉALISER : ..	77
4.2.21	LA CONFIANCE EN SOI / LA CAUSE DE DIFFICULTÉ : .....	78
4.2.22	L'ACTE LE PLUS DIFFICILE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE : .....	79
4.2.23	LA CAUSE DE DIFFICULTÉ / LE NIVEAU ACADÉMIQUE : .....	80
4.2.24	LA CAUSE DE LA DIFFICULTÉ / LA MOYENNE DU CURSUS : .....	81
4.2.25	LA PLACE DE LA SIMULATION / LE SEXE : .....	82
4.2.26	LA PLACE DE LA SIMULATION / LE NIVEAU ACADÉMIQUE : .....	83
4.2.27	LA PLACE DE LA SIMULATION / LA MOYENNE DU CURSUS : .....	84
4.2.28	LA PLACE DE LA SIMULATION / LA CONFIANCE EN SOI : .....	85
4.2.29	LA CONNAISSANCE DE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / SEXE : .....	86
4.2.30	LA CONNAISSANCE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE : .....	87
4.2.31	L'UTILISATION DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / SEXE : .....	88
4.2.32	L'UTILISATION DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE : .....	89

4.2.33	LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE SEXE :.....	90
4.2.34	LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :.....	91
4.2.35	LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LA CONFIANCE EN SOI :.....	92
4.2.36	LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE TRAVAIL SUR UN SIMULATEUR :.....	93
4.2.37	LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / SA CONNAISSANCE :.....	94
4.2.38	LE DÉsir D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE DANS NOTRE FORMATION / LE SEXE : 95	
4.2.39	LE DÉsir D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :.....	96
4.2.40	LE DÉsir D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LA CONFIANCE EN SOI :.....	97
4.2.41	LE DÉsir D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE / L'ACTE LE PLUS DIFFICILE :.....	98
4.2.42	LE MEILLEUR AVANTAGE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE : 99	
4.2.43	LE DÉsir D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE MEILLEUR AVANTAGE :.....	100
4.2.44	L'INCONVÉNIENT LE PLUS DÉRANGEANT / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :.....	101
4.2.45	LES AVIS :.....	102
<b>5</b>	<b>DISCUSSION :.....</b>	<b>105</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSION :.....</b>	<b>112</b>
<b>7</b>	<b>PERSPECTIVES :.....</b>	<b>114</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE / WEBOGRAPHIE :.....</b>	<b>122</b>
<b>9</b>	<b>ANNEXES :.....</b>	<b>132</b>
<b>9.1</b>	<b>L'AUTO-QUESTIONNAIRE DE L'ÉVALUATION DES CONNAISSANCES ET PRATIQUES DES ÉTUDIANTS :.....</b>	<b>132</b>
<b>9.2</b>	<b>LIEN DE L'AUTO-QUESTIONNAIRE :.....</b>	<b>138</b>



# LISTE DES ABRÉVIATIONS

## A

**ACTA:** Academic Center for Dentistry of Amsterdam.

**AR:** Augmented reality.

## C

**CAO :** Conception assistée par ordinateur.

**CAP :** Connaissance, Attitude, Pratique.

**CAVE :** Cave Automatic Virtual Environment.

**COVID-19 :** Corona Virus Disease 2019.

## F

**Fig. :** Figure.

## J

**JPR :** Jeu de rôle pédagogique.

## H

**HAS :** Haute Autorité de Santé.

**HTC :** Ordinateur de haute technologie.

**HVR:** Haptique Réalité Virtuelle.

**HMD:** Head-Mounted Display.

## I

**IRM :** Imagerie par résonance magnétique.

**IoT-E :** L'Internet des Objets dédié à l'Éducation et à l'Apprentissage.

**IDEA :** Assistant d'Enseignement Dentaire Individuel.

## M

**MR :** Réalité Mixte.

## N

**N:° :** Numéro.



## O

**ORL** : Oto-Rhino-Laryngologie.

**OCE** : Odontologie Conservatrice/ Endodontie.

## V

**VR** : Virtual Reality.

**VPL**: Visible Panty Line.

## S

**STL**: Stereo-Lithography.

## T

**TP**: Travaux pratiques.

## 2

**2D**: deux dimension.

## 3

**3D**: trois dimensions.

# LISTE DES TABLEAUX

**Tableau I:** Comparaison entre les simulateurs dentaires haptiques .....38-39

# LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Centre de simulation.....	6
<b>Figure 2:</b> Les types de simulation. ....	7
<b>Figure 3:</b> Dispositif de simulation Sensorama "la première machine de la réalité virtuelle".....	12
<b>Figure 4:</b> Le premier visiocasque de réalité virtuelle.....	12
<b>Figure 5:</b> Le simulateur du vol immersif "le Super Cockpit". ....	13
<b>Figure 6:</b> Installation artistique interactive "vidéo place".....	13
<b>Figure 7:</b> L'Oculus Rift.....	15
<b>Figure 8:</b> Le Meta Quest 2. ....	16
<b>Figure 9:</b> Le HTC Vive. ....	16
<b>Figure 10:</b> Le Pico Néo 3. ....	17
<b>Figure 11:</b> Les gants numériques de la VR.....	18
<b>Figure 12 :</b> Contrôleurs et manettes. ....	18
<b>Figure 13:</b> "The Living Heart Project" immersion dans un modèle de cœur humain. ....	24
<b>Figure 14:</b> Plateforme Simango : bloc des erreurs. ....	26
<b>Figure 15:</b> Plateforme MedicActiV : La préparation à la pose d'un stent (mode multi-utilisateurs). ....	26
<b>Figure 16:</b> Le simulateur DentSim. ....	32
<b>Figure 17:</b> Le simulateur PerioSim. ....	33
<b>Figure 18:</b> Une expérience d'évaluation du sondage des poches parodontales par le simulateur iDental...	33
<b>Figure 19:</b> Examen d'évaluation de profondeur des poches parodontales par iDental.....	34
<b>Figure 20:</b> Le simulateur Simodont. ....	35
<b>Figure 21:</b> Le simulateur haptique VirTeasy Dental.....	36
<b>Figure 22:</b> Le simulateur Voxel-Man.....	38
<b>Figure 23:</b> Les stylets et stylos haptiques en VR. ....	40
<b>Figure 24:</b> Les interfaces utilisateurs haptiques. ....	41
<b>Figure 25:</b> Images 3D de préparation des cavités par le simulateur "Dentify". ....	43
<b>Figure 26:</b> Les étapes de réalisation des implants dentaires virtuelles.....	44
<b>Figure 27:</b> Application des techniques d'anesthésie par l'Oculus Quest.....	45
<b>Figure 28:</b> Démonstration des techniques d'anesthésie dentaire en réalité virtuelle.....	45
<b>Figure 29:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'âge. ....	58
<b>Figure 30:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du sexe. ....	59
<b>Figure 31:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de leurs niveaux académiques. ....	60
<b>Figure 32:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la moyenne du cursus.....	61
<b>Figure 33:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire. ....	62
<b>Figure 34:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'acte le plus difficile à réaliser. ....	63
<b>Figure 35:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la cause de difficulté des actes dentaires.....	64
<b>Figure 36:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du travail déjà sur un simulateur.....	65
<b>Figure 37:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la simulation dans notre formation. ....	66
<b>Figure 38:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la connaissance de la réalité virtuelle...	67
<b>Figure 39:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'utilisation de la VR. ....	68
<b>Figure 40:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la VR dans notre formation.....	69
<b>Figure 41:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation.....	70
<b>Figure 42:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du meilleur avantage de la VR.....	71
<b>Figure 43:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'inconvénient le plus dérangerant de la VR. ....	72

<b>Figure 44:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et le sexe.....	73
<b>Figure 45:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et le niveau académique. ....	74
<b>Figure 46:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et le travail déjà sur un simulateur. ....	75
<b>Figure 47:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et la moyenne du cursus. ....	76
<b>Figure 48:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi et l'acte qui semble le plus difficile à réaliser.....	77
<b>Figure 49:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et la cause de cette difficulté. ....	78
<b>Figure 50:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du niveau académique et l'acte le plus difficile à réaliser. ....	79
<b>Figure 51:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du niveau académique et la cause de difficulté des actes dentaires. ....	80
<b>Figure 52:</b> Répartition des réponses des étudiantes en fonction de la cause de difficulté des actes dentaires et la moyenne du cursus. ....	81
<b>Figure 53:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la simulation et le sexe. ....	82
<b>Figure 54:</b> Répartition des réponses des étudiantes en fonction de la place de la simulation et le niveau académique.....	83
<b>Figure 55:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la simulation dans notre formation et la moyenne su cursus.....	84
<b>Figure 56:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et la place de la simulation dans notre formation.....	85
<b>Figure 57:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la connaissance de la VR et le sexe. ....	86
<b>Figure 58:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la connaissance de la VR et le niveau académique.....	87
<b>Figure 59:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'utilisation de la réalité virtuelle et le sexe. ....	88
<b>Figure 60:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'utilisation de la VR et le niveau académique. ....	89
<b>Figure 61:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la réalité virtuelle et le sexe.	90
<b>Figure 62:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la VR et le niveau académique. ....	91
<b>Figure 63:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la VR et la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire.....	92
<b>Figure 64:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la VR dans notre formation et le travail déjà sur un simulateur. ....	93
<b>Figure 65:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la VR et sa connaissance....	94
<b>Figure 66:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation et le sexe.....	95
<b>Figure 67:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation et le niveau académique. ....	96
<b>Figure 68:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation et la confiance en soi.....	97
<b>Figure 69:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation et l'acte qui semble le plus difficile à réaliser. ....	98

<b>Figure 70:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du meilleur avantage de la VR et le niveau académique.....	99
<b>Figure 71:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation et son meilleur avantage. ....	100
<b>Figure 72:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'inconvénient le plus dérangerant de la VR et le niveau académique. ....	101
<b>Figure 73:</b> Répartition des réponses des étudiants en fonction de leurs avis concernant la place de la réalité virtuelle dans notre formation. ....	102
<b>Figure 74:</b> Le Meta Oculus Quest 2.....	114
<b>Figure 75:</b> Lentilles en 3 positions pour une image nette.....	114
<b>Figure 76:</b> Utilisation des boutons principaux des manettes.....	115
<b>Figure 77:</b> Utilisation des boutons périphériques des manettes.....	115
<b>Figure 78:</b> Un PC portable (Hp) core i5.....	116
<b>Figure 79:</b> Le Logiciel « Unreal Engine » pour développer l'application VR.....	116
<b>Figure 80:</b> Application du débridement parodontal par « le Meta Oculus Quest 2 ».....	116
<b>Figure 81:</b> Patient en VR.....	117
<b>Figure 82:</b> Modèle en 3D.....	117
<b>Figure 83:</b> Équipement du cabinet dentaire en VR.....	117
<b>Figure 84:</b> Dépôts tartriques au niveau de l'arcade supérieure.....	118
<b>Figure 85:</b> Dépôts tartriques au niveau de l'arcade inférieure.....	118
<b>Figure 86:</b> Détartrage du secteur incisivo - canin supérieur.....	119
<b>Figure 87:</b> Détartrage du bloc inférieur.....	119
<b>Figure 88:</b> Résultats après le débridement parodontal.....	120



# **INTRODUCTION / PROBLÉMATIQUE :**



### 1 INTRODUCTION / PROBLÉMATIQUE :

La formation des médecins-dentistes comprend à la fois des enseignements théoriques et pratiques, visant à permettre aux étudiants d'acquérir les compétences techniques essentielles de la dentisterie. Cette formation pratique repose sur l'utilisation de la simulation, conformément au principe clé ; selon lequel il est essentiel de ne jamais effectuer une procédure pour la première fois sur un patient [1].

Étant donné que le monde évolue constamment, même la simulation en dentisterie a connu une évolution majeure en entrant dans le monde de la réalité virtuelle qui est un environnement artificiel créé par voie logicielle et présenté à l'utilisateur de telle manière que celui-ci l'admette comme un environnement réel [2].

À l'heure actuelle, il est nécessaire de suivre de près les nouvelles technologies pour améliorer notre formation avec les simulateurs dentaires de la réalité virtuelle, qui constituent des outils pédagogiques précieux. Ils pourraient enrichir les méthodes d'enseignement traditionnelles et assurés des expériences pratiques plus réelles et permettre d'évaluer l'amélioration des compétences acquises par les apprenants.

A cet égard, et par ce que cela fait partie intégrante de notre vocation, nous avons voulu mener une enquête sur la simulation, plus exactement sur la réalité virtuelle auprès des étudiants du département de médecine dentaire de Tlemcen pour apprécier la place réelle qu'elle pourrait avoir dans notre formation et l'envisager comme nouvelle méthode dans notre apprentissage [3].





# **REVUE DE LA LITTÉRATURE :**





# **CHAPITRE I : LA SIMULATION**



## **2 REVUE DE LA LITTÉRATURE :**

### **2.1 CHAPITRE I : LA SIMULATION**

#### **2.1.1 DÉFINITIONS :**

##### **2.1.1.1 La simulation :**

D'après le dictionnaire « Le Robert » le verbe : "simuler" trouve son origine dans le latin classique au XVème siècle. Il implique l'idée de représenter exactement, imiter, copier, et prendre l'apparence. En d'autres termes, simuler consiste à rendre quelque chose apparemment réelle en imitant l'aspect de la chose que l'on souhaite faire croire, bien que cela ne soit pas effectivement le cas [4].

La simulation en santé correspond selon le rapport de l'HAS : à l'utilisation d'un matériel comme (un mannequin ou un simulateur procédural) de la réalité virtuelle ou d'un patient 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 des professionnels [5].

Le processus de simulation peut se faire soit dans le centre de simulation, directement sur site et dans les ateliers de simulation externalisés [4].

##### **2.1.1.2 Le centre de simulation :**

On utilise le terme "centre de simulation" pour désigner des structures institutionnelles regroupant des ressources variées, destinées à la formation des professionnels de la santé [6]. Ces centres de simulation en médecine dentaire sont des installations éducatives où les étudiants en odontologie acquièrent des compétences pratiques et cliniques dans un environnement contrôlé. À l'aide des mannequins, des simulateurs et d'autres technologies, ces centres reproduisent des situations cliniques réalistes. Cela offre aux étudiants l'opportunité de pratiquer des procédures dentaires, de perfectionner leurs compétences techniques et de s'approprier avec la pratique de cette profession dentaire avant de soigner des vrais patients en clinique [7].



**Figure 1:** Centre de simulation [8]

### 2.1.2 PARCOURS HISTORIQUE :

L'emploi de la simulation dans la formation médicale remonte à des modèles anciens en argile et en pierre. Au fil du temps, cette pratique s'est sophistiquée. Le premier simulateur « moderne » développé au XVIII<sup>e</sup> siècle à Paris, utilisait un bassin de femme et un bébé décédé pour enseigner les techniques d'accouchement, entraînant une diminution de la mortalité infantile. Des documents historiques mentionnent également l'utilisation des animaux pour enseigner des compétences chirurgicales, couvrant une période allant du moyen d'âge à l'époque moderne [9].

La simulation en médecine dentaire constitue une part cruciale dans l'apprentissage préclinique et bénéficie d'une histoire riche. Au cours des années 1800, les pionniers de l'enseignement dentaire ont commencé à utiliser des dents extraites à des fins de formation. Plus tard, à l'année **1894**, Oswald a développé le simulateur initial du modèle de tête simulée, permettant l'enseignement de l'anatomie et de la physiologie buccale aux étudiants en médecine dentaire. Depuis lors, les simulateurs de tête fantôme ont évolué rapidement, intégrant des fonctionnalités telles qu'un jet d'eau et des pièces à main dentaires, pour offrir aux étudiants un environnement de formation plus réaliste pour le diagnostic et le traitement.

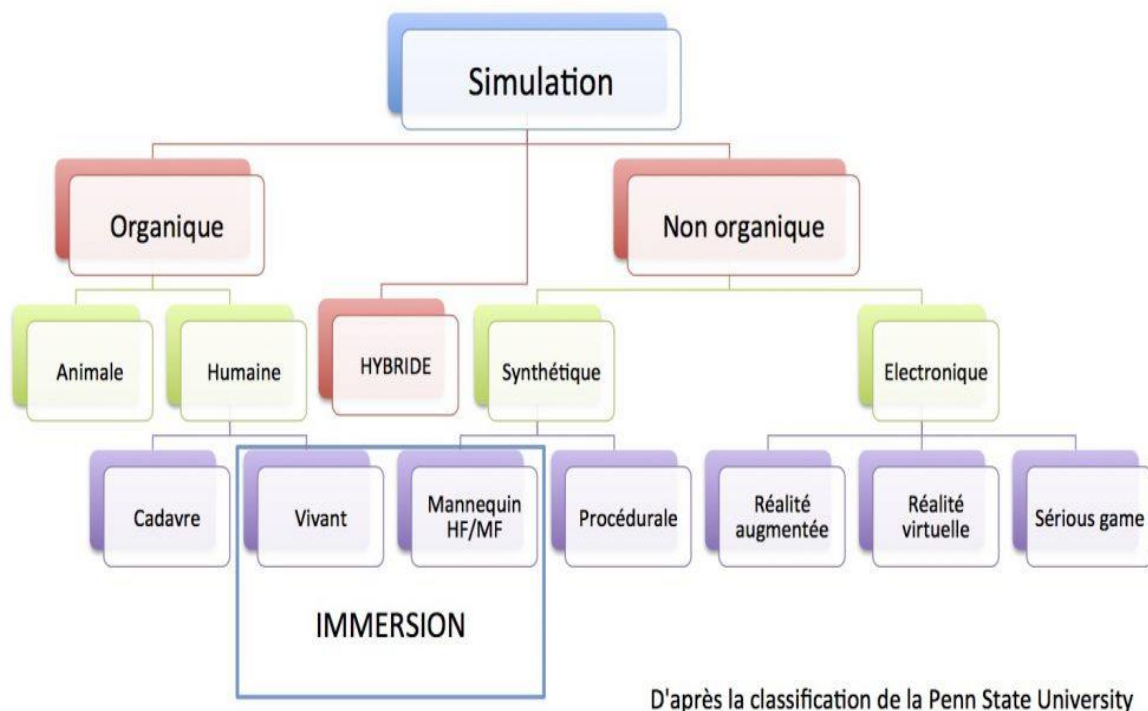
L'avènement du simulateur dentaire dans les années 1990 marque une avancée majeure dans la formation préclinique dentaire, résultant des recherches approfondies sur les méthodes d'enseignement, des préoccupations concernant la sécurité des patients, des progrès en technologie informatique et de la reconnaissance des limites d'un environnement clinique pour les novices. Le simulateur dentaire reproduit fidèlement les tissus buccaux mous et durs, fournissant un environnement virtuel pour le diagnostic clinique et le traitement. Il intègre également la technologie de retour de force pour simuler la sensation d'interaction entre les outils dentaires et les tissus, afin de reproduire au mieux l'expérience de formation aux compétences cliniques dentaires [10].

### Les dernières avancées :

Les progrès récents témoignent de la croissance du nombre de simulateurs de réalité virtuelle déployés à l'échelle mondiale. Dans toutes les branches de la dentisterie, les logiciels de simulation jouent un rôle important dans la stratification chirurgicale, particulièrement : les interventions orthodontiques, le dépistage et le traitement des pathologies parodontales et dans le domaine de l'implantologie. Les outils numériques de simulation sont également de plus en plus employés dans l'enseignement et la formation en médecine dentaire [7].

#### 2.1.3 LES DIVERSES FORMES DE SIMULATION :

Dans le cadre des formations médicales, il existe des multiples approches de simulation regroupées en diverses catégories en fonction de la nature de leurs supports pédagogiques. La simulation organique englobe les simulations animales et humaines, qui peuvent toutes deux être réalisées sur des sujets vivants ou non. D'autre part, les simulations non organiques utilisent des simulations synthétiques, les modèles et les dispositifs de la simulation, ainsi qu'aux simulations électroniques, notamment les simulateurs informatisés et/ou de réalité virtuelle [11].



**Figure 2:** Les types de simulation [12].

#### 2.1.4 LA SIMULATION EN ODONTOLOGIE :

##### 2.1.4.1 La simulation par expérimentation animale :

L'utilisation des têtes des animaux à des fins d'entraînement chirurgical, notamment pour des techniques telles que les types des sutures et les lambeaux parodontaux, est une méthode économique, mais elle soulève des préoccupations éthiques et logistiques. De plus, la physiologie animale ne peut pas toujours être directement extrapolée à celle de l'homme [11].

##### 2.1.4.2 La simulation humaine :

###### 2.1.4.2.1 Utilisation des cadavres :

Les cadavres sont employés en odontologie pour enseigner l'anatomie de la tête et du cou, ainsi que pour des exercices pratiques tels que la pose des implants dentaires. De plus, les dents extraites des patients sont parfois utilisées à des fins d'entraînement technique en travaux pratiques [11].

###### 2.1.4.2.2 Le jeu de rôle :

Le jeu de rôle pédagogique (JRP) correspond à une méthode pédagogique innovante et captivante qui se déroule dans un contexte clinique simulé. Tous les participants, étudiants, enseignants et même patients, deviennent acteurs d'un scénario clinique précis. Cette immersion totale favorise une implication personnelle et authentique de chacun, permettant une analyse fine des comportements et une réflexion constructive sur les pratiques [13].

###### 2.1.4.2.3 Le patient standardisé :

Le terme "patient standardisé" désigne une personne participant de manière volontaire ou un acteur impliqué sélectionné selon un scénario préétabli et détaillé (une personne formée imite fidèlement l'histoire, les symptômes, la personnalité et les réactions émotionnelles). Cette méthode vise à renforcer les compétences en communication, particulièrement lors des situations difficiles telles que l'annonce des mauvaises nouvelles ou la discussion des sujets complexes comme les protocoles ou les évaluations bénéfice/risque [14].

##### 2.1.4.3 La simulation synthétique :

###### 2.1.4.3.1 Simulateur basse fidélité :

Tels que les mannequins utilisés dans la formation Odontologique. Ces simulateurs statiques, dérivés du fantôme créé par **Oswald Fergus** en **1894**, utilisent des têtes avec des arcades interchangeables avec une gencive en silicone et de la résine pour les dents. Ils sont particulièrement adaptés à l'apprentissage répétitif des techniques sans mettre en danger le patient, couvrant un large éventail des procédures d'urgence en odontologie [7].

#### **2.1.4.3.2 *Simulateurs patients (haute-fidélité) :***

Les mannequins haute-fidélités sont équipés d'une interface informatique avancée qui leur permet de reproduire un large éventail des paramètres vitaux et des signes cliniques, adaptés aux différentes situations physiologiques ou pathologiques que l'on souhaite simuler. Ils peuvent être contrôlés par l'instructeur ou réagir de manière automatisée aux actions des participants. Ces mannequins permettent de simuler des scénarios de prise en charge complexes impliquant une collaboration d'équipe [15].

#### **2.1.4.4 La simulation électronique :**

La réalité virtuelle (VR) est une technique informatique qui simule en temps réel le comportement d'entités 3D interactives dans un monde virtuel, offrant à l'utilisateur une immersion pseudo naturelle via une expérience sensori-motrice. Elle rend possible les situations difficiles et l'analyse des concepts à travers des modèles informatiques interactifs. Les applications de la VR sont variées, allant de la formation à la prise de décisions cliniques.

En revanche, La réalité augmentée (AR) superpose les images virtuelles sur le monde réel, en temps réel. Elle permet d'intégrer des objets virtuels dans notre environnement, comme si on les voyait vraiment, et peut même stimuler le toucher et l'ouïe [16].

#### **2.1.4.5 La simulation mixte :**

La simulation hybride combine l'utilisation d'un patient standardisé, qui reproduit des caractéristiques humaines, avec un système d'entraînement fictif. Cela permet de créer des scénarios réalistes en intégrant des composants interactifs, offrant ainsi une expérience d'apprentissage plus dynamique et immersive [17].



## **CHAPITRE II : LA RÉALITÉ VIRTUELLE**





## 2.2 CHAPITRE II : LA RÉALITÉ VIRTUELLE

### 2.2.1 DÉFINITION :

Ce terme était utilisé depuis plus de 15 ans et a suscité des débats et des remises en question. En 1980, cette expression paradoxale dérivait de l'anglais "Virtual Reality", popularisée aux États-Unis par Jaron Lanier [18], et depuis cette notion a suscité des multiples définitions mettant l'accent sur ses aspects technologiques, sa finalité, ses applications ou ses fonctions. Parmi *ces définitions* :

Celle d'**E. Klinger** mérite d'être retenue : « La VR correspond à un champ scientifique et technologique qui permet à l'individu d'interagir en temps réel avec des entités tridimensionnelles à travers des interfaces comportementales, évoluant dans un environnement artificiel dans lequel il est immergé. Cet environnement artificiel peut être fictif, symbolique ou une représentation des divers aspects du monde réel » [19]. Et selon **les informations du ministère de culture et du site Légifrance** : « la réalité virtuelle, également appelée réalité de synthèse, se définit comme un "environnement généré par ordinateur qui procure à l'utilisateur une immersion dans un monde artificiel » [20].

Autre définition : La réalité virtuelle est une discipline scientifique et technique qui exploite l'informatique et les dispositifs d'interaction pour recréer, dans un monde virtuel via des canaux sensorimoteurs. Son but est de permettre à une ou plusieurs personnes de participer à des expériences sensorielles et interactives et cognitives dans un environnement artificiel et numérique, pouvant être imaginaire, symbolique ou reproduisant des aspects spécifiques du monde réel. Cela vise à faciliter l'immersion et l'interaction de l'utilisateur au sein de ce monde virtuel [21].

## 2.2.2 CONTEXTE HISTORIQUE ET ÉVOLUTION :

Au fil des décennies, l'histoire de la réalité virtuelle s'est enrichie des développements marquants :

- ✂ **En 1957** : le cinéaste **Morton Heilig** a lancé l'histoire de la réalité virtuelle avec son invention, le « Sensorama » : une machine immersive offrant une nouvelle expérience cinématographique [22].



**Figure 3:** Dispositif de simulation Sensorama "la première machine de la réalité virtuelle" [23]

- ✂ **En 1968** : **Evan Sutherland** a donné la naissance au premier casque de réalité virtuelle fonctionnel connu sous le nom d'épée de Damoclès. Cet appareil novateur était équipé d'un écran affichant des formes simples qui changeaient en s'adaptant aux déplacements de la tête de l'utilisateur. [24].



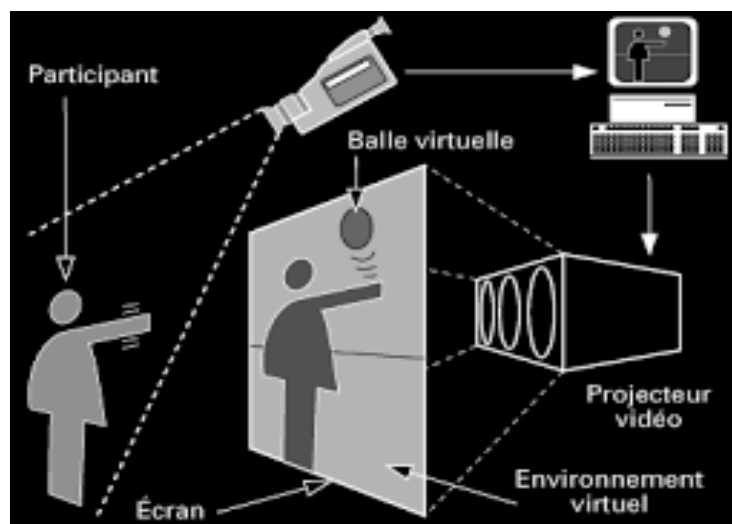
**Figure 4:** Le premier visiocasque de réalité virtuelle [24].

- ✎ **En 1970** : l'ingénieur militaire **Thomas Furness** a développé le Super Cockpit, un simulateur de vol immersif. Ce projet pionnier, premier simulateur de vol en réalité virtuelle, permettait aux pilotes de s'entraîner en utilisant des gestes oculaires, révolutionnant ainsi l'apprentissage aéronautique [25].



**Figure 5:** Le simulateur du vol immersif "le Super Cockpit" [26].

- ✎ **En 1973** : **Myron Krueger** a inventé le terme « réalité artificielle » et crée la Vidéo place, une installation interactive qui permet aux spectateurs d'interagir avec des projections vidéo partagées dans un espace commun en répondant à leurs mouvements et gestes via un système ingénieux des planchers sensibles, des caméras vidéos et des tablettes graphiques [27].



**Figure 6:** Installation artistique interactive "vidéo place" [28].

- ✎ **En 1987 : Jaron Lanier** fondateur du VPL a popularisé le terme de réalité virtuelle, il a créé le « Data glove ».
- ✎ **En 1991** : l'arrivée du Sega VR a marqué le début des casques de la réalité virtuelle dédiés au gaming. Sega a ambitionné de le proposer au grand public en tant qu'accessoire pour la console Sega Genesis. Le processus de développement de ce casque s'étendait sur environ trois années.
- ✎ **De 2010 à 2012** : la réalité virtuelle a pris un tournant majeur avec l'émergence d'Oculus Rift, le premier prototype de casque VR conçu par **Palmer Luckey**. Doté d'un champ de vision de 90 degrés.
- ✎ **En 2019** : l'Oculus Quest fait son entrée, un casque de réalité virtuelle autonome et sans fil qui a révolutionné l'expérience immersive, notamment dans le domaine de la formation.
- ✎ **En 2021 : PREVENTIRISK** a proposé une formation incendie immersive utilisant ces casques autonomes, marquant ainsi une nouvelle étape dans l'intégration de la réalité virtuelle dans des contextes éducatifs spécifiques [29].

### 2.2.3 COMPOSANTS ÉSENTIELS :

#### 2.2.3.1 Matériels :

Il est évident que de nombreux éléments contribuent à créer une expérience de réalité virtuelle vraiment immersive. Pour plonger dans un nouvel univers numérique, il est nécessaire de disposer des technologies de pointe, à la fois matériels et logiciels [30].

Parmi ces équipements matériels : les casques, les écrans, les capteurs, avec des environnements artificiels créés par un ordinateur. Cette technologie a la capacité d'immerger les utilisateurs dans des environnements simulés [31]

##### 2.2.3.1.1 Dispositif d'affichage (les casques VR) :

###### 2.2.3.1.1.1 Définition :

Les casques de réalité virtuelle sont sans doute les plus reconnaissables et les plus importants de ces technologies. Ils consistent en un écran stéréoscopique monté sur la tête [30].

Ce sont des dispositifs spécialement conçus pour permettre aux utilisateurs de s'engager dans des activités sensorielles, motrices et cognitives réalistes, mais dans un environnement 3D entièrement virtuel. De plus ils sont plus légers et ergonomiques et projettent des images selon les déplacements de l'utilisateur, favorisant ainsi une immersion de grande qualité. En complément, d'autres équipements tels que les

systèmes haptiques, qui reproduisent le sens du toucher, améliorent l'avantage de cette expérience en permettant à l'utilisateur de ressentir les objets comme s'ils étaient réels.

Les casques VR s'appuient sur notre physiologie en affichant des images décalées légèrement pour chaque œil, reproduisant ainsi la vision binoculaire. Dans la réalité, nos yeux captent deux images distinctes que notre cerveau fusionne pour former une image tridimensionnelle unifiée [31].

#### 2.2.3.1.1.2 Types des casques VR :

Il existe plusieurs types des casques sur le marché, les plus populaires actuellement sont :

- Oculus Rift ;
- Meta Quest 2 ;
- HTC Vive ;
- Pico néo 3 ;

Il est possible d'employer des casques de réalité virtuelle mobiles spécialement conçus pour être utilisés avec un smartphone [32].

#### 2.2.3.1.1.2.1 Oculus Rift :

Il s'agit du tout premier casque de réalité virtuelle "nouvelle génération" destiné au grand public. Offrant une excellente qualité d'affichage, il se connecte à un ordinateur via un câble. Pour interagir dans le monde virtuel, des manettes sont également fournies. Toutefois, son utilisation requiert l'installation des plusieurs capteurs dans la pièce pour suivre les mouvements du porteur du casque.



**Figure 7:** L'Oculus Rift [33].

#### 2.2.3.1.1.2.2 Meta Quest 2 :

Le Meta Quest 2, précédemment appelé Oculus Quest 2, a été introduit sur le marché en 2020 par Meta. Actuellement, il figure parmi les meilleurs casques VR autonomes disponibles. Équipé de deux manettes, ce casque n'a pas besoin des capteurs externes pour fonctionner. Sa facilité et sa rapidité d'installation en font un choix de plus en plus populaire parmi les professionnels. Sa caractéristique distinctive réside dans sa capacité de suivi des mains, permettant l'utilisation du casque VR sans recourir aux manettes, uniquement avec les mains et les doigts. Cette fonctionnalité enrichit considérablement l'expérience immersive. C'est le casque que nous recommandons vivement d'utiliser.



**Figure 8:** Le Meta Quest 2 [34].

#### 2.2.3.1.1.2.3 HTC Vive :

Le HTC Vive, rival direct de l'Oculus, est proposé en version filaire et sans fil, toutes deux se connectant à un PC. Il est accompagné des manettes et exige l'installation des deux capteurs pour suivre l'utilisateur. Il offre un champ de vision plus large que celui de l'Oculus, mais pour assurer son bon fonctionnement, une configuration plus puissante est requise.



**Figure 9:** Le HTC Vive [35].

#### 2.2.3.1.1.2.4 Pico néo 3 :

Ce casque virtuel autonome représente une concurrence directe pour le Meta Quest 2. Tout comme ce dernier, il n'a pas besoin des capteurs externes pour son fonctionnement. Sur le plan technique, il présente des similitudes avec lui [36].



**Figure 10:** Le Pico Néo 3 [37].

#### **2.2.3.1.2 Dispositifs d'entrée : (Périphériques d'interaction : gants – manettes):**

Il offre à l'utilisateur la possibilité d'engager des interactions plus précises et sensorielles dans le monde virtuel, que ce soit via des manettes (contrôleurs), des gants, ou d'autres dispositifs permettant de contrôler et de manipuler les objets virtuels [32].

##### *2.2.3.1.2.1 Les gants numériques :*

Les gants numériques sont des autres éléments pratiquement essentiels pour une immersion adéquate indéniablement. Ces dispositifs permettent à l'ordinateur de détecter les mouvements physiques des mains de l'utilisateur. Certains modèles plus avancés sur le plan technologique (et souvent plus coûteux) intègrent plus de vingt capteurs de mouvement par main. Ainsi, ces périphériques peuvent reconnaître les flexions, extensions et mouvements latéraux des doigts grâce à ces multiples capteurs, transmettant instantanément ces informations au logiciel [38].

Ces dispositifs constituent une extension relativement simple de l'expérience en réalité virtuelle. Leurs suivis des mains, voire des doigts, sont plus avancés que celui des contrôleurs standards. Ainsi, l'utilisation d'un gant offre l'avantage de contrôle sur l'environnement en VR comparé à un contrôleur classique [30].





**Figure 11:** Les gants numériques de la VR [39].

#### 2.2.3.1.2.2 Les manettes (contrôleurs) :

Les plateformes et applications dédiées à la Réalité Virtuelle offrent une immersion grâce à une variété des accessoires favorisant l'interaction. Les manettes, également appelées "contrôleurs", permettent de naviguer dans les applications tout en portant le casque de réalité virtuelle (ou casque VR).

Ces contrôleurs sont essentiels dans l'expérience de la réalité virtuelle agissant comme un lien entre les mouvements des bras et ce qui est visible à travers le casque. Ils servent d'interface permettant l'interaction avec un environnement virtuel.

L'ergonomie des contrôleurs est une priorité pour offrir une expérience optimale. Les concepteurs se concentrent ainsi sur le design, la légèreté, la fonctionnalité des différentes touches et la facilité de prise en main. Ces manettes comportent généralement une poignée, des boutons et des joysticks, accompagnés d'un capteur intégré. L'utilisateur peut ainsi bouger ses mains et ses bras en réalité virtuelle de manière similaire à celle dans le monde réel [40].



**Figure 12 :** Contrôleurs [41] et manettes [42].



### **2.2.3.1.3 Système de suivi de mouvement :**

L'un des éléments primordiaux pour une expérience convaincante en réalité virtuelle est le mouvement. L'environnement virtuel doit pouvoir s'adapter en temps réel aux mouvements du corps de l'utilisateur, qu'il avance, tourne ou recule.

Pour ce faire, la VR utilise actuellement des capteurs de mouvement qui détectent les actions de l'utilisateur et ajustent instantanément la vue affichée à l'écran en conséquence. Les casques intègrent également un système de repérage des déplacements de la tête, permettant de recueillir des données sur son orientation dans l'espace afin d'adapter le décor en fonction de sa position.

Cela repose sur un aspect crucial : la capacité de l'ordinateur à réagir quasiment en temps réel aux actions de l'utilisateur. Ce délai de réaction, qui doit être extrêmement court, de l'ordre des quelques millisecondes, est essentiel pour éviter le "cyber malaise" qui peut se traduire par une sensation de nausée, de fatigue, de désorientation ou de maux de tête. Ces malaises sont souvent provoqués par un délai de traitement trop long entre les mouvements de l'utilisateur et la réponse de l'ordinateur [31].

### **2.2.3.1.4 Audio spatial :**

Pour une expérience immersive de qualité, il est essentiel de bénéficier non seulement des superbes images, mais aussi d'une restitution sonore optimale. Un système audio immersif recrée des sons provenant des diverses directions, synchronisés avec les mouvements de l'utilisateur, augmentant de ce fait la qualité de l'expérience en réalité virtuelle [43].

### **2.2.3.1.5 Plateforme informatique :**

Cela englobe le matériel (ordinateur ou console) capable de traiter les données pour générer le monde virtuel avec fluidité et en temps réel, ainsi que le logiciel nécessaire pour exécuter les applications VR. Enfin ; Ces éléments travaillent ensemble pour créer une immersion réaliste et interactive dans le monde virtuel, permettant aux utilisateurs d'explorer, interagir et vivre des expériences numériques d'une manière immersive et captivante.

### **2.2.3.2 Logiciels de la réalité virtuelle :**

La réalité virtuelle (VR) dispose d'une large gamme des logiciels adaptés à différents usages et besoins. Voici quelques catégories courantes :

#### **2.2.3.2.1 Plateformes de développement de la réalité virtuelle :**

Ces logiciels permettent aux développeurs de créer des applications, et des expériences en VR.

Exemples : Unity, Unreal Engine, Amazon Sumerian...etc.

##### **2.2.3.2.1.1 Amazon Sumérien :**

Amazon Sumérien offre la possibilité de créer aisément des applications 3D, AR (réalité augmentée) et VR (réalité virtuelle) directement depuis un navigateur. Il permet de concevoir des expériences hautement immersives sans avoir besoin des compétences techniques spécifiques ou d'une expertise en graphisme 3D.

Sumérien est compatible avec la plupart des plateformes, incluant notamment Oculus Go, Oculus Rift, HTC Vive, ainsi que les appareils mobiles fonctionnant sous Android et iOS [44].

#### **2.2.3.2.2 Plateformes de visualisation et de simulation :**

Ces logiciels sont utilisés dans des domaines tels que l'architecture, la médecine, l'éducation et pour la visualisation des modèles, la simulation des situations.

Exemples : IrisVR, Enscape, SimScale...etc.

##### **2.2.3.2.2.1 IrisVR :**

Est une application contemporaine de visualisation en 3D proposant une variété des fonctionnalités pratiques et impressionnantes. Il est capable de lire les formats des sorties standards des logiciels les plus populaires en architecture, tels qu'ArchiCAD ou SketchUp. Ce logiciel propose une fonctionnalité très pratique permettant aux utilisateurs de prendre des notes ou de dessiner directement sur le modèle 3D pendant qu'ils explorent la visite virtuelle. Globalement, Iris VR se positionne comme une solution hautement professionnelle pour la présentation des simulations [45].

#### 2.2.3.2.2 *Enscape* :

Enscape représente un moteur de rendu employé comme extension pour divers logiciels de modélisation en 3D. Ses principaux champs d'application se situent dans les secteurs de l'architecture, de l'ingénierie et aussi la construction. Enscape est développé et géré par Enscape GmbH, une entreprise établie à Karlsruhe, en Allemagne, depuis sa fondation en 2013 [46].

#### 2.2.3.2.3 *SimScale* :

La plateforme SimScale a été lancée en **2013** [47]. C'est une plateforme logicielle assistée par ordinateur (CAO). Elle permet aux utilisateurs d'effectuer un plus grand nombre des simulations, ce qui leurs offrent la possibilité d'apporter l'avantage des modifications de conception par rapport aux systèmes informatiques locaux traditionnels [48].

#### 2.2.3.2.3 *Applications professionnelles* :

Utilisées dans des contextes professionnels pour la formation, la collaboration, la conception, la simulation.

Exemples : STRIVR, Fundamental VR, VR spatial...etc.

##### 2.2.3.2.3.1 *STRIVR* :

La plateforme Strivr permet aux utilisateurs d'exploiter des outils de création de contenu pour élaborer des programmes de formation. Ces outils reposent sur la science comportementale et les pratiques optimales, en partie enrichies par l'expérience acquise chez Strivr. Ils fournissent des fonctionnalités avancées pour collecter des données, effectuer des analyses et des prédictions, offrant ainsi aux utilisateurs des informations sur l'engagement et l'attention. Cela aide les utilisateurs à évaluer l'impact de leurs modules de formation sur leur public cible [49]. Incluant la réduction des erreurs, le renforcement des compétences des nouveaux employés et l'apprentissage des meilleures réactions face aux situations complexes [50].

## 2.2.4 TYPES DE LA RÉALITE VIRTUELLE :

### 2.2.4.1 IMMERSIVE :

La réalité virtuelle immersive se définit comme une simulation informatique interactive en trois dimensions qui procure une immersion totale dans un environnement virtuel, offrant ainsi une impression de présence authentique. Cette expérience est rendue possible en sollicitant divers sens de l'utilisateur, tels que la vision, l'ouïe et le toucher [51].

### 2.2.4.2 NON IMMERSIVE :

La réalité virtuelle non-immersive se caractérise par son niveau d'interaction limité, souvent centré sur la visualisation d'écran haute résolution. Elle ne sollicite qu'une partie des sens de l'utilisateur, créant une expérience où l'immersion est comparable à une perspective externe. Cette approche exclut l'utilisation d'un casque, permettant à l'utilisateur de rester conscient de son environnement tout en étant partiellement immergé dans le monde virtuel [52].

### 2.2.4.3 MIXTE :

La réalité Mixte (MR) est comme son nom l'indique, la fusion de la réalité virtuelle et augmentée. Elle intègre ces deux technologies pour offrir une version améliorée de la réalité augmentée, où les objets réels et numériques interagissent pour créer une expérience immersive [52].

### 2.2.5 DOMAINES D'APPLICATION DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE :

Initialement développée à des fins militaires et récréatives, la réalité virtuelle s'est progressivement frayée un chemin dans le domaine médical, notamment dans les blocs opératoires et les centres des simulations médicaux. En exploitant ses principes clés : d'immersion, de navigation et d'interaction, cette technologie accompagne désormais le personnel médical et les patients face aux problématiques contemporains de la santé. Parmi ces problématiques, la réduction des interventions chirurgicales invasives, à l'origine des séquelles importantes, est cruciale. Les équipes médicales privilégient désormais des approches moins invasives et ambulatoires, exigeant une modélisation préalable avancée et une navigation précise pendant l'opération, une dimension dans laquelle la réalité virtuelle excelle.

Un autre enjeu majeur concerne la formation des professionnels de santé. La réalité virtuelle permet de simuler des situations dangereuses, stressantes ou rares, offrant ainsi aux soignants une expérience préalable avant de les affronter en situation réelle. Cette approche améliore considérablement leurs compétences pratiques et leurs gestions du stress.

Par ailleurs, face à l'inefficacité des traitements médicamenteux classiques pour certaines phobies et à l'absence des méthodes éprouvées pour traiter la douleur, la communauté médicale explore les avenues novatrices de la réalité virtuelle. Au-delà de la volonté des professionnels de la santé d'innover pour trouver les traitements les plus efficaces, il existe également une demande croissante au sein de la société pour des approches alternatives en médecine, parmi lesquelles la VR occupe une place significative [53].

#### 2.2.5.1 Santé médicale et médecine (applications cliniques) :

La réalité virtuelle offre des avantages significatifs à la fois dans la préparation des professionnels de la santé avant une intervention thérapeutique et pendant sa réalisation sur le patient. Elle a apporté des bénéfices considérables à l'ensemble des soins de santé, avec une place très importante dans plusieurs domaines tels que :

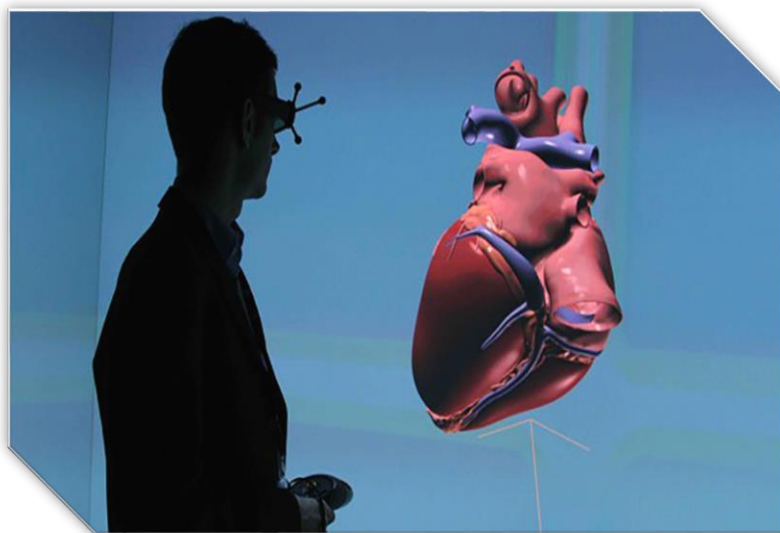
La psychologie, la physiologie, l'otorhinolaryngologie, la neurochirurgie et la cardiologie [30].

En utilisant des images obtenues par des scanners ou des IRM, elle permet de créer des modèles ou des représentations tridimensionnelles des organes à partir des coupes d'imagerie médicale. Ces modèles sont employés en préparation dans le but de rendre le diagnostic plus facile et planifier la procédure chirurgicale future, simulant ainsi le traitement à réaliser. Pendant l'intervention, ils donnent la possibilité de visualiser le patient avec une surimpression des structures simulées, offrant ainsi une navigation virtuelle au sein

d'une anatomie fidèle à celle du patient. Ces avancées s'appuyant sur l'imagerie et la modélisation ont contribué à l'essor de la chirurgie mini-invasive et ambulatoire.

Un exemple initial des outils de planification est la simulation d'un foie présentant une tumeur hépatique située à proximité de la structure vasculaire [54]. Ce procédé offre la possibilité de manipuler l'organe en temps réel. Il permet une simulation virtuelle en planifiant une hépatectomie en évaluant les marges tumorales nécessaires et en calculant le volume hépatique restant. Ce logiciel autorise ainsi le médecin à se baser exclusivement sur l'intervention lorsque le patient est en cours de l'opération, grâce à cette méthodologie préalable spécifiquement adaptée à la pratique et mise en œuvre.

Un autre exemple concerne **The Living Heart Project**, qui offre une solution exploitant l'environnement de réalité virtuelle en salle (CAVE), permettant ainsi aux médecins ou aux chirurgiens d'analyser virtuellement la santé cardiaque des patients. Cette simulation donne la possibilité de planifier des thérapies et des interventions chirurgicales, contribuant à accroître le taux de succès et la sécurité des procédures. Ce projet axé sur le système cardiovasculaire vise à élaborer et à valider des modèles numériques précis et personnalisés du cœur humain. Ces modèles serviront de base technologique pour divers domaines comme les secteurs médicaux, éducatifs, de la formation professionnelle, de la conception des dispositifs médicaux, des tests et du diagnostic clinique e [55].



**Figure 13:** "The Living Heart Project" immersion dans un modèle de cœur humain [56].

## 2.2.5.2 Formation médicale / éducation :

### 2.2.5.2.1 Formation médicale :

#### 2.2.5.2.1.1 En médecine :

La formation des professionnels de la santé est le domaine d'application principal de la VR dans l'éducation médicale. Cette approche repose sur la création des scénarios de simulation qui s'appuient sur les pratiques existantes, développés en étroite coopération avec les utilisateurs, les ergonomes et les pilotes de projet [57]. L'objectif est de compléter les formations institutionnelles en abordant des situations difficiles à reproduire dans un cadre traditionnel de formation, telles que la préparation à la gestion des urgences, des crises sanitaires ou des événements rares et majeurs qui surviennent rarement dans la réalité.

Ces secteurs exigent l'intégration de cette technologie pour élargir les horizons de préparation du personnel médical. Dans cette perspective, diverses plateformes de simulation ont été conçues par des entreprises pour permettre l'entraînement à une gamme complète des compétences, couvrant des activités allant de la consultation des patients aux interventions chirurgicales, en passant par la gestion hospitalière globale des patients.

##### 2.2.5.2.1.1.1 La plateforme Osso VR :

Offre la possibilité de se former à réaliser des interventions orthopédiques délicates, notamment la pose de prothèse de hanche ou la procédure de vertébroplastie [58].

##### 2.2.5.2.1.1.2 Les start-up VRV-Prod et Simango :

L'Hôpital Privé de la Baie, situé dans la Manche, se démarque en devenant le premier établissement français à incorporer la VR dans sa formation continue, dans le but de prévenir les risques liés aux interventions chirurgicales. Cette initiative prend la forme d'un jeu sérieux appelé « Le Bloc des Erreurs », proposant une immersion virtuelle au sein du bloc opératoire. Cette approche ludique vise à réduire de manière importante les frais et les temps de déplacement. Les professionnels de la santé ainsi que les étudiants, qu'ils soient internes ou externes, utilisent des casques de réalité virtuelle ou des logiciels sur leurs ordinateurs pour visualiser le bloc opératoire et évoluer au sein des scénarios représentant des situations courantes [59].



**Figure 14:** Plateforme Simango : bloc des erreurs [60].

#### 2.2.5.2.1.1.3 La plateforme MedicActiV :

Représente une plateforme de simulation numérique à portée internationale dédiée à l'entraînement aux diverses pratiques pluridisciplinaires, allant de la consultation du patient jusqu'aux interventions chirurgicales, couvrant des domaines tel que la cardiologie. En collaboration avec l'université Queen's en Ontario, cette plateforme a établi les sept premiers centres de formation médicale au Canada. Ces centres visent à offrir aux étudiants une expérience pratique face aux vrais patients, au sein d'un environnement entièrement réaliste et sécurisé. Ils permettent ainsi aux débutants de faire face aux éventuelles erreurs dans un contexte virtuel, préservant ainsi les patients de toute conséquence indésirable [61].



**Figure 15:** Plateforme MedicActiV : La préparation à la pose d'un stent (mode multi-utilisateurs) [62].

Cependant, il convient de souligner que la réalité virtuelle représente un complément essentiel à l'apprentissage traditionnel, sans pour autant le remplacer. Cette technologie offre des multiples avantages,



permettant la simulation des activités sans aucun risque réel, tout en suscitant une plus grande motivation chez les apprenants et en les engageant physiquement dans la simulation. De plus, elle permet un accompagnement pédagogique à distance, offrant ainsi de continuer à former les professionnels de la santé, même pendant la crise du Covid-19. Cette approche favorise le développement continu des compétences et des connaissances des soignants, contribuant ainsi à accroître la sécurité et la satisfaction des patients.

#### 2.2.5.2.1.2 *En médecine dentaire :*

La réalité virtuelle (VR) est devenue un outil innovant dans la formation en médecine dentaire, offrant des opportunités uniques pour les étudiants et les professionnels de ce domaine :

##### 2.2.5.2.1.2.1 Formation pratique :

La VR permet aux étudiants en médecine dentaire de s'entraîner dans des environnements virtuels pour des procédures telles que : la réalisation d'anesthésie, la préparation des cavités, voire même les interventions chirurgicales, offrant ainsi une pratique réaliste sans risque pour les patients.

##### 2.2.5.2.1.2.2 Simulations des cas cliniques :

Les applications VR dans la formation dentaire offrent la possibilité de simuler des cas cliniques divers, permettant aux apprenants de diagnostiquer et de traiter virtuellement les cas complexes ou rares, contribuant ainsi à leurs expériences cliniques.

##### 2.2.5.2.1.2.3 Accès à des situations rares :

La VR permet de recréer des situations rares ou spécifiques difficilement accessibles dans un environnement de formation traditionnel. Cela offre aux étudiants une expérience qu'ils ne pourraient pas avoir dans leurs pratiques cliniques régulières.

##### 2.2.5.2.1.2.4 Amélioration de la coordination œil-main :

L'utilisation des dispositifs VR pour les simulations dentaires peut améliorer la coordination œil-main des étudiants, une compétence essentielle pour les procédures dentaires délicates.

##### 2.2.5.2.1.2.5 Formation continue des professionnels :

Pour les dentistes déjà en exercice, la VR permet de se former et de se perfectionner en permanence, offrant d'explorer des nouvelles techniques et procédures sans risquer la santé des patients.

#### 2.2.5.2.1.2.6 Évaluation des compétences :

Les applications de la VR peuvent également servir à évaluer les compétences des étudiants en médecine dentaire, en permettant une évaluation objective de leurs performances dans des environnements simulés.

#### **2.2.5.2.2 L'éducation :**

La réalité virtuelle joue un rôle crucial dans l'éducation. Comme elle le fait dans les secteurs du marketing, de santé, du tourisme, et bien d'autres. Elle est en train de métamorphoser radicalement l'approche pédagogique.

De plus en plus les établissements scolaires intègrent actuellement la réalité virtuelle dans l'apprentissage de leurs élèves. Cette technologie permet notamment aux élèves d'explorer différentes destinations à travers le monde sans quitter leurs salles de classe. En réalité, cette technologie offre un large éventail de possibilités aussi bien aux étudiants qu'à leurs enseignants, transformant l'apprentissage en une expérience immersive. Elle est utilisée pour diverses applications :

##### *2.2.5.2.2.1 Apprentissage immersif :*

La VR permet aux étudiants d'explorer des environnements virtuels, qu'ils s'agissent de se déplacer temporellement pour étudier l'histoire, des simulations de laboratoire pour la science, ou même des visites virtuelles des endroits lointains pour la géographie.

##### *2.2.5.2.2.2 Formation professionnelle :*

Des divers secteurs, tels que la médecine, l'ingénierie, et d'autres professions spécialisées utilisent la VR pour fournir des simulations pratiques et réalistes, permettant aux apprenants de s'exercer dans des conditions similaires à celles du monde réel.

##### *2.2.5.2.2.3 Adaptation aux différents styles d'apprentissage :*

La VR offre une approche pédagogique plus immersive et interactive, adaptée aux divers styles d'apprentissage. Elle permet aux apprenants de manipuler, d'expérimenter et de découvrir par l'expérience plutôt que par la théorie pure.

##### *2.2.5.2.2.4 Amélioration de l'attention et de la rétention :*

Les environnements virtuels captivants de la VR captent l'attention des apprenants et peuvent aider à améliorer la rétention des informations, car les expériences vécues restent plus mémorables.

#### *2.2.5.2.2.5 Élargissement des possibilités d'enseignement à distance :*

La VR offre des opportunités pour l'enseignement à distance en recréant des environnements d'apprentissage authentiques, permettant aux apprenants d'interagir virtuellement et de collaborer malgré la distance physique.

#### *2.2.5.2.2.6 Recherche et développement des nouvelles technologies :*

Des nouvelles technologies dentaires sont également développées et recherchées grâce à la VR permettant de tester des nouveaux équipements, matériaux ou techniques de manière virtuelle avant leurs applications cliniques.

Cependant, bien que la réalité virtuelle présente des nombreux avantages, elle est encore en phase d'expérimentation et besoin des investissements en équipements et en contenus spécifiques. Son intégration efficace dans les programmes éducatifs nécessite une réflexion sur les objectifs pédagogiques et la manière dont cette technologie peut compléter et améliorer l'expérience d'apprentissage des étudiants [63].



## **CHAPITRE III : LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE DANS NOTRE FORMATION**



## 2.3 CHAPITRE III : LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE DANS NOTRE FORMATION :

### 2.3.1 INTRODUCTION À LA FORMATION PAR LA RÉALITÉ VIRTUELLE EN DENTISTERIE :

Les programmes de formation dentaire traditionnels utilisent des simulations précliniques avec des mannequins pour enseigner les bases et les techniques opératoires en odontologie. Cependant, ces méthodes présentent des limites, notamment une faible représentation des cas cliniques réels et des risques des blessures. Les simulateurs de réalité virtuelle émergent comme une alternative, offrant un environnement sûr et la possibilité d'une pratique autonome. Bien que les coûts initiaux soient élevés, les avantages à long terme incluent une répétition illimitée, une réduction des consommables et un temps de supervision réduit. Les simulateurs de la VR haptiques, intégrant la technologie haptique, révolutionnent l'éducation dentaire en offrant un retour sensoriel réaliste pendant les procédures virtuelles [64].

### 2.3.2 MATÉRIELS NÉCESSAIRES À LA FORMATION :

#### 2.3.2.1 Logiciels spécifiques et différents simulateurs numériques pour la formation en médecine dentaire :

Le logiciel constitue le pilier fondamental du simulateur dentaire. Ses objectifs sont doubles :

- Établir un environnement virtuel intégrant des organes dentaires, des outils et des tissus buccaux virtuels. Offrir des algorithmes pour simuler une interaction en temps réel entre différents outils et les tissus buccaux virtuels, en assurant une fidélité élevée en termes des sensations haptiques, visuelles et auditives.

Un logiciel pédagogique bien élaboré devrait proposer une gamme complète des fonctionnalités, des parcours de l'éducation progressifs, l'apprentissage de l'utilisation des outils, les entraînements de manipulation manuelle, des activités visant à améliorer la coordination entre la main et l'œil, ainsi que la possibilité d'enregistrer et de revoir les sessions d'entraînement [65].

Les simulateurs dentaires numériques varient en fonction de leurs fonctionnalités, de leurs capacités et des procédures qu'ils permettent de simuler. Voici une liste des certains simulateurs dentaires numériques disponibles :

#### 2.3.2.1.1 *DentSim* :

Créé en 1997, ce simulateur comprend un mannequin représentant une tête fantôme, d'une série des outils incluant des capteurs et d'une caméra infrarouge, accompagnés d'un écran et de deux ordinateurs. Les caméras infrarouges sont capables de suivre l'orientation et les mouvements des dents en résine ainsi que des instruments manuels, permettant ainsi aux étudiants de visualiser leurs travaux en temps réel sur l'écran de l'ordinateur. Ce dispositif offre la possibilité d'évaluer leurs préparations dentaires par rapport à un modèle idéal affiché à l'écran, tout en leurs permettant de poursuivre leurs travaux sur les dents en résine. Cependant, une limite notable de cet équipement réside dans des modèles dentaires en résine, des matériaux à usage unique [66].

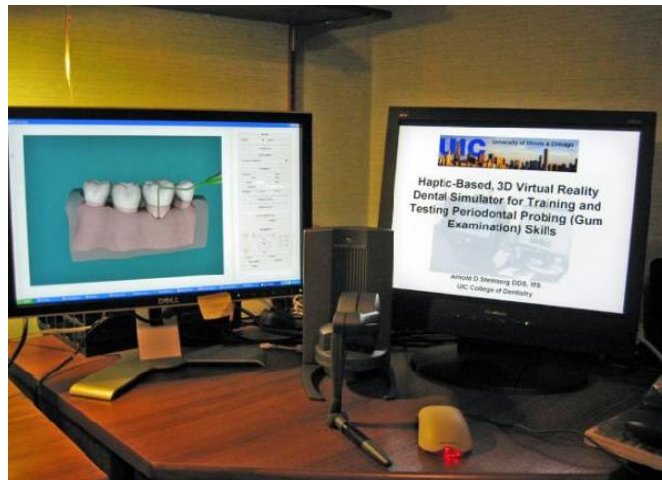


**Figure 16:** Le simulateur DentSim [67].

#### 2.3.2.1.2 *PerioSim* :

Est un simulateur équipé d'un écran, d'un ordinateur et d'un système haptique, offrant la possibilité de manipuler des instruments dentaires virtuels pour observer, diagnostiquer les lésions carieuses et les problèmes parodontaux dans un environnement virtuel avec retour haptique [68]. Cette configuration est accessible en ligne pour les apprenants et offre aux professeurs la possibilité de démarrer une gamme variée des programmes de formation. Ces programmes peuvent être téléchargés et consultés par les étudiants à leur convenance. Dans une étude rapportée par Steinberg et Al, L'image réaliste et la sensation de force procurée par le simulateur offraient une représentation d'une fidélité exceptionnelle des dents et des instruments dentaires, cependant, le réalisme des tissus gingivaux ainsi que la restitution précise des

sensations tactiles des instruments et des structures gingivales présentaient quelques limitations nécessitant des améliorations [69].



**Figure 17:** Le simulateur PerioSim [70].

#### 2.3.2.1.3 *iDental* :

Est un simulateur dédié à l'apprentissage d'un programme spécialisé dans les compétences parodontales, conçu par l'Université de Pékin en Chine. Il offre la simulation des examens parodontaux ainsi que des diverses procédures thérapeutiques, notamment le sondage des poches parodontales et le détartrage. À l'opposé de PerioSim, ce dispositif se concentre essentiellement sur l'utilisation d'un moniteur en 2D. Cependant, il est équipé d'un stylet odontoscope, permettant une pratique à deux mains, offrant ainsi une expérience plus réaliste. En outre, il propose un module d'enseignement théorique afin de fournir les bases des connaissances parodontales nécessaires avant les exercices pratiques, renforçant ainsi l'efficacité de l'apprentissage [71].



**Figure 18:** Une expérience d'évaluation du sondage des poches parodontales par le simulateur *iDental* [72].



**Figure 19:** Examen d'évaluation de profondeur des poches parodontales par iDental [72].

#### 2.3.2.1.4 *Simodont* :

Il s'agit d'un simulateur créé par l'ACTA (Academic Center for Dentistry of Amsterdam), équipé d'un ordinateur et des projecteurs de petites tailles diffusant un environnement du travail tridimensionnel. Les interactions et les retours de force sont générés par des dispositifs reproduisant un mouvement rotatif et un effet miroir. L'adoption de ce système est répandue dans les centres de formation et les facultés dentaires, dont l'université de Lorraine, offrant des unités d'entraînement pour la coordination manuelle des lésions carieuses, les cavités d'accès endodontiques, ainsi que la réalisation des couronnes ou des bridges. Conçue pour les débutants et les praticiens, cette plateforme d'exercices favorise l'entraînement à des procédures compliquées en utilisant des profils des patients réalistes. Un aspect remarquable est la visualisation des radiographies dentaires pour chaque cas individuel, ajoutant une composante clinique aux exercices [73]

Le système fournit des retours instantanés à l'utilisateur, permettant même des sessions d'entraînement dans un environnement de simulation virtuelle. Selon Bakr et al, l'interface haptique a été généralement bien accueillie pour ses avantages éducatifs [74]. Pour bénéficier l'affichage en 3D, des lunettes spécifiques sont requises. Cependant, l'élément de préparation périphérique est limité à une arcade dentaire individuelle, ce qui représente une représentation incomplète de l'espace opératoire. En outre, cet outil ne permet pas d'inculquer les bonnes postures du travail car les positions sont prédéfinies et l'ajustement de la vue requiert l'utilisation manuelle d'un bouton rotatif.





**Figure 20:** Le simulateur Simodont [75].

#### **2.3.2.1.5 IDEA :**

L'Assistant d'Enseignement Dentaire Individuel (IDEA) est un dispositif simulateur conçu avec un ordinateur et un stylet haptique, plus précisément axé sur l'acquisition de l'habileté manuelle en utilisant des instruments dentaires pour pratiquer le retrait des matériaux virtuels des multiples formes. L'objectif principal de l'IDEA n'est pas d'enseigner des techniques spécifiques telles que la réalisation des couronnes prothétiques ou le débridement parodontal mais il propose des options supplémentaires telles que les activités sur les lésions carieuses, l'obturation canalaire, la prise des clichés radiographiques ou le dépôt de bridge prothétique. Ce système se distingue par son mécanisme d'évaluation performant. Pendant la simulation deux critères : la vitesse et la précision du forage sont utilisées pour calculer un score, et toute trajectoire erronée ou une profondeur incorrecte peut entraîner une réduction du niveau de précision affiché à l'écran. L'étudiant doit obtenir un score minimal prédéterminé pour réussir l'examen. Des recherches indiquent que l'emploi de l'IDEA pourrait amener aux étudiants à obtenir des meilleurs résultats lors des examens pratiques. De plus, il pourrait être utile pour dépister et corriger précocement les complexités de dextérité manuelle, prévenant ainsi les difficultés futures des certains étudiants. Cependant, d'autres recherches indiquant l'amélioration du retour haptique sont nécessaires pour une simulation plus réaliste [74].

#### **2.3.2.1.6 VirTeasy :**

L'entreprise française HRV (Haptique Réalité Virtuelle) a mis au point un système innovant qui intègre plusieurs simulateurs Virteasy au sein d'un environnement virtuel partagé. Ce système offre à l'instructeur une station de commande centrale dotée des fonctionnalités avancées, lui permettant de superviser à distance l'ensemble des simulateurs, d'exporter les évaluations individuelles ou collectives des étudiants et de diffuser

le contenu sur un vidéoprojecteur pour une visualisation collective. Ce dispositif comporte une vaste bibliothèque 3D des cavités buccales pour adultes et enfants au format STL (**Stéréolithographie**), Permettant la création des cas cliniques personnalisés à l'aide des scanners radiographiques intra-oraux en 3D (STL ou DICOM). Il permet même la planification d'implantologie et l'impression des dents synthétiques pour le travail sur des têtes fantômes. Les mises à jour les plus récentes comprennent une variété plus de 100 exercices couvrant des domaines tels que la familiarisation, la dentisterie restauratrice, l'endodontie, la prothèse et l'implantologie. Ces exercices offrent une diversité des plateaux, des modèles des mâchoires et des patients virtuels, offrant ainsi une grande flexibilité pour s'intégrer dans les programmes d'enseignement. De plus, ils sont adaptables au niveau de difficulté, convenant ainsi aux étudiants des différents niveaux académiques universitaires et aux professionnels en formation en cours de leurs carrières [76].

Ce système est largement implanté à l'échelle internationale, notamment à l'université ADEMA en Espagne, à l'université de Sheffield au Royaume-Uni, ainsi qu'à Lviv en Ukraine et à Xiamen en Chine. Des études en cours à Nancy et à l'ADEMA visent à partager des nouvelles évaluations et expériences, et les premiers retours disponibles témoignent des réactions positives : l'approche est considérée comme novatrice, offrant une simulation précise et réaliste qui sollicite intensément les sens de l'utilisateur. Les retours fournis par la machine sont crédibles et impartiaux, et peuvent désormais être utilisés lors des évaluations finales [74]. Ces retours sont réputés pour leurs qualités, leurs fiabilités et leurs pertinences cliniques [78].



**Figure 21:** Le simulateur haptique VirTeasy Dental [79].

#### **2.3.2.1.7 IDEAL :**

Pour l'Internet des Objets dédiés à l'Éducation et à l'Apprentissage (IoT-EL), ce simulateur est spécifiquement conçu pour l'enseignement de la radiologie. Son objectif principal est de permettre l'apprentissage de la prise des clichés radiographiques intra oraux sans bombardements aux rayons X. Il comprend un dispositif en forme de cône, d'un corps simulateur, d'un capteur et d'un détecteur. Le programme de formation comprend des connaissances fondamentales sur l'imagerie radiographique et ses diverses méthodes, ainsi qu'une bibliothèque des tests et un système complet d'évaluation et de rétroaction. Les étudiants pratiquent la prise des clichés radiographiques en utilisant différentes localisations et angles. À la fin de chaque entraînement, les apprenants reçoivent des commentaires et des évaluations précises de sa part. En outre, ce dispositif est reconnu pour sa sécurité et son accessibilité financière [66].

#### **2.3.2.1.8 Voxel-Man :**

Ce simulateur chirurgical est spécifiquement dédié à la pratique de la chirurgie endodontique, telle que la résection apicale. Il est équipé d'un écran en 2D, d'un bras manipulateur imitant une intervention chirurgicale, d'une pédale et des lunettes tridimensionnelles. Il propose divers réglages adaptés pour les stagiaires, comprenant des interfaces d'affichage et des instructions spécifiques à chaque réglage choisi. Les éléments anatomiques essentiels peuvent être présentés avec des couleurs vives, permettant de mesurer en temps réel la portée et l'ampleur des mouvements pour prévenir tout dommage accidentel. Lorsque l'instrument simulé s'approche d'une structure anatomique sensible, le système émet un avertissement sonore. En mode avancé ou examen, certaines fonctionnalités et astuces sont désactivées. Les exercices pratiqués peuvent être enregistrés pour une révision ultérieure afin d'aider à l'amélioration des compétences. De plus, l'opération peut être interrompue à tout moment et reprise afin de permettre aux stagiaires de corriger leurs erreurs, favorisant ainsi un apprentissage progressif et sûr [80].



**Figure 22:** Le simulateur Voxel-Man [79].

## 2.3.2.2 Comparaison entre les divers simulateurs haptiques disponibles sur le marché :

**Tableau I:** Comparaison entre les simulateurs dentaires haptiques [79].

	<b>PerioSim</b>	<b>VirTeasy Dental</b>	<b>Simodont</b>	<b>Voxel-Man</b>
<b>Domaine ciblé</b>	Parodontologie	OCE Prothèse Conjointe Implantologie	OCE Prothèse	Chirurgie orale et ORL
<b>Types des soins</b>	Sondage des poches Détartrage	Curetage des lésions carieuses Préparation des cavités Finition des restaurations Préparation des couronnes Pose d'implant dentaire	Curetage des lésions carieuses Préparation des cavités Finition des restaurations Préparation des couronnes	Chirurgie orale et ORL
<b>Feedback</b>	Non	Haptique, visuel et auditif	Haptique, visuel et auditif	Haptique, visuel et auditif
<b>Ergonomie</b>	Non	Oui	Oui	Non
<b>Utilisation pour les droitiers et Les gauchers</b>	Non	Oui	Oui	Oui
<b>Auto-évaluation</b>	Oui	Oui	Oui	Oui

<b>Réalisme</b>	Retour de force haptique Réaliste au niveau dentaire mais non au niveau gingival	Modèle 3D réaliste mais pourraient bénéficier une amélioration au niveau de texture des dents cariées ou restaurées	Modèle 3D réaliste mais pourraient bénéficier une amélioration au niveau de texture des dents cariées ou restaurées	Non applicable
-----------------	--	---	---	----------------

### 2.3.2.3 Dispositifs haptiques pour une rétroaction tactile précisée :

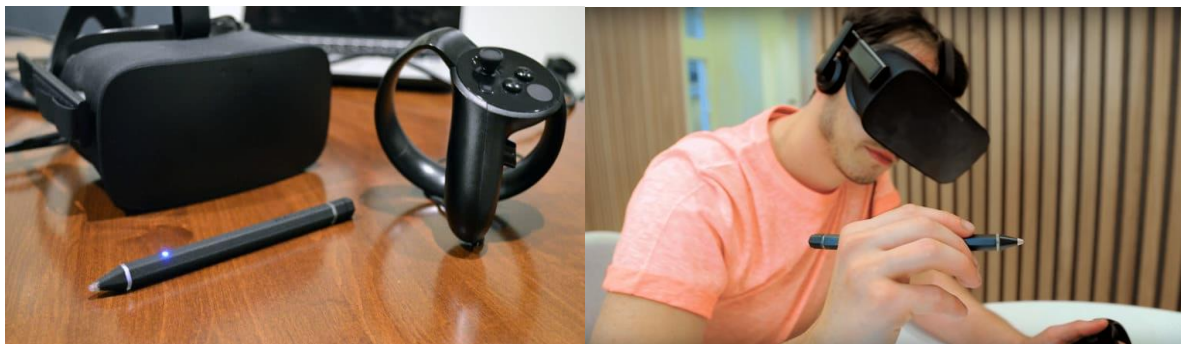
Les dispositifs haptiques comprennent une gamme des outils technologiques conçus pour fournir une rétroaction tactile précise. Tels que :

#### 2.3.2.3.1 Les gants haptiques :

Les gants haptiques sont des dispositifs portés sur les mains qui intègrent des capteurs et des mécanismes de retour de force pour permettre à l'utilisateur de ressentir des sensations tactiles lorsqu'il interagit avec des environnements virtuels ou des interfaces numériques. Ces gants sont conçus pour offrir une expérience sensorielle plus immersive en reproduisant des sensations de toucher, de pression ou de mouvement. Ils utilisent des capteurs de pression, des moteurs vibrants ou des systèmes pneumatiques pour simuler des sensations tactiles. Lorsque l'utilisateur interagit avec des objets virtuels ou des interfaces numériques, les gants haptiques envoient des signaux sensoriels précis à travers les mains, fournissant ainsi une rétroaction tactile qui simule la sensation de toucher des objets réels. Ces dispositifs largement employés dans des secteurs comme la réalité virtuelle, la simulation médicale, la formation... etc.

#### 2.3.2.3.2 Les stylets et stylos haptiques :

Les stylets et stylos haptiques sont des dispositifs interactifs équipés des capteurs et des mécanismes de retour de force, conçus pour fournir une expérience tactile lors de l'utilisation sur des surfaces interactives, notamment des écrans tactiles ou des interfaces numériques. Ces dispositifs permettent aux utilisateurs de ressentir des sensations de pression, de résistance et de retour haptique lorsqu'ils interagissent avec des éléments virtuels ou des environnements numériques. Ces stylets ou stylos intègrent des mécanismes de vibration, de pression ou de résistance qui simulent la sensation de toucher des objets virtuels. Lorsqu'un utilisateur écrit, dessine ou interagit avec une surface numérique à l'aide de ces dispositifs, ils reçoivent une rétroaction tactile précise en retour, ce qui permet une expérience plus immersive et réaliste.



**Figure 23:** Les stylets et stylos haptiques en VR [79].

### 2.3.2.3.3 Interfaces utilisateurs haptiques :

Les interfaces utilisateurs haptiques sont des systèmes interactifs conçus pour permettre aux utilisateurs de ressentir des sensations tactiles ou haptiques lorsqu'ils interagissent avec des dispositifs électroniques ou des environnements virtuels. Ces interfaces intègrent des éléments sensoriels et des mécanismes de retour de force pour fournir une rétroaction tactile précise pendant l'interaction avec des interfaces numériques. Elles peuvent prendre différentes formes, telles que des écrans tactiles, des panneaux de contrôle, des surfaces interactives, des dispositifs de réalité virtuelle ou augmentée... etc.



Figure 24: Les interfaces utilisateurs haptiques [82].

### 2.3.2.3.4 Dispositifs de réalité virtuelle :

Certains appareils VR intègrent des dispositifs haptiques pour fournir une expérience sensorielle plus immersive, y compris des retours de force et de toucher.

### 2.3.2.3.5 Plateformes de simulation médicale :

Certains simulateurs médicaux intègrent des dispositifs haptiques pour permettre aux étudiants en médecine ou en chirurgie de ressentir des sensations réalistes lors de la pratique des procédures médicales.



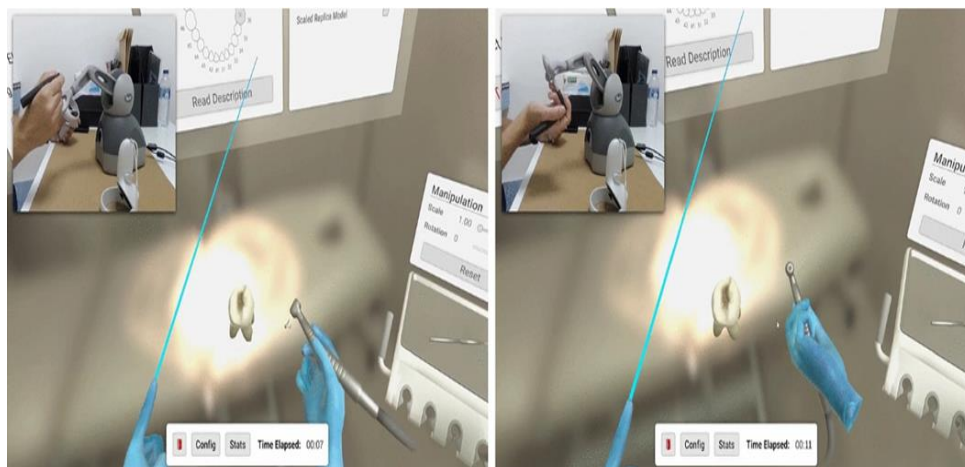
### 2.3.3 APPLICATIONS PRATIQUES DE LA FORMATION PAR LA RÉALITÉ VIRTUELLE EN DENTISTERIE :

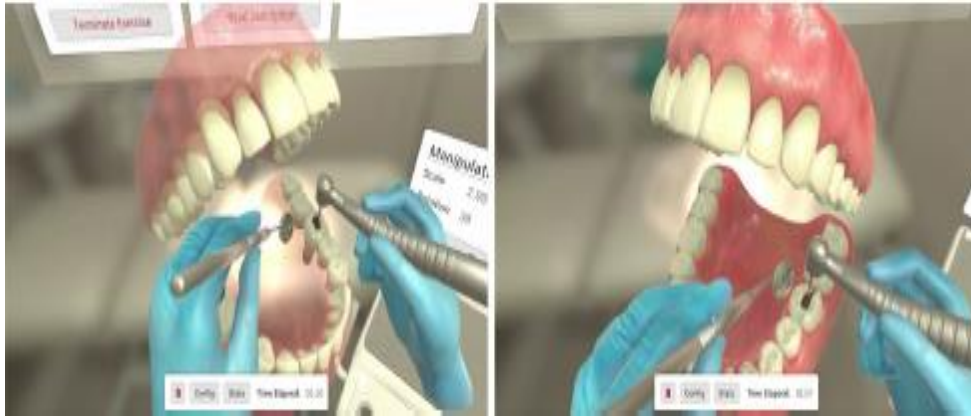
#### 2.3.3.1 Exercices de préparation des cavités en odontologie :

DENTIFY est un simulateur en odontologie exploitant la réalité virtuelle et un stylet haptique. Plongeant l'utilisateur dans un environnement virtuel immersif avec des stimuli visuels, auditifs et haptiques, il combine un stylo haptique, des lunettes VR avec sortie audio, des sons de turbine et de forage, et des modèles virtuels dentaires. Conçu pour la formation préclinique des étudiants en odontologie, principalement pour la formation et l'enseignement de la phase de préparation des cavités en OCE, il vise à améliorer la dextérité manuelle et la manipulation spatiale en permettant des répétitions fréquentes. Le simulateur enregistre des métriques pour chaque utilisation, permettant aux utilisateurs de sauvegarder leurs données et d'évaluer graphiquement leurs progressions. L'exposition aux résultats des métriques encourage l'auto-évaluation et l'autocritique, favorisant une perception objective et mesurable de la courbe d'apprentissage de l'utilisateur.

Cette version présente plusieurs modules complémentaires :

- Permettre plusieurs cavités dentaires ;
- Réalisation des cavités virtuelles aussi bien dans des dents virtuelles isolées que dans leurs positions dans l'arcade virtuelle ;
- L'avantage de zoomer aussi bien sur des dents virtuelles isolées que sur des arcades virtuelles complètes ;
- Vision indirecte (incluant la personnalisation de la taille du miroir virtuel et donc de la profondeur de champ et des dimensions de l'image réfléchie [83]).



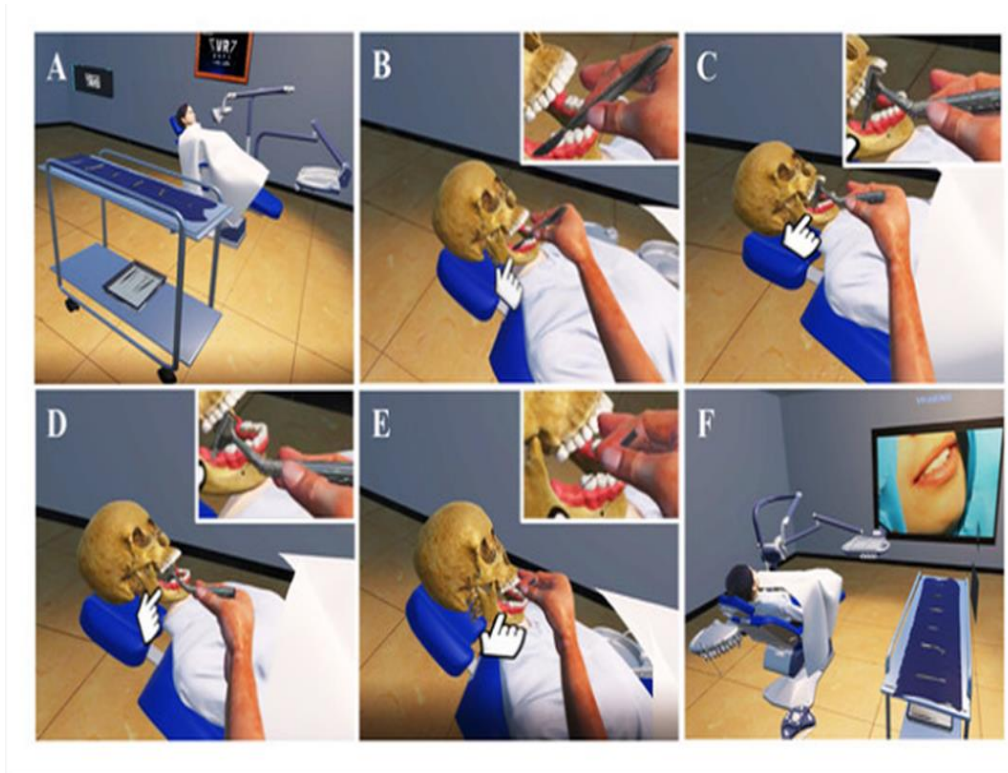


**Figure 25:** Images 3D de préparation des cavités par le simulateur "Dentify" [83].

### 2.3.3.2 Réalisation des implants dentaires virtuels :

Le programme de formation sur les implants dentaires destiné aux étudiants, utilisant des systèmes de réalité virtuelle (VR) a été élaboré par le premier auteur en tant que dentiste senior et membre du personnel technique de Shanghai VR-Sens Intelligent Technology Co, Ltd, s'appuyant sur un rapport antérieur (**Williams & Zwemer 1994**). Pour ce projet pilote, le module « Introduction à l'implant dentaire » a été choisi comme exemple pour initier l'application de la VR dans la dentisterie. Chaque session de formation, supervisée par l'un des inventeurs pour minimiser les erreurs, durait environ une demi-heure par participant.

Au cours de la simulation, les participants étaient invités à effectuer la procédure d'implant dentaire en utilisant une méthode standardisée à deux mains, et l'ensemble du processus était enregistré sur vidéo. Les principes fondamentaux de la formation incluaient une approche pédagogique individualisée pour fournir une expérience d'apprentissage en réalité virtuelle. Les objectifs de la séance de réalité virtuelle étaient d'initier les étudiants en médecine dentaire à la procédure opératoire des implants dentaires. L'affichage en VR la procédure présentée aux participants en utilisant un casque (HMD) [84].



**Figure 26:** Les étapes de réalisation des implants dentaires virtuelles [84].

**(Fig. A) :** L'observation attentive d'un film pour comprendre le protocole d'implant.

**(Fig. B) :** L'incision de tissu gingival selon les pointes opératoires.

**(Fig. C) :** Un forage d'implant dans l'os alvéolaire.

**(Fig. D) :** L'implantation de l'implant dans le trou.

**(Fig. E) :** La plaie a été suturée après la chirurgie implantaire.

**(Fig. F) :** La formation sur les implants dentaires utilisant la VR a pris fin.

Cette étude démontrée la faisabilité et l'utilité des applications de la réalité virtuelle dans la formation aux implants dentaires pour les étudiants en médecine dentaire.

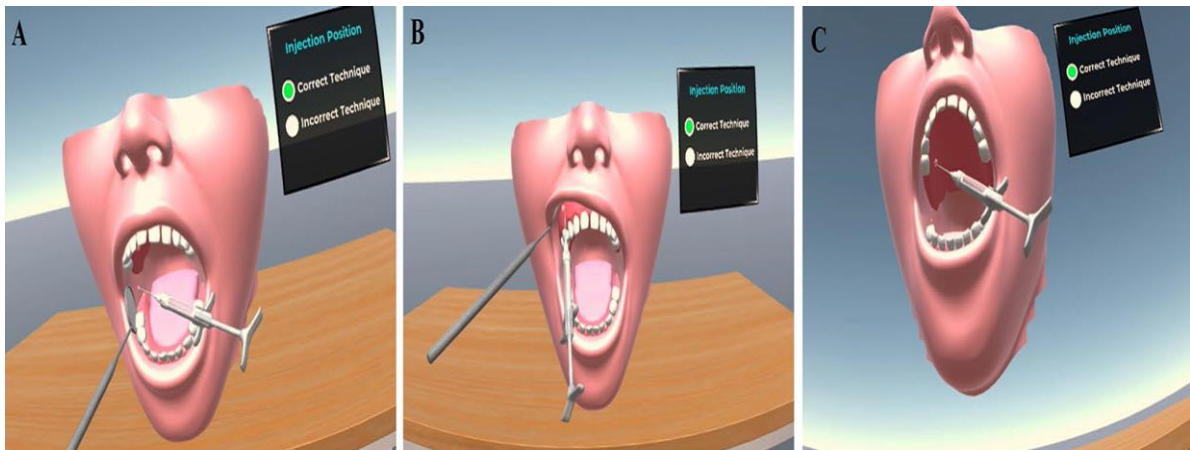
### 2.3.3.3 Application des techniques d'anesthésie :

Dans le cadre de création d'un simulateur de formation en réalité virtuelle pour des procédures dentaires, incluant le bloc nerveux alvéolaire inférieur, l'infiltration buccale supra-périostée et l'infiltration palatine.

L'Oculus Quest est un casque VR autonome avec six degrés de liberté, et le suivi Oculus Insight, qui traduit les mouvements de l'opérateur en RV, le simulateur offre une expérience immersive et précise. Les contrôleurs tactiles Oculus permettent aux mains et aux gestes des opérateurs d'apparaître en VR avec une précision intuitive et réaliste. Les images peuvent être diffusées sur un écran d'un ordinateur, et le simulateur intègre des éléments de réalité virtuelle en superposant des hologrammes numériques 3D et un son spatial à 360 degrés sur le monde réel. Ainsi, les utilisateurs portant un casque Oculus sont transportés dans une clinique dentaire virtuelle où un patient attend une intervention dentaire [85].



**Figure 27:** Application des techniques d'anesthésie par l'Oculus Quest [85]



**Figure 28:** Démonstration des techniques d'anesthésie dentaire en réalité virtuelle [85]

**(Fig. A) :** Anesthésie locorégionale du nerf alvéolaire inférieur (tronculaire).

**(Fig. B) :** Anesthésie péri-apicale du côté vestibulaire.

**(Fig. C) :** Anesthésie péri-apicale du côté palatin.

#### 2.3.4 AVANTAGES DU NUMERIQUES DANS LA FORMATION DENTAIRE :

##### 2.3.4.1 Formation préclinique sécurisé :

En comparaison aux séances de simulation sur têtes fantômes, l'utilisation des simulateurs virtuels apporte avant tout une sécurisation à tous les niveaux :

###### 2.3.4.1.1 Physique :

L'avantage des simulateurs virtuels réside dans la dématérialisation des instruments, notamment des outils rotatifs électriques et pneumatiques. Cette caractéristique élimine tout risque de blessure ou de contact avec des instruments tranchants comme les fraises, les forêts...etc. [86]. En outre, des études ont démontré qu'il existe un réel avantage postural lors de la formation VR. Les apprenants adoptent une position adéquate au niveau des membres supérieurs et du corps [87], ce qui revêt une importance capitale dans la prévention des pathologies articulaires et osseuses chez les dentistes.

###### 2.3.4.1.2 Sanitaire :

Les travaux pratiques en odontologie conservatrice \_ endodonties effectuées sur des dents naturelles posent des risques potentiels pour la santé. Cela est dû à la possibilité de la présence des agents pathogènes ou des substances nocives et à l'efficacité incertaine de la désinfection à l'aide d'une solution diluée d'hypochlorite de sodium à 50% [88]. En revanche, les simulateurs virtuels ne disposant pas les systèmes d'eau ou l'aspiration qui permet d'éliminer les risques d'exposition à certains pathogènes comme les Lésionnelles [89]. De plus, les outils pédagogiques numériques utilisables à distance, que nous détaillerons ultérieurement, respectent parfaitement les exigences de distanciation requises en période de crise sanitaire.

###### 2.3.4.1.3 Psychologique :

Conformément aux recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS) dans son guide des bonnes pratiques pour la simulation en santé, la possibilité d'apprentissage par l'erreur en dehors du jugement des pairs représente un environnement favorable. Les retours d'information virtuels affichés individuellement à l'écran lors des erreurs procédurales, plutôt que les commentaires oraux d'un professeur, préservent les étudiants aux des expériences ou des situations inconfortables et potentiellement démoralisantes. Ainsi, les étudiants peuvent se concentrer sur leurs auto-évaluations et sur l'identification des domaines nécessitant des améliorations [90].



#### 2.3.4.2 L'efficacité :

La qualité de l'apprentissage repose sur divers concepts, parmi lesquels les 03 principaux sont la motivation, les retours d'information et la répétition des gestes. En médecine dentaire, tout comme dans des autres métiers à pratique manuelle, la maîtrise des gestes découle de leurs répétitions. L'avancement et la motivation surviennent lorsqu'une part de succès est atteignable dans le cadre d'une procédure, avec ce succès étant formalisé par un retour d'information détaillé [86].

Par extension, l'apprentissage par la VR s'aligne parfaitement sur ces trois notions clés :

- La répétition des exercices peut être effectuée de manière continue, potentiellement sans contraintes financières ou logistiques.
- La motivation de l'étudiant est nourrie par la progression graduelle de la complexité des exercices : réussir à un niveau donné incite à passer à un niveau supérieur, créant ainsi un cycle stimulant.
- Les retours d'information prennent la forme des évaluations informatisées et factuelles du simulateur, offrant à l'apprenant une vision claire de son progrès, soit en temps réel, soit à la fin de chaque session.

#### 2.3.4.3 Apprentissage moins sollicitant pour les enseignants :

L'étudiant nécessite des exercices réguliers sur son travail pour évoluer. Habituellement, ces retours sont fournis par l'instructeur à la fin d'une procédure, en raison des limitations de temps et du nombre des étudiants par encadrant. Une étude menée par Buchanan [91], concernant la formation sur simulateurs numériques suggère que les étudiants progressent plus rapidement, accomplissent un plus grand nombre des procédures par unité de temps et atteignent finalement des niveaux des compétences équivalents à ceux des étudiants formés de manière traditionnelle. Cela s'explique par une plus grande sollicitation des évaluations informatisées et moins des interactions avec l'instructeur. Par conséquent, le temps que le corps enseignant consacre à l'enseignement et à la supervision diminue également [92]. Une étude menée dès 2004 par les Universités Case Western Reserve et Columbia aux États-Unis [93] a corroboré ces constats en fournissant des données chiffrées. Ils ont constaté que les encadrants ont consacré cinq fois plus de temps aux étudiants formés de manière traditionnelle qu'à ceux formés sur des simulateurs VR, sans qu'il y ait finalement de différence statistique dans la qualité des préparations.

Cette réduction du temps consacré à l'enseignement pourrait avoir un impact positif sur les capacités formatives dans les universités. Ces plages horaires libérées pourraient être utilisées pour approfondir des domaines des compétences non liés aux procédures, comme la gestion totale des patients, l'éthique et le travail par groupe. Les compétences et l'expérience des enseignants pourraient être mises à profit pour guider

les étudiants du stade novice à celui de clinicien. Cela permettrait au corps enseignant d'évaluer la progression globale de chaque étudiant plutôt que de se baser uniquement sur des évaluations ponctuelles et distantes [94].

Dans un contexte où les contenus et les volumes d'enseignement en dentisterie augmentent, l'utilisation efficace du temps de formation est devenue une nécessité cruciale [92].

#### **2.3.4.4 Apprentissage par retour sur l'erreur :**

Avec l'avènement de la simulation assistée par ordinateur, les étudiants en odontologie ont pour la première fois eu la possibilité d'exécuter une procédure de manière répétée sans nécessité impérieuse de supervision humaine. Pour développer efficacement leurs compétences psychomotrices, la compréhension des circonstances entourant une erreur prévaut sur le simple résultat final [95]. L'utilisation des retours enrichis peut stimuler le développement de la coordination main-œil et réduire le nombre des erreurs procédurales [92]. Ce processus implique la confrontation des étudiants à leurs erreurs en temps réel à l'aide des repères visuels afin de comparer leur travail à un modèle idéal.

L'enregistrement en temps réel des travaux permet aux apprenants et aux professeurs d'analyser les erreurs immédiatement après leurs survenues, tout en recevant des commentaires détaillés. Les différences de perspectives liées à la subjectivité des instructeurs représentent une difficulté souvent soulevée par les étudiants en dentisterie [96]. Dans ce contexte, les retours objectifs et standardisés générés par ordinateur sont considérés comme une ressource qualitative pour progresser sur cette problématique.

Cela rejoint la culture constructive de l'erreur, recommandée dans le guide méthodologique de gestion des risques de la HAS [97]. Selon ce modèle, l'erreur est valorisée en tant que source d'apprentissage, démystifiée et gérée de manière constructive. Les apprenants sont encouragés à générer délibérément des erreurs et à observer leurs gestions a posteriori : gestion émotionnelle face à l'erreur, perturbation potentielle de l'efficacité, soutien et cohésion au sein de l'équipe, efficacité dans l'identification et la correction des erreurs. Correctement appliquée, cette approche en raison des similitudes graphiques entre les simulations en réalité virtuelle et certains jeux vidéo, peut même comporter un aspect ludique, favorisant ainsi une meilleure implication des étudiants.

#### **2.3.4.5 Réduction et économie du matériel dentaire :**

Transformer les équipements en éléments virtuels équivaut à éliminer la maintenance des instruments rotatifs (nettoyage, désinfection, lubrification, stockage), des instruments manuels et autres petits équipements habituellement présents dans les trousseaux des étudiants. Cela inclut également la suppression des

consommables, notamment les fraises et les forêts. Ces modifications réduisent considérablement les charges financières pesant sur l'université et les étudiants. De manière secondaire, cette dématérialisation met fin aux disparitions inexplicables des certains équipements, qui peuvent parfois perturber le bon déroulement des TP.

En outre, cette transition élimine les besoins d'entretien ainsi que les coûts associés aux systèmes hydrauliques et pneumatiques et l'économie des matériels dentaires, offrant par la même occasion l'avantage supplémentaire d'être plus respectueuse de l'environnement.

#### **2.3.4.6 Réalisme des simulations et images ludiques :**

Les avancées technologiques dans ce secteur permettent de créer des environnements de plus en plus réalistes, où les utilisateurs peuvent interagir avec des objets virtuels de manière immersive. Le degré de réalisme est considérablement amélioré par rapport aux modèles des dents standardisées (typodonts) [98]. Les étudiants acquièrent une maîtrise précise et adéquate de l'utilisation des instruments rotatifs, des miroirs, des sondes et d'autres outils de chirurgie mineure tout en maintenant une posture ergonomique appropriée [99]. Ces sessions d'entraînement permettent une pratique à la fois en vision directe et indirecte, intégrant également l'aspect de l'orientation spatiale.

En ce qui concerne les images ludiques en VR, elles font références à des éléments graphiques, des animations ou des aspects visuels conçus pour susciter l'intérêt, le plaisir et l'engagement des utilisateurs. Ces éléments peuvent être utilisés pour rendre les environnements plus attractifs, divertissants et captivants, souvent sans visée strictement réaliste. L'équilibre entre réalisme et éléments ludiques dépend des objectifs de la simulation et des besoins des utilisateurs, qu'il s'agisse de la formation professionnelle, de l'éducation, du divertissement ou d'autres applications.

#### **2.3.4.7 L'auto évaluation :**

Selon diverses études, les étudiants qui ont suivi une formation en réalité virtuelle montrent une meilleure capacité à s'auto-évaluer. Cette capacité est un critère qui fait aux simulateurs virtuels un outil précieux pour les universités, tant du point de vue des encadrants que des apprenants [15]. Cependant, les avantages de l'auto-évaluation dépendent de plusieurs facteurs. Il est crucial de paramétrer soigneusement le niveau de la rétroaction virtuelle afin de fournir des informations appropriées sans perturber le processus d'apprentissage.

Un autre élément important concerne l'esprit critique des apprenants à l'égard des retours générés par la machine. Il est essentiel qu'ils n'accordent pas une confiance excessive ou exclusive à ces retours. Sinon, il



existe le risque de dénaturer la réflexion clinique et de créer un écart contreproductif entre les performances auto-évaluées et réelles évaluées par l'enseignant [7].

### 2.3.5 INCONVENIENTS DU NUMERIQUE DANS LA FORMATION DENNTAIRE :

#### 2.3.5.1 Difficulté de financement et coût élevé :

Le principal inconvénient réside dans le coût de fabrication et d'équipement. La réalisation d'une expérience en haute définition nécessite un budget élevé, notamment pour garantir la fidélité de la situation et le réalisme des images de synthèse. De plus, l'accessibilité à ces équipements et technologies peut poser problème pour certains, compte tenu des coûts associés aux casques et aux contrôleurs manuels, qui peuvent rapidement s'accumuler.

#### 2.3.5.2 Entraînement préclinique incomplet :

Malgré les avancées constantes des technologies numériques et les procédures disponibles jusqu'à présent ne parviennent pas à atteindre une finalité constante à la clinique, essentielle pour un apprentissage de qualité. L'enchaînement et la répétition de l'intégralité des protocoles opératoires d'un plan de traitement global cohérent sont cruciaux pour l'acquisition des compétences psychomotrices essentielles et la mémorisation des gestes et procédures. Actuellement, même les modules des simulations virtuelles haptiques les plus avancés ne couvrent pas l'ensemble des gestes couramment pratiqués en odontologie, ce qui signifie que, pour certaines procédures, la formation par simulation devra être complétée par des techniques physiques conventionnelles [7].

##### 2.3.5.2.1 *En dentisterie restauratrice :*

- Le champ opératoire (la digue) ;
- Les différentes matrices ;
- La pose du composite par la technique de stratification ;
- Les finitions et contrôles postopératoires (polissage, réglage occlusal, contrôle des points de contact...).

##### 2.3.5.2.2 *En prothèse fixée :*

- Les reconstitutions provisoires ;
- Le rebasage et l'ajustage d'un provisoire ;
- La réalisation des techniques d'empreinte spécifiques : double mélange, Wash Technique.

**2.3.5.2.3 En prothèse amovible :**

- La réalisation des empreintes secondaires ;
- L'enregistrement de la relation intermaxillaire ;
- L'essayage d'une armature, d'un modèle en cire.

**2.3.5.2.4 En odontologie pédiatrique :**

- Le coiffage pulpaire direct ou indirect ;
- L'apexogénèse ;
- Les techniques spécifiques, telle la technique de Hall.

**2.3.5.3 Supervision informatisée potentiellement excessive :**

Pendant la formation préclinique traditionnelle sur des simulateurs physiques, les instructeurs donnent généralement des retours d'information à la fin de la procédure. Cependant, en raison du ratio instructeurs/étudiants, chaque étudiant ne reçoit pas forcément des retours tout au long de la procédure. Les simulateurs VR actuels offrent la possibilité d'une rétroaction continue. Des études suggèrent que des retours d'information très détaillés peuvent décourager et démoraliser les étudiants peu expérimentés. La rétroaction continue ne semble pas toujours offrir des avantages significatifs par rapport à une rétroaction intermittente. Une instruction moins fréquente peut améliorer l'apprentissage des compétences motrices et la détection des erreurs. Selon la théorie de la charge cognitive, une rétroaction continue peut surcharger cognitivement l'apprenant. Il est donc crucial de paramétrer attentivement le niveau de rétroaction de la machine et de l'adapter aux besoins des utilisateurs, y compris leurs niveaux de compétence, grâce aux modèles avancés des simulateurs numériques VR qui permettent de personnaliser la rétroaction fournie à chaque étudiant [7].

**2.3.5.4 Technologie demeure à stade expérimental :**

La technologie de réalité virtuelle est toujours à un stade expérimental. Malgré son utilisation dans divers domaines, elle n'a pas encore acquis une acceptation complète ou atteint son plein développement. Elle présente encore plusieurs inconvénients, ce qui explique pourquoi elle n'est pas encore pleinement intégrée ou adoptée dans la formation en médecine dentaire [100].

**2.3.5.5 Le mal simulateur :**

La proximité et les images floues peuvent déclencher des nausées, surtout chez les individus sensibles, ce qui est communément appelé le mal du simulateur, ou "Skinness" en anglais. Les programmes de réalité

virtuelle fonctionnant sur le matériel peu performant, comme les ordinateurs avec des cartes graphiques de basse qualité, pourraient entraîner des nausées chez les personnes sensibles [101].

#### **2.3.5.6 Difficultés techniques :**

Les défis techniques associés à la technologie de réalité virtuelle peuvent être nombreux et variés. La complexité de cette technologie peut conduire à des problèmes techniques, ce qui peut susciter de la frustration tant chez les étudiants que chez les enseignants en cas de pannes de l'équipement ou dysfonctionnements du logiciel. Ces difficultés techniques ont le potentiel de perturber le déroulement fluide de l'expérience d'apprentissage, entraînant des retards dans le programme et pouvant compromettre l'efficacité de la formation.

#### **2.3.5.7 Potentiel de distraction :**

La VR peut être très engageante et immersive, mais cela peut aussi être un inconvénient si elle entraîne des distractions. Les étudiants peuvent devenir trop concentrés sur l'expérience virtuelle et perdre de vue les objectifs d'apprentissage. De plus, l'utilisation des équipements de réalité virtuelle peut être distrayante et inconfortable pour certains étudiants, entraînant une diminution des résultats d'apprentissage [102].

#### **2.3.5.8 Manque de vraie communication :**

L'éducation traditionnelle est basée sur l'interaction humaine personnelle. Cela aide à développer les compétences relationnelles et sociales. Ils sont importants pour qu'un enfant devienne un véritable membre de la société. Par ailleurs, la méthode collaborative aide à réussir ses études. En raison de la réalité virtuelle, les enfants ne font pas l'expérience d'une véritable communication. Cela affecte négativement leur socialisation et les éloigne des autres [103].



## **MATÉRIELS / MÉTHODES :**



### **3 MATÉRIELS / MÉTHODES :**

#### **3.1 TYPE D'ÉTUDE :**

C'est une étude CAP (Connaissances, Attitudes et Pratiques).

##### **3.1.1 CADRE ET DURÉE D'ÉTUDE :**

Notre étude a été réalisée du mois de janvier 2023 au mois de mai 2024.

#### **3.2 OBJECTIFS D'ÉTUDE :**

##### **3.2.1 OBJECTIF PRINCIPAL :**

Décrire la place de la réalité virtuelle dans la formation en médecine dentaire.

##### **3.2.2 OBJECTIFS SECONDAIRES :**

- Apprécier les raisons le justifiant.
- Attiser son implémentation dans nos formations.

#### **3.3 POPULATION D'ÉTUDE :**

Les étudiants du département de médecine dentaire de la faculté de médecine de Tlemcen.

#### **3.4 CRITÈRES D'INCLUSION :**

L'étude a inclus les étudiants en 2<sup>ème</sup> jusqu'à 6<sup>ème</sup> année du département de médecine dentaire-Faculté de médecine de Tlemcen.

#### **3.5 CRITÈRES DE NON INCLUSION :**

- Les étudiants en première année ;
- Les étudiants non coopérants à l'étude.

#### **3.6 MATÉRIELS :**

Ont été utilisées :

- Un ordinateur ;
- Un auto-questionnaire au format numérique ;

- L'application Google Forms pour créer le questionnaire ;
- L'échelle Likert cotée d'un à cinq (1-5) pour évaluer les opinions et les attitudes ;
- Les plateformes web et les applications : Facebook / Telegram pour diffuser le questionnaire.

### 3.7 MÉTHODOLOGIE :

#### 3.7.1 RECEUIL DES DONNÉES :

Un auto-questionnaire a été élaboré comportant **11** questions fermées et **4** d'autres ouvertes, divisé en trois parties :

La 1<sup>ère</sup> partie concernant les informations démographiques sur :

- L'âge ;
- Le sexe ;
- Le niveau académique ;
- La moyenne annuelle du cursus.

La 2<sup>ème</sup> partie concernant les informations générales sur :

- La confiance en soi pour réaliser un acte dentaire ;
- L'acte qui semble le plus difficile à réaliser ;
- La cause de cette difficulté ;
- Le travail déjà sur un simulateur ;
- Sa place dans notre pratique en médecine dentaire.

La 3<sup>ème</sup> partie concernant les informations globales sur :

- La réalité virtuelle et son utilisation ;
- Sa place dans notre formation ;
- Ses avantages / ses inconvénients.

#### 3.7.2 L'ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES :

- Le logiciel SPSS version 25.0 a été utilisé pour traiter les données.
- Le site-web Google Sheet et le logiciel Excel ont été utilisés pour la configuration et la mise en forme des graphes.
- Le test du Khi 2 (X<sup>2</sup>) a été utilisé pour comparer les variables qualitatives, statiquement :

## **MATÉRIELS / MÉTHODES :**

- Une valeur de **p < 0,01** a été considérée comme très significative.
- Une valeur de **p < 0,05** a été considérée comme significative.
- Une valeur de **p > 0,05** a été considérée comme non significative.

### **3.8 ÉTHIQUE ET DÉONTOLOGIE :**

L'anonymat et la confidentialité des données recueillies ont été respectées.

# RÉSULTATS :



## RÉSULTATS :

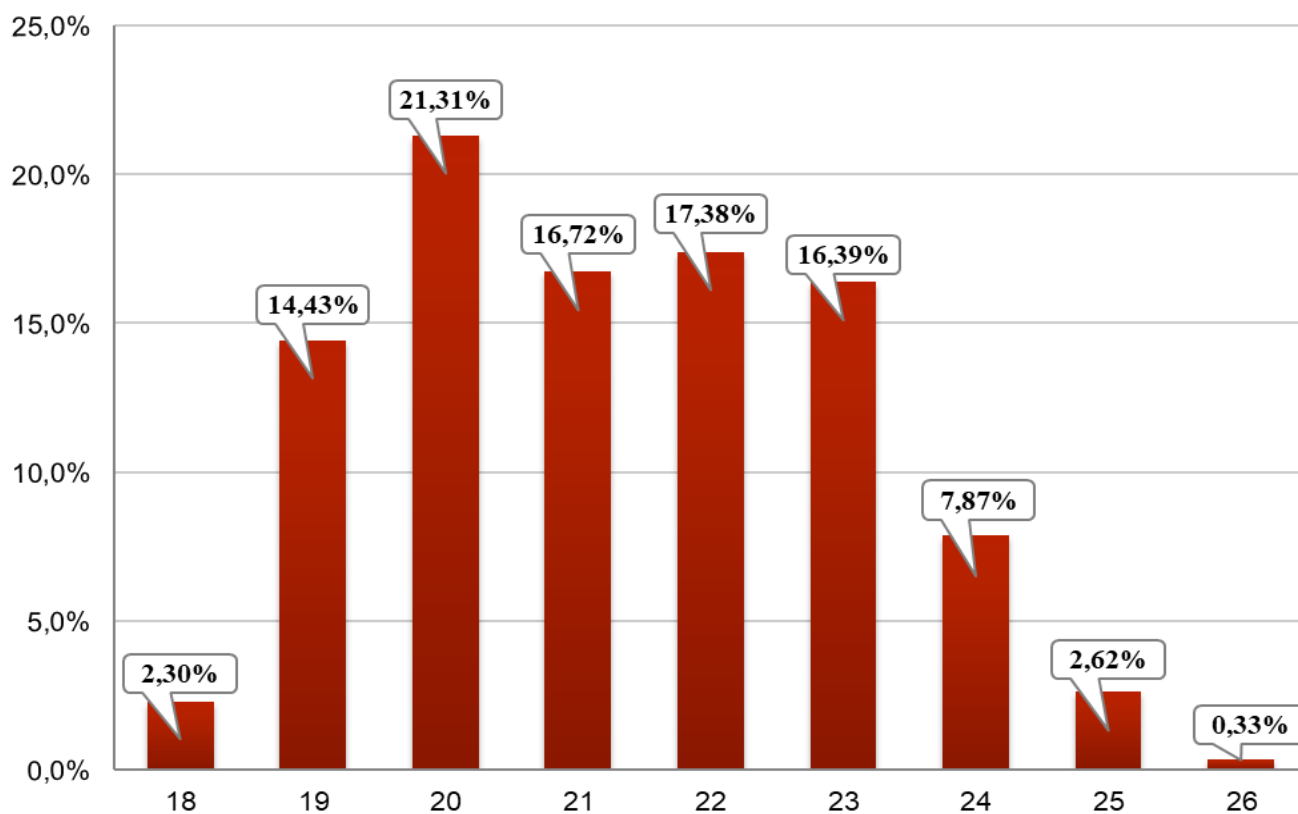
### 4 RÉSULTATS :

#### 4.1 DESCRIPTION DES ÉTUDIANTS RETENUS DANS L'ÉTUDE :

- Notre échantillon d'étude était constitué de 304 étudiants (**n=304**) ayant répondu à nos critères d'inclusion et de non inclusion sur un effectif global de 333 étudiants.
- Le taux de participation a été estimé à 91,29%, reflétant la validité de l'étude.

#### 4.2 RÉPARTITION DES RÉPONSES DES ÉTUDIANTS EN FONCTION DE :

##### 4.2.1 L'ÂGE :



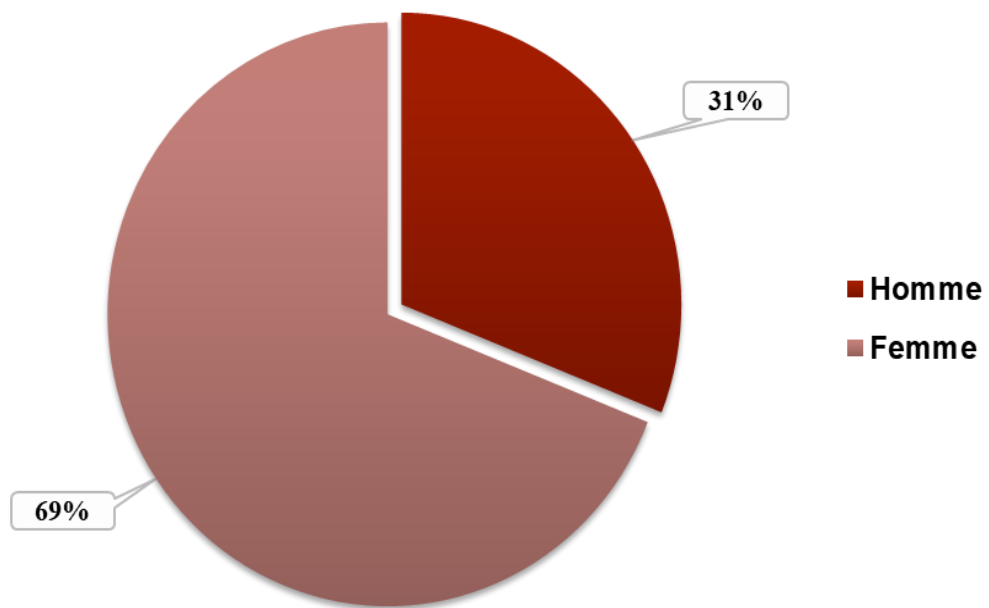
**Figure 29:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'âge.

L'âge de nos participants était entre [18 - 26] ans avec une moyenne de :  $21,29 \pm 0,099$  ans et un écart type de :  $\sigma=1,727$ .

La tranche d'âge la plus représentée était celle de 20 ans (21,31%). (Figure N:° 29).

## RÉSULTATS :

### 4.2.2 LE SEXE :

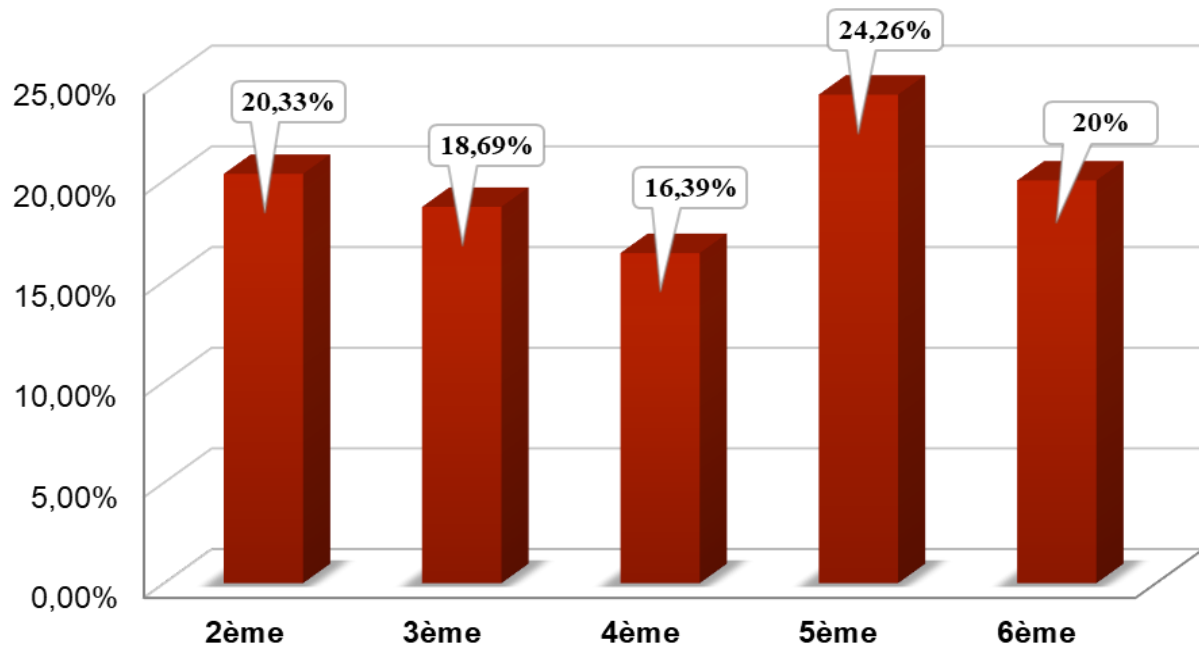


**Figure 30:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du sexe.

Majoritairement, les participants étaient du sexe féminin (69%) avec un sexe-ratio de 0,45. (Figure N:°30).

## RÉSULTATS :

### 4.2.3 LEURS NIVEAUX ACADÉMIQUES :

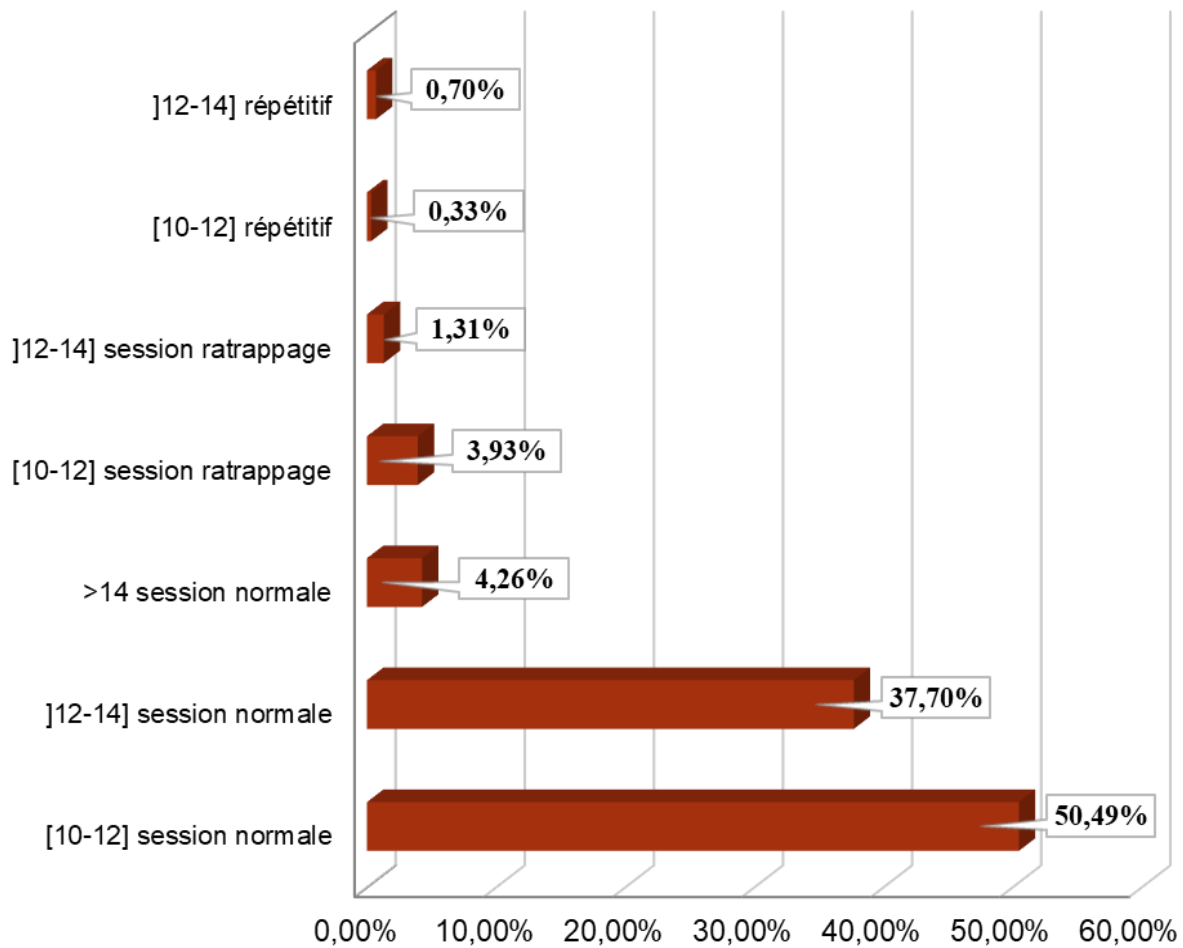


**Figure 31:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de leurs niveaux académiques.

Les étudiants de 5ème année ont représenté le taux de participation le plus élevé (24.26%), suivis respectivement par ceux des 2èmes années, 6èmes années, 3èmes années, et enfin les 4ème années (20.33%, 20%, 18.69% et 16,39%). (Figure N:°31).

## RÉSULTATS :

### 4.2.4 LA MOYENNE DU CURSUS :

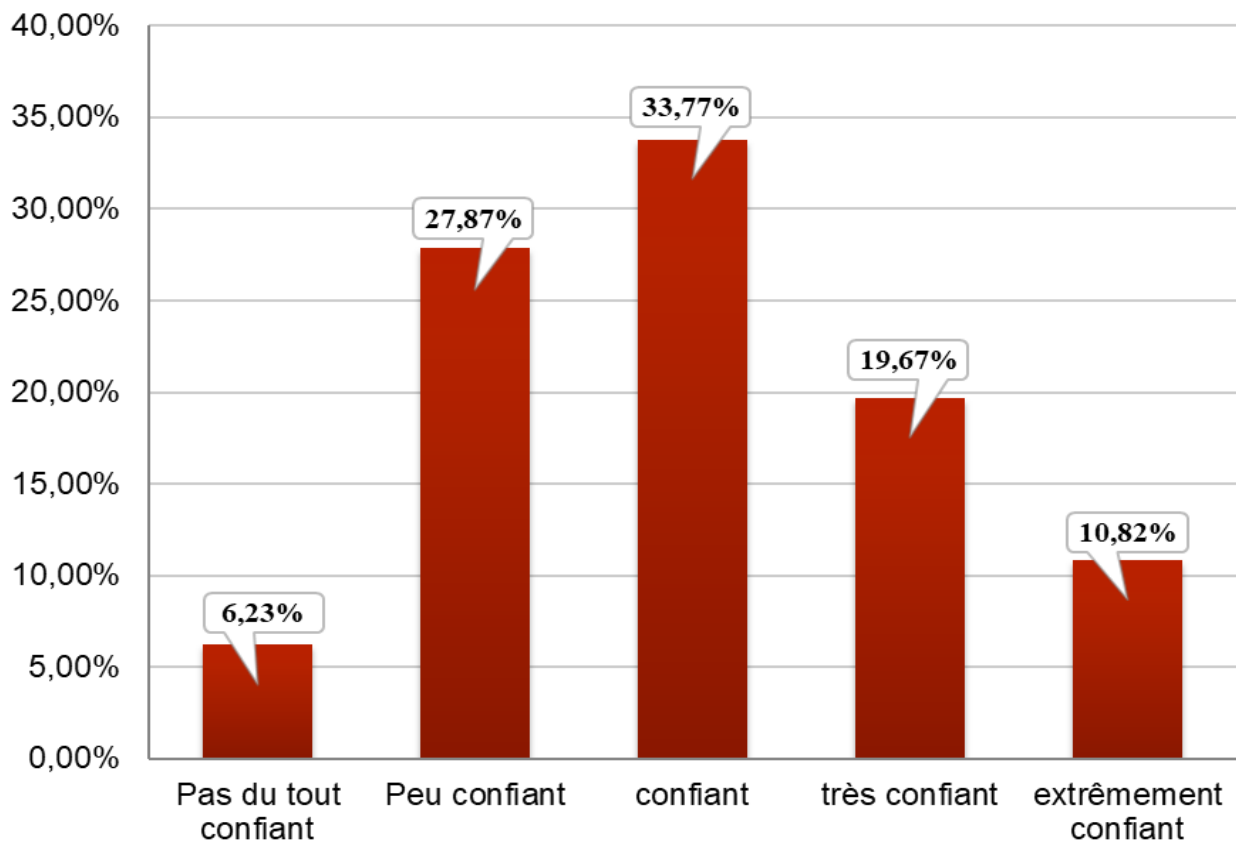


**Figure 32:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la moyenne du cursus.

Les moyennes comprises entre **[10 -12]** d'une session normale étaient les plus retrouvées à (50,49%). (Figure N:°32).

## RÉSULTATS :

### 4.2.5 LA CONFIANCE EN SOI POUR RÉALISER UN ACTE DENTAIRE :

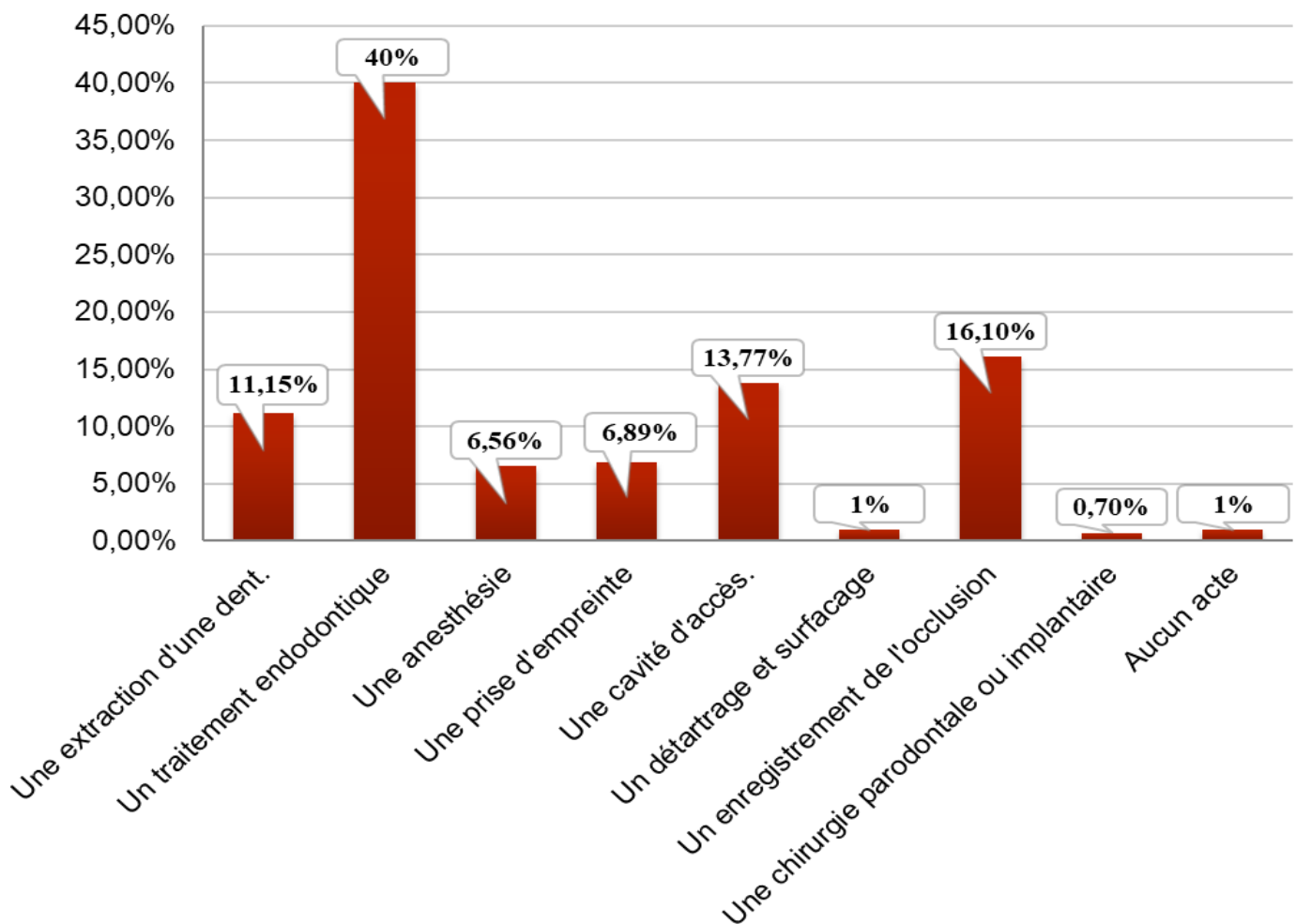


**Figure 33:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire.

Trente-trois virgule soixante-dix-sept pour cent de nos collègues étaient confiants pour réaliser un acte dentaire, (27,87%) étaient peu confiants suivi par (19,67%) très confiants, (10,82%) extrêmement confiants et enfin (6,23%) qui n'étaient pas du tout confiants. (Figure N: °33).

## RÉSULTATS :

### 4.2.6 L'ACTE QUI SEMBLE LE PLUS DIFFICILE À RÉALISER :

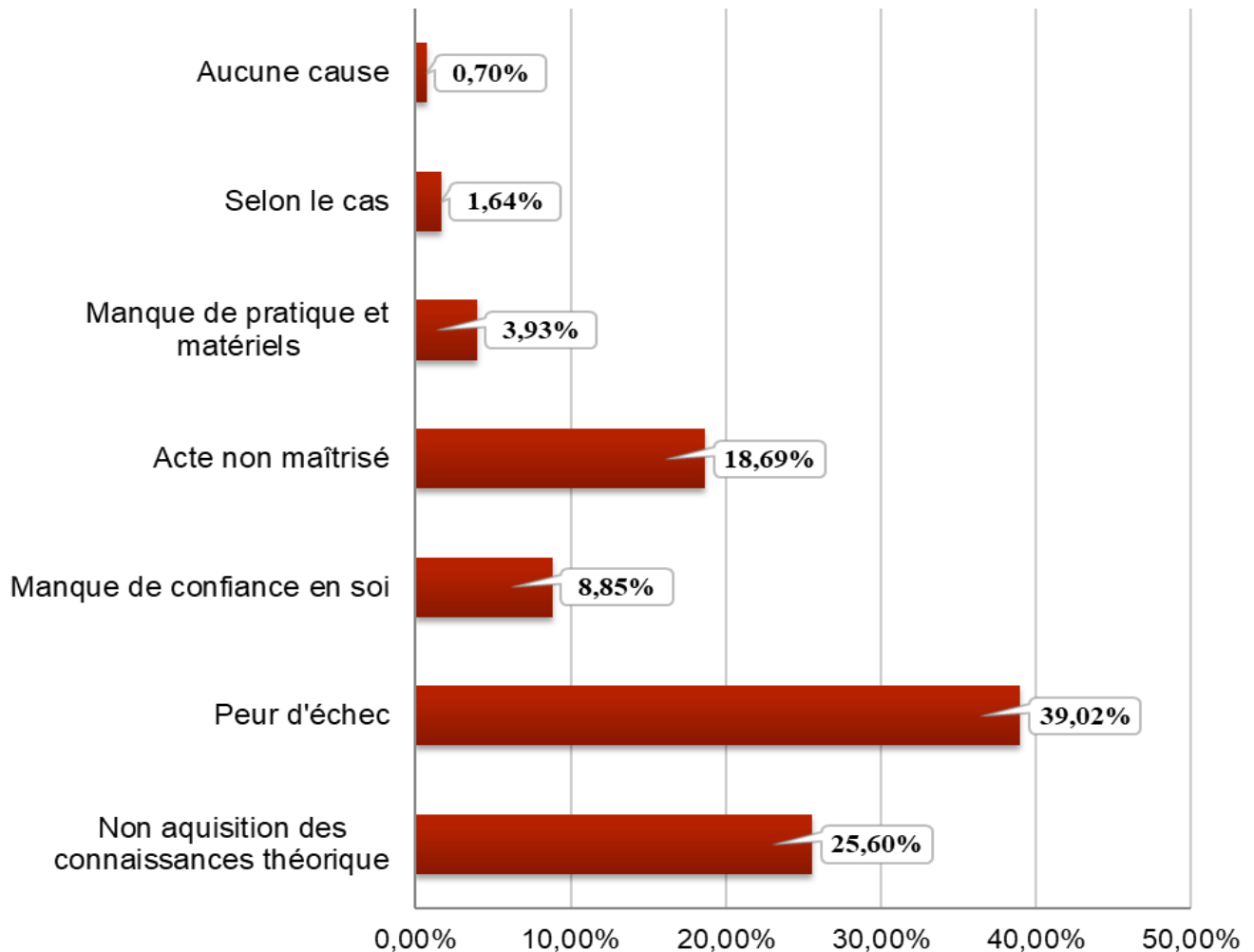


**Figure 34:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'acte le plus difficile à réaliser.

L'acte le plus difficile à réaliser pour nos collègues était le traitement endodontique (40%), suivi par l'enregistrement de l'occlusion (16,10%). (Figure N:°34).

## RÉSULTATS :

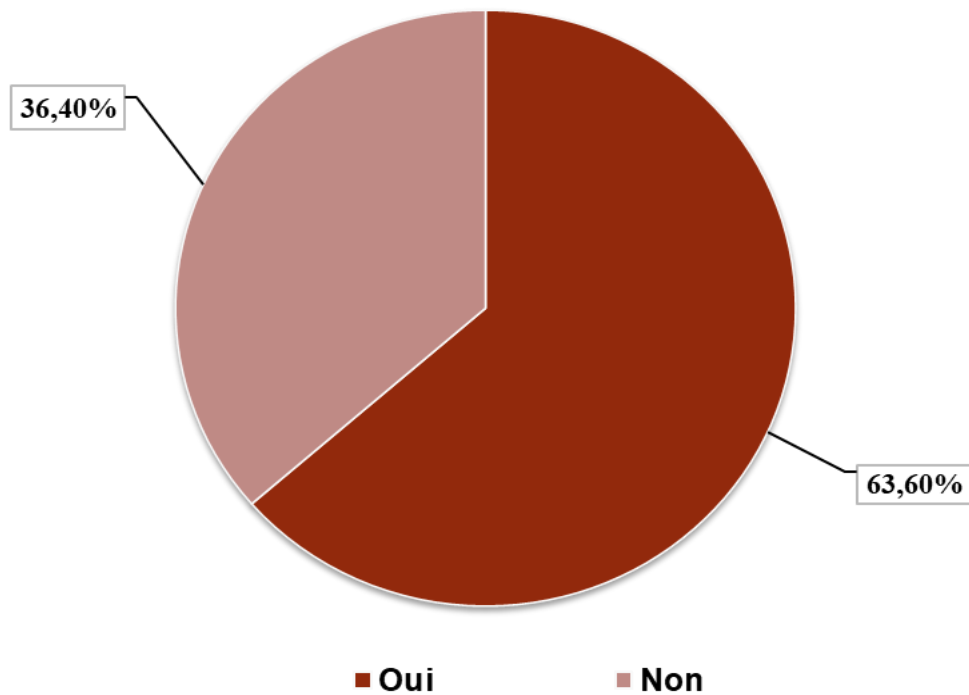
### 4.2.7 LA CAUSE DE LA DIFFICULTÉ :



**Figure 35:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la cause de difficulté des actes dentaires.

La peur d'échec était la réponse la plus courante concernant la cause de la difficulté avec un taux de (39.02%), suivi respectivement par la non acquisition des connaissances théoriques, un acte non maîtrisé et enfin le manque de confiance en soi (25,6%, 18,69%, 8,85%). (Figure N:°35).

4.2.8 LE TRAVAIL DÉJÀ SUR UN SIMULATEUR :



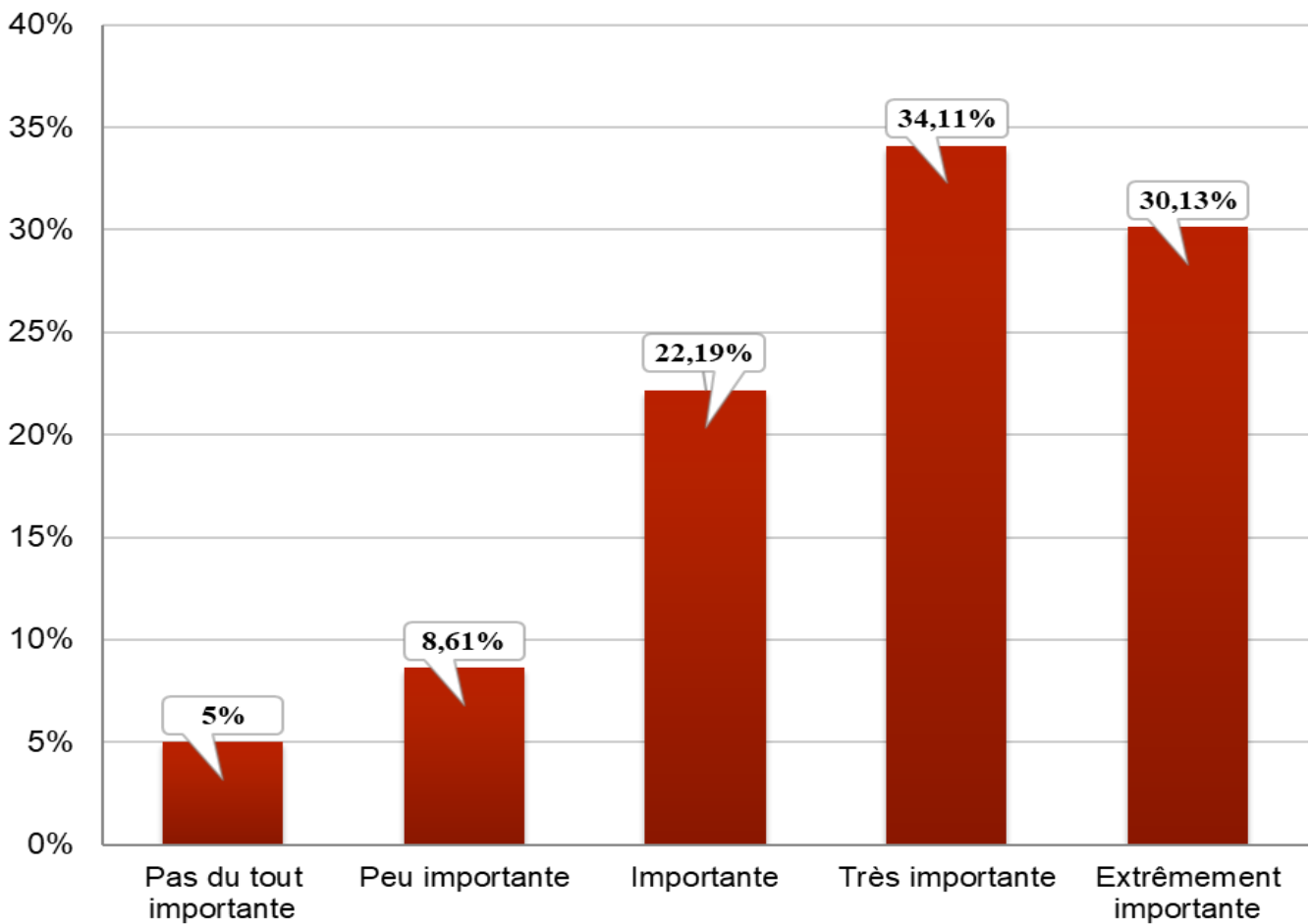
**Figure 36:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du travail déjà sur un simulateur.

« Déjà travailler sur un simulateur » était la réponse la plus constatée (63,6%). (Figure N:°36).



## RÉSULTATS :

### 4.2.9 LA PLACE DE LA SIMULATION DANS NOTRE FORMATION :

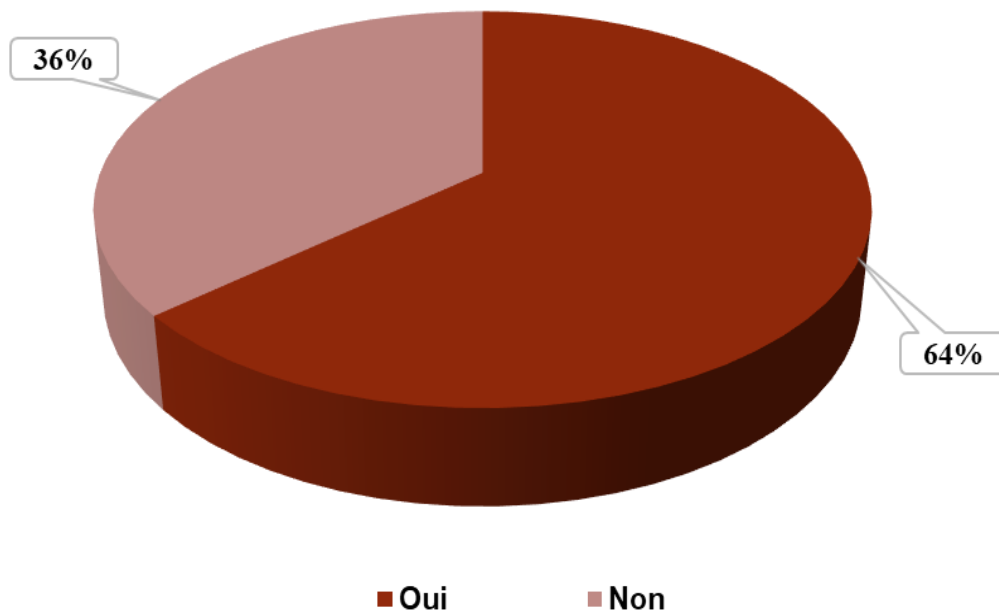


**Figure 37:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la simulation dans notre formation.

Selon (34,11%) de nos répondants la place de la simulation dans notre formation était très importante. (30,13%) ont répondu que la simulation était extrêmement importante suivi par (22,19%) qui ont répondu importante, (8,61%) peu importante et seulement (5%) ont répondu par pas du tout importante. (Figure N:°37).

## RÉSULTATS :

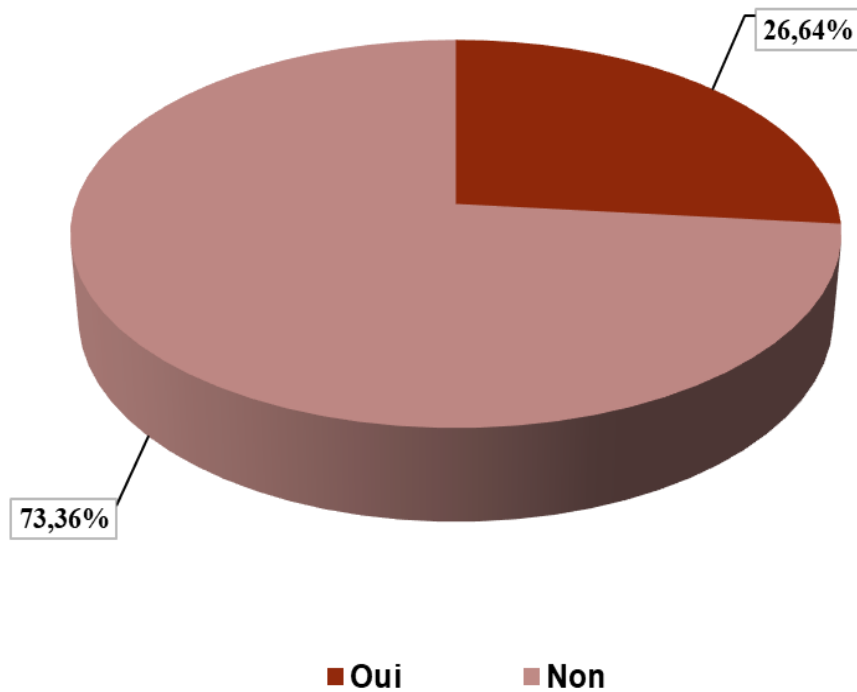
### 4.2.10 LA CONNAISSANCE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE :



**Figure 38:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la connaissance de la réalité virtuelle.

La plupart de nos collègues connaissaient la réalité virtuelle à (64%). (Figure N:°38).

4.2.11 L'UTILISATION DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE :

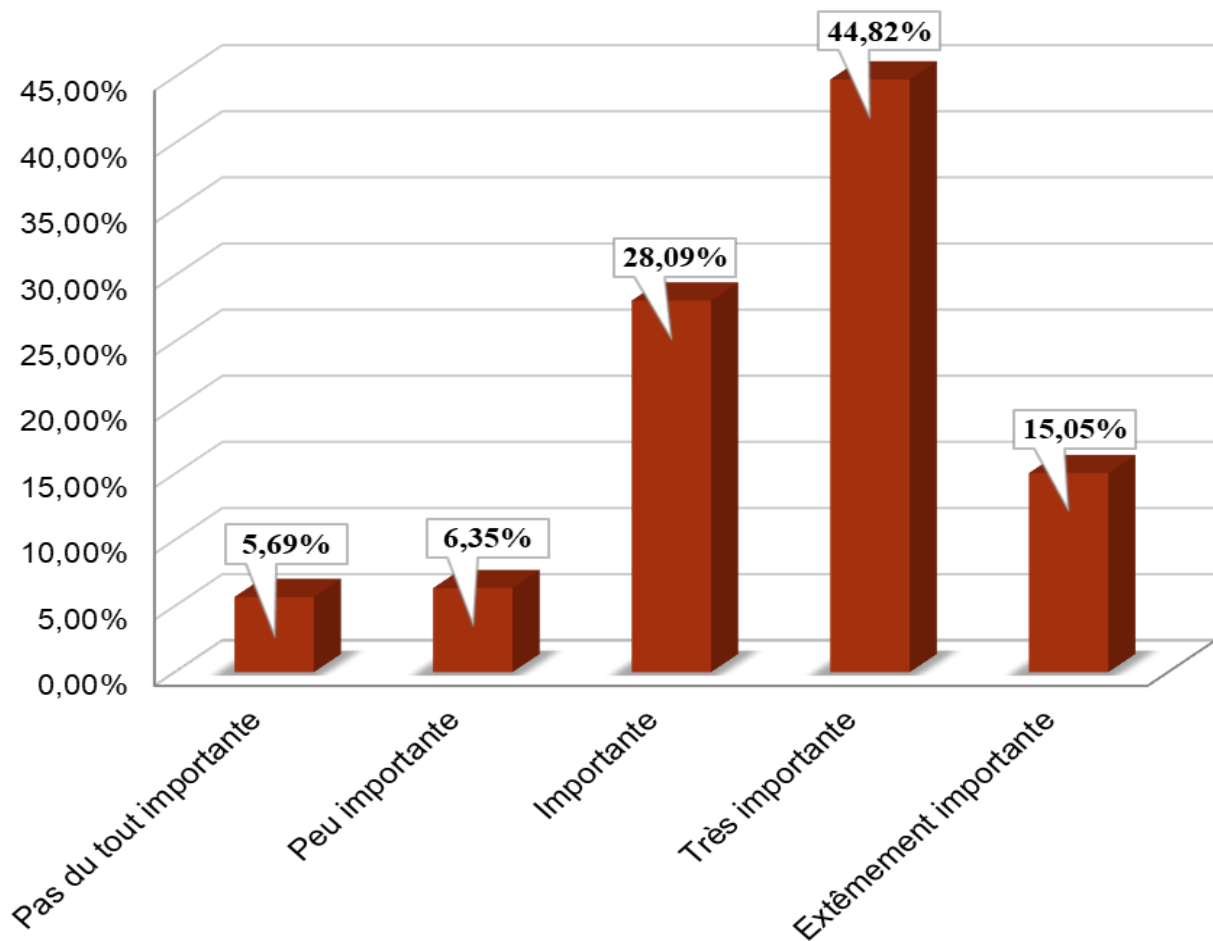


**Figure 39:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'utilisation de la VR.

La majorité des participants (73,36%) n'avaient jamais utilisé la réalité virtuelle auparavant. (Figure N:°39).

## RÉSULTATS :

### 4.2.12 LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE DANS NOTRE FORMATION :

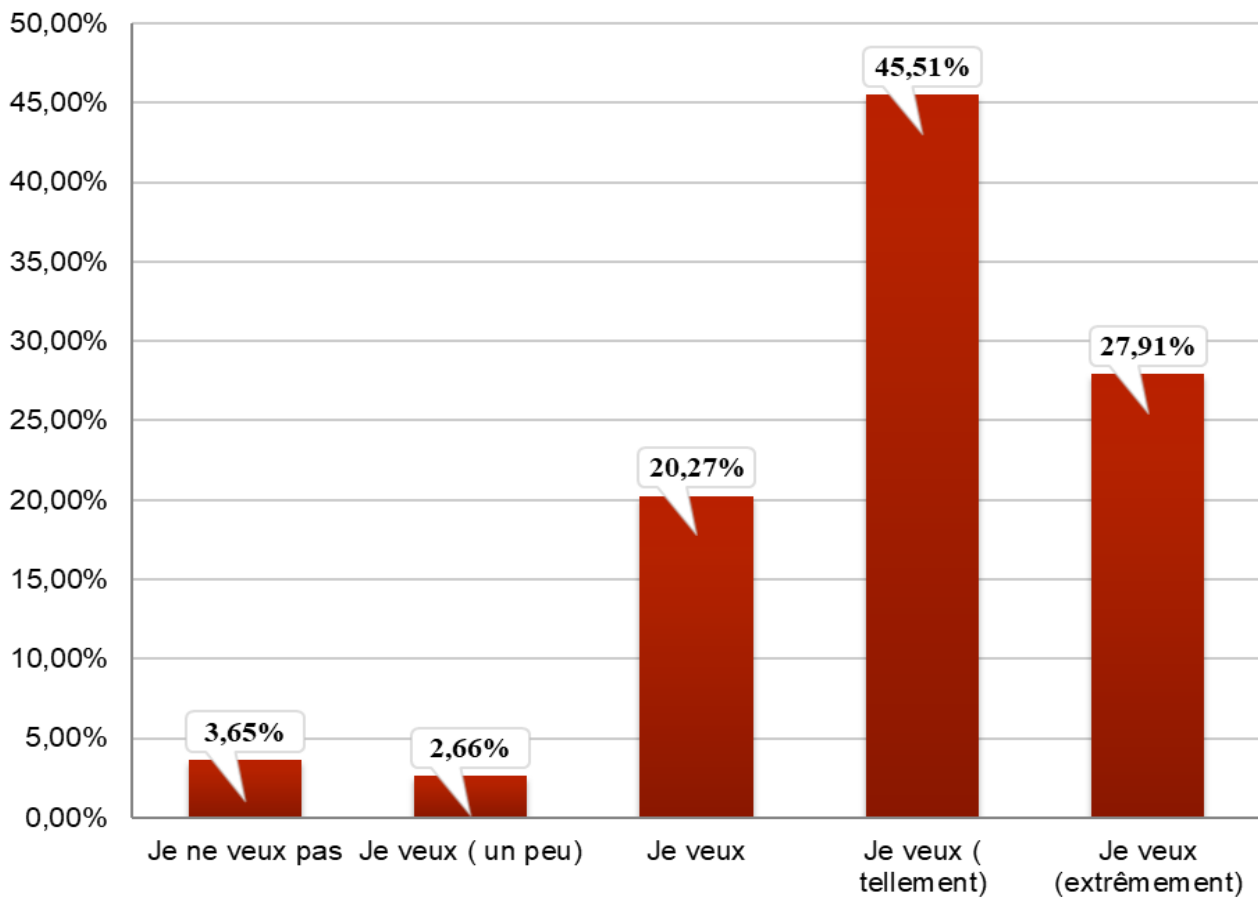


**Figure 40:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la VR dans notre formation.

Concernant la place de la réalité virtuelle dans notre formation (44,82%) des étudiants ont répondu qu'elle était très importante, (28,09%) disaient qu'elle était importante, (15,05%) ont répondu par extrêmement importante suivi par (6,35%) peu importante et (5,69%) pas du tout importante. (Figure N:°40).

## RÉSULTATS :

### 4.2.13 LE DÉSIR D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE DANS NOTRE FORMATION :

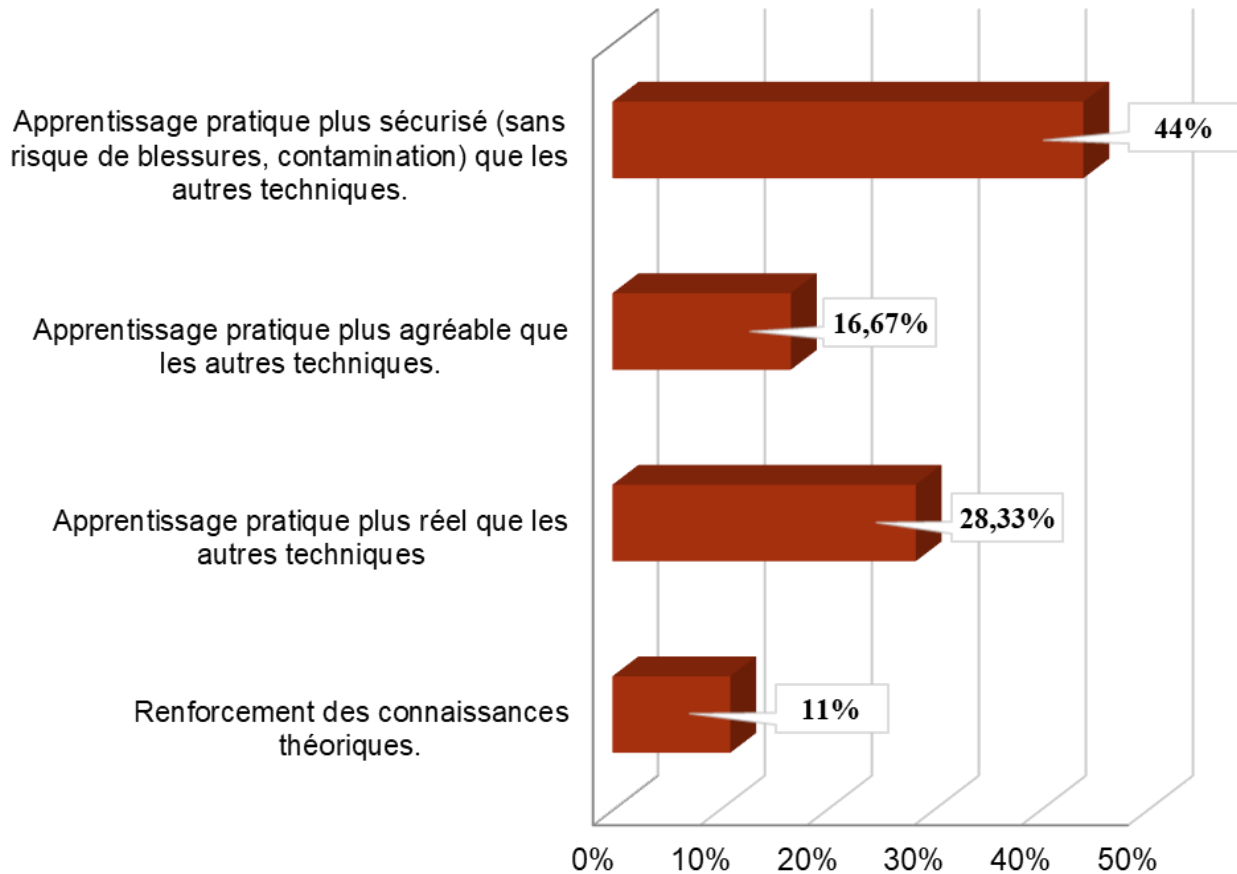


**Figure 41:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation.

Quarante-cinq virgule cinquante et un pour cent de nos répondants ont manifesté leurs désirs d'avoir la réalité virtuelle « tellement », « extrêmement » à (27,91%). Seulement (3,65%) ont répondu par ne pas la vouloir. (Figure N:°41).

## RÉSULTATS :

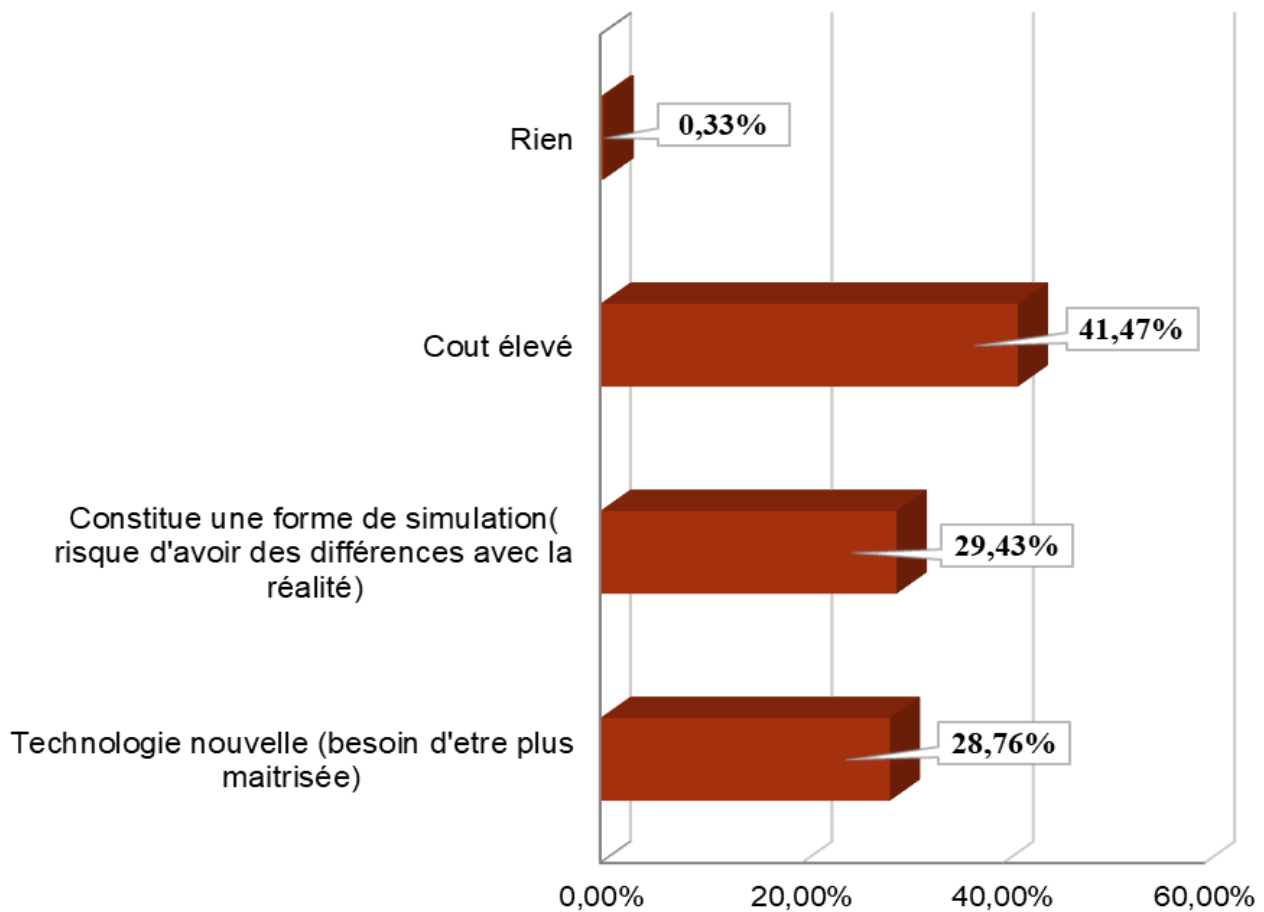
### 4.2.14 LE MEILLEUR AVANTAGE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE :



**Figure 42:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du meilleur avantage de la VR.

Quarante-quatre pour cent des participants ont déclaré que l'apprentissage pratique plus sécurisé (sans risque des blessures, contaminations) que les autres techniques était le meilleur avantage de la réalité virtuelle suivi par un apprentissage pratique plus réel que les autres techniques avec un pourcentage de (28,33%), puis un apprentissage pratique plus agréable de (16,67%) et en fin le renforcement des connaissances théoriques avec un pourcentage de (11%). (Figure N:°42).

4.2.15 L'INCONVÉNIENT LE PLUS DÉRANGEANT DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE :

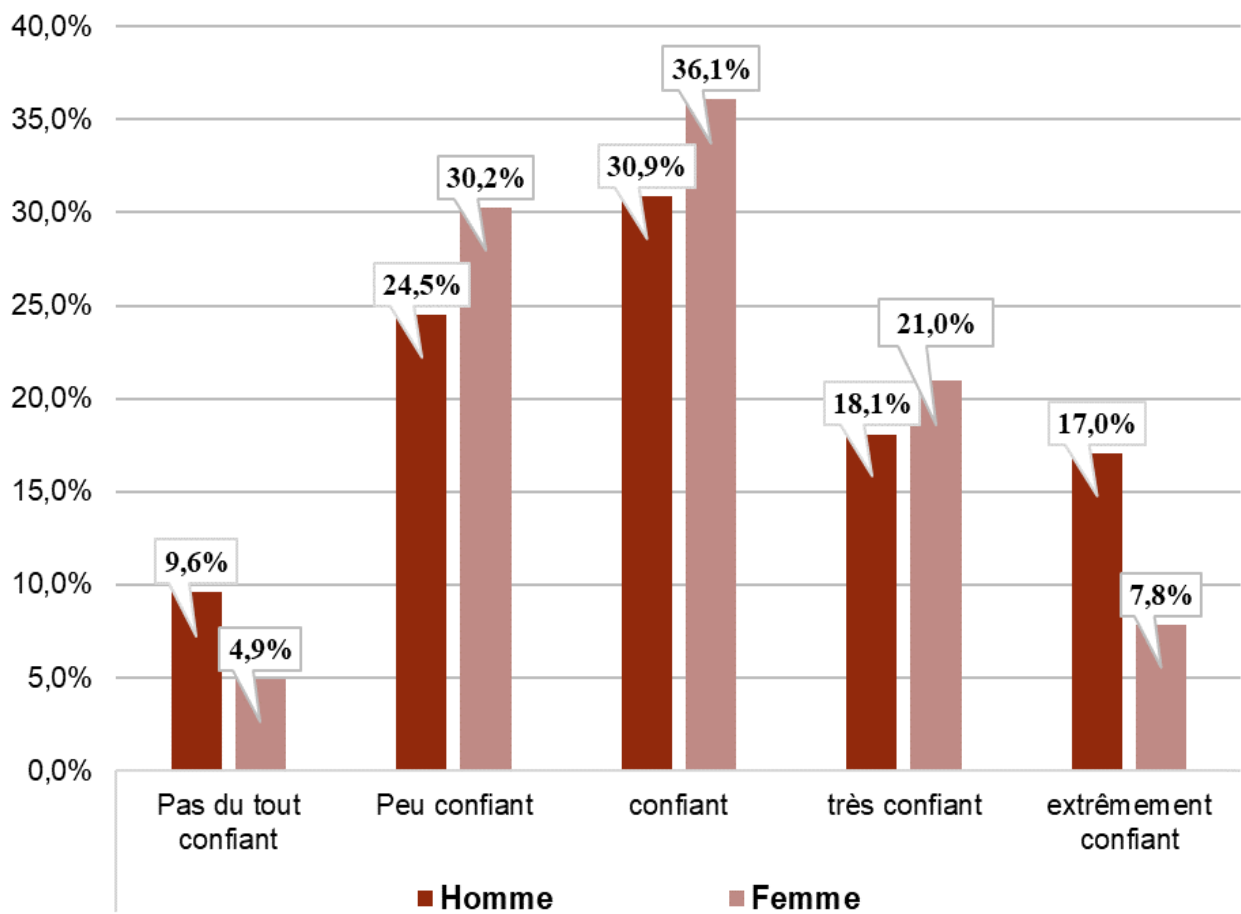


**Figure 43:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'inconvénient le plus dérangeant de la VR.

Par contre l'inconvénient le plus dérangeant selon les participants c'était le coût élevé avec un pourcentage de (41,5%) ensuite qu'elle constituait une forme de simulation (risque d'avoir des différences avec la réalité) avec pourcentage de (29,4%), suivi par une technologie nouvelle (28,76%) et enfin aucun inconvénient de (0,33%). (Figure N:°43).

## RÉSULTATS :

### 4.2.16 LA CONFIANCE EN SOI / LE SEXE :



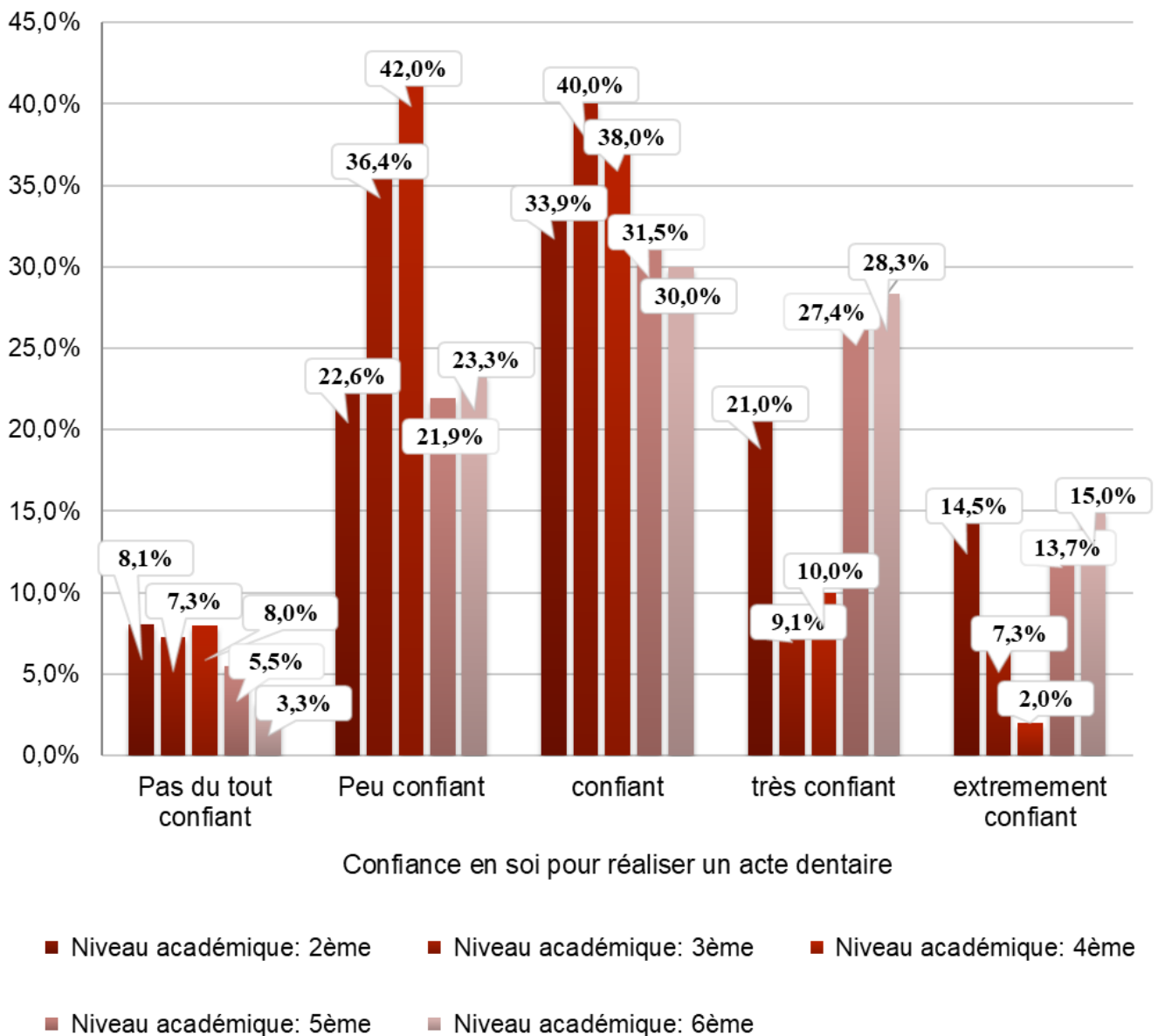
**Figure 44:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et le sexe.

La confiance en soi pour réaliser un acte dentaire était la même chez les étudiantes que les étudiants. Le sexe ne semblait pas l'influencer, confirmé par le test du X<sup>2</sup> ( $p= 0,064$ ), le lien était statistiquement non significatif. (Figure N:°44).



## RÉSULTATS :

### 4.2.17 LA CONFIANCE EN SOI / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :

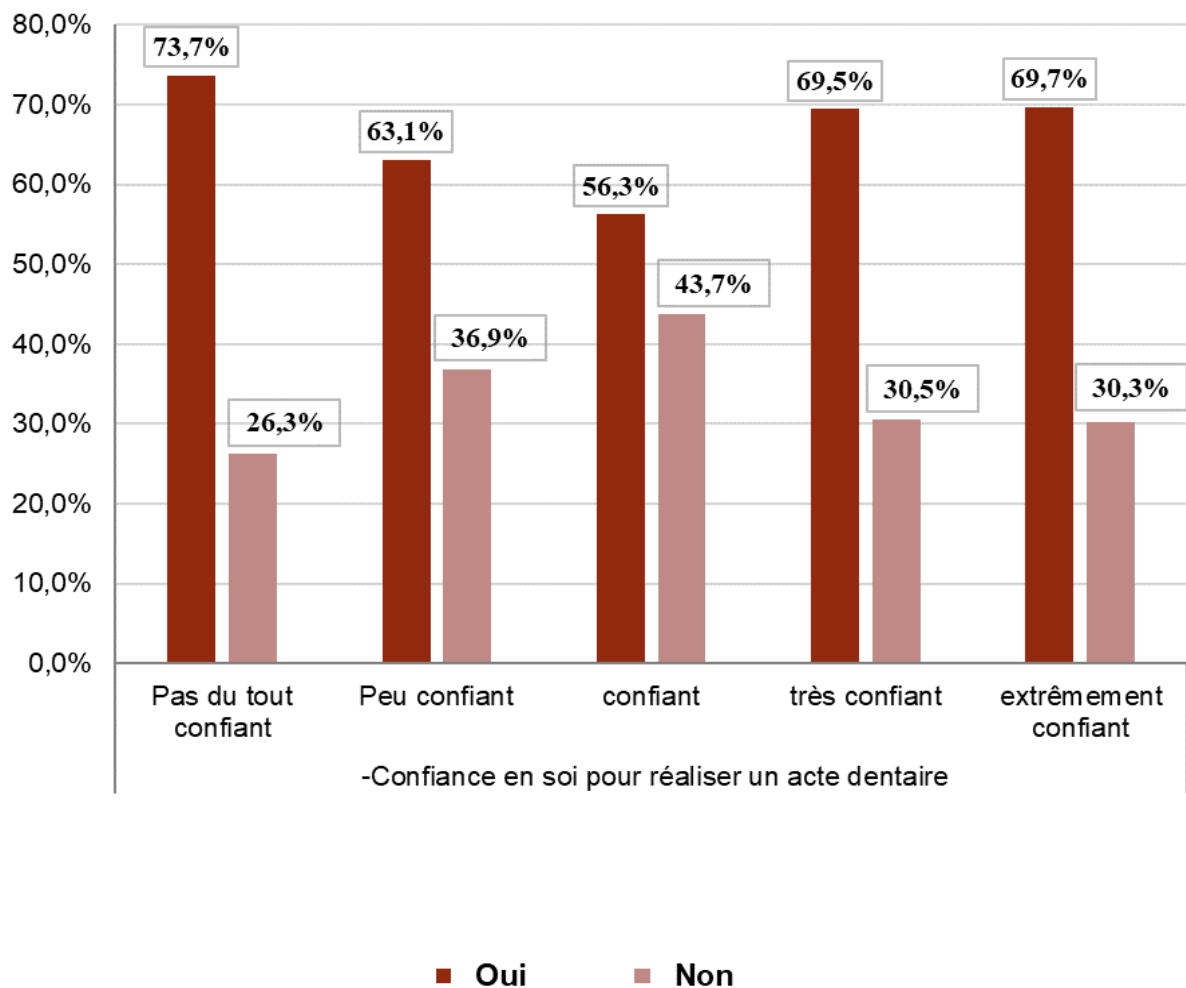


**Figure 45:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et le niveau académique.

Idem pour le niveau académique. La relation était statiquement non significative, confirmé par le test du X2 ( $p=0,055$ ). (Figure N:°45).

## RÉSULTATS :

### 4.2.18 LA CONFIANCE EN SOI / LE TRAVAIL DÉJÀ SUR UN SIMULATEUR :

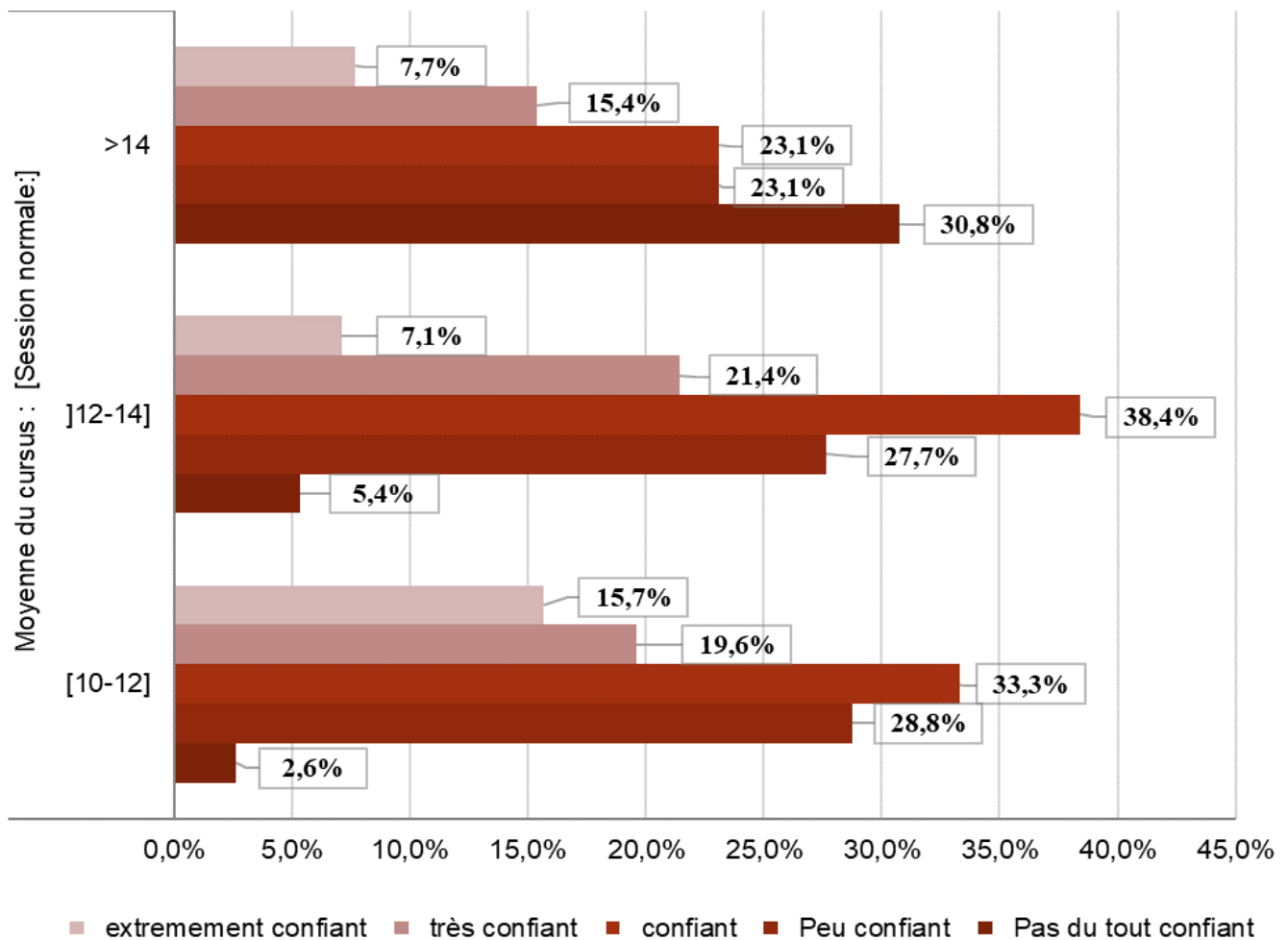


**Figure 46:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et le travail déjà sur un simulateur.

Aussi, le travail déjà sur simulateur ne semblait pas influencer la confiance en soi. Le rapport était statistiquement non significatif « le test du Khi-2 ( $p=0,330$ ) ». (Figure N:°46).

## RÉSULTATS :

### 4.2.19 LA CONFIANCE EN SOI / LA MOYENNE DU CURSUS :

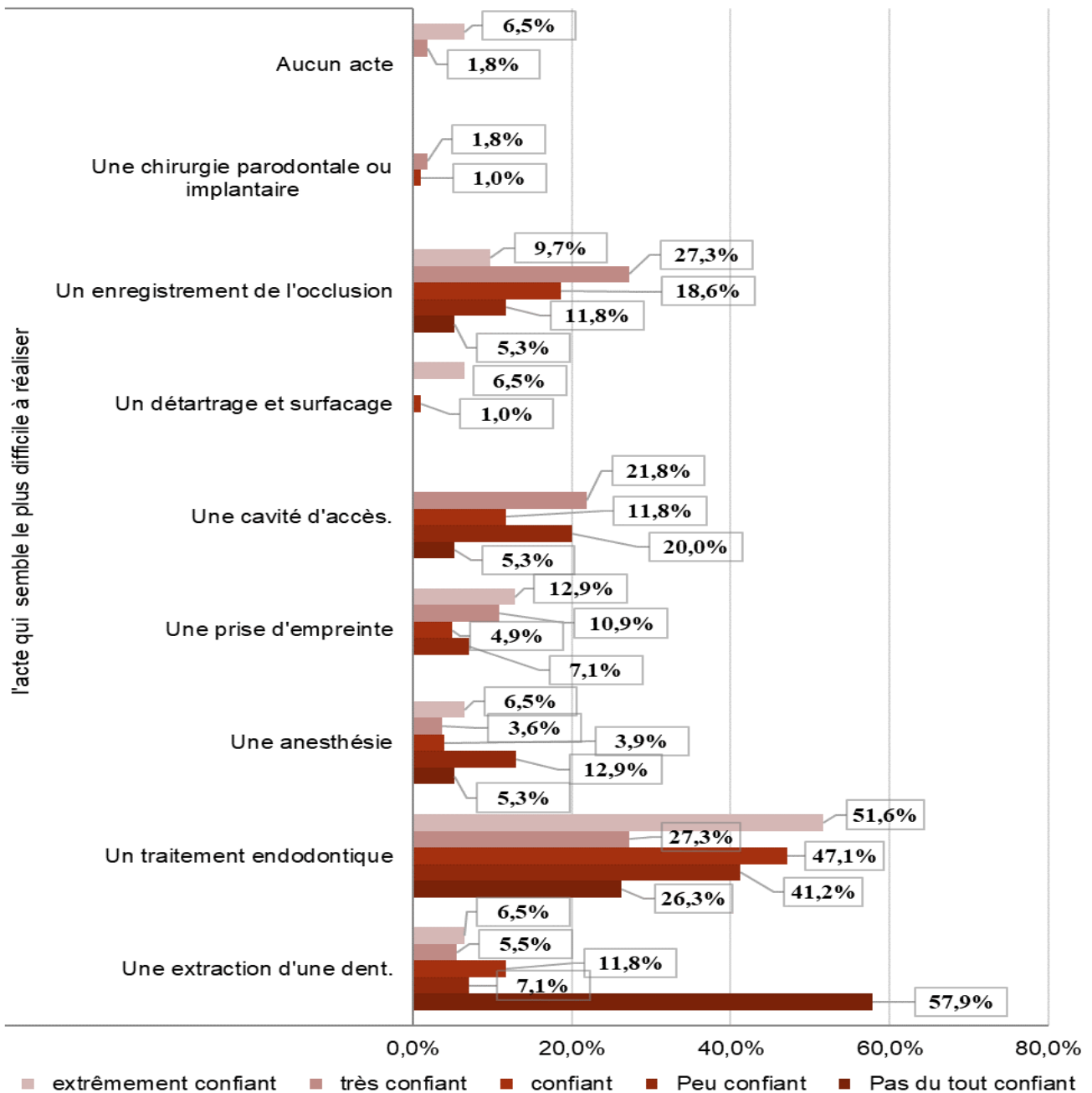


**Figure 47:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et la moyenne du cursus.

Cependant, la confiance en soi dépendait de la moyenne du cursus. La relation était statistiquement très significative « le test du X2 ( $p=0,002$ ) ». (Figure N:°47).

## RÉSULTATS :

### 4.2.20 LA CONFIANCE EN SOI / L'ACTE QUI SEMBLE LE PLUS DIFFICILE À RÉALISER :

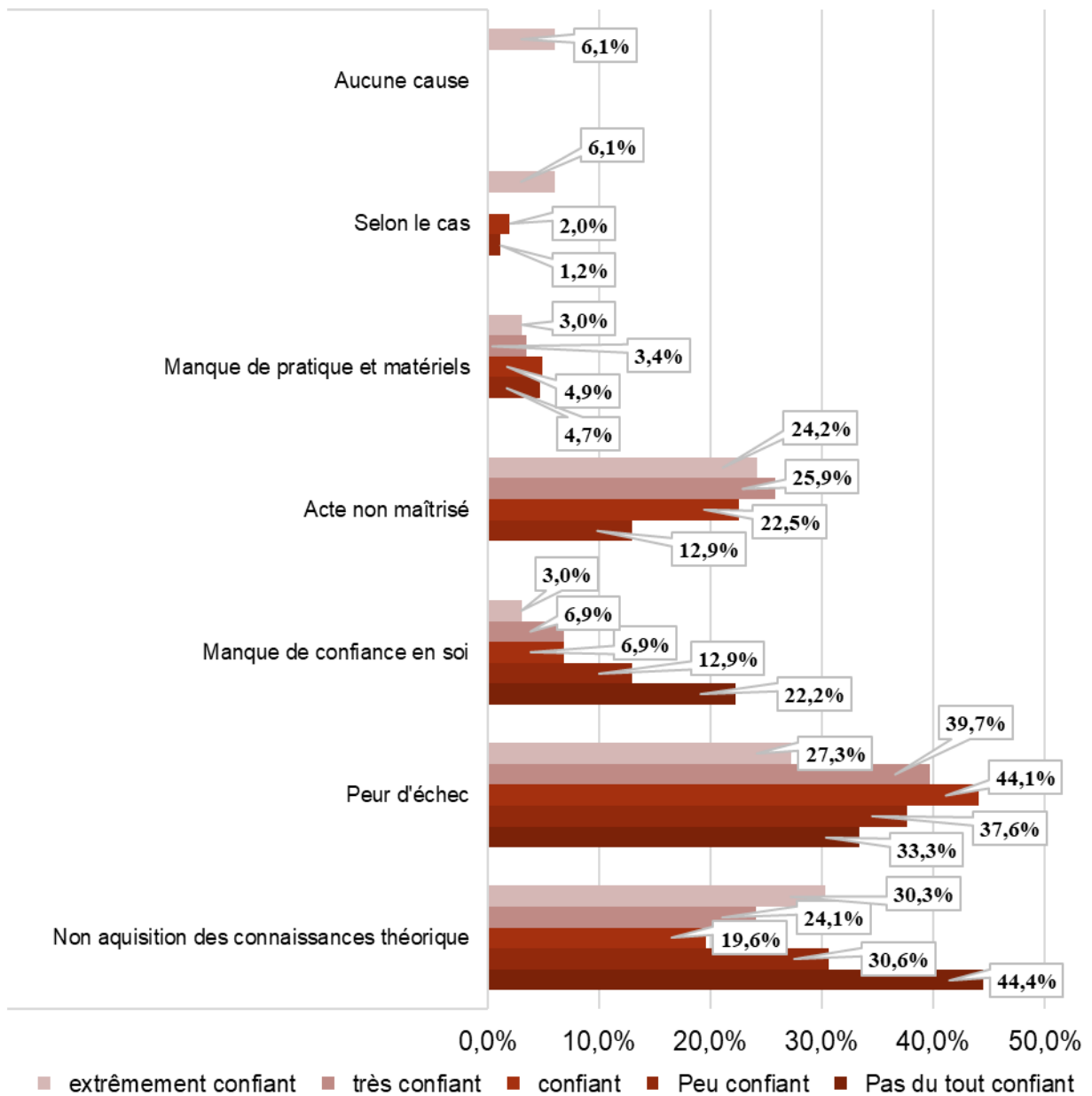


**Figure 48:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi et l'acte qui semble le plus difficile à réaliser.

La description des actes les plus difficiles à réaliser par nos participants dépendait de leurs confiances en soi . La relation était statistiquement très significative « le test du X2 ( $p=0,000$ ) ». (Figure N:°48).

## RÉSULTATS :

### 4.2.21 LA CONFIANCE EN SOI / LA CAUSE DE DIFFICULTÉ :

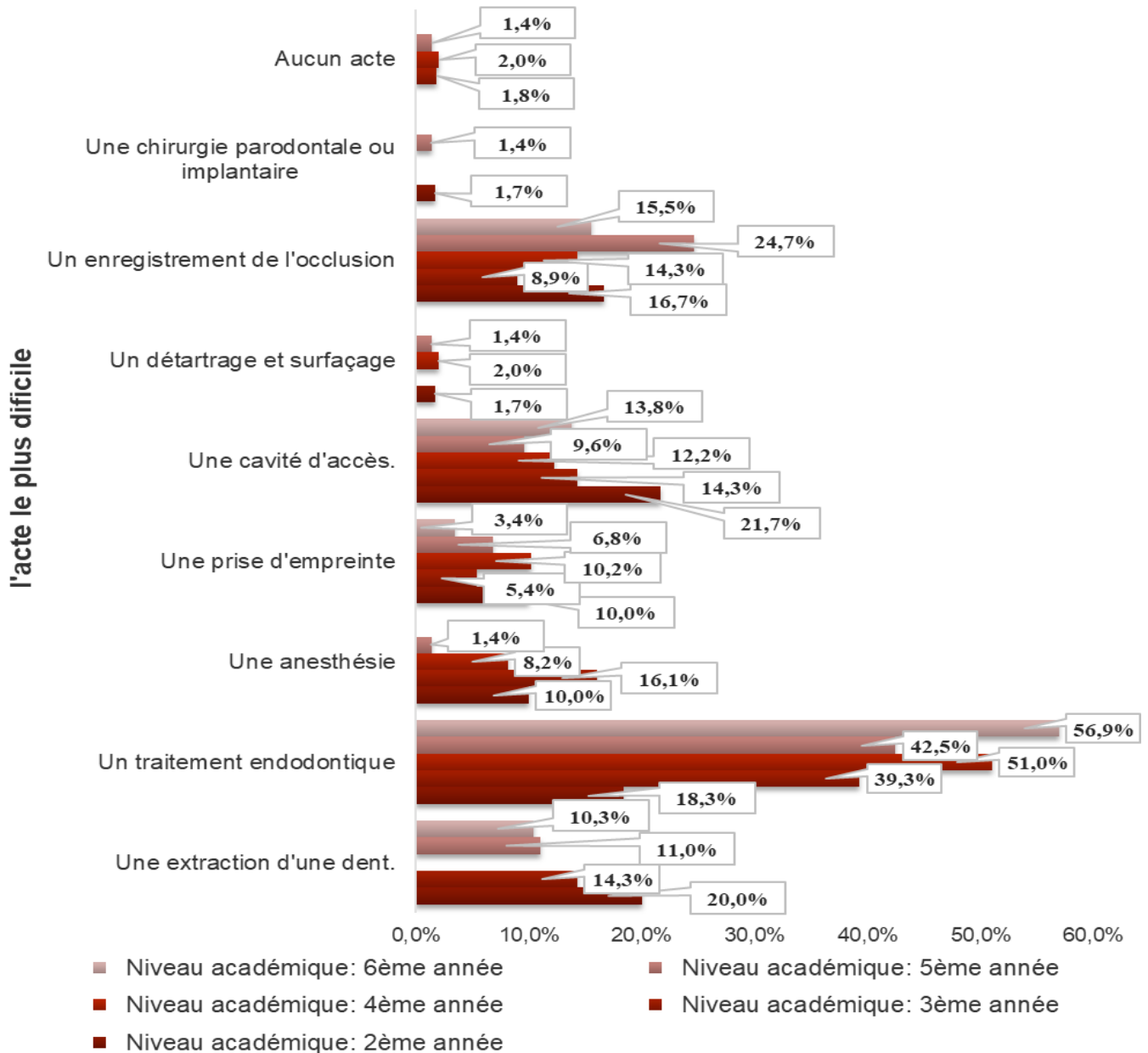


**Figure 49:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et la cause de cette difficulté.

Même constat concernant la cause de difficulté pour réaliser un acte dentaire et la confiance en soi. La relation était statistiquement très significative, confirmé par un X2 ( $p=0,008$ ). (Figure N:°49).

## RÉSULTATS :

### 4.2.22 L'ACTE LE PLUS DIFFICILE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :

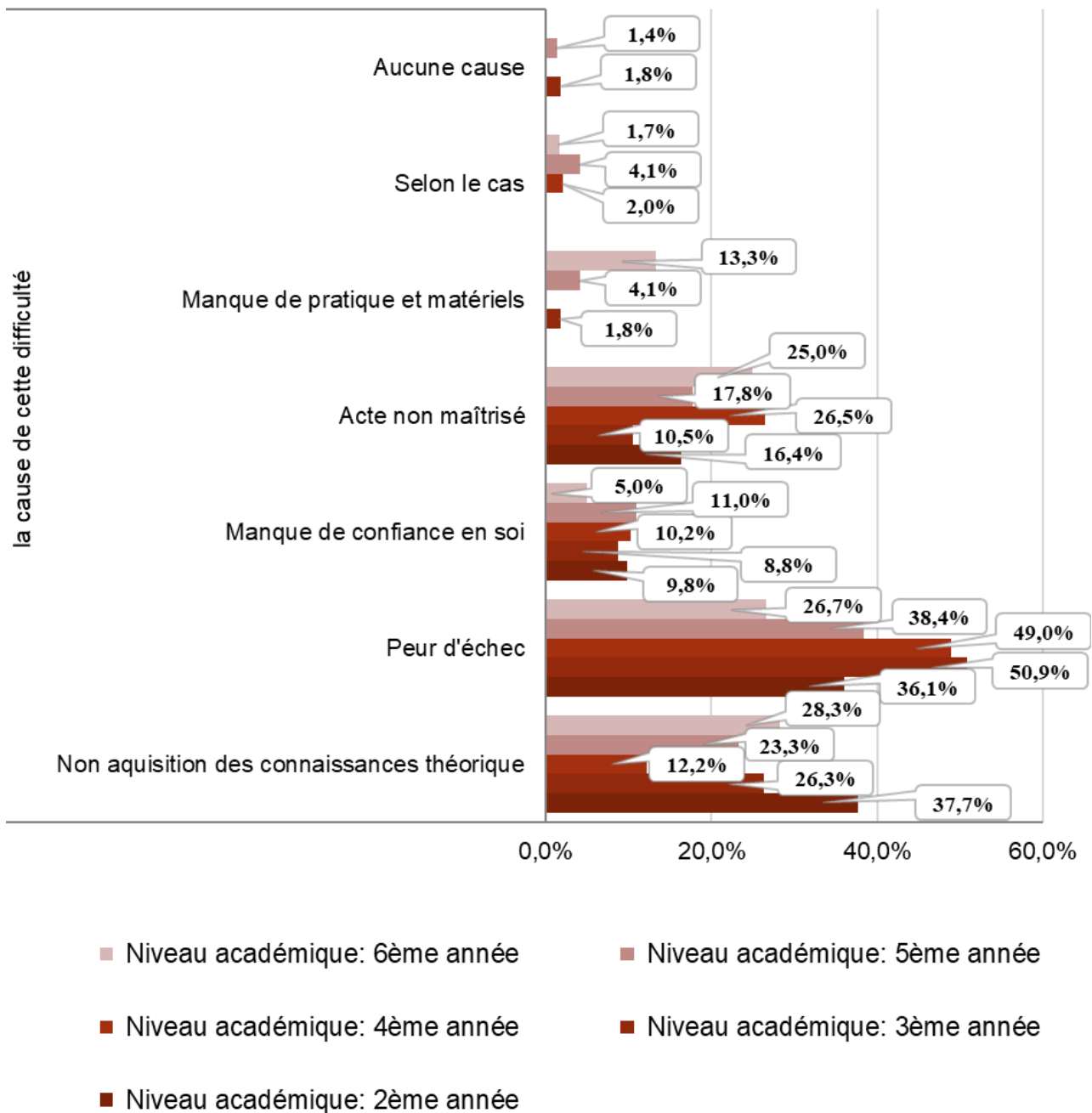


**Figure 50:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du niveau académique et l'acte le plus difficile à réaliser.

Selon nos collègues, les actes les plus difficiles à réaliser étaient les mêmes, tout niveau académique confondu. La relation était statistiquement très significative « le test du X<sup>2</sup> ( $p=0,006$ ) ». (Figure N:°50).

## RÉSULTATS :

### 4.2.23 LA CAUSE DE DIFFICULTÉ / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :

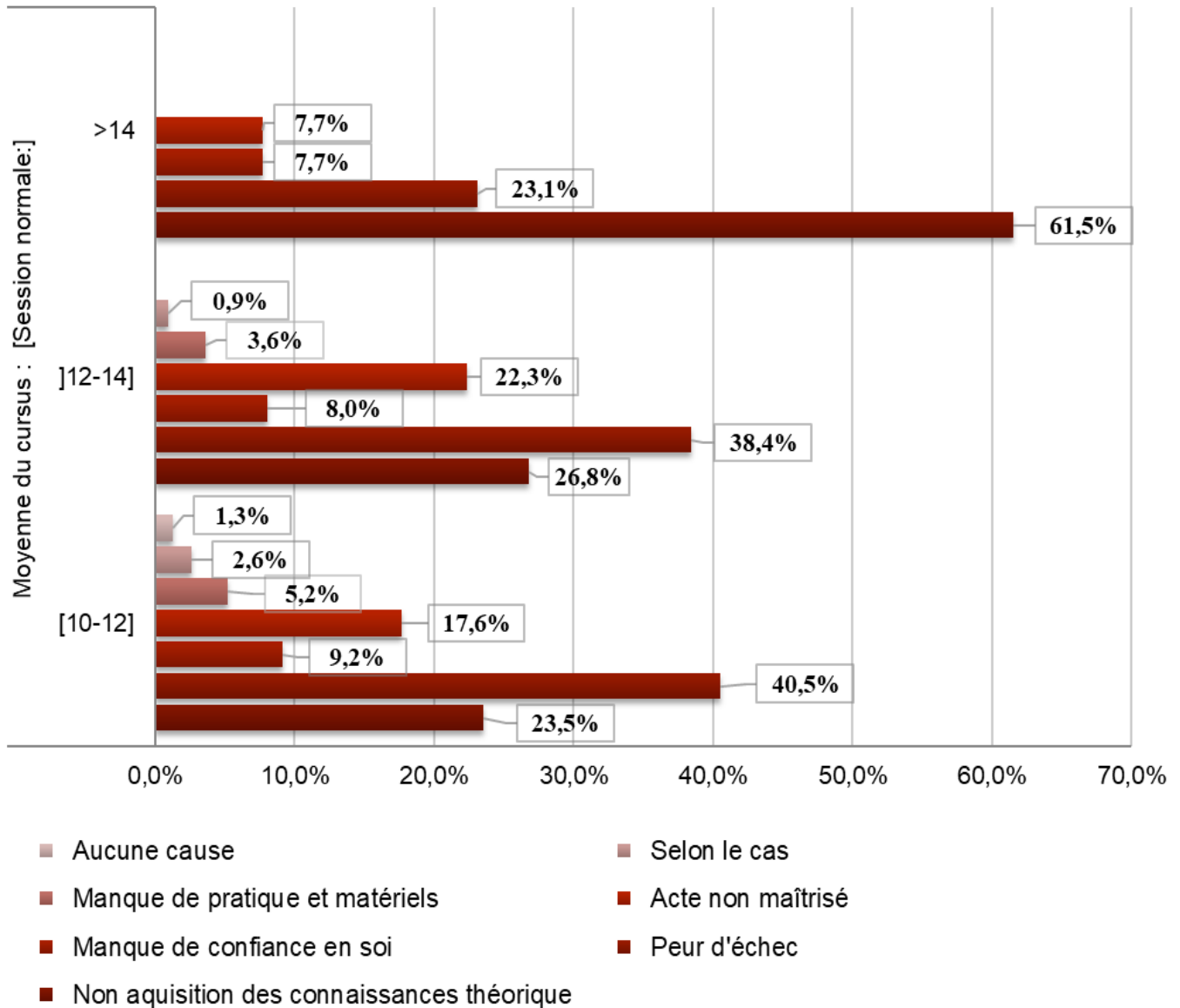


**Figure 51:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du niveau académique et la cause de difficulté des actes dentaires.

Idem, les causes de difficulté étaient les mêmes rencontrées. La corrélation était statistiquement très significative « le test du Khi-deux ( $p=0,006$ ) ». (Figure N:°51).

## RÉSULTATS :

### 4.2.24 LA CAUSE DE LA DIFFICULTÉ POUR RÉALISER UN ACTE DENTAIRE / LA MOYENNE DU CURSUS :



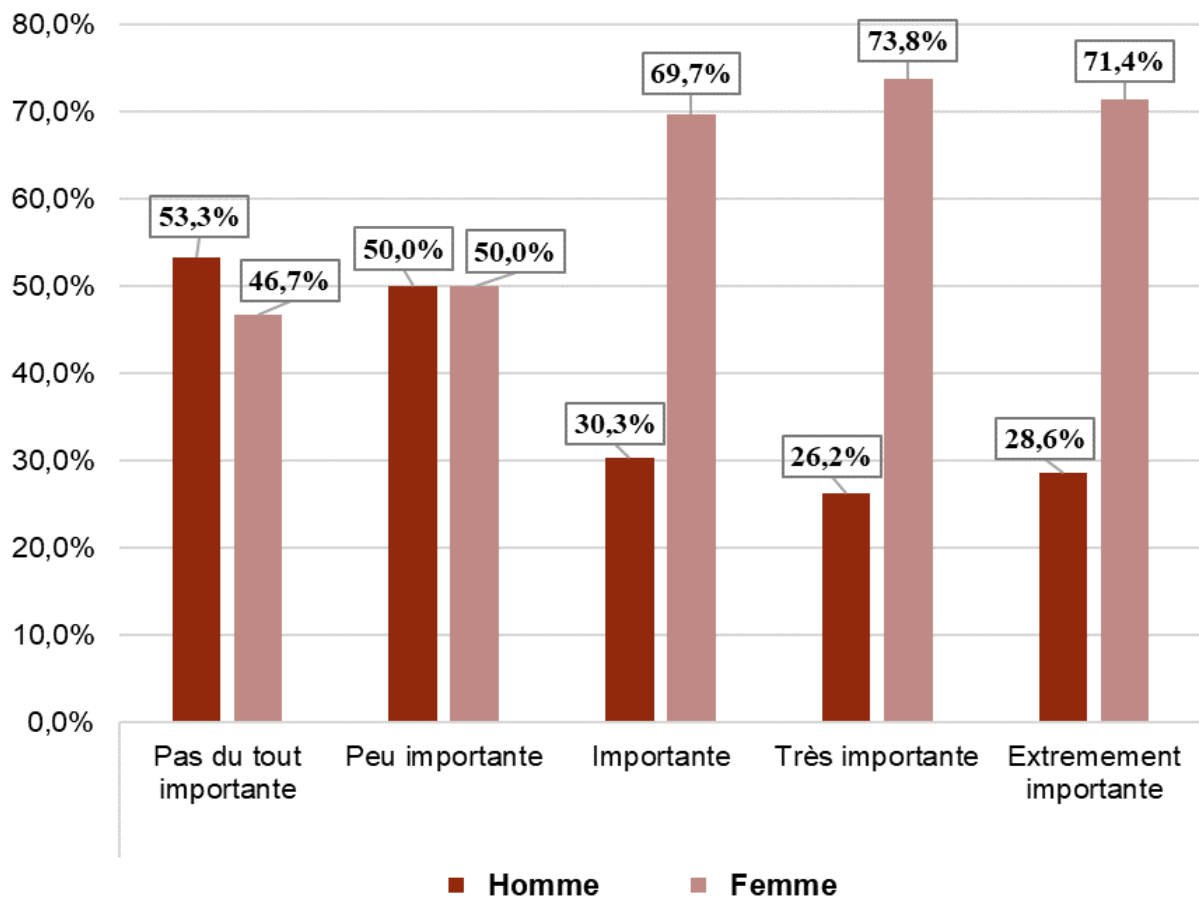
**Figure 52:** Répartition des réponses des étudiantes en fonction de la cause de difficulté des actes dentaires et la moyenne du cursus.

À contrario, les causes de difficultés étaient différemment perçues en fonction des moyennes du cursus. La corrélation était statistiquement non significative « le test du Khi-deux ( $p=0,357$ ) ». (Figure N:°52).



## RÉSULTATS :

### 4.2.25 LA PLACE DE LA SIMULATION / LE SEXE :

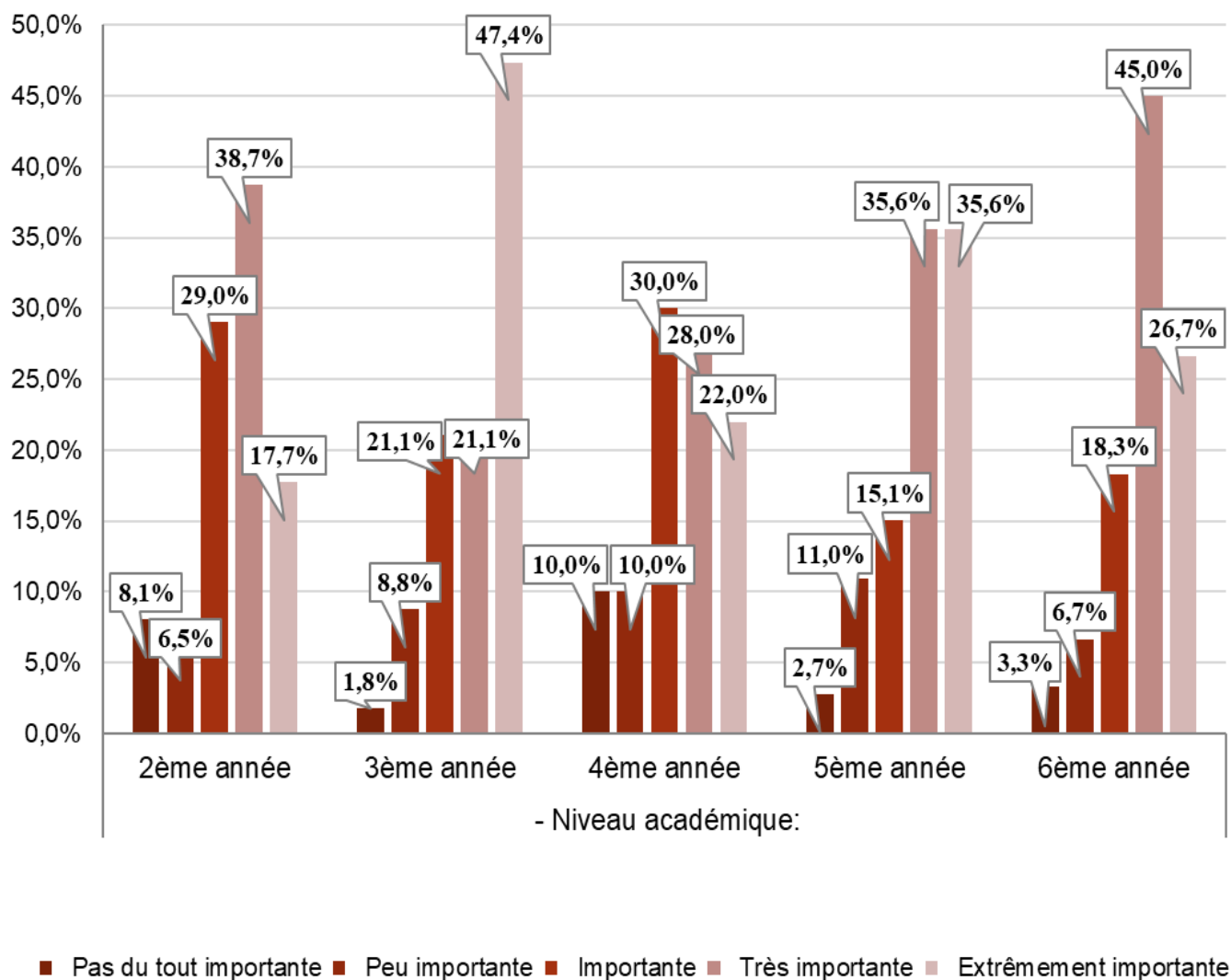


**Figure 53:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la simulation et le sexe.

La place de la simulation décrite était identique aussi bien chez les étudiantes que les étudiants. La corrélation était statistiquement non significative « le test du X<sup>2</sup> (p=0,056) ». (Figure N:°53).

## RÉSULTATS :

### 4.2.26 LA PLACE DE LA SIMULATION / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :

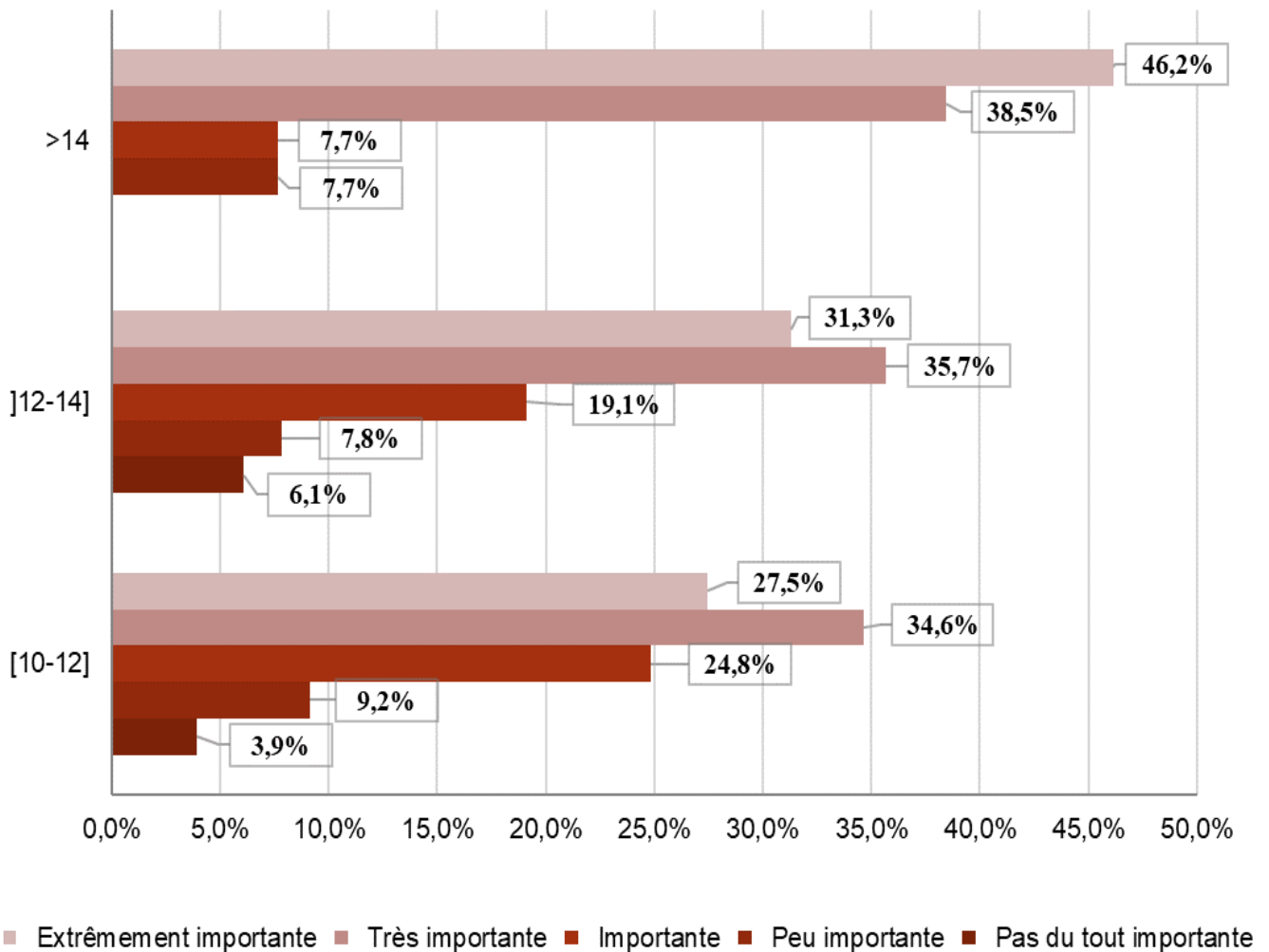


**Figure 54:** Répartition des réponses des étudiantes en fonction de la place de la simulation et le niveau académique.

Par contre, le niveau académique semblait influencer la place de la simulation dans notre formation. La relation était statistiquement significative « le test du X2 ( $p=0,026$ ) ». (Figure N:°54).

## RÉSULTATS :

### 4.2.27 LA PLACE DE LA SIMULATION / LA MOYENNE DU CURSUS :

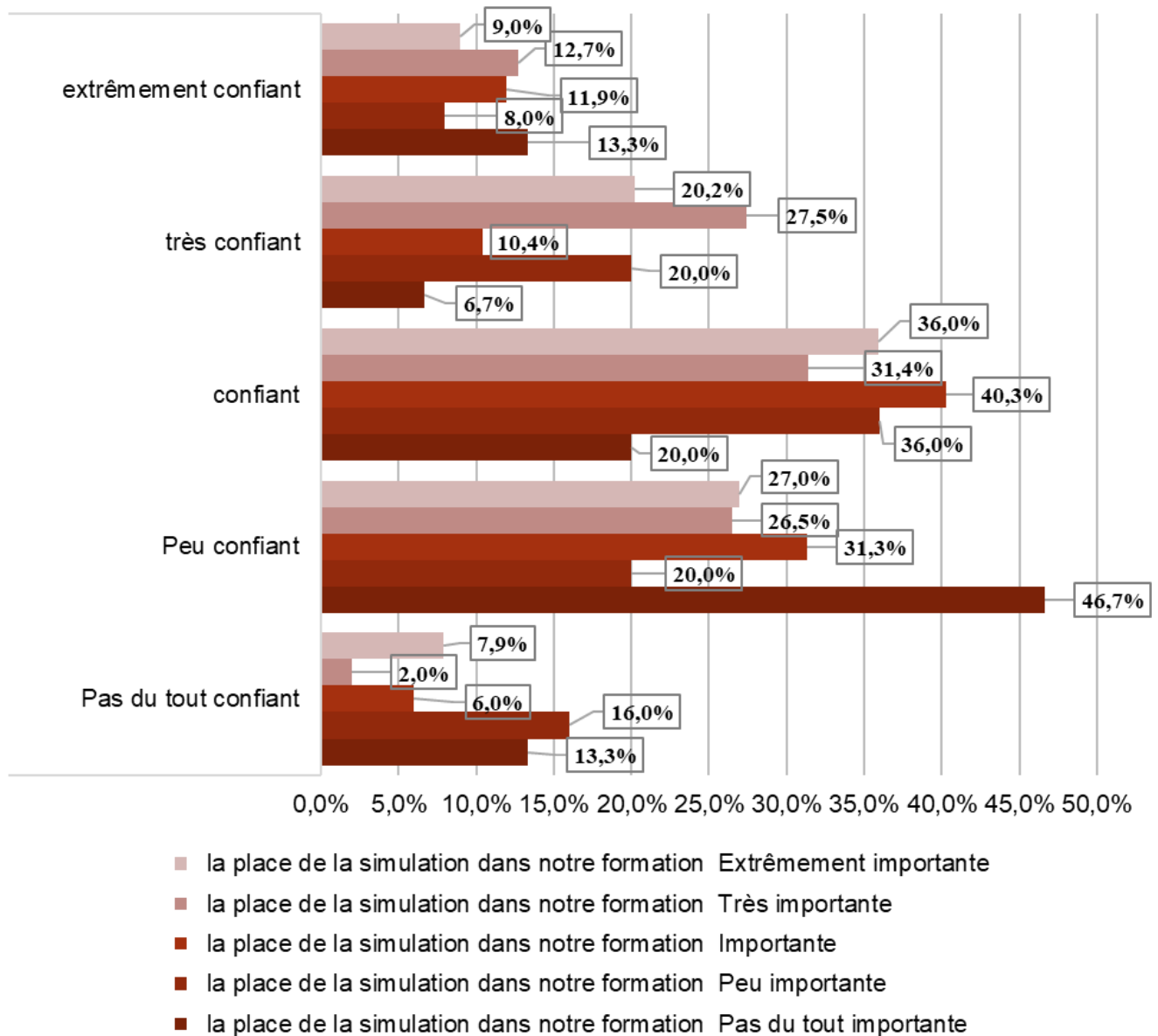


**Figure 55:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la simulation dans notre formation et la moyenne su cursus.

La place de la simulation ne dépendait pas de la moyenne du cursus. La relation était statistiquement non significative « le test du X2 ( $p=0,730$ ) ». (Figure N:°55).

## RÉSULTATS :

### 4.2.28 LA PLACE DE LA SIMULATION / LA CONFIANCE EN SOI :

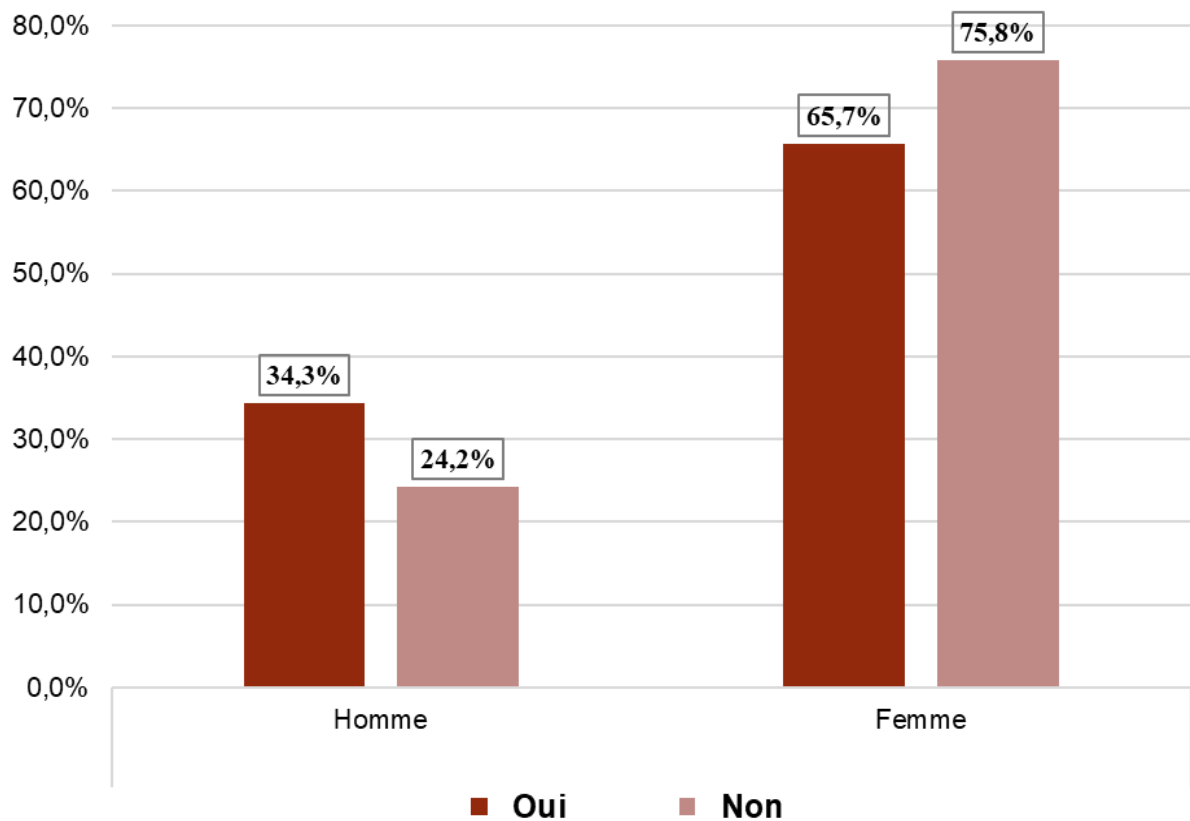


**Figure 56:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire et la place de la simulation dans notre formation.

La place de la simulation dans notre formation était la même aussi bien chez les plus confiants vers les moins confiants. La relation était statistiquement non significative « le test X2 ( $p=0,172$ ) ». (Figure N:°56).

## RÉSULTATS :

### 4.2.29 LA CONNAISSANCE DE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / SEXE :

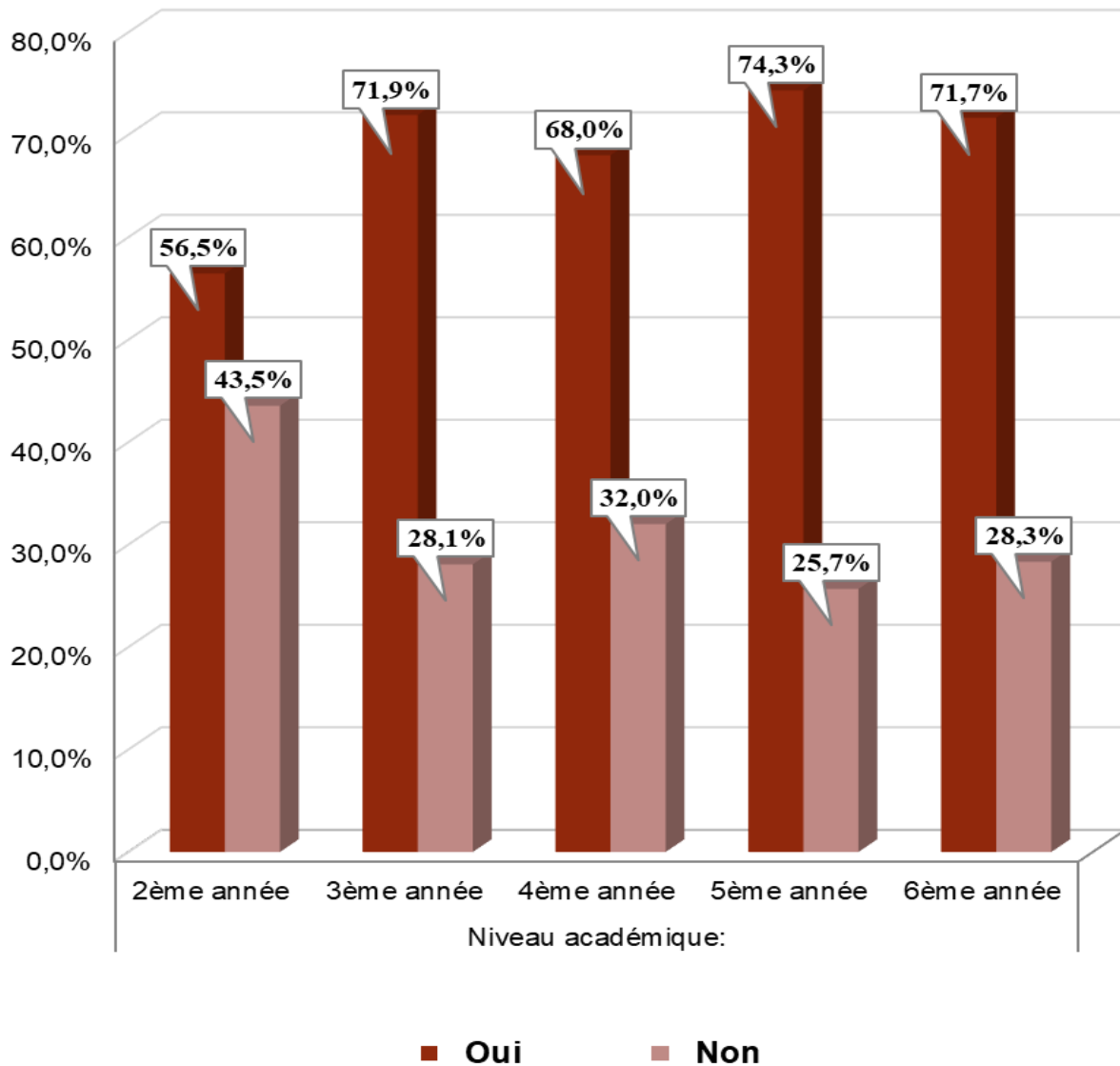


**Figure 57:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la connaissance de la VR et le sexe.

Idem, le sexe ne semblait pas influencer la connaissance de la réalité virtuelle. La relation était statistiquement non significative « le test du X2 ( $p=0,079$ ) ». (Figure N:°57).

## RÉSULTATS :

### 4.2.30 LA CONNAISSANCE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :

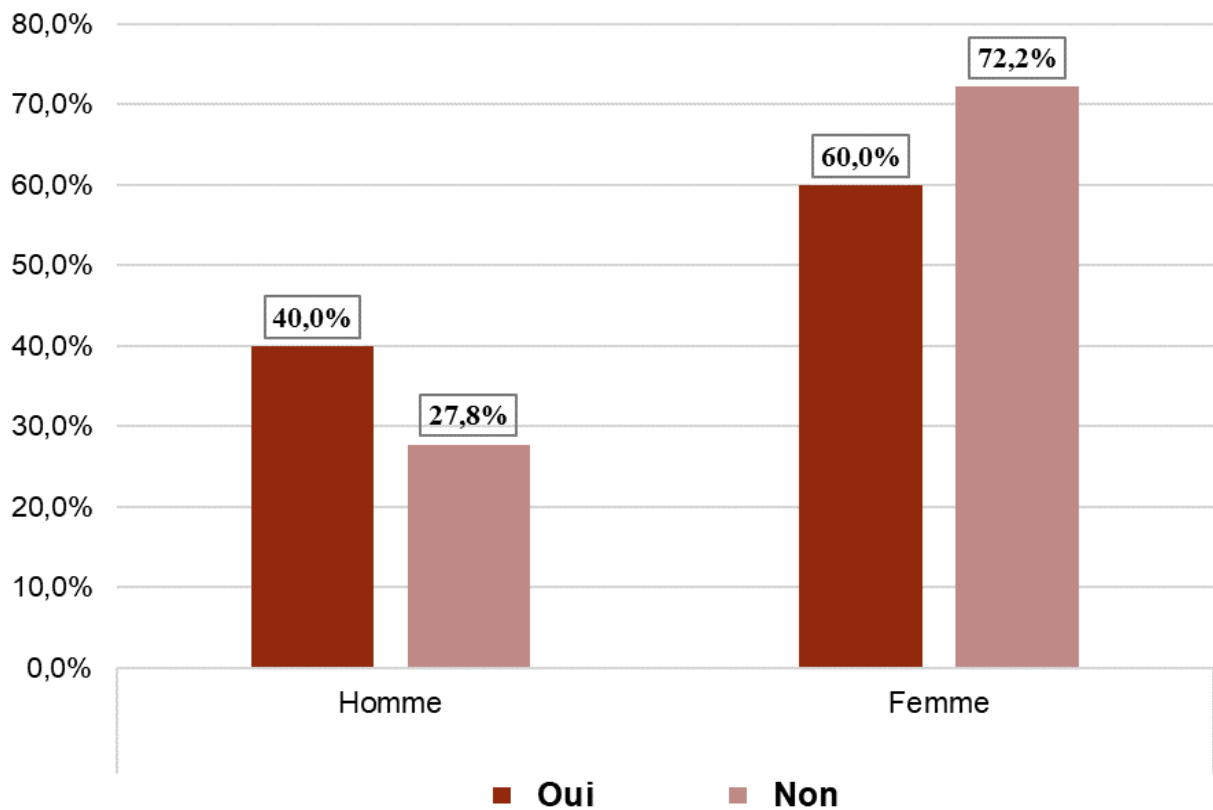


**Figure 58:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la connaissance de la VR et le niveau académique.

Le niveau académique ne semblait pas influencer la connaissance de la réalité virtuelle, puisque la même réponse affirmative a été transmise par l'ensemble des participants. La relation était statistiquement non significative « le test du X2 ( $p=0,204$ ) ». (Figure N:°58).

## RÉSULTATS :

### 4.2.31 L'UTILISATION DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / SEXE :

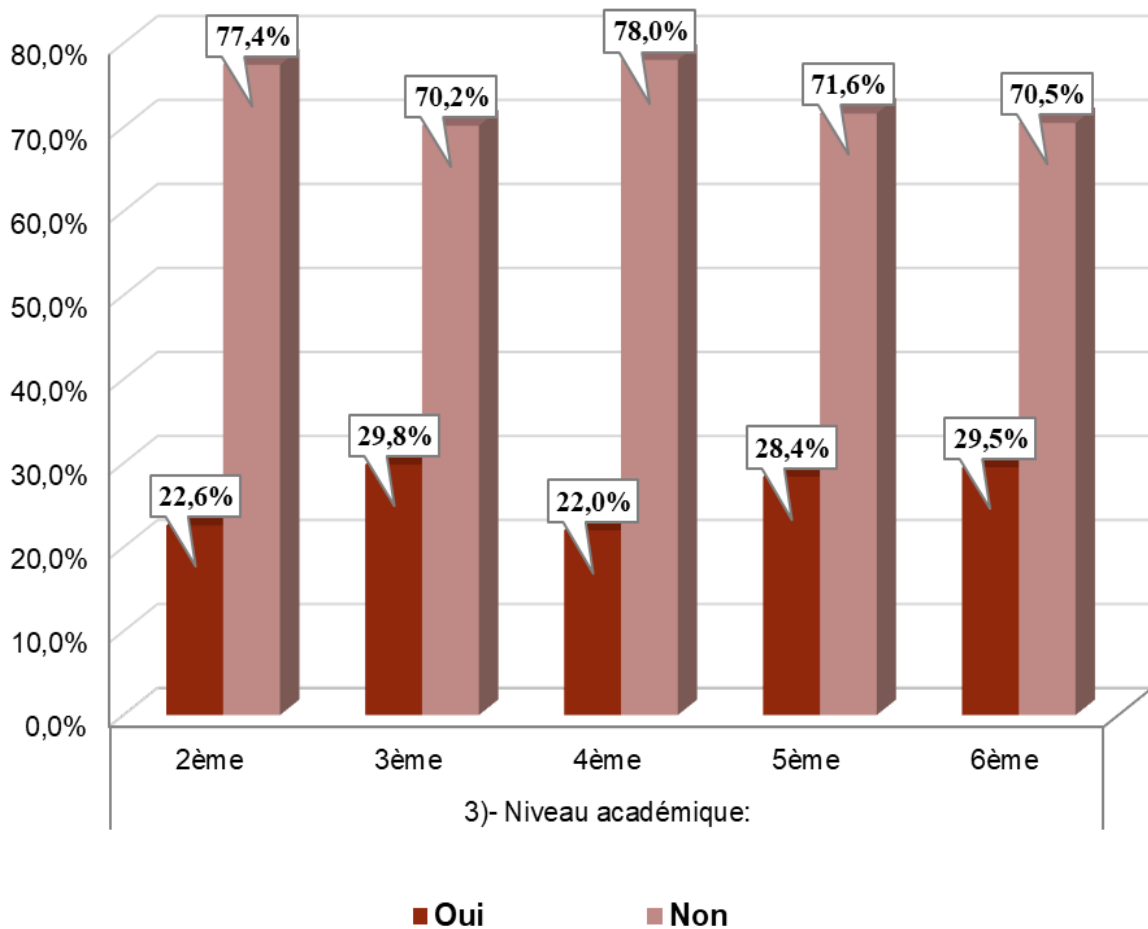


**Figure 59:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'utilisation de la réalité virtuelle et le sexe.

Au contraire, le sexe semblait influencer l'utilisation de la réalité virtuelle. La relation était statistiquement significative « le test du X2 ( $p=0,043$ ) ». (Figure N:°59).

## RÉSULTATS :

### 4.2.32 L'UTILISATION DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :



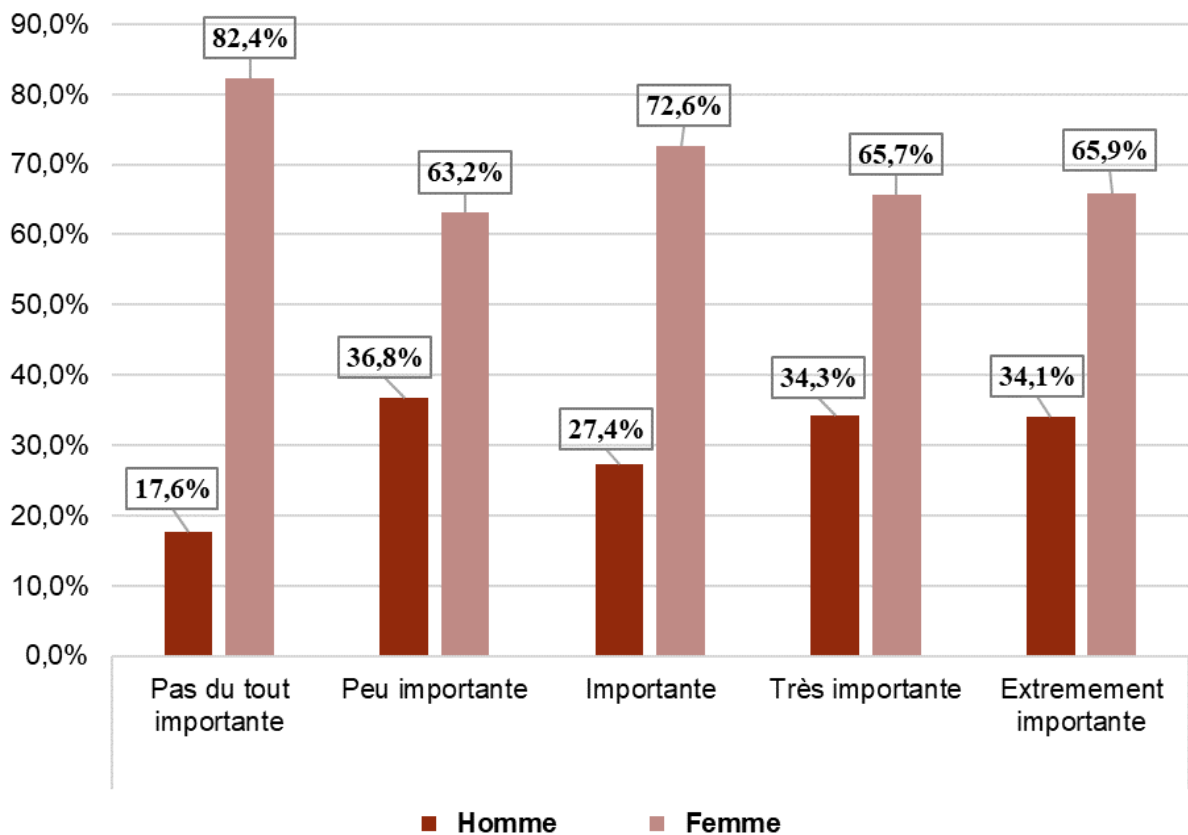
**Figure 60:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'utilisation de la VR et le niveau académique.

La réponse à l'utilisation préalable de la réalité virtuelle était la même chez tous nos collègues. La relation était statistiquement non significative « le test du X2 ( $p=0,783$ ) ». (Figure N:°60).



## RÉSULTATS :

### 4.2.33 LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE SEXE :

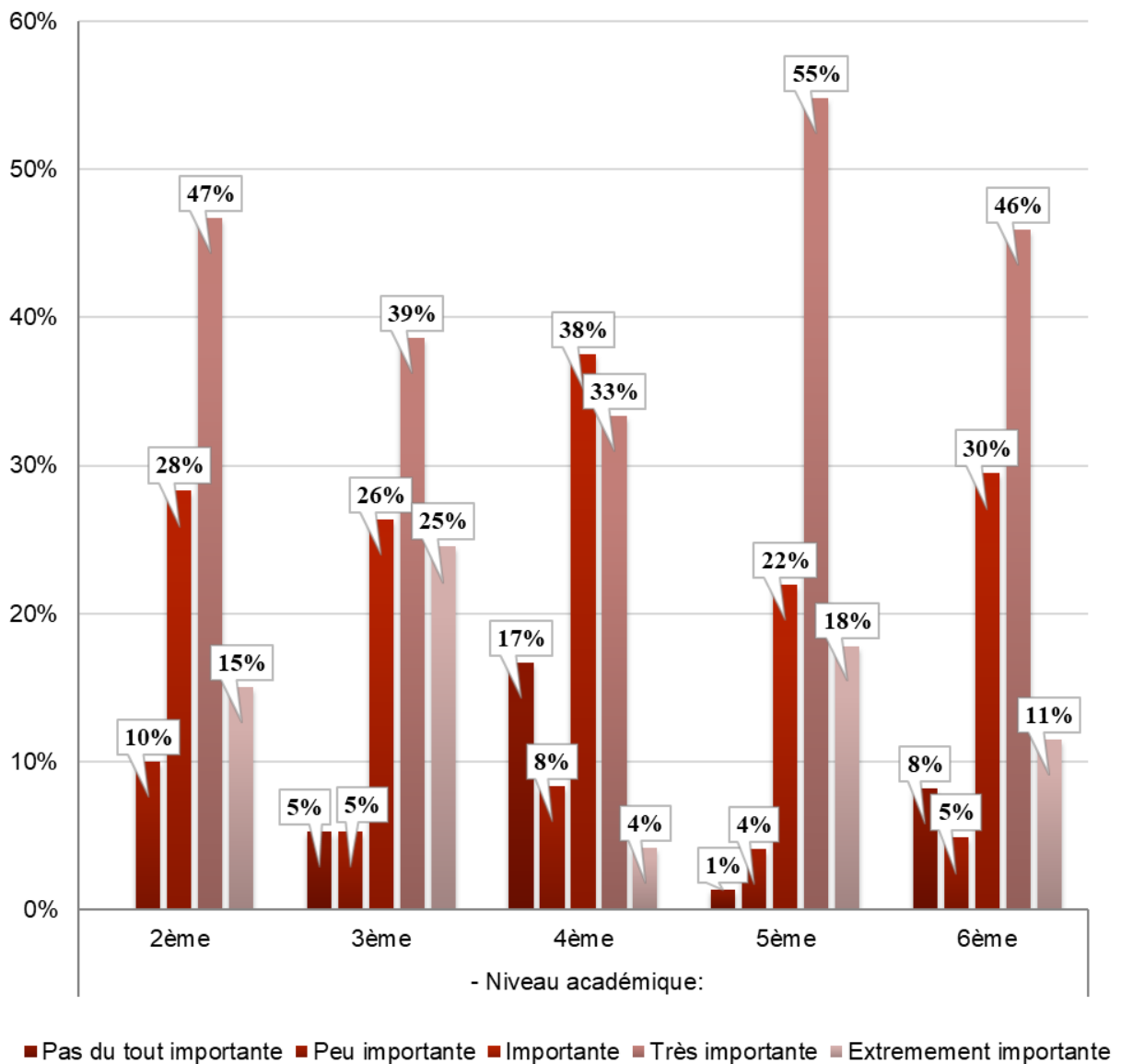


**Figure 61:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la réalité virtuelle et le sexe.

Que ce soit pour les étudiantes ou étudiants, la place que pourrait occuper la réalité virtuelle dans notre formation était identique. La relation était statiquement non significative « le test Khi-deux ( $p=0,549$ ) ». (Figure N:°61).

## RÉSULTATS :

### 4.2.34 LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :

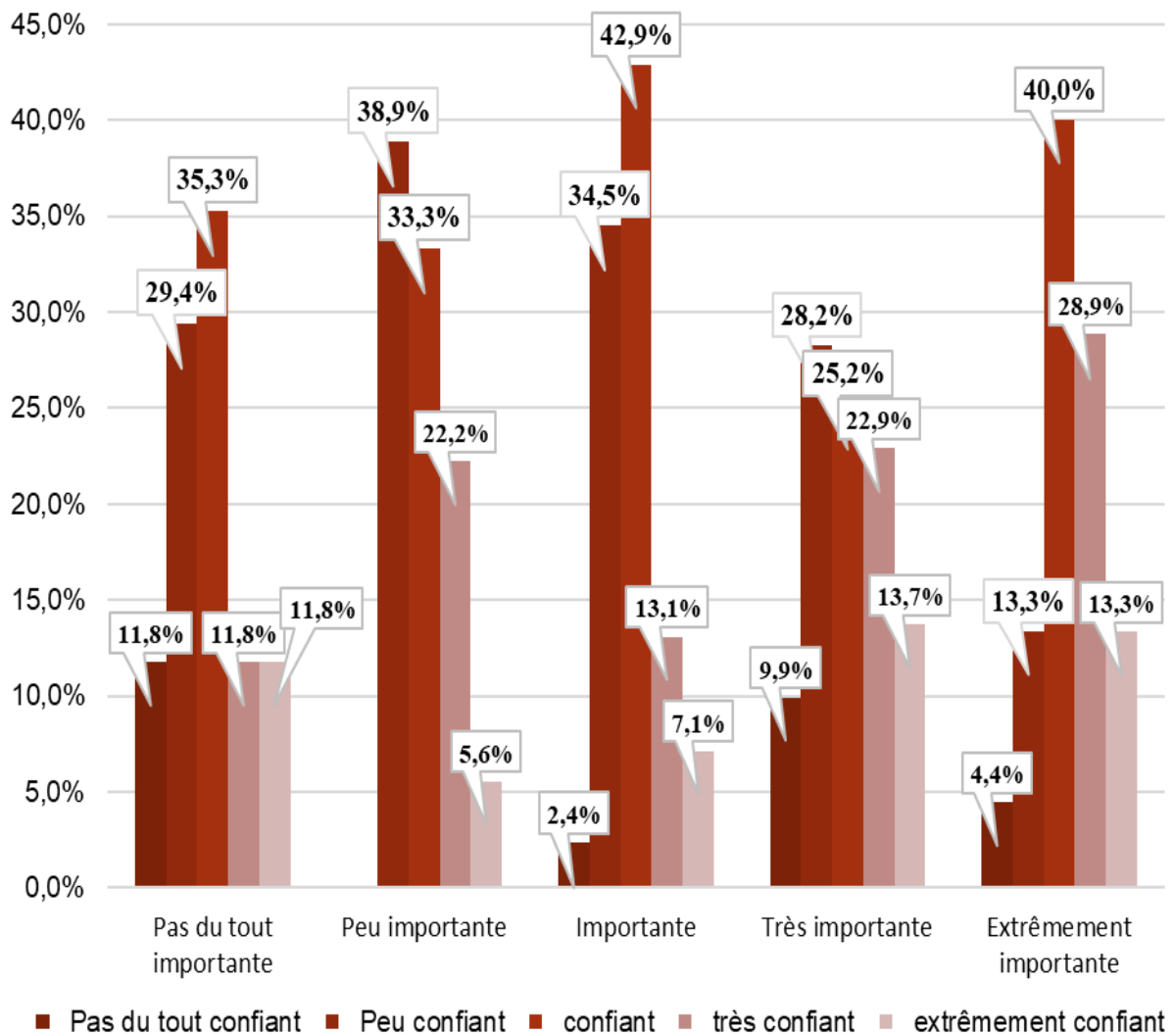


**Figure 62:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la VR et le niveau académique.

Par contre, le niveau académique semblait influencer la réponse quant à la place de la VR dans notre formation. Le lien était statistiquement très significatif « le test du X2 ( $p=0,007$ ) ». (Figure N:°62).

## RÉSULTATS :

### 4.2.35 LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LA CONFIANCE EN SOI :

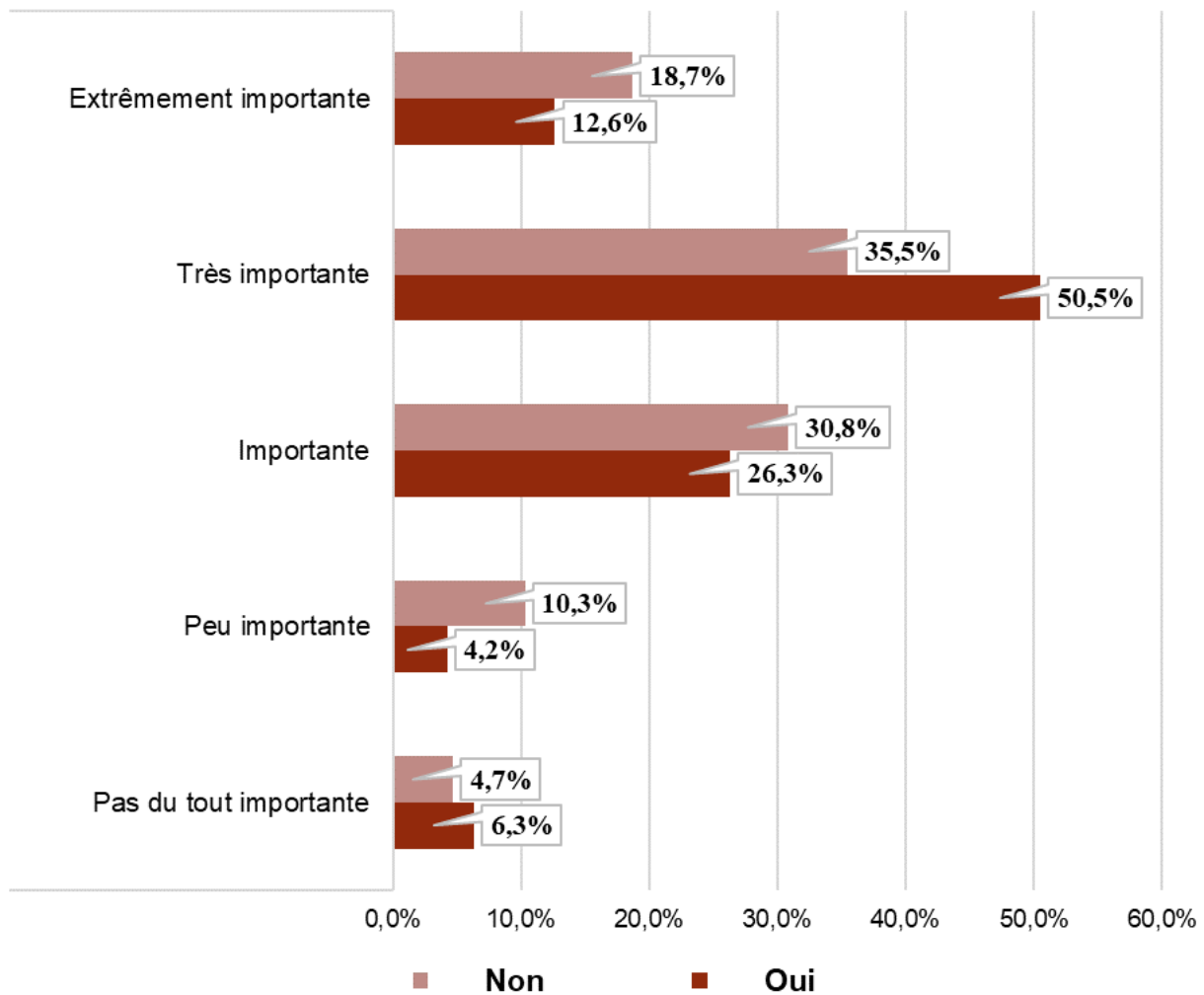


**Figure 63:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la VR et la confiance en soi pour réaliser un acte dentaire.

À l’opposé, la confiance en soi ne semblait pas influencer la place de la VR dans notre formation. La corrélation était statistiquement non significative, confirmé par le test du X2 ( $p=0,071$ ). (Figure N:°63).

## RÉSULTATS :

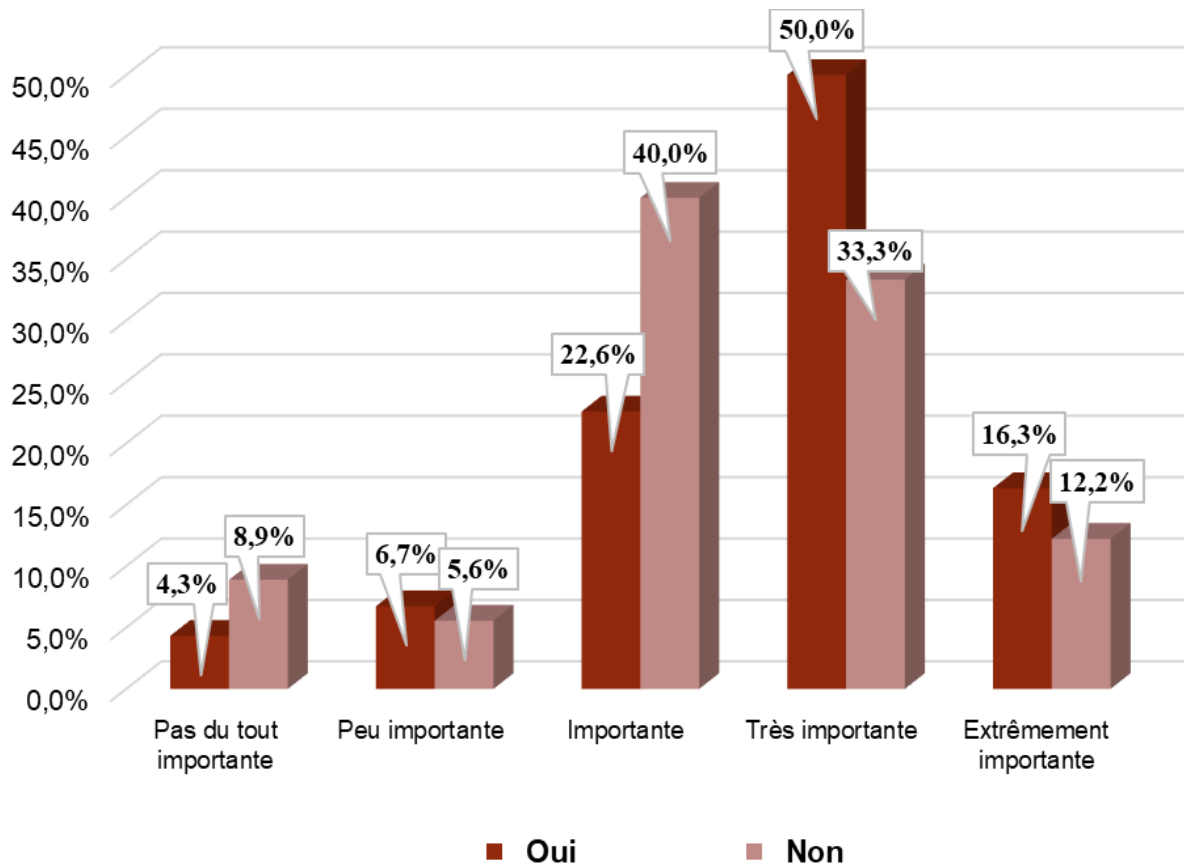
### 4.2.36 LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE TRAVAIL SUR UN SIMULATEUR :



**Figure 64:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la VR dans notre formation et le travail déjà sur un simulateur.

La place de la réalité virtuelle dans notre formation était corroborée par le travail déjà sur un simulateur. Une association significative a été observée, confirmé par le test X2 ( $p=0,042$ ). (Figure N:°64).

4.2.37 LA PLACE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / SA CONNAISSANCE :

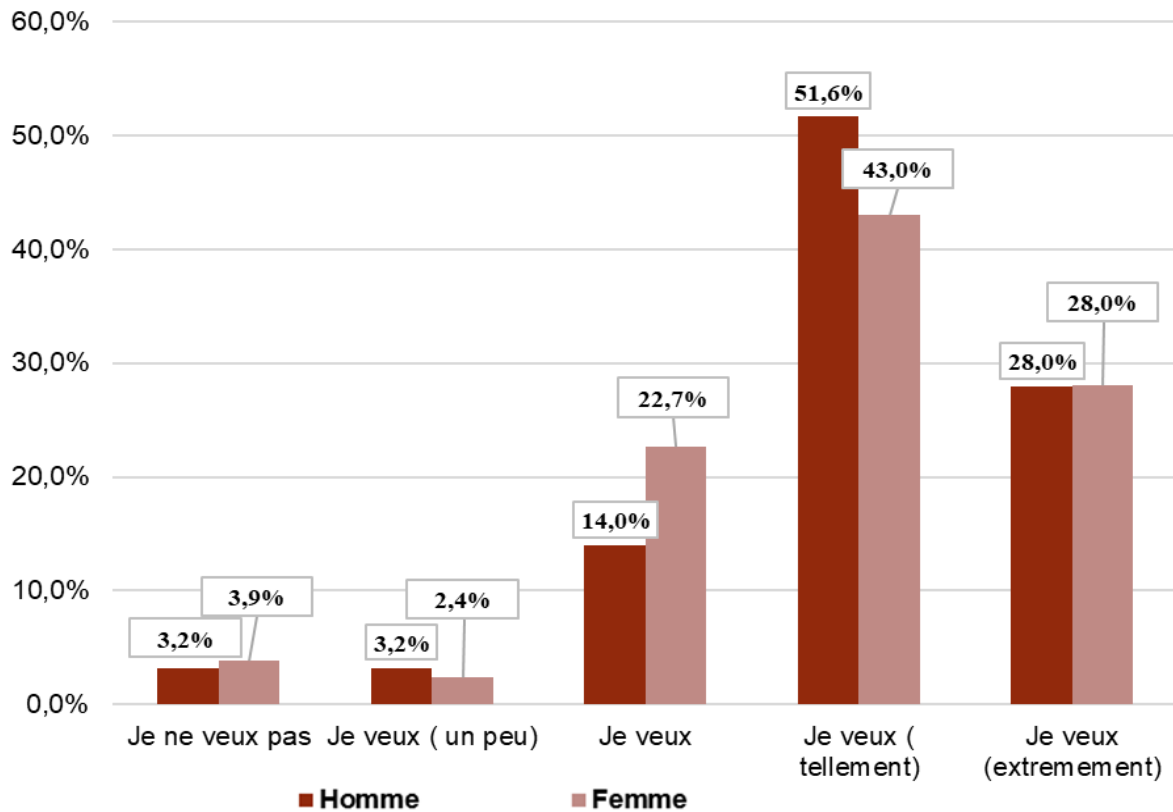


**Figure 65:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de la place de la VR et sa connaissance.

La majorité de nos collègues ne connaissaient pas la réalité virtuelle, ils ont quand même répondu par sa place évidente dans notre apprentissage. La relation était statistiquement très significative « le test X2 ( $p=0,008$ ) ». (Figure N:°65).

## RÉSULTATS :

### 4.2.38 LE DÉSIR D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE DANS NOTRE FORMATION / LE SEXE :

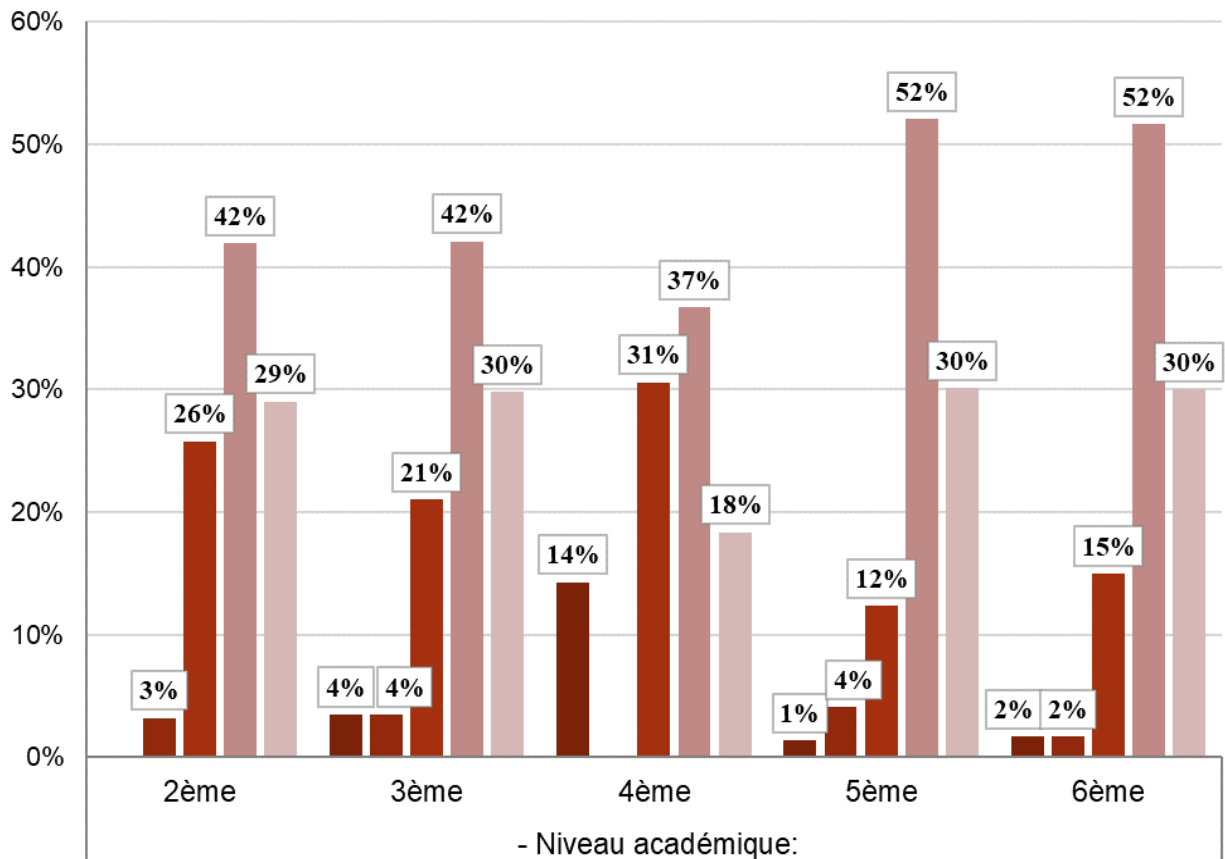


**Figure 66:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation et le sexe.

Le désir d'avoir la VR dans notre formation était le même, exprimé aussi bien par nos consœurs et confrères. La corrélation était statistiquement non significative « le test du X2 ( $p=0,446$ ) ». (Figure N:°66).

## RÉSULTATS :

### 4.2.39 LE DÉSIR D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :



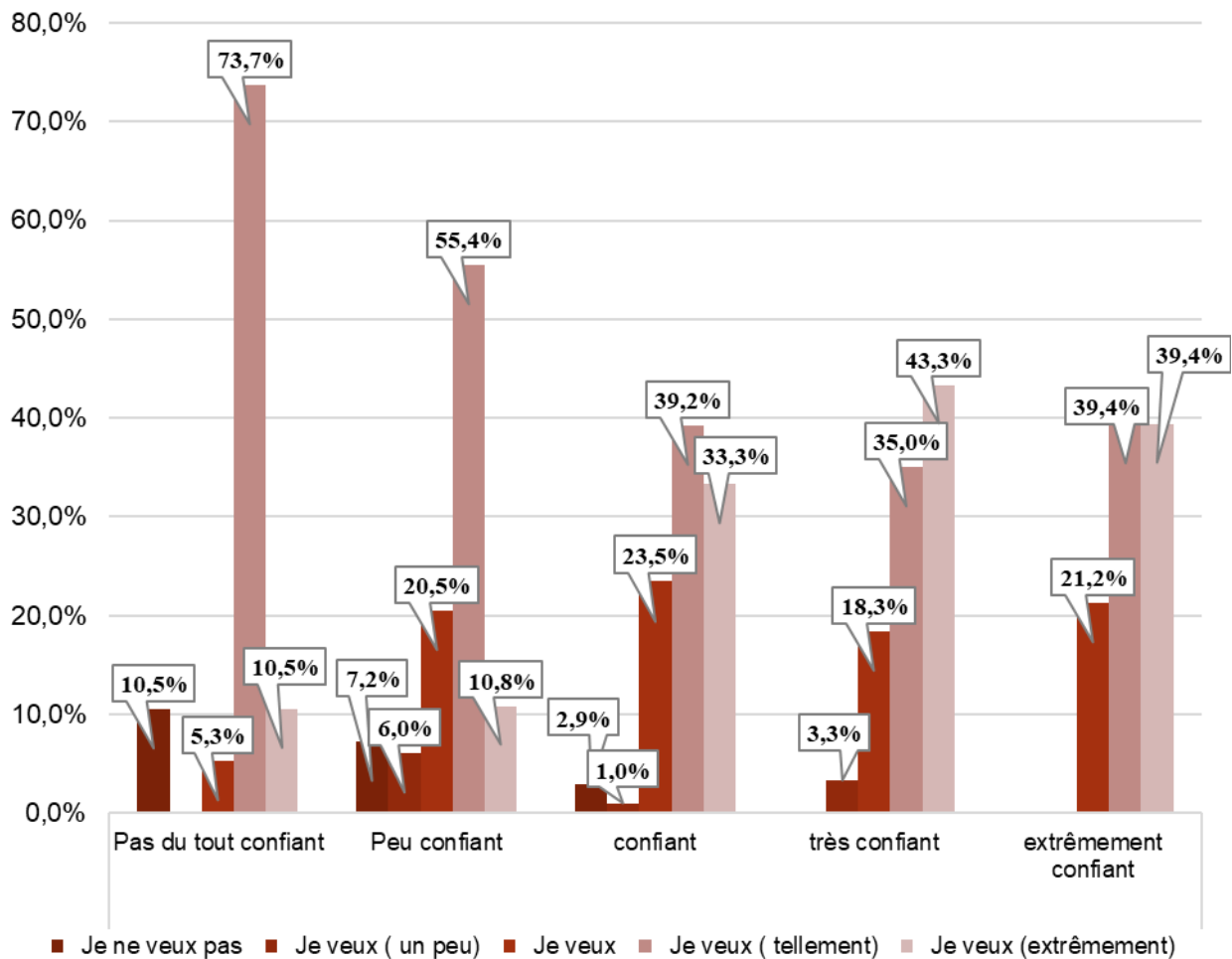
■ Je ne veux pas ■ Je veux ( un peu) ■ Je veux ■ Je veux ( tellement) ■ Je veux (extrêmement)

**Figure 67:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation et le niveau académique.

A l'opposé, Le souhait d'avoir la VR dans notre formation était proportionnel au niveau académique. La relation était statistiquement très significative « le test du X2. ( $p=0,009$ ) ». (Figure N:°67).

## RÉSULTATS :

### 4.2.40 LE DÉSIR D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LA CONFIANCE EN SOI :



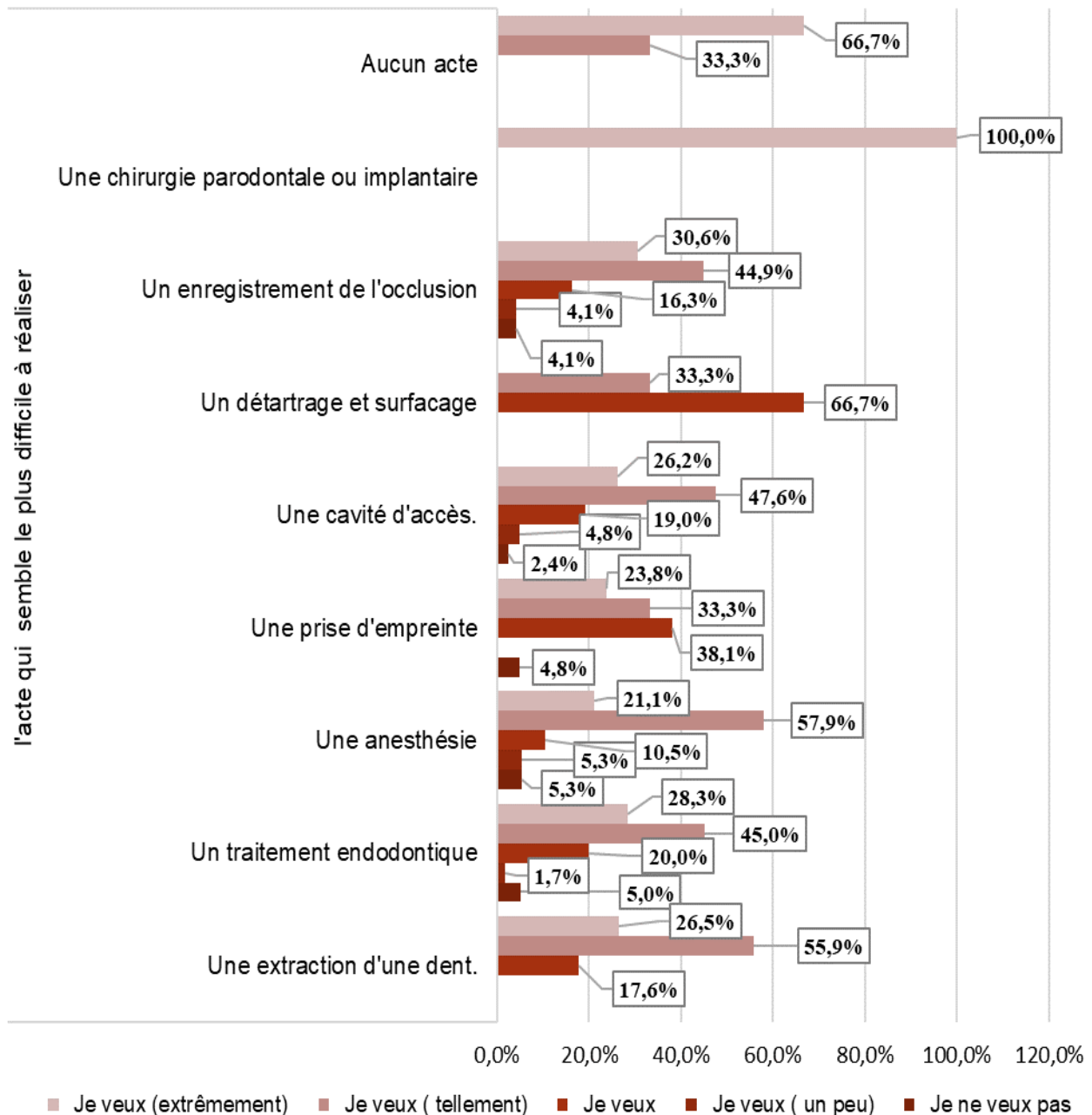
**Figure 68:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation et la confiance en soi.

Là aussi, la confiance en soi semblait influencer le désir d'avoir la réalité virtuelle. La relation était statistiquement très significative, confirmé par le test du Khi-deux ( $p=0,000$ ). (Figure N:°68).



## RÉSULTATS :

### 4.2.41 LE DÉSIR D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE / L'ACTE LE PLUS DIFFICILE :

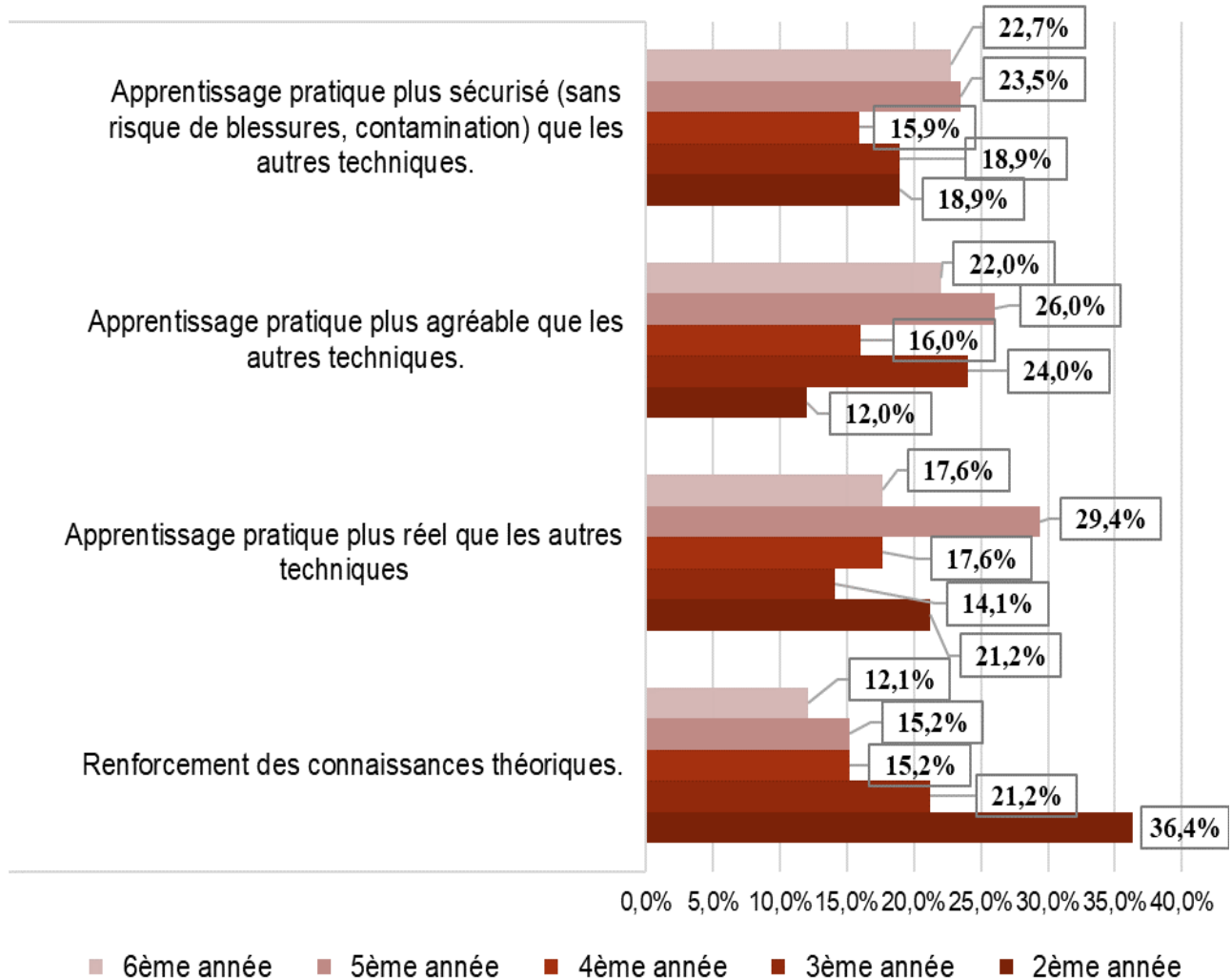


**Figure 69:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation et l'acte qui semble le plus difficile à réaliser.

Quel que soit les difficultés rencontrées lors de la réalisation des différents actes, le désir d'avoir la réalité virtuelle était le même. La relation était statistiquement non significative « le test du X2 ( $p=0,781$ ) ». (Figure N:°69).

## RÉSULTATS :

### 4.2.42 LE MEILLEUR AVANTAGE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :

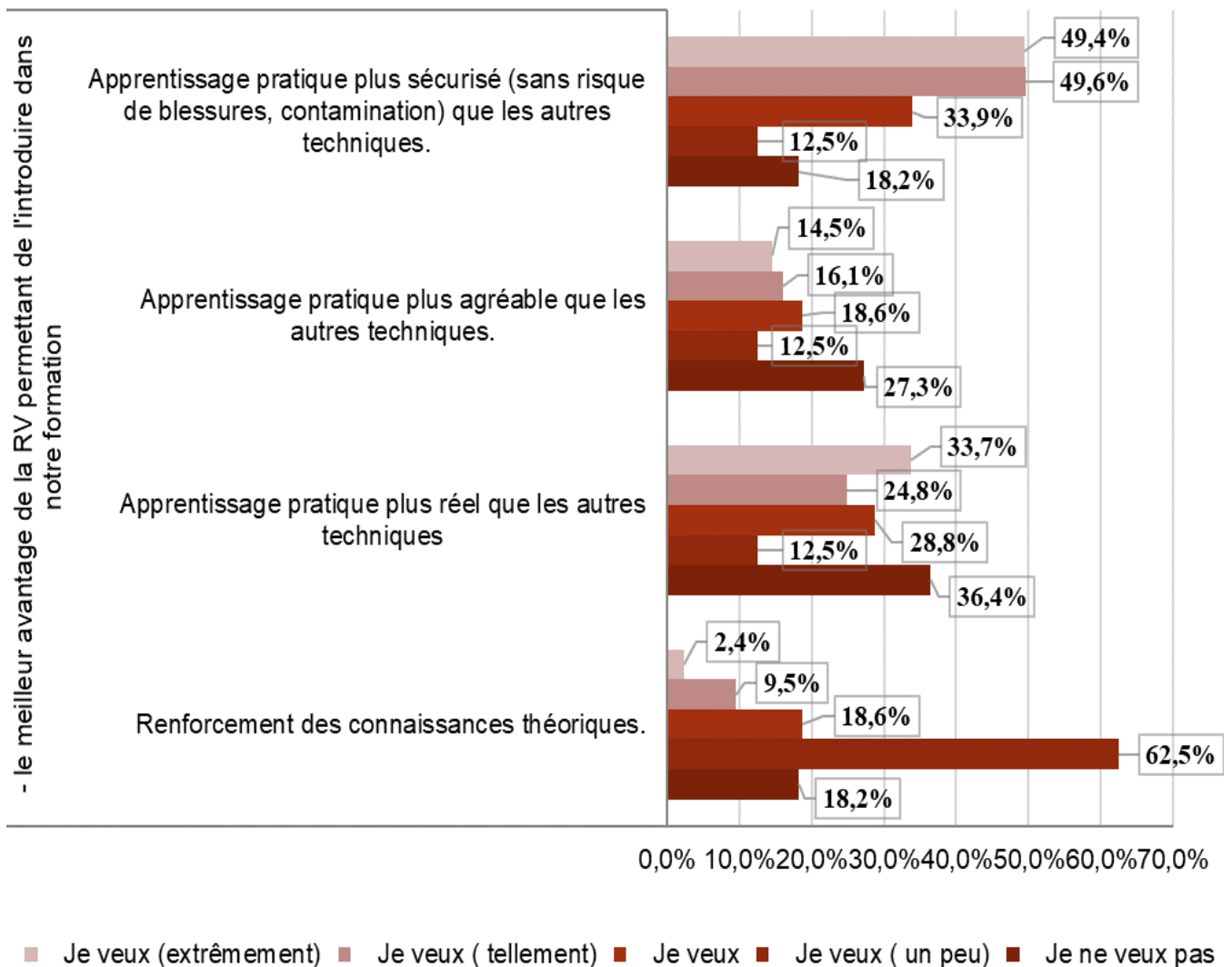


**Figure 70:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du meilleur avantage de la VR et le niveau académique.

Le meilleur avantage relaté par nos répondants était différent d'un niveau académique à un autre. La relation était statistiquement non significative, confirmé par le test du Khi-deux ( $p=0,450$ ). (Figure N:°70).

## RÉSULTATS :

### 4.2.43 LE DÉSIR D'AVOIR LA RÉALITÉ VIRTUELLE / LE MEILLEUR AVANTAGE :

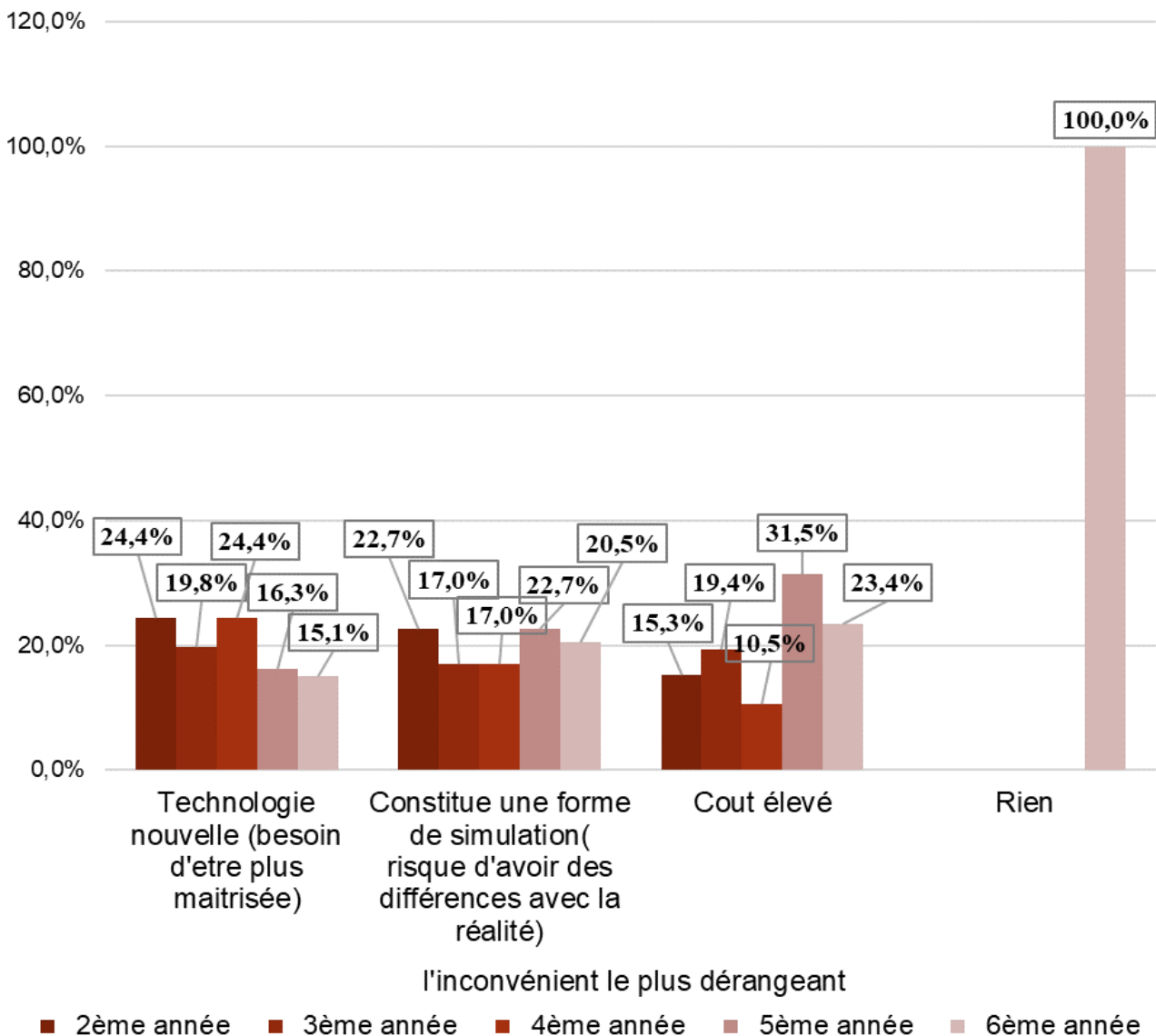


**Figure 71:** Répartition des réponses des étudiants en fonction du désir d'avoir la VR dans notre formation et son meilleur avantage.

Malgré cela, quel que soit cet avantage, le désir d'avoir la réalité virtuelle était le même. La relation était statistiquement très significative « le test du X2 ( $p=0,000$ ) ». (Figure N:°71).

## RÉSULTATS :

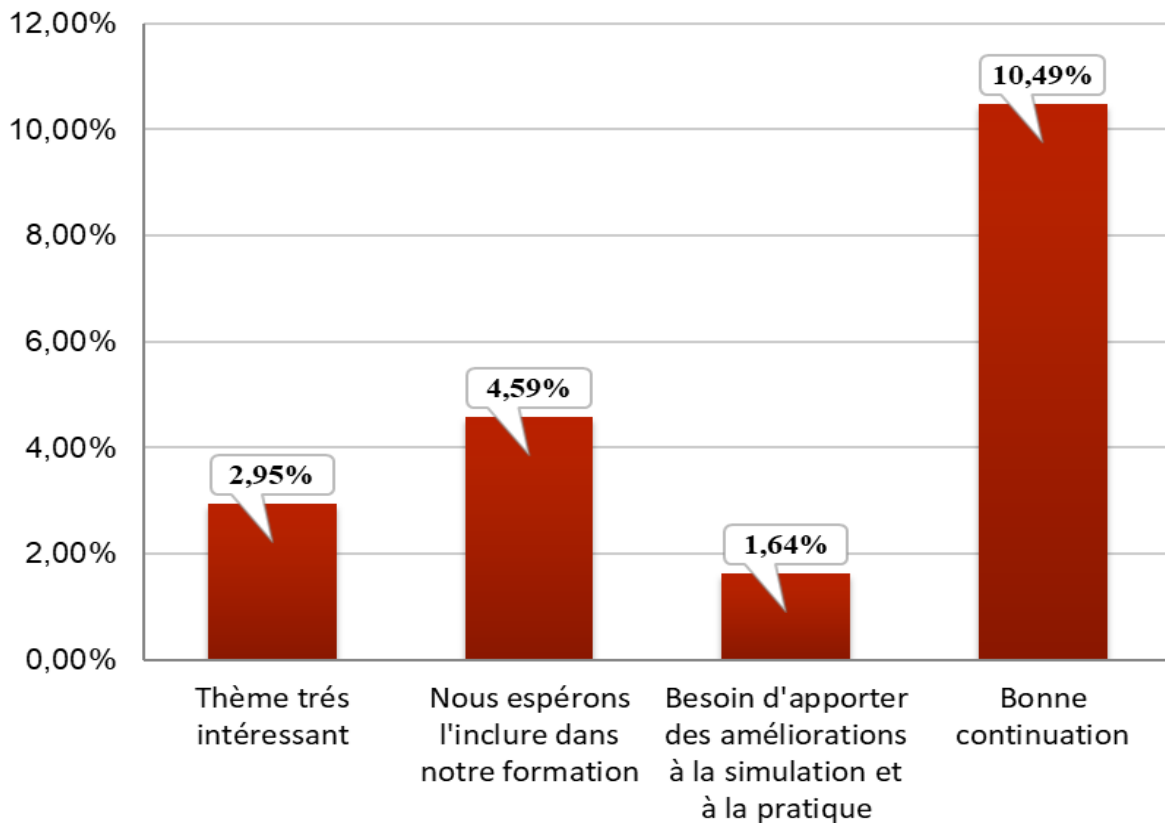
### 4.2.44 L'INCONVÉNIENT LE PLUS DÉRANGEANT / LE NIVEAU ACADÉMIQUE :



**Figure 72:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de l'inconvénient le plus déranger de la VR et le niveau académique.

Même constat, concernant le niveau académique et l'inconvénient qui pouvait le plus déranger. La relation était statiquement non significative. « Le test du X2 ( $p=0,081$ ) ». (Figure N:°72).

### 4.2.45 LES AVIS :



**Figure 73:** Répartition des réponses des étudiants en fonction de leurs avis concernant la place de la réalité virtuelle dans notre formation.

Différents avis ont été émis concernant notre thématique : (10,49%) nous souhaitent une bonne continuation, (4,59%) espéraient d'inclure la réalité virtuelle dans notre formation, (2,95%) pensaient que c'était un thème très intéressant et enfin (1,64%) besoin d'apporter des améliorations à la simulation et à la pratique. (Figure N:°73).



**DISCUSSION :**



### 5 DISCUSSION :

- L'analyse du profil démographique de notre échantillon a montré que l'âge variait entre 18-26 ans, avec une moyenne de  $21,29 \pm 0,009$  ans et un écart type de :  $\sigma=1,727$ . Le plus représenté était celui de 20 ans (21,31%).
- La majorité de nos répondants était du sexe féminin, représentant (69%), avec une sex-ratio de 0,45.
- Notre échantillon était constitué de (39,02%) des étudiants en cycle pré-clinique, (40,65%) en cycle clinique et (20%) d'internes. Les 5<sup>èmes</sup> années qui ont représenté le taux de participation le plus élevé (24,26%), ainsi que les étudiants de 4<sup>èmes</sup> années ont affiché le taux le plus bas (16,39%).
- Les moyennes du cursus comprises entre [12- 10] d'une session normale étaient les plus perçues à (50,49%).
- En décrivant la confiance en soi, (33,70 %) de nos collègues étaient plutôt confiants pour réaliser un acte dentaire, (27,87%) étaient peu confiants, suivi par (19,67%) très confiants, (10,82%) extrêmement confiants et enfin (6,23%) qui n'étaient pas du tout confiants.
- Le traitement endodontique était identifié comme l'acte le plus difficile à réaliser avec un taux de (40%), sans doute à cause de la nécessité de l'instrumentation mécanisée qui n'était pas sans risque ainsi que les variations anatomiques des dents augmentant cette difficulté, en comparaison avec le détartrage et le surfaçage qui a représenté le taux le plus faible (01%).
- Concernant la cause de cette difficulté, la peur d'échec était la réponse la plus fréquente (39,02%), grâce au facteur psychologique qui jouait un rôle primordial sur la qualité et la productivité des actes dentaires par nos collègues. Ensuite la non acquisition des connaissances théoriques à (25,6%) ce qui montrait que cette dernière constituait la première étape pour la réussite de la pratique dans notre domaine, un acte non maîtrisé à (18,69%) et enfin le manque de confiance en soi à (8,85%) lors de la prise en charge des patients réels, confirmant les lacunes secondaires à l'insuffisance des séances pratiques, notamment « la simulation » dans les deux cycles, pré-cliniques et cliniques.
- La plupart de nos répondants ont déjà travaillé sur un simulateur dentaire (63,6%).
- La place de la simulation en médecine dentaire était très importante d'après (34,11%) de nos participants car ils ont la possibilité de simuler les différentes procédures dentaires sur une tête fantôme ou autre, augmentant ainsi leurs confiances en soi et la maîtrise du geste lors de la première fois sur des vrais patients.

## DISCUSSION :

- La plupart de nos confrères et consœurs connaissaient la réalité virtuelle à (64%), mais seulement (26,64%) qui l'ont déjà utilisé auparavant.
- Concernant la place de la réalité virtuelle dans notre formation (44,82%) des étudiants ont répondu qu'elle était très importante car elle va fournir des outils pédagogiques susceptibles de réduire les difficultés et les obstacles pour une meilleure transition vers la pratique ainsi que l'amélioration de leurs compétences théoriques et procédurales notamment à distance. Puis (28,09%) disaient qu'elle était importante, (15,05%) ont répondu par extrêmement importante. Nos résultats convergeaient avec ceux de l'étude réalisée par **Huang et coll en Chine, en 2023** les réponses des participants au questionnaire montraient que la plupart d'entre eux manifestaient un fort intérêt pour le système de la réalité virtuelle.
- Quarante-cinq virgule cinquante et un pour cent de nos répondants ont exprimé le désir d'avoir la réalité virtuelle par « tellement ». Les données indiquaient aussi un fort désir et une appréciation croissante d'intégrer la réalité virtuelle dans notre formation « (27,91%) voulaient extrêmement l'avoir ». Nos résultats se rapprochaient de ceux décrits par l'étude réalisée par **Zafar et coll en Australie en 2021**, où la plupart de leurs participants (43,5%) après avoir tester le dispositif (Meta Oculus Quest) étaient enthousiastes à l'idée de l'utiliser.
- L'apprentissage pratique plus sécurisé (sans risque des blessures, contaminations) que les autres techniques était le meilleur avantage décrit de la réalité virtuelle (44%), suivi par « un apprentissage pratique plus réel que les autres techniques » (28,33%), puis un apprentissage pratique plus agréable (16,67%) et enfin le renforcement des connaissances théoriques (11%). Nos résultats étaient similaires à ceux transmis par **Wesselink et coll, Vervoorn et coll, Serrano et coll (Amsterdam en 2020)**, permettant d'atteindre les objectifs de formation dans des conditions amplement sécurisées. Le même avantage retenu dans l'étude de : **Elham Monaghesh et coll en Iran en 2023**, qui montrait que pendant la pandémie de COVID-19, les étudiants en médecine dentaire ont pu continuer leurs apprentissages sans aucune entrave, ni risque de contamination du aux avantages de l'enseignement en distanciel. L'étude de **KAMRAN Ali et coll à Qatar en 2023**, a indiqué que grâce à la VR, les étudiants pouvaient améliorer leurs compétences psychomotrices et leurs connaissances théoriques avant de passer à la prise en charge des patients. La génération actuelle des étudiants étaient plus à l'aise avec les technologies numériques, bénéficiaient ainsi d'un environnement d'apprentissage déjà familier mais en même temps varié grâce à cette technologie, qui agissait comme un lien entre les transitions sociétales et l'enseignement. Aussi celle de **Zhou et coll en Chine en 2021**, qui montrait que le recours à la réalité virtuelle permettait d'améliorer de manière systématique l'apprentissage, en étant plus tolérants aux erreurs « Retour sur erreurs », en plus, de réduire le gaspillage des différents matériaux pour des facultés écologiquement responsables.



## DISCUSSION :

- Par contre l'inconvénient le plus dérangentant selon nos répondants était le coût élevé (41,5%), le même résultat dans les études de : **Y Huang, Y Hu, U Chan, P Lai, Y Sun, J Dai, X Cheng, X Yang Peer J, en Chine 2023** qui ont déclaré que les installations de la réalité virtuelle exigeaient des équipements particuliers qui sont très coûteux. D'autres limites ont été relatées dans l'étude de **Wesselink et coll (Amsterdam-2020)**, telles que : le temps nécessaire était long pour développer une application en VR, ainsi que les différences entre la réalité virtuelle et les situations cliniques, exemple : l'absence de sensation « perception tactile » de différence de dureté entre l'émail, la dentine et les tissus mous, mais surtout les réactions des patients. Par contre les progrès notés dans ce domaine et la mise en place de plus en plus de systèmes simples tels que la simulation virtuelle de l'apicectomie dans le simulateur « Voxel-Man » qui ont permis de contrer l'inconvénient du coût « inconvénient économique » face aux nombreux avantages pédagogiques mais aussi l'accessibilité et l'interactivité en temps réel via les ordinateurs et les smartphones.
- La confiance en soi pour réaliser un acte dentaire était la même chez les étudiantes que les étudiants. Le sexe ne semblait pas l'influencer, confirmé par le test du X<sup>2</sup> ( $p=0,064$ ), le lien était statistiquement non significatif. Nos résultats étaient similaires à ceux de l'étude de **Pulijala et coll en Angleterre en 2017**, avec pour population d'étude des résidents en chirurgie où aucune différence significative entre les deux sexes n'a été relevée. La relation était aussi statistiquement non significative, « test du X<sup>2</sup> ( $p=0,674$ ) ». À l'opposé nos résultats s'opposaient à ceux de **Huang et coll (Chine-2023)** ayant constaté que les étudiantes étaient plus confiantes après l'utilisation du système de la réalité virtuelle.
- Idem pour le niveau académique et la confiance en soi . La confiance en soi était la même décrite indépendamment de moyenne du cursus. La relation était statistiquement non significative, confirmé par le test du X<sup>2</sup> ( $p=0,055$ ).
- Aussi, le travail sur simulateur ne semblait pas influencer la confiance en soi. Le rapport était statistiquement non significatif « le test du Khi-2 ( $p=0,330$ ) ». Ce qui suggérait que l'utilisation d'un simulateur traditionnel n'a pas contribué en l'augmentation de la confiance en soi chez nos participants. Nos résultats étaient opposés à ceux de l'étude de **Wesselink et coll (en Amsterdam-2020)** qui ont confirmé que le travail sur simulateur surtout concernant les gestes invasifs, aidaient les étudiants, en développant les compétences cliniques à augmenter en parallèle leurs confiances en soi, représentant un paramètre indispensable pour prodiguer des soins sûrs et qualifiés pour les futurs patients. Un participant à cette étude a même déclaré : « La formation m'a procuré la confiance requise pour accomplir la tâche, même lors de ma première fois sur un vrai patient », de même que l'étude de **Murbay et coll en Europe en 2020, Europe**, qui ont montré que l'intégration d'un simulateur a grandement amélioré la confiance en soi des étudiants bénéficiaires ainsi que leurs performances.

## DISCUSSION :

- Cependant, la confiance en soi dépendait de la moyenne du cursus. La relation était statistiquement très significative « le test du X<sup>2</sup> ( $p=0,002$ ) ». La réussite professionnelle renforce évidemment la confiance en soi.
- La description des actes les plus difficiles à réaliser par nos participants dépendait de leurs confiances en soi. La relation était statistiquement très significative « le test du X<sup>2</sup> ( $p=0,000$ ) ». Le traitement endodontique était identifié comme l'acte le plus difficile, succédait l'extraction dentaire aussi semblait aussi être complexe pour nos répondants. Nos résultats corroboraient avec ceux de **KAMRAN Ali et coll** relatant un manque de confiance de leurs participants lors de la réalisation des traitements endodontiques, soulignant ainsi l'importance du renforcement de l'apprentissage dans ce contexte.
- Même constat concernant la cause de difficulté pour réaliser un acte dentaire et la confiance en soi. La relation était statistiquement très significative, confirmé par le test X<sup>2</sup> ( $p=0,008$ ). La peur d'échec et la non acquisition des connaissances théoriques diminuaient la confiance en soi de nos collègues et en même temps le manque de confiance augmentait la peur de l'échec.
- Selon nos collègues, les actes les plus difficiles à réaliser étaient les mêmes, tout niveau académique confondu. La relation était statistiquement très significative « le test du X<sup>2</sup> ( $p=0,006$ ) ». Le traitement endodontique était cité en premier lieu, sans doute dû au recours à l'instrumentation rotative : la turbine – le contre angle... etc., nécessitant plus de dextérité pour la réussite de l'acte.
- Idem, les causes de difficulté étaient les mêmes rencontrées. La corrélation était statistiquement très significative « le test du Khi-deux ( $p=0,006$ ) ». La peur d'échec et l'acte non maîtrisé ont englobé les réponses des étudiants du cycle clinique, tandis que la non acquisition celles des connaissances théoriques celles des étudiants du cycle pré-clinique.
- À contrario, les causes de difficultés étaient différemment perçues en fonction des moyennes du cursus. La corrélation était statistiquement non significative « le test du Khi-deux ( $p=0,357$ ) », sans doute que les mieux classées ne rencontrent pas les mêmes difficultés que le reste de leurs collègues, chez qui ces difficultés pouvaient être multiples, voir complexes expliquant la différence de leurs résultats.
- La place de la simulation décrite était identique aussi bien chez les étudiantes que les étudiants, sans démarcation. La corrélation était statistiquement non significative « le test du X<sup>2</sup> ( $p=0,056$ ) ».
- Par contre, le niveau académique semblait influencer la place de la simulation dans notre formation, dû sans doute au fait que nos collègues les plus avancés, face aux patients se rendaient plus de ce que peut apporter la réalité virtuelle et s'inclinaient naturellement devant sa place dans notre formation.
- Différemment, la place de la simulation selon nos répondants ne dépendait pas de leurs moyennes du cursus, puisque les réponses « extrêmement importante » et « très importante » étaient majoritairement les réponses les plus retrouvées dans les trois catégories des moyennes. La relation était statistiquement non significative « le test du X<sup>2</sup> ( $p=0,730$ ) ».

## DISCUSSION :

- La place de la simulation dans notre formation était la même aussi bien chez les plus confiants vers les moins confiants. La relation était statistiquement non significative « le test  $X^2$  ( $p=0,172$ ) », sans doute que même les plus confiants étaient encore demandeurs.
- Plus en relation avec notre thématique, en s'intéressant de plus près à tout ce qui pouvait avoir une relation avec la réalité virtuelle, notamment sa connaissance et les autres paramètres. À commencer par le sexe, ce dernier ne semblait pas influencer la connaissance de la réalité virtuelle, à notre étonnement les mêmes résultats étaient inscrits aussi bien chez les étudiantes que les étudiants où généralement la gente masculine est plus familière avec ces dispositifs avec leurs préférences pour les jeux vidéos. La relation était statistiquement non significative « le test du  $X^2$  ( $p=0,079$ ) ».
- Le niveau académique ne semblait pas influencer la connaissance de la réalité virtuelle, puisque la même réponse affirmative a été transmise par l'ensemble des participants. La relation était statistiquement non significative « le test du  $X^2$  ( $p=0,204$ ) ».
- De même que la connaissance de la réalité virtuelle, là aussi à notre étonnement où on pensait que les étudiants seraient plus adeptes à ce genre de dispositifs avec les jeux vidéo, la réponse à l'utilisation préalable de la réalité virtuelle était la même chez tous nos collègues. La relation était statistiquement non significative « le test du  $X^2$  ( $p=0,783$ ) ».
- Dans la continuité de notre réflexion, en ce qui pouvait influencer la place de la réalité virtuelle à commencer par le sexe, que ce soit pour les étudiantes ou étudiants, la place que pourrait occuper la VR dans notre formation était identique. La relation était statistiquement non significative « le test Khi-deux ( $p=0,549$ ) ».
- Par contre, le niveau académique semblait influencer la réponse quant à la place de la VR dans notre formation. Le lien était statistiquement très significatif « le test du  $X^2$  ( $p=0,007$ ) ». Cette place grandissante au fur et à mesure du passage du cycle pré-clinique vers le cycle clinique et l'internat offre la meilleure explication à ce résultat.
- À l'opposé, la confiance en soi ne semblait pas influencer la place de la VR dans notre formation. La corrélation était statistiquement non significative, confirmé par le test du  $X^2$  ( $p=0,071$ ). Les étudiants aussi bien confiants que les moins confiants ont exprimé la même réponse.
- La place de la réalité virtuelle dans notre formation était corroborée avec le travail déjà sur un simulateur, sachant que cette dernière n'en représente qu'une forme plus sophistiquée, moderne et susceptible d'améliorer notre pratique. Une association significative a été observée, confirmé par le test  $X^2$  ( $p=0,042$ ).
- La majorité de nos collègues ne connaissaient pas la réalité virtuelle, ils ont quand même répondu par sa place évidente dans notre apprentissage. La relation était statistiquement très significative « le test  $X^2$  ( $p=0,008$ ) ».

## DISCUSSION :

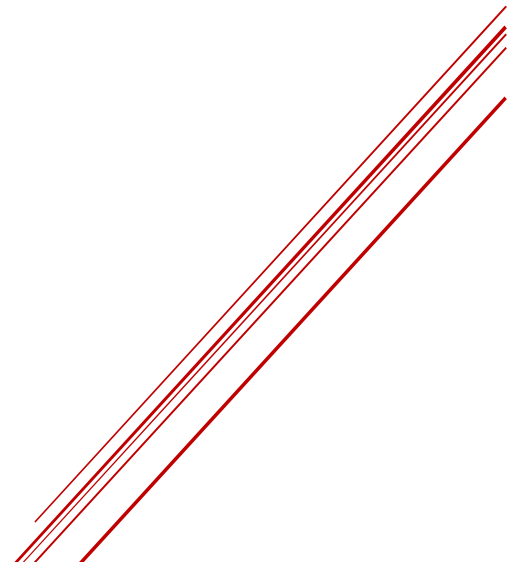
- Le désir d'avoir la VR dans notre formation était le même, exprimé aussi bien par nos concœurs que confrères. La corrélation était statistiquement non significative « le test du X2 ( $p=0,446$ ) ».
- À l'opposé, Le souhait d'avoir la VR dans notre formation était proportionnel au niveau académique et naturellement au besoin ressenti pour une prise en charge qualifiée des patients, représentant notre vocation ultime. La relation était statistiquement très significative « le test du X2. ( $P=0,009$ ) ».
- Là aussi, la confiance en soi semblait influencer le désir d'avoir la réalité virtuelle, sachant que le meilleur avantage de cette dernière serait justement la promotion de la confiance en soi, indispensable pour tout praticien accompli. La relation était statistiquement très significative, confirmé par le test du Khi-deux ( $p=0,000$ ).
- Quel que soit les difficultés rencontrées lors de la réalisation des différents actes, le désir d'avoir la réalité virtuelle était le même. La relation était statistiquement non significative « le test du X2 ( $p=0,781$ ) ». À travers leurs réponses, les étudiants ont exprimé clairement leurs désirs d'avoir cette nouvelle forme de simulation pour améliorer et surmonter toutes les difficultés aussi différentes qu'elles pouvaient paraître.
- Le meilleur avantage de la VR relaté par nos répondants était différent d'un niveau académique à un autre. La relation était statistiquement non significative, confirmé par le test du Khi-deux ( $p=0,450$ ), sans doute que les résultats escomptés de cette nouvelle technologie par nos collègues dépendaient aussi de leurs programmes, différents du cycle pré-clinique, cycle clinique, internat et des compétences sensées développées.
- Malgré cela quel que soit cet avantage, le désir d'avoir la réalité virtuelle était le même. La relation était statistiquement très significative « le test du X2 ( $p=0,000$ ) ». L'interaction entre ces deux aspects cruciaux : l'apprentissage plus sécurisé offert par la réalité virtuelle en médecine dentaire et le désir de nos collègues d'avoir accès à cette technologie soulignant que même en présence de plusieurs avantages tangibles de la RV, le désir des étudiants d'utiliser la VR demeure constant.
- Même constat, concernant le niveau académique et l'inconvénient qui pouvait le plus déranger, pouvant paraître minime pour les uns et majeur pour les autres, tributaire d'autres paramètres. La relation était statistiquement non significative. « Le test du X2 ( $p=0,081$ ) ».

## DISCUSSION :

- Nous avons tenu à la fin de notre questionnaire à récolter de manière complètement spontanée les avis et commentaires de nos collègues. De nombreux retours positifs sur notre sujet ont été transmis. La plupart de nos collègues nous ont adressé leurs vœux de réussite. Certains ont exprimé leurs intérêts pour la réalité virtuelle et souhaitaient son intégration dans notre formation. D'autres ont souligné l'intérêt du thème et estimaient qu'il était nécessaire d'améliorer la qualité de la simulation et de la pratique dans notre formation en médecine dentaire.



**CONCLUSION :**



## **6 CONCLUSION :**

La formation en médecine dentaire se réfère à trois repères : l'acquisition des compétences théoriques, procédurales et comportementales. Dans ce contexte, la simulation représente un moyen privilégié permettant d'atteindre ces objectifs. Face aux progrès technologiques que connaît le monde, dans tous les domaines, la simulation, particulièrement inspirante ne fait pas exception permettant à la réalité virtuelle d'en représenter la nouvelle forme.

De nombreux simulateurs dentaires en réalité virtuelle existent déjà, d'autres en développement ou en phase de finalisation, les imposant comme l'outil pédagogique de l'avenir.

Il en ressort clairement de notre étude, la place évidente de la réalité virtuelle dans notre formation, perçue par un partenaire fondamental de la famille pédagogique « L'apprenant ».

Mais au-delà de ces chiffres, nous nous trouvons certainement face à une autre question, à laquelle nous nous devons d'apporter une réponse « Comment réussir à l'intégrer dans nos pratiques ? ».

La réponse est évidemment la même que pour tous les projets innovants « Ceci doit être l'affaire, l'implication de tous ».



**PERSPECTIVES :**





## 7 PERSPECTIVES :

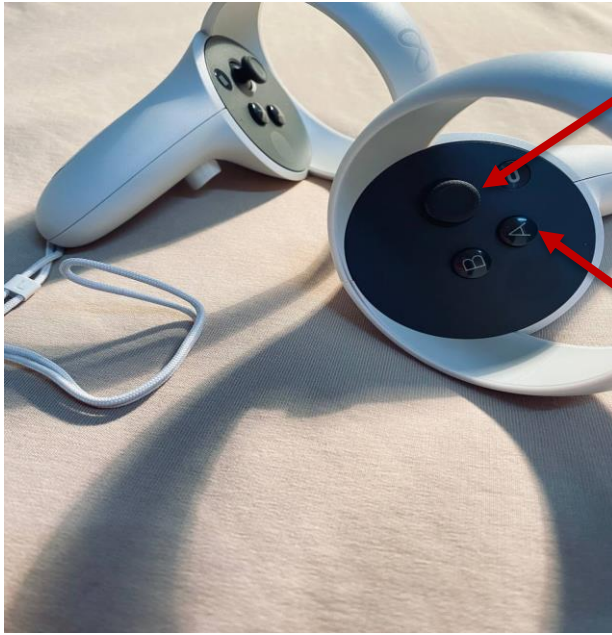
Interpelées, motivées et inspirées par les résultats de notre étude, nous avons lancé un projet de création d'un dispositif de réalité virtuelle portant sur « Le débridement parodontal » grâce à la participation extraordinaire de Mr (**MEZIANI Ilyes - Architecte, développeur VR**), que nous tenons vivement à remercier. Ce dernier en cours de réalisation, nous tenons à partager avec vous quelques extraits de l'ébauche :



**Figure 74:** Le Meta Oculus Quest 2.



**Figure 75:** Lentilles en 3 positions pour une image nette.



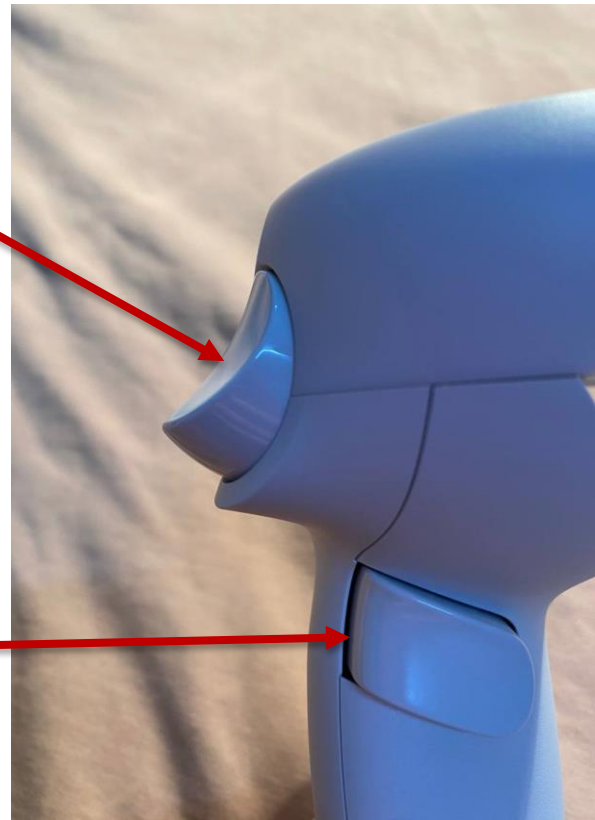
Joystick pour le suivi des mouvements de la tête.

Bouton (A) pour le déplacement dans la salle.

**Figure 76:** Utilisation des boutons principaux des manettes.

Bouton pour réaliser l'acte dentaire.

Bouton pour prendre l'instrument (l'insert).



**Figure 77:** Utilisation des boutons périphériques des manettes.

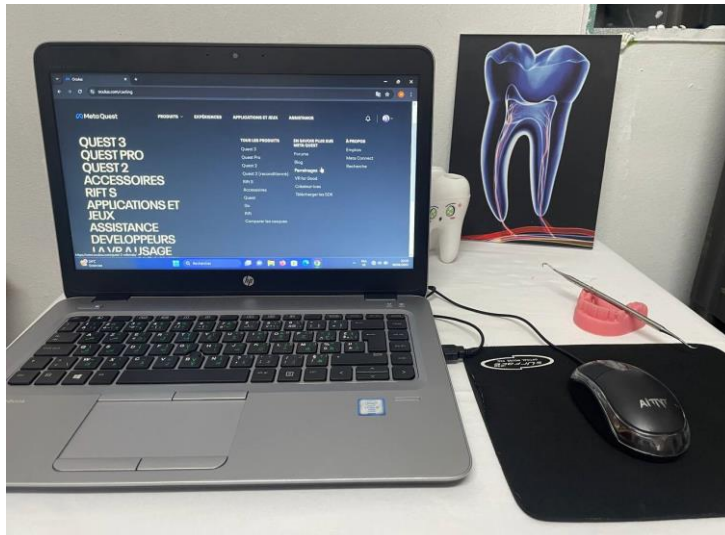


Figure 78: Un PC portable (Hp) core i5.

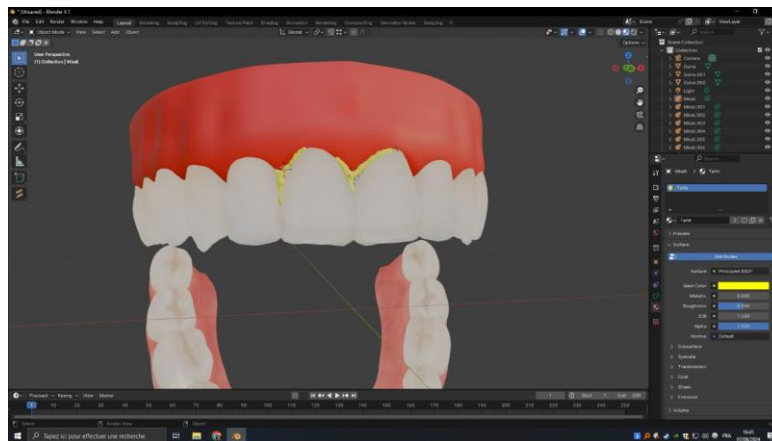


Figure 79: Le Logiciel « Unreal Engine » pour développer l'application VR.



Figure 80: Application du débridement parodontal par « le Meta Oculus Quest 2 ».



**Figure 81:** Patient en VR.



**Figure 82:** Modèle en 3D.

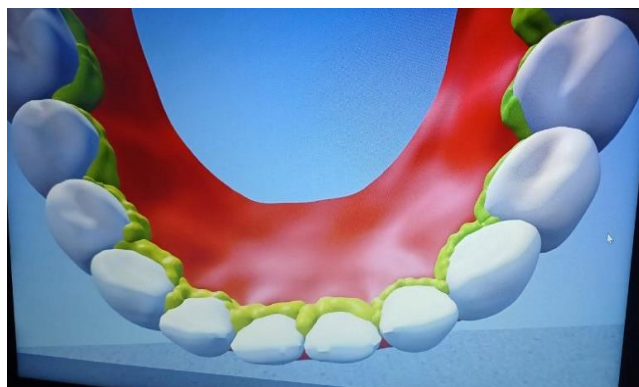


**Figure 83:** Équipement du cabinet dentaire en VR.





**Figure 84:** Dépôts tartriques au niveau de l'arcade supérieure.



**Figure 85:** Dépôts tartriques au niveau de l'arcade inférieure.



**Figure 86:** Détartrage du secteur incisivo - canin supérieur.



**Figure 87:** Détartrage du bloc inférieur.



**Figure 88:** Résultats après le débridement parodontal.



## **BIBLIOGRAPHIE / WEBOGRAPHIE :**





**8 BIBLIOGRAPHIE / WEBOGRAPHIE :**

[1] LOISON, Valériane, PIROLI, Fabrice, CRETIN-PIROLI, Raphaëlle, et al. Environnement virtuel de simulation dans la formation en Odontologie–Présentation d’un programme de recherche et des résultats d’une étude préliminaire. In : Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. 2023.

[2] Target, L. r. (2016, Aout). TechTarget. Consulté le Mars 26, 2024, sur Lemagit.fr: <https://www.lemagit.fr/definition/Realite-virtuelle>

[3] ROY, Elby, BAKR, Mahmoud M., et GEORGE, Roy. The need for virtual reality simulators in dental education: A review. The Saudi dental journal, 2017, vol. 29, no 2, p. 41-47.

[4] Pinot, M. (2022). Les outils de simulation dans la formation des étudiants en santé, N°3821. Université de Nantes (Thèse pour le diplôme d’état de docteur en chirurgie dentaire sur: <file:///C:/Users/Client/Downloads/pinotCD22.pdf>

[5] Tosello B, Blanc J, Kelway C, Pellegrin V, Quarello E, Comte F, et al. La simulation médicale comme outil dans la formation des professionnels de la périnatalité. Gynécologie Obstétrique Fertilité & Sénologie 2018 ;46 :530–9. <https://doi.org/10.1016/j.gofs.2018.04.003>.

[6] Pr Jean -Claude Granry, D. M.-C. (2009, Octobre 29). Simulation en santé. Consulté le Novembre 15, 2023, sur [https://sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/simulation\\_en\\_sante\\_note\\_de\\_cadrage\\_de\\_la\\_HAS.pdf](https://sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/simulation_en_sante_note_de_cadrage_de_la_HAS.pdf)

[7] de La Fontaine, A. (1982). Apports et perspectives de la réalité virtuelle dans le cadre de la formation des étudiants en Chirurgie Dentaire. Université de Lille (Thèse pour le diplôme d’état de docteur en chirurgie dentaire sur : [https://pepite-depot.univ-lille.fr/LIBRE/Th\\_Chirdent/2022/2022ULILC018.pdf](https://pepite-depot.univ-lille.fr/LIBRE/Th_Chirdent/2022/2022ULILC018.pdf)

[8] Taupin, A. (2022, Janvier 19). La faculté de chirurgie dentaire de Toulouse s’équipe en simulation préclinique. Consulté le Novembre 13, 2023, sur [dentaire 365.fr: https://www.dentaire365.fr/actualites/la-faculte-de-chirurgie-dentaire-de-toulouse-sequipe-en-simulation-preclinique/](https://www.dentaire365.fr/actualites/la-faculte-de-chirurgie-dentaire-de-toulouse-sequipe-en-simulation-preclinique/)

[9] ameron R. Smith, M. P., & Yong G. Peng, M. P. (2021, Juin). L’évolution et le rôle de la simulation dans l’éducation médicale. Consulté le Novembre 13, 2023, sur [apsf.org:](https://www.apsf.org/)

<https://www.apsf.org/fr/article/levolution-et-le-role-de-la-simulation-dans-leducation-medicale/>

[10] LI, Yaning, YE, Hongqiang, YE, Fan, et al. The current situation and future prospects of simulators in dental education. *Journal of Medical Internet Research*, 2021, vol. 23, no 4, p. e23635.

[11] Collomp, J. N. (2019). La simulation en odontologie : comment la développer à partir du retour d'expérience des étudiants?, N° 42-57-19-35. Université Nice-Sophia Antipolis (Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02473549/document>

[12] Baijot, S. (2015). *Introduction à la simulation en soins de santé*. Consulté le Novembre 12, 2023, sur Namur simulation: <https://www.namursimulation.be/la-simulation/>

[13] Samuel Temam. La simulation en odontologie : quelle place pour le simulateur haptique dans l'apprentissage préclinique des étudiants en odontologie restauratrice ? *Sciences du Vivant [q-bio]*. 2022. {dumas-04000570}

[14] santé, C. i. (2023). La simulation en santé. Consulté le Novembre 25, 2023, sur imsc.ma: <https://imsc.ma/la-simulation-en-sante/>

[15] QUESNELA, Thierry, CHOLLEYA, Gilles, et LEHOTA, Jean-Jacques. La simulation en santé : méthodes et approches. *Inter bloc*, 2019, vol. 38, p. 22-24.

[16] La simulation en odontologie : quelle place pour le simulateur haptique dans l'apprentissage préclinique des étudiants en odontologie restauratrice ? <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04000570v1>

[17] Qu'est ce que la réalité mixte? (2023, Mars 21). Consulté le Novembre 20, 2023, sur Microsoft Build: <https://learn.microsoft.com/fr-fr/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>

[18] Le traité de la réalité virtuelle, Volume 2 (édition : presse des Mines de Paris ; les presses) page 05 publié par Guillaume Moreau, Sabine Coquillart, Jean-Marie Burkhardt sur :

[https://books.google.dz/books?hl=fr&lr=&id=kKBH-](https://books.google.dz/books?hl=fr&lr=&id=kKBH-C1jFo4C&oi=fnd&pg=PA3&dq=r%C3%A9alit%C3%A9+virtuelle+&ots=aH6U1PCsdP&sig=wLdaCLo-SeqDn2PHQtDVWyQa-rE&redir_esc=y#v=onepage&q=r%C3%A9alit%C3%A9%20virtuelle&f=false)

[C1jFo4C&oi=fnd&pg=PA3&dq=r%C3%A9alit%C3%A9+virtuelle+&ots=aH6U1PCsdP&sig=wLdaCLo-SeqDn2PHQtDVWyQa-](https://books.google.dz/books?hl=fr&lr=&id=kKBH-C1jFo4C&oi=fnd&pg=PA3&dq=r%C3%A9alit%C3%A9+virtuelle+&ots=aH6U1PCsdP&sig=wLdaCLo-SeqDn2PHQtDVWyQa-rE&redir_esc=y#v=onepage&q=r%C3%A9alit%C3%A9%20virtuelle&f=false)

[rE&redir\\_esc=y#v=onepage&q=r%C3%A9alit%C3%A9%20virtuelle&f=false](https://books.google.dz/books?hl=fr&lr=&id=kKBH-C1jFo4C&oi=fnd&pg=PA3&dq=r%C3%A9alit%C3%A9+virtuelle+&ots=aH6U1PCsdP&sig=wLdaCLo-SeqDn2PHQtDVWyQa-rE&redir_esc=y#v=onepage&q=r%C3%A9alit%C3%A9%20virtuelle&f=false)

[19] Klinger E, Chemin I, Lebreton S, et al. Virtual action planning in Parkinson's disease: a control study. *Cyberpsychol Behav* 2006 ;9 :342-7.

Klinger E, Chemin I, Lebreton S, et al. Virtual action planning in Parkinson's disease: a control study. *Cyberpsychol Behav* 2006 ;9 :342-7.

- [20] Article I-Termes et définitions : Vocabulaire de l'informatique (liste de termes, expressions et définitions adoptés) [en ligne]. Texte n°84, JORF n°93 du 20 avril 2007, Légifrance. Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000428762> (consulté le oct. 17, 2023).
- [21] Acceptabilité de la réalité virtuelle (édition : presses universitaires de France) publié par : Camille Sagnier, Émilie Loup-Escande, Gérard Valléry page : 184 sur [file:///C:/Users/Client/Downloads/TH\\_823\\_0183.pdf](file:///C:/Users/Client/Downloads/TH_823_0183.pdf)
- [22] Guyancourt. (2017). Histoire et Définition - La réalité virtuelle . Consulté le Décembre 2023, 23, sur 4Dcréa: <https://www.4dcrea.com/realite-virtuelle-cest-quoi/>
- [23] Bouvier, P. (2009, Décembre). Consulté le Décembre 17, 2024, sur ResearchGate.fr: [https://www.researchgate.net/figure/Une-affiche-ventant-le-Sensorama-Source-http-www-telepresence-org\\_fig1\\_50921704](https://www.researchgate.net/figure/Une-affiche-ventant-le-Sensorama-Source-http-www-telepresence-org_fig1_50921704)
- [24] Est, T. G. (2017, Janvier 29). Réalité virtuelle, histoire. Consulté le janvier 01, 2024, sur <https://medium.com/@transmedia.grandest/petite-histoire-de-la-r%C3%A9alit%C3%A9-virtuelle-403e3aec16d7>
- [25] ent, A. r. (2015, Novembre 17). 50ans de réalité virtuelle: le parcours de Tom Furnes, de la création de pilotes plus mortels à l'apprentissage à but non lucratif. Consulté le Décembre 25, 2023, sur RoadTovr: <https://www.roadtovr.com/50-years-vr-tom-furness-super-cockpit-virtual-retinal-display-hit-lab-virtual-world-society/>
- [26] Maghraoua, L. (2023, Avril 19). *Une brève histoire de la RV*. Consulté le Janvier 02, 2024, sur <https://fisheyeimmersive.com/article/une-breve-histoire-de-la-vr-3-5-la-conception-dun-super-cockpit/>
- [27] Vidéo place 360° 1975. (s.d.). Consulté le Décembre 23, 2023, sur Myron krueger: <https://aboutmyronkrueger.weebly.com/videoplace.html>
- [28] Couri, P. A. (2015, Mai 17). *Art, médias, technologies travaux des étudiants de la discipline*. Consulté le Janvier 02, 2024, sur <https://artemidiastec.wordpress.com/2015/05/17/realidade-virtual/>
- [29] Preventirisk. (s.d.). Les grandes dates de l'histoire de la réalité virtuelle. Consulté le Décembre 25, 2023, sur <https://www.preventirisk.fr/articles/les-grandes-dates-de-l-histoire-de-la-realite-virtuelle>
- [30] technologie, M. i. (2023). Réalité viruelle; Découvrez la réalité virtuelle, ses composants, sa technologies et ses lectures. Consulté le Décembre 26, 2023, sur <https://metamandrill.com/fr/realite-virtuelle/#components-of-virtual-reality>
- [31] fr, I. (2021, Octobre 21). Comment fonctionne la réalité virtuelle? Consulté le Décembre 25, 2023, sur <https://www.inria.fr/fr/comment-fonctionne-realite-virtuelle>

- [32] Sham, C. K. (s.d.). Quel matériel pour la réalité virtuelle . Consulté le Décembre 26, 2023, sur By EVOS: <https://byevos.fr/quel-materiel-pour-la-realite-virtuelle/>
- [33] Grey, J. (2020, Mars 18). *Oculus Rift*. Consulté le Janvier 03, 2024, sur <https://www.wired.com/review/oculus-rift-s-review/>
- [34] *Patch Bowen*. (2023, Juillet 28). Consulté le Janvier 03, 2024, sur Revue de Meta Quest 2: <https://thebit.nz/review/meta-quest-2-review/>
- [35] Hutchinson, L. (2016, Mai 28). *Le HTC Vive pourrait forcer mon Oculus Rift à ramasser la poussière*. Consulté le Janvier 04, 2024, sur <https://arstechnica.com/gaming/2016/05/why-vive-has-won-the-early-vr-race-in-my-house/>
- [36] Qu'est ce que la réalité virtuelle? (2024). Consulté le Janvier 12, 2024, sur 3Dcreation.fr: <https://3dcreation.fr/realite-virtuelle/>
- [37] Business, U. X. (2022, JUILLET 15). *Poco neo 3* . Consulté le Janvier 04, 2024, sur <https://unboundxr.fr/zakelijk/pico-neo-3-pro>
- [38] B. Sawyer. "The ultimate Came Developer's Sourcebook," Coriolis Croup Books. pp. 120-124, 1996. Application de la VR par Eric Jobidon sur: [https://central.bac-lac.gc.ca/.item?id=MQ35687&op=pdf&app=Library&oclc\\_number=46575156](https://central.bac-lac.gc.ca/.item?id=MQ35687&op=pdf&app=Library&oclc_number=46575156)
- [39] L, P. (2017, Février 25). *Manus VR*. Consulté le Janvier 05, 2024, sur <https://www.realite-virtuelle.com/manus-vr-gants-precommande-2502/>
- [40] 360°, E.-S. F. (s.d.). Consulté le Décembre 20, 2023, sur [vreshop360°.fr: https://www.vr360eshop.fr/23-manettes-et-contrôleurs](https://www.vr360eshop.fr/23-manettes-et-contrôleurs)
- [41] Lauret, J. K. (2016, Décembre 23). *Test Oculus Touch*. Consulté le Janvier 05, 2024, sur <https://www.lesnumeriques.com/joypad/oculus-touch-p35303/test.html>
- [42] Dongwei. (2023, Avril 29). *Contrôleurs à distance VR*. Consulté le Janvier 05, 2024, sur <https://fr.shopping.rakuten.com/offer/buy/9333978368/manette-de-jeu-sans-fil-bluetooth-pour-lunettes-3d-vr-box-contrôleur-a-distance-pour-android-joystick-mise-a-jour-vr.html>
- [43] 360°, E.-S. F. (s.d.). Consulté le Décembre 20, 2023, sur [vreshop360°.fr: https://www.vr360eshop.fr/31-audio-vr](https://www.vr360eshop.fr/31-audio-vr)
- [44] Beinard, B. (2022, Juillet 29). Consulté le Décembre 26, 2023, sur LEPDIGITAL: <https://www.leptidigital.fr/technologie/logiciels-realite-virtuelle-29443/>
- [45] Racz, A. (2018, Juin). Architecture et design d'intérieur assistés par VR. Consulté le Décembre 25, 2023, sur [https://www.researchgate.net/profile/Anett-Racz/publication/327197136\\_VR\\_Aided\\_Architecture\\_and\\_Interior\\_Design/links/5c3c52c1299bf12be3c65f54/VR-Aided-Architecture-and-Interior-Design.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Anett-Racz/publication/327197136_VR_Aided_Architecture_and_Interior_Design/links/5c3c52c1299bf12be3c65f54/VR-Aided-Architecture-and-Interior-Design.pdf)
- [46] Hana. (2018, Mars 30). La révolution numérique dans l'architecture. Consulté le Décembre 26, 2023, sur [www.zブランドco.com](http://www.zブランドco.com)

- [47] Barb, S. (2013, Novembre 12). Simulation basée sur le cloud . Consulté le Décembre 27, 2023, sur [Engineering.com](http://Engineering.com).
- [48] Amélioration des performance cyclistes voa la simulation. (2016, Avril). Consulté le Décembre 27, 2023, sur [https://en.wikipedia.org/wiki/SimScale#cite\\_note-digitaleng.news-3](https://en.wikipedia.org/wiki/SimScale#cite_note-digitaleng.news-3)
- [49] S'efforcer. (S.d.). Apprentissage immersif en entreprise/solutions de formation VR. Consulté le Décembre 27,2023, sur : <http://www.strivr.com/solutions/>
- [50] S'efforcer. (s.d.). Formation à l'efficacité opérationnelle en VR. Consulté le Décembre 28, 2023, sur <https://www.strivr.com/use-cases/operational-efficiency/>
- [51] Réalité virtuelle immersive. (2024, Janvier 25). Consulté le Janvier 29, 2024, sur [EduTechWiki.fr](http://EduTechWiki.fr):  
[https://edutechwiki.unige.ch/fr/R%C3%A9alit%C3%A9\\_virtuelle\\_immersive](https://edutechwiki.unige.ch/fr/R%C3%A9alit%C3%A9_virtuelle_immersive)
- [52] France, P. (2024). Réalité augmentée, virtuelle et mixte . Consulté le Janvier 04, 2024, sur <https://www.prodwaregroup.com/fr-fr/innovation/technologies-disruptives/realite-augmentee-virtuelle-mixte/>
- [53] Elsevier. (2021). Consulté le Décembre 26, 2023, sur <https://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>
- [54] MARESCAUX J., MALASSAGNE B., SOLER L., et al. « Télérobotique et réalité virtuelle : l'avenir de la chirurgie hépatique », vol. 3, no 6, p. 304-306, août 2002. Disponible sur : <https://www.edimark.fr/Front/frontpost/getfiles/5199.pdf>
- [55] Simulia. (s.d.). The living heart project. Consulté le Janvier 02, 2024, sur <https://www.3ds.com/products-services/simulia/solutions/life-sciences/the-living-heart-project/>
- [56] Thilmann, J. (2018, Mars 23). Le modèle de bonne santé. Consulté le Janvier 06, 2024, sur <https://www.asme.org/topics-resources/content/the-model-of-good-health>
- [57] LOURDEAUX, D. « La réalité virtuelle au service de la formation », Editions Techniques de l'Ingénieur (T.I.) [Paris, France], p. 22, août 2012. Disponible sur : <https://www.techniquesingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/realite-virtuelle42299210/realite-virtuelle-et-formation-te5975/>
- [58] FONTAINE, S. « La réalité virtuelle au service des hôpitaux », Editions Techniques de l'Ingénieur (T.I.) [Paris, France], mars 2020. Disponible sur : <https://www.techniquesingenieur.fr/actualite/articles/la-realite-virtuelle-au-service-des-hopitaux-75975/>
- [59] Vivalto Santé « L'Hôpital Privé de la Baie dans la Manche, 1er établissement en France à intégrer la réalité virtuelle pour prévenir les risques au bloc opératoire ». (2021, Janvier 12). Consulté le Janvier 02, 2024, sur [DSIH.fr](http://DSIH.fr): <https://www.dsih.fr/article/4058/l-hopital-prive-de>

la-baie-dans-la-manche-1er-etablissementen-france-a-integrer-la-realite-virtuelle-pour-prevenir-les-risques-au-bloc-operatoire.html

[60] Mme Montaudon, L. A. (2017, Septembre). Simango formation en santé. Consulté le Janvier 20, 2024, sur Simango.fr: <https://simango.fr/catalogue-formations/challenge-bloc-des-erreurs/>

[61] santé, F. d. (2018, Octobre 09). « Queen's University Launches Canada's First VR Medical Training Centre ». Consulté le Décembre 29, 2023, sur <https://healthsci.queensu.ca/node/3844>

[62] vasculaire, D. C. (2017). Simulateur procédural de préparation à la pose d'un stent. Consulté le Janvier 20, 2024, sur <https://www.medicactiv.com/fr/consulter-un-cas/>

[63] R, S. (2021). Comment la réalité virtuelle transforme l'éducation. Consulté le Novembre 28, 2023, sur <https://www.realite-virtuelle.com/education-vr/>

[64] Philip, N., Ali, K., Duggal, M., Daas, H., & Nazzal, H. (2023). Effectiveness and Student Perceptions of Haptic Virtual Reality Simulation Training as an Instructional Tool in Pre-Clinical Paediatric Dentistry: A Pilot Pedagogical Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4226.

[65] Wang, D., Li, T., Zhang, Y. & Hou, J. Survey on multisensory feedback virtual reality dental training systems. *Eur. J. Dent. Educ.* 20, 248–260 (2016).

[66] Li Y, Ye H, Ye F, Liu Y, Lv L, Zhang P, et al. The Current Situation and Future Prospects of Simulators in Dental Education. *J Med Internet Res* 2021;23: e23635.

[67] group, U. (2024, Janvier 16). Système de pratique de simulation dentaire. Consulté le Février 12, 2024, sur <https://www.umgroupen.com/products/umg-vi-plus-new-style-dental-simulation-practice-system/>

[68] Luciano C, Banerjee P, DeFanti T. Haptics-based virtual reality periodontal training simulator. *Virtual Real* 2009; 13:69–85. <https://doi.org/10.1007/s10055-009-0112-7>

[69] Steinberg AD, Bashook PG, Drummond J, Ashrafi S, Zefran M. Assessment of faculty perception of content validity of PerioSim, a haptic3D virtual reality dental training simulator. *J Dent Educ* 2007; 71:1574–82.

[70] Wang D, Zhang Y, Hou J, Wang Y, Lv P, Chen Y, et al. iDental: A Haptic-Based Dental Simulator and Its Preliminary User Evaluation. *IEEE Trans Haptics* 2012 ;5 :332–43. <https://doi.org/10.1109/TOH.2011.59>.

[71] Dangxiao Wang null, Yuru Zhang null, Jianxia Hou null, Yong Wang null, Peijun Lv null, Yonggang Chen null, et al. iDental: A Haptic-Based Dental Simulator and Its Preliminary User Evaluation. *IEEE Trans Haptics* 2012; 5:332–43. <https://doi.org/10.1109/TOH.2011.59>

- [72] Wang D, Zhang Y, Hou J, Wang Y, Lv P, Chen Y, et al. iDental: A Haptic-Based Dental Simulator and Its Preliminary User Evaluation. *IEEE Trans Haptics* 2012 ;5 :332–43. <https://doi.org/10.1109/TOH.2011.59>.
- [73] de Boer IR, Bakker DR, Wesselink PR, Vervoorn JM. [The Simodont in dental education]. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 2012; 119:294–300. <https://doi.org/10.5177/ntvt.2012.06.12105>
- [74] Roy E, Bakr MM, George R. The need for virtual reality simulators in dental education : A review. *Saudi Dent J* 2017; 29:41–7. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2017.02.001>
- [75] Dentisterie numérique et nouvelles voies thérapeutiques. (2022, Février 04). Consulté le Décembre 23, 2023, sur [Information-dentaire.fr](https://www.information-dentaire.fr): <https://www.information-dentaire.fr/actualites/dentisterie-numerique-et-nouvelles-voies-therapeutiques/>
- [76] Eve EJ, Koo S, Alshihri AA, Cormier J, Kozhenikov M, Donoff RB, et al. Performance of dental students versus prosthodontics residents on a 3D immersive haptic simulator. *J Dent Educ* 2014; 78:630–7.
- [77] Abramov AY, D. D. (2016, Juin). Introduction du simulateur tactile Virteasy Dental pour enseigner aux étudiants de la faculté dentaire de l'Université de l'amitié des peuples russes. Consulté le Novembre 28, 2023, sur [https://www.researchgate.net/publication/306215624\\_Introduction\\_of\\_tactile\\_simulator\\_virteasy\\_dental\\_to\\_teach\\_the\\_students\\_of\\_dental\\_faculty\\_at\\_Russian\\_peoples\\_friendship\\_university](https://www.researchgate.net/publication/306215624_Introduction_of_tactile_simulator_virteasy_dental_to_teach_the_students_of_dental_faculty_at_Russian_peoples_friendship_university)
- [78] Dixon J, Towers A, Martin N, Field J. Re-defining the virtual reality dental simulator : Demonstrating concurrent validity of clinically relevant assessment and feedback. *Eur J Dent Educ* 2021; 25:108–16. <https://doi.org/10.1111/eje.12581>
- [79] Treanton, A. (2022). La simulation haptique: une nouvelle approche pédagogique en dentisterie restauratrice. N°29003. Université de Bretagne Occidentale (Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire) sur : [file:///C:/Users/Client/Pictures/These-Medecine\\_Odontologie-2022-TREANTON\\_%20Alexis.pdf](file:///C:/Users/Client/Pictures/These-Medecine_Odontologie-2022-TREANTON_%20Alexis.pdf)
- [80] Pohlenz P, Gröbe A, Petersik A, von Sternberg N, Pflessler B, Pommert A, et al. Virtual dental surgery as a new educational tool in dental school. *J Cranio-Maxillo-Fac Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-Fac Surg* 2010; 38:560–4. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2010.02.011>
- [81] L, P. (2019, Février 13). Massless lève 2 millions de dollars pour un crayon dédié à la réalité virtuelle. Consulté le Janvier 15, 2024, sur <https://www.realite-virtuelle.com/massless-crayon-realite-virtuelle/>
- [82] Casiez, G. (2004). Contribution à l'étude des interfaces haptiques: le DigiHaptic: un périphérique haptique de bureau à degrés de liberté séparés. Consulté le Décembre 19, 2023,



sur <https://www.semanticscholar.org/paper/Contribution-%C3%A0-1%27%C3%A9tude-des-interfaces-haptiques-%3A-%3A-Casiez/b546f0b5c03b51977b55397da3db7677f0fb2150>

[83] Rodrigues, P-Nicolau, F-Norte, M-Zorzal, E-Botelho, J-Machado, V-Proença, L-Alves, R. Z(agalo, C-Lopes, D. S-Mendes, J. J journal : Scientific Reports en 2023

[84] Huang, Y., Hu, Y., Chan, U., Lai, P., Sun, Y., Dai, J., ... & Yang, X. (2023). Student perceptions toward virtual reality training in dental implant education. PeerJ, 11, e14857.

[85] S. Zafar-A. Siddiqi-M. Yasir -J.J. Zachar Archives européennes de dentisterie pédiatrique volume 22, pages667-674 (2021)

[86] Sfeir Robin. La simulation en réalité virtuelle : une nouvelle approche pédagogique en odontologie / Robin Sfeir ; sous la direction de Maxime Beaurain. Thèse d'exercice Chirurgie dentaire Lille 2018, 2018.

[87] Gottlieb R, Lanning SK, Gunsolley JC, Buchanan JA. Faculty impressions of dental students' performance with and without virtual reality simulation. J Dent Educ 2011; 75:1443–51.

[88] Tate W, White R. Disinfection of human teeth for educational purposes. J Dent Educ 1991; 55:583–5. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.1991.55.9.tb02567.x>

[89] S, Bridges SM, Burrow MF. A Review of the Use of Simulation in Dental Education. Simul Healthc 2015 ;10 :31–7. <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000059>

[90] imulation en santé : état des lieux et perspectives de développement. (2012, Janvier 10). Consulté le Novembre 27, 2023, sur HAS-santé.fr: [https://www.has-sante.fr/jcms/c\\_1173211/fr/simulationen-sante-etat-des-lieux-et-perspectives-de-developpement](https://www.has-sante.fr/jcms/c_1173211/fr/simulationen-sante-etat-des-lieux-et-perspectives-de-developpement)

[91] Roy E, Bakr MM, George R. The need for virtual reality simulators in dental education : A review. Saudi Dent J 2017; 29:41–7. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2017.02.001>

[92] Plessas A. Computerized Virtual Reality Simulation in Preclinical Dentistry : Can a Computerized Simulator Replace the Conventional Phantom Heads and Human Instruction ? Simul Healthc 2017; 12:332–8. <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000250>

[93] Jasinevicius TR, Landers M, Nelson S, Urban ova A. An Evaluation of Two Dental Simulation Systems : Virtual Reality versus Contemporary Non-Computer-Assisted. J Dent Educ 2004; 68:1151–62. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.2004.68.11.tb03860.x>

[94] Gal GB, Weiss EI, Gafni N, Ziv A. Preliminary assessment of faculty and student perception of a haptic virtual reality simulator for training dental manual dexterity. J Dent Educ 2011 ;75 :496–50.



[95] Robein, S.(2018) La simulation en réalité virtuelle : une nouvelle approche pédagogique en odontologie. Université de Lille (Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire. Sur : [https://pepite-depot.univ-lille.fr/LIBRE/Th\\_Chirident/2018/2018LILUC024.pdf](https://pepite-depot.univ-lille.fr/LIBRE/Th_Chirident/2018/2018LILUC024.pdf)

[96] Dutã, M. et al. An Overview of Virtual and Augmented Reality in Dental Education. 10, 8 (2011).

[97] Weeks DL, Kordus RN. Relative frequency of knowledge of performance and motor skill learning. Res Q Exerc Sport 1998; 69:224–30. <https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607689>

[98] Burnett AC, Linden GJ. The reproducibility of the assessment of restorations by dental students and their teachers. J Dent Educ 1988 ;52 :568–70.

[99] Santé, H. A. (s.d.). Simulation en santé et gestion des risques . Consulté le Janvier 02, 2024, sur [https://www.has-sante.fr/jcms/c\\_2905932/fr/simulation-en-sante-etgestion-des-risques](https://www.has-sante.fr/jcms/c_2905932/fr/simulation-en-sante-etgestion-des-risques)

[100] Dubois, M. (2024, Mars 22). Les Avantages et les Inconvénients de la Réalité Virtuelle. Consulté le Marris 26, 2024, sur Wondershare.fr: <https://filmora.wondershare.fr/virtual-reality/pros-cons-virtual-virtual.html>

[101] Tiago, P (2020). La réalité virtuelle peut-elle avoir un intérêt en odontologie pédiatrique ? Université de Nantes (Thèse pour doctorat). Sur : <https://nantilus.univ-nantes.fr/vufind/Record/PPN250136236>

[102] 11 avantages et inconvénients de la réalité virtuelle. (2024). Consulté le Février 01, 2024, sur Simbott.com: <https://simbott.com/virtual-reality-advantages-and-disadvantages/#:~:text=Students%20may%20become%20too%20focused,leading%20to%20decreased%20learning%20outcomes>

[103] Principaux avantages et inconvénients de l'utilisation de la réalité virtuelle dans l'éducation. (2024). Consulté le Janvier 16, 2024, sur edubirdie.com: <https://edubirdie.com/examples/major-advantages-and-disadvantages-of-using-virtual-reality-in-education/>



**ANNEXES :**



## 9 ANNEXES :

## 9.1 L'AUTO-QUESTIONNAIRE DE L'ÉVALUATION DES CONNAISSANCES ET PRATIQUES DES ÉTUDIANTS :



### *La place de la réalité virtuelle dans notre formation dentaire.*

Université Abou Bakr Belkaid.  
Faculté de médecine de Tlemcen.  
Département de médecine dentaire.

- Encadrante: Pr. ZOUAOUI Amel.
- Internes: ✨ Dr. SELLAM Radjaa.  
                  ✨ Dr. MAHLIA Asmaê.

Chèr (e)s futur (e)s confrères et consœurs:  
Dans le cadre de la réalisation de notre mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de "Docteur en médecine dentaire" à l'université de Tlemcen, nous vous prions de bien vouloir prendre part de notre travail de recherche sur la place de la réalité virtuelle dans la formation des étudiants en médecine dentaire. Nous espérons et comptons sur votre disponibilité et félicitons pour remplir notre questionnaire à but purement scientifique, garantissant la confidentialité et l'anonymat de vos réponses.

**La réalité virtuelle (RV):** Est une nouvelle technologie permettant d'immerger la personne dans un univers créé numériquement à l'aide d'un **écran** au niveau des yeux, un **casque** pour le son et un **système de manipulation et de navigation**. Cette technique fournit un environnement multi sensoriel, tridimensionnel (3D en 360°).

Elle est utilisée dans plusieurs domaines tels que: l'architecture, la médecine et dans notre incroyable spécialité..☆☆

1)- Âge:

Glissez vers la gauche: (⇌)

18    19    20    21    22

ツ    ○    ○    ○    ○    ○

2)- Sexe:

Homme.    Femme.

ツ    ○    ○

## 3)- Niveau académique:

Glissez vers la gauche: (⇌)

1ère 2ème 3ème 4ème 5è

Votre  
année  
actuelle

4)- Vous avez été admis à cette année  
(votre moyenne du cursus):

Une seule réponse

[10-12] ]12-14] &gt;14

Session  
normale:

Session  
rattrapage:

Répétitif:

5)- Sur une échelle de 1 à 5; pouvez-vous  
exprimer votre confiance en soi pour  
réaliser un acte dentaire ?



Pas du tout confiant    Peu confiant    Confiant    Très confiant    Extrêmement confiant

1

2

3

4

5

6)- Quel est l'acte qui vous semble le plus  
difficile à réaliser ?

Une seule réponse

- Une extraction d'une dent.
- Un traitement endodontique.
- Une anesthésie.
- Une prise d'empreinte.
- Une cavité d'accès.
- Un détartrage et surfaçage.
- Un enregistrement de l'occlusion.
- Autre \_\_\_\_\_  
:

7)- À votre avis quelle est la cause de cette difficulté ?

Une seule réponse

- Non acquisition des connaissances théoriques.
- Peur d'échec.
- Manque de confiance en soi.
- Autre : \_\_\_\_\_

8)- Avez-vous déjà travaillé sur un simulateur ?

Oui.

Non.

○

9)- Sur une échelle de 1 à 5; à votre avis quelle est la place de la simulation dans notre formation ?



Pas du tout importante    Peu importante    Importante    Très importante    Extrêmement importante

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

10)- Connaissez-vous la réalité virtuelle ?

Oui.                  Non.

シ

11)- Avez-vous déjà utilisée ?

Oui.                  Non.

シ

12)- Sur une échelle de 1 à 5; quelle est la place de la réalité virtuelle (RV) dans notre formation ?



Pas du tout importante    Peu importante    Importante    Très importante    Extrêmement importante

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

13)- Sur une échelle de 1 à 5; pouvez-vous exprimer votre désir de l'avoir dans notre formation ?



Je ne veux pas    Je veux (un peu)    Je veux    Je veux (tellement)    Je veux (extrêmement)

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

14)- À votre avis; quel est le meilleur avantage de la RV permettant de l'introduire dans notre formation ?

Une seule réponse

- Renforcement des connaissances théoriques.
- Apprentissage pratique plus réel que les autres techniques.
- Apprentissage pratique plus agréable que les autres techniques.
- Apprentissage pratique plus sécurisé (sans risque de blessures, contamination) que les autres techniques.
- Autre : \_\_\_\_\_

15)- À l'opposé; quel est l'inconvénient qui vous dérange le plus ?

Une seule réponse

- Technologie nouvelle (besoin d'être plus maîtrisée).
- Constitue une forme de simulation (risque d'avoir des différences avec la réalité).
- Coût élevé.
- Autre : \_\_\_\_\_



**9.2 LIEN DE L'AUTO-QUESTIONNAIRE :**

<https://forms.gle/pqke9GyquCdUncNk6>