

Rapport De Projet MV50

Mondes Virtuels, UX/UI

Application immersive en Réalité Virtuelle (VR) et Réalité Augmentée (RA) pour la formation médicale

Étudiants :

- Victor PIANA
- Cyprien JURY
- Maxime KYRIAKIDES

Encadrant Universitaire (MV50) :

- Fabrice Lauri

Encadrant Professionnel :

- Dr Laurent FAIVRE (Chef du service réanimation, Hôpital de Belfort)

Projet réalisé dans le cadre de l'UV MV50
Bloc Métiers : Mondes Virtuels, UX, UI
5 Crédits ECTS

Date de remise : 18 Juin 2025

Introduction

Ce rapport présente les travaux réalisés dans le cadre de l'unité d'enseignement MV50 « Mondes Virtuels, UX/UI », dispensée à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM) au semestre de printemps 2025. L'objectif principal de cette UV était de mener à bien un projet ambitieux, immersif et interactif en exploitant pleinement les technologies émergentes de Réalité Virtuelle (VR) et de Réalité Augmentée (RA).

Notre groupe, constitué des étudiants Victor Piana, Cyprien Jury et Maxime Kyriakides, a initialement choisi de travailler sur une application en Réalité Virtuelle (VR) dédiée à la formation technique et pédagogique autour du geste médical précis de la prise de sang. Ce projet visait notamment à répondre à un besoin concret identifié dans la formation initiale des étudiants infirmiers et internes en médecine, en permettant un apprentissage immersif, intuitif et sécurisé de ce geste courant mais complexe.

Toutefois, à l'issue d'une rencontre importante avec notre encadrant professionnel, le Dr Laurent Faivre, chef du service réanimation à l'hôpital de Belfort début juin, notre projet a connu une évolution significative. Le Dr Faivre nous a suggéré de réorienter notre travail vers une approche encore plus innovante et concrète en développant une application de Réalité Augmentée (RA), destinée cette fois à la reconnaissance visuelle interactive de symptômes cliniques directement sur un mannequin médical réel.

Ainsi, ce rapport est structuré en deux grandes parties distinctes mais complémentaires :

- La première partie détaille très précisément les objectifs pédagogiques, les choix technologiques et les travaux réalisés durant la phase initiale du projet en Réalité Virtuelle (VR), en mettant l'accent sur l'ergonomie, la narration immersive, l'expérience utilisateur (UX), et l'intégration sonore optimale.
- La seconde partie décrit minutieusement la réorientation stratégique vers la Réalité Augmentée (RA), motivée par une volonté forte d'apporter une réponse encore plus adaptée aux besoins concrets du milieu médical hospitalier, et d'explorer en profondeur les interactions réalistes entre mondes virtuel et physique.

Ce rapport souligne également la contribution précieuse des enseignements reçus dans le cadre du module MV50, en particulier grâce aux interventions de Florence Tyndiuk (ergonomie), Marjorie Barcella (narration interactive et UX) et Bob Antoine, professeur invité de l'UQAC au Québec (design sonore et immersion), dont les conseils ont permis d'enrichir significativement notre réflexion et d'améliorer la qualité finale de notre application pédagogique.

Ce document a pour objectif non seulement de présenter les résultats techniques et pédagogiques obtenus, mais également de fournir une analyse approfondie des choix effectués, des difficultés rencontrées, et des pistes précises d'amélioration futures.

Tables des matières

PARTIE I – Projet initial : Simulation VR de prise de sang	4
1. Introduction du projet initial	4
2. Objectifs pédagogiques et techniques	4
3. Analyse du marché et contexte professionnel	5
4. Cahier des charges	6
5. Choix technologiques	6
6. Gestion de projet	7
7. Réflexion approfondie sur un projet idéal (conditions optimales)	7
PARTIE II – Projet Réalité Augmentée (RA) : Reconnaissance immersive de pathologies sur mannequin	11
1. Contexte et justification de la réorientation	11
2. Objectifs pédagogiques de l'application RA	11
3. Analyse du nouveau marché ciblé par l'application RA	12
4. Description fonctionnelle du nouveau cahier des charges RA	12
5. Choix technologiques détaillés et justifiés pour la Réalité Augmentée	14
6. Organisation précise et détaillée de la nouvelle phase du projet RA	14
7. Apports pédagogiques des enseignements MV50 dans le projet RA	16
8. Résultats techniques obtenus	17
9. Tests utilisateurs et validation pédagogique	18
10. Explication technique générale du projet	18
10.bis Difficultés techniques et limites identifiées	25
11. Réflexion sur un projet RA idéal en conditions optimales	25
12. Conclusion finale	28
Annexe A : Éléments visuels du projet initial (Simulation VR de prise de sang)	29
Annexe B : Projet AR Final	33

PARTIE I – Projet initial : Simulation VR de prise de sang

1. Introduction du projet initial

Dès le début du semestre de printemps 2025, notre équipe composée de Victor Piana, Cyprien Jury et Maxime Kyriakides a choisi de se lancer dans le projet numéro 4 de l'UV MV50 : une application immersive en Réalité Virtuelle (VR) dédiée à l'apprentissage du geste technique, se concentrant d'abord sur celui de la prise de sang. Ce choix initial était motivé par la volonté forte d'apporter une réponse pédagogique concrète à un besoin identifié clairement : la formation pratique aux gestes médicaux basiques, mais néanmoins complexes et anxiogènes, pour les étudiants infirmiers, les internes en médecine et le personnel hospitalier en formation continue.

La formation immersive en VR présente des avantages significatifs par rapport aux méthodes traditionnelles : possibilité d'une répétition illimitée, réduction du stress par une immersion progressive et sécurisée, et une rétroaction pédagogique immédiate grâce à un environnement contrôlé et interactif. Ce projet s'inscrivait pleinement dans les objectifs pédagogiques du module MV50, mobilisant des compétences transversales telles que la gestion de projet, la modélisation 3D, le développement interactif, la scénarisation et une réflexion poussée sur l'expérience utilisateur (UX) et l'ergonomie.

2. Objectifs pédagogiques et techniques

L'ambition pédagogique et technique de notre application VR était double :

Objectifs pédagogiques précis :

- Fournir un environnement réaliste permettant l'apprentissage du geste précis de la prise de sang.
- Permettre à l'étudiant une immersion totale dans un contexte professionnel réaliste, allant de la préparation initiale jusqu'à l'exécution du geste.
- Introduire une séquence pédagogique sur l'hygiène hospitalière grâce à un module interactif dédié au lavage des mains.
- Former à la gestion émotionnelle du patient virtuel, en mettant en place un système interactif qui modélise la réaction émotionnelle réaliste du patient face au stress lié à la prise de sang.

Objectifs techniques avancés :

- Développer des interactions utilisateur intuitives et réalistes (grab, snap, interaction gestuelle poussée).
- Créer des modélisations 3D fidèles et optimisées des équipements médicaux (seringue, sangle médicale, mobilier hospitalier) en utilisant Blender.
- Implémenter des feedbacks visuels et sonores précis pour guider et évaluer l'utilisateur tout au long du parcours pédagogique.
- Optimiser l'expérience immersive pour une utilisation confortable avec le casque Oculus Quest 2, en tenant compte des contraintes techniques de performance.

3. Analyse du marché et contexte professionnel

3.1. Segments précis du marché ciblé :

- Étudiants en médecine.
- Instituts de Formation en Soins Infirmiers (IFSI).
- Centres hospitaliers universitaires (CHU).
- Écoles professionnelles de santé (aides-soignants, techniciens médicaux).
- Formation continue pour les professionnels médicaux (réanimation, soins courants).

3.2. Analyse concurrentielle approfondie :

- Oxford Medical Simulation, leader reconnu proposant des simulateurs VR de cas médicaux variés, mais peu spécialisés sur les gestes techniques courants.
- VirtaMed, spécialisé principalement dans les simulateurs chirurgicaux, très réalistes mais orientés actes chirurgicaux complexes.
- Body Interact, axé principalement sur des scénarios médicaux généraux mais pas spécifiquement sur des gestes médicaux simples, pourtant très demandés en formation initiale.

3.3. Opportunité commerciale clairement identifiée :

Notre application se positionne sur un segment assez peu exploité, en répondant à un besoin identifié clairement : l'apprentissage réaliste et interactif du geste technique précis de la prise de sang, indispensable en formation médicale de base.

4. Cahier des charges

4.1. Description exhaustive des modules fonctionnels :

- Module d'accueil immersif : Environnement réaliste d'une salle médicale virtuelle en 3D interactive.
- Module pédagogique sur le lavage des mains : Six cartes interactives représentant clairement chaque étape du protocole, avec rétroaction visuelle et sonore immédiate en cas d'erreur ou de succès.
- Module préparation matérielle : Interaction physique réaliste (grab, snap) avec tous les outils médicaux nécessaires (seringue, sangle, désinfectant, pansement, poubelle médicale, garrot modélisé sur Blender).
- Interaction dynamique avec un patient virtuel réaliste : réactions faciales réalistes, expressions d'anxiété, gestion interactive de l'état émotionnel.
- Système interactif de gestion émotionnelle : signal lumineux clair (vert pour prêt à la piqûre, rouge pour anxiété élevée).
- Interaction de la piqûre réaliste et intuitive : zone précise de piqûre définie, animation réaliste de la seringue adaptée aux pratiques actuelles.
- Évaluation détaillée finale : récapitulatif précis des étapes réussies ou à améliorer, permettant à l'utilisateur une auto-évaluation précise et immédiate.

4.2. Contraintes techniques détaillées :

- Respect strict des protocoles médicaux validés par les professionnels de santé.
- Modélisations optimisées pour performances temps-réel sur casque autonome (Quest 2).
- Gestion rigoureuse du confort visuel pour éviter tout phénomène de nausée ou fatigue oculaire (ergonomie issue des cours de Florence Tyndiuk).

5. Choix technologiques

5.1. Unreal Engine 5 :

- Choix motivé par la qualité graphique offerte par le moteur ainsi que par Fabrice Lauri.
- Utilisation extensive des Blueprints pour faciliter l'interaction réaliste et les scénarios pédagogiques complexes.

5.2. Modélisation 3D sur Blender :

- Réalisation détaillée et optimisée des équipements médicaux : sangle médicale réaliste, seringue, mobilier médical, objets annexes (pansements, gel hydroalcoolique).
- Texturisation soignée pour un réalisme accru en VR.

6. Gestion de projet

6.1. Répartition précise des rôles :

- Victor Piana : Modélisation 3D, textures, animation.
- Cyprien Jury : Interaction avancée sous Unreal (grab, snap), gestion des Blueprints.
- Maxime Kyriakides : Modélisation 3D, textures, animation.

On s'est occupé ensemble de la gestion globale du projet, rédaction scénaristique détaillée, interaction avec les encadrants pédagogiques et médicaux.

6.2. Organisation détaillée :

- Communication via instagram, discord...
- Synchronisation technique via Git.

7. Réflexion approfondie sur un projet idéal (conditions optimales)

Même si le cadre universitaire nous impose nécessairement des contraintes de temps, de budget, de matériel et de compétences initiales, nous avons pris soin d'approfondir notre réflexion autour d'un projet idéal. Cette démarche nous a été inspirée et guidée en grande partie par les enseignements reçus dans l'unité d'enseignement MV50, notamment à travers trois interventions clés qui ont profondément marqué notre vision d'un projet immersif parfait :

- Le cours d'ergonomie enseigné par Florence Tyndiuk,
- Le cours sur la narration et l'expérience utilisateur (UX) dispensé par Marjorie Barcella,
- Le cours de design sonore et immersion assuré par Bob Antoine, professeur invité de l'UQAC (Université du Québec à Chicoutimi, Canada).

Dans des conditions idéales, avec un temps illimité, un budget conséquent, du matériel dernier cri et un accès direct et permanent à des professionnels du milieu médical, voici précisément comment notre projet aurait pris forme :

7.1. Dimension ergonomique optimisée (Cours de Florence Tyndiuk)

Grâce à l'enseignement de Mme Florence Tyndiuk, spécialiste de l'ergonomie dans les environnements virtuels, nous avons pu comprendre en profondeur l'importance d'adapter chaque aspect de l'application aux capacités et limitations physiologiques, cognitives et perceptives des utilisateurs. Cette formation nous a sensibilisés à l'importance capitale d'un design ergonomique de qualité pour garantir l'efficacité pédagogique, le confort et la sécurité d'usage.

Ainsi, dans une version idéale et optimale du projet, nous aurions particulièrement porté attention aux points suivants :

- **Interface utilisateur entièrement intuitive :**
Une absence totale de menus flottants ou invasifs, remplacés par une interaction naturelle et gestuelle, utilisant notamment la reconnaissance précise des mouvements des mains et doigts grâce à des gants haptiques dernière génération.
- **Adaptation automatique et personnalisée du scénario :**
Système automatique de reconnaissance de la taille de l'utilisateur et de son champ de vision, afin de garantir une hauteur de travail et une zone d'interaction toujours parfaitement adaptée et confortable, éliminant ainsi les inconforts musculo-squelettiques potentiels.
- **Gestion poussée de la charge cognitive :**
Mise en place d'un système intelligent et dynamique qui détecte en temps réel la difficulté ressentie par l'utilisateur (via eye-tracking, temps de réponse, hésitations dans les interactions), adaptant automatiquement la complexité du scénario pédagogique en conséquence.
- **Optimisation totale de la visibilité en environnement immersif :**
Système adaptatif de gestion de l'éclairage virtuel, garantissant une visibilité constante, réduisant les reflets gênants et l'éblouissement, améliorant la clarté des éléments affichés et limitant la fatigue visuelle associée à une exposition prolongée aux écrans immersifs.

Cette approche extrêmement précise et poussée de l'ergonomie permettrait non seulement une immersion profonde et confortable, mais garantirait également une efficacité pédagogique maximale.

7.2. Dimension narrative et expérience utilisateur idéale (Cours de Marjorie Barcella)

Le cours dispensé par Mme Marjorie Barcella, axé sur la narration interactive et l'expérience utilisateur dans les mondes virtuels, nous a ouvert la voie à une réflexion plus profonde sur l'importance d'une scénarisation poussée et immersive dans notre application pédagogique.

Dans notre vision idéale, chaque utilisateur serait plongé au cœur d'une véritable histoire clinique interactive, structurée et pensée dans ses moindres détails. Le scénario ne serait pas simplement une série d'étapes techniques, mais une véritable mise en situation narrative qui accroît considérablement l'engagement émotionnel et cognitif :

- **Introduction immersive :**
L'utilisateur serait accueilli par un contexte scénarisé clairement défini : par exemple, « Vous êtes infirmier aux urgences d'un grand hôpital universitaire, vous recevez un patient anxieux ayant besoin d'une prise de sang urgente... ».
- **Déroulement narratif complet :**
L'apparition progressive des symptômes d'anxiété ou de stress chez le patient virtuel serait scénarisée de manière réaliste, avec des réactions vocales, des mouvements subtils du corps et du visage, augmentant la crédibilité émotionnelle de l'interaction.

- **Interaction vocale et reconnaissance de l'intention utilisateur :**
Un système avancé de reconnaissance vocale et d'intelligence artificielle pourrait être intégré pour permettre à l'utilisateur d'interagir naturellement, poser des questions au patient virtuel, ou même verbaliser ses hypothèses diagnostiques.
- **Feedback narratif adaptatif :**
Selon les actions et les choix pédagogiques réalisés, un retour narratif personnalisé serait immédiatement proposé, indiquant clairement ce qui était réussi et ce qui nécessiterait une amélioration, toujours avec une tonalité réaliste et professionnelle.

Ainsi, grâce à l'apport déterminant du cours de Mme Barcella, nous aurions pu transformer une simple simulation technique en une expérience narrative immersive complète, optimisant considérablement l'apprentissage, la mémorisation des gestes techniques et l'engagement affectif et cognitif de l'utilisateur.

7.3. Dimension sonore et immersion acoustique idéale (Cours de Bob Antoine, Professeur invité UQAC, Québec)

Enfin, le module animé par le professeur Bob Antoine, expert international en design sonore immersif et enseignant à l'UQAC (Université du Québec à Chicoutimi), nous a permis de mesurer pleinement l'impact décisif du son sur l'immersion et la qualité de l'expérience pédagogique.

Dans notre projet idéal, nous aurions ainsi intégré des solutions sonores extrêmement poussées et réalistes :

- **Ambiance sonore hospitalière réaliste :**
Bruits d'équipements médicaux (monitoring cardiaque, bip des machines, respiration du patient), voix d'ambiance discrètes, portes s'ouvrant et se fermant en fond sonore, le tout avec une spatialisation sonore avancée pour un réalisme maximal.
- **Feedback sonore précis et contextuel :**
Chaque interaction réussie ou erronée serait accompagnée d'un retour sonore clair et immédiat : un son rassurant pour une étape validée correctement, un son discret d'alerte en cas d'erreur technique ou de geste imprécis.
- **Sonorisation adaptative en temps réel :**
Selon l'état émotionnel simulé du patient (calme, anxieux, paniqué), les sons associés évolueraient de manière dynamique : respiration rapide, gémissements légers, soupirs ou bruits corporels subtils ajoutant du réalisme émotionnel.
- **Guidage pédagogique auditif avancé :**
Une voix-off pédagogique discrète pourrait accompagner certaines étapes clés, renforçant le guidage narratif sans jamais devenir intrusive ni perturbante.

Ce dispositif sonore détaillé et professionnel aurait permis de renforcer considérablement l'immersion cognitive et émotionnelle, optimisant ainsi l'apprentissage du geste technique précis.

Transition vers notre vrai Projet.

Après plusieurs mois sur notre projet initial de réalité virtuelle (VR), nous avons organisé une réunion importante le 30 mai via teams puis le 4 juin 2025 à l'hôpital avec notre encadrant professionnel, le Dr Laurent Faivre, chef du service réanimation à l'hôpital de Belfort. Au cours de cette rencontre, nous avons eu l'opportunité de lui présenter nos avancées et d'échanger en profondeur sur les choix pédagogiques, techniques et ergonomiques effectués jusqu'à ce stade du projet.

Bien que notre travail sur la simulation immersive de prise de sang en VR ait été jugé intéressant et techniquement solide, le Dr Faivre nous a néanmoins encouragés à repenser stratégiquement notre orientation, en nous suggérant une approche encore plus novatrice et mieux adaptée à un besoin très concret et immédiat identifié dans son contexte hospitalier professionnel :

Il nous a ainsi proposé de pivoter vers la création d'une application de Réalité Augmentée (RA) ayant pour objectif précis de projeter, via des casques RA ou tablettes/smartphone, des pathologies visibles directement sur un mannequin médical réel. Cette nouvelle approche nous permettrait non seulement d'explorer un champ technologique plus innovant encore, mais aussi de répondre directement à un besoin pédagogique pratique et concret rencontré par les étudiants en médecine et les professionnels hospitaliers, à savoir l'apprentissage réaliste et immersif de la reconnaissance clinique de symptômes visibles.

Malgré le défi important que représente ce changement d'orientation à seulement quelques semaines de la fin du semestre, nous avons immédiatement saisi l'intérêt de cette proposition. Le pivot vers la RA représente pour nous une opportunité unique d'appliquer de manière concrète et approfondie toutes les compétences acquises jusqu'ici, tout en élargissant notre réflexion pédagogique, ergonomique, narrative et technologique à un nouveau champ d'application puisque nous n'avons pas étudié l'AR sur Unreal.

PARTIE II – Projet Réalité Augmentée (RA) : Reconnaissance immersive de pathologies sur mannequin

1. Contexte et justification de la réorientation

La réorientation vers la Réalité Augmentée a été principalement motivée par la pertinence pédagogique identifiée par le Dr Faivre lors de notre réunion du 30 mai. Alors que la VR présente l'avantage incontestable de créer un environnement totalement immersif, elle peut cependant manquer de réalisme immédiat dans certains gestes cliniques courants. En effet, certaines compétences médicales nécessitent une interaction directe avec un environnement physique tangible, ce qui rend la Réalité Augmentée particulièrement adaptée.

Ainsi, notre nouveau projet répond spécifiquement à un besoin pédagogique crucial : permettre aux apprenants (étudiants en médecine, infirmiers en formation, internes et soignants) de s'exercer à l'identification rapide et précise de pathologies visibles sur des patients réels, en combinant parfaitement réel et virtuel.

La Réalité Augmentée offre ici une réponse idéale en permettant de superposer directement sur un mannequin réel un mannequin virtuel avec des symptômes cliniques visuels réalistes et variés (sueur, rougeurs, marbrures, cyanose, plaques diverses). Cette approche pédagogique renforce considérablement l'apprentissage pratique, la rétention des connaissances et l'engagement émotionnel des apprenants, tout en simplifiant les contraintes matérielles lourdes imposées par une simulation 100 % virtuelle.

2. Objectifs pédagogiques de l'application RA

En réponse à ce contexte clinique et pédagogique clairement identifié, les objectifs de notre nouvelle application RA sont les suivants :

- **Former à la reconnaissance clinique rapide :**
Entraîner les étudiants à observer, identifier, et analyser précisément les symptômes visibles de pathologies médicales courantes.
- **Améliorer le diagnostic différentiel visuel :**
Proposer plusieurs scénarios pathologiques variés permettant aux apprenants de différencier finement des symptômes similaires, grâce à la superposition réaliste des symptômes directement sur un mannequin physique, ou bien sans mannequin physique.
- **Renforcer la mémorisation et l'engagement pédagogique :**
Utiliser l'interactivité offerte par la RA pour maximiser l'immersion émotionnelle et cognitive des utilisateurs dans chaque cas clinique simulé.
- **Proposer une évaluation continue et dynamique :**
Implémenter un système interactif d'évaluation immédiate après chaque observation,

permettant une rétroaction pédagogique précise et immédiate sur les compétences acquises.

- **Offrir une expérience utilisateur (UX) exemplaire :**
Utiliser pleinement les principes d'ergonomie, de narration immersive et de sonorisation poussée développés précédemment pour garantir une expérience d'apprentissage optimale, fluide et engageante.

3. Analyse du nouveau marché ciblé par l'application RA

3.1. Secteurs pédagogiques visés spécifiquement par notre application RA :

- Instituts de Formation en Soins Infirmiers (IFSI).
- Centres hospitaliers universitaires (CHU) avec programmes de simulation avancés.
- Facultés de médecine et écoles professionnelles de santé.
- Formation continue des personnels hospitaliers.

3.2. Concurrence existante et positionnement différenciant :

- Bien que la RA commence à émerger dans la formation médicale, les applications pédagogiques concrètes et réalistes sont encore rares et limitées, notamment concernant la reconnaissance visuelle de pathologies.
- Notre positionnement unique se concentre sur une combinaison optimale entre réalisme visuel et interaction possible avec un mannequin physique standard, permettant ainsi une immersion pédagogique exceptionnelle.

3.3. Avantages commerciaux précis de notre application :

- **Faibles coûts d'intégration :** Utilisation du matériel existant (mannequin médical classique) ou seulement casque, réduction significative des coûts comparés à des simulateurs entièrement numériques coûteux.
- **Adaptabilité rapide et flexible :** Possibilité d'intégrer facilement de nouveaux cas cliniques, mise à jour simplifiée du contenu pédagogique numérique.

4. Description fonctionnelle du nouveau cahier des charges RA

4.1. Objectifs fonctionnels précis de l'application RA

L'application de Réalité Augmentée (RA) que nous souhaitons développer vise à offrir une expérience pédagogique complète, réaliste et interactive autour de la reconnaissance clinique de symptômes visibles. Pour cela, nous avons établi un cahier des charges détaillé avec les objectifs suivants :

- **Reconnaissance rapide de QR codes :**
L'utilisateur pourra scanner des QR codes placés stratégiquement sur un mannequin médical réel afin d'identifier instantanément le cas clinique correspondant.

- **Projection réaliste de symptômes pathologiques :**
À partir du scan, des symptômes réalistes apparaîtront en temps réel sur le mannequin. Ces symptômes incluront, par exemple :
 - **Sueur faciale réaliste** : textures et shaders dynamiques simulant une transpiration progressive.
 - **Plaques rouges et inflammations** : visualisation précise et médicale de réactions cutanées typiques (urticaire, érythème).
 - **Cyanose** : modélisation réaliste du changement de coloration de la peau (visage, doigts) dû à un manque d'oxygénation.
 - **Autres symptômes variés** : Prurit, choc allergique jaunisse, pâleur, lésions cutanées diverses pouvant être définies précisément avec le Dr Faivre.
- **Interaction intuitive et immersive :**
L'utilisateur pourra changer de cas clinique facilement, recevoir des instructions précises et interagir intuitivement avec les éléments virtuels grâce à des gestes simples et naturels.
- **Guide pédagogique interactif intégré :**
L'application inclura un mode tutoriel interactif et dynamique guidant progressivement les utilisateurs moins expérimentés dans l'identification des symptômes et leur interprétations cliniques précises.

4.2. Contraintes techniques clairement identifiées :

- **Compatibilité matérielle optimale :**
L'application sera optimisée pour des casques de Réalité Augmentée récents (Meta Quest 3) ou tablettes compatibles ARCore/ARKit afin d'assurer une fluidité maximale des interactions.
- **Modélisations et projections réalistes :**
Les symptômes doivent être visuellement crédibles et détaillés, nécessitant une optimisation poussée des modèles 3D et textures créées.
- **Précision spatiale élevée :**
Si on fait apparaître les symptômes sur le mannequin directement, le placement et l'ancrage des symptômes sur le mannequin réel doivent être très précis, garantissant que les symptômes apparaissent exactement aux endroits pertinents. Sinon si on remplace le mannequin par un homme virtuel dans la RA, il faut bien placer l'homme par rapport au mannequin pour ne plus voir le mannequin.
- **Réactivité de l'application :**
Dans le cas où on affichait les symptômes sur le mannequin réel, une latence extrêmement faible dans la reconnaissance des QR codes et la superposition RA aurait été impérative pour maintenir un haut niveau d'immersion et de réalisme.

5. Choix technologiques détaillés et justifiés pour la Réalité Augmentée

5.1. Unreal Engine comme moteur principal :

Nous maintenons Unreal Engine pour la RA, afin de capitaliser sur l'expérience acquise dans le projet VR initial. De plus Fabrice Lauri pourra reprendre le travail plus tard si intéressé.

5.2. Sélection en cours de la bibliothèque RA :

- Meta XR : spécialisé : bibliothèque développée par Meta, spécialisée pour l'AR sur les casques Quest, offrant un accès natif au pass-through et à l'ancrage spatial dans Unreal Engine.

5.3. Logiciels complémentaires :

- Blender 3.6 : utilisé pour les mask painting et pour l'uv map du personnage.
 - Logiciel de scan 3D professionnel : pour numériser précisément le mannequin médical réel lors de notre visite à l'hôpital.
-

6. Organisation précise et détaillée de la nouvelle phase du projet RA

6.1. Nouvelle répartition précise des rôles :

Victor Piana

- Mise en place initiale du projet sous Unreal Engine.
- Importation des éléments modélisés sous Blender et création de la première texture sous unreal (marbrure).
- Mise en place de l'environnement AR (configuration du projet, ancrage, caméra).
- Rédaction principale du rapport pdf et structuration documentaire.
- Grabable component.

Cyprien Jury

- Responsable du scan 3D du mannequin médical lors de la visite à l'hôpital du 4 juin.
- Travail sur les matériaux, textures avancées sous Unreal Engine.
- Soutien transversal sur les autres aspects techniques du projet (intégration, tests, optimisations).
- Participation à la validation des éléments visuels et à la cohérence clinique.
- Vidéo de présentation du projet.

Maxime Kyriakides

- Développement technique principal sous Unreal Engine : intégration des bibliothèques RA (Meta XR), gestion des interactions utilisateur, interface AR, Blueprints.
- Responsable de l'ancrage spatial précis et de la fluidité des interactions immersives.
- Changement des matériaux sous unreal avec controller.

6.2. Calendrier précis à partir de la réorientation :

Mercredi 4 juin (9h) – Visite à l'hôpital de Belfort avec le Dr Laurent Faivre :

- Réalisation du scan 3D du mannequin médical réel avec un appareil professionnel.
- Discussion approfondie pour définir quatre cas cliniques prioritaires à modéliser : cyanose, marbrures, sueur et prurit.
- Abandon progressif de l'idée de superposer les symptômes directement sur le mannequin réel, au profit d'un mannequin virtuel repositionnable, plus réaliste et plus flexible.

Du 4 au 11 juin – Phase de reconfiguration technique et premières intégrations :

- Analyse du nouveau périmètre du projet et révision complète du cahier des charges autour d'un corps humain virtuel superposable.
- Abandon de la reconnaissance QR code (trop complexe à intégrer dans les délais).
- Début de l'intégration AR sous Unreal avec Meta XR, confrontée à des difficultés techniques majeures (absence de documentation claire, échecs d'intégration initiaux).
- Importation d'un modèle humain réaliste sous Blender, création de l'UV map, premières textures pathologiques (ex. : marbrure version 1).
- Test d'import dans Unreal Engine, premiers essais de rendu visuel.

Du 11 au 18 juin – Finalisation du prototype (MVP) et préparation du rendu :

- Création et amélioration des textures symptomatiques (cyanose, marbrure, prurit...) basées sur des références médicales.
- Tentative de mise en place d'un système de grab manuel dans Unreal permettant de placer précisément le mannequin virtuel dans l'espace (au lieu d'un ancrage automatique par QR).(Validé)
- Intégration et assemblage du prototype fonctionnel minimal en Réalité Augmentée : possibilité de faire apparaître un corps humain virtuel avec symptômes visuels sur casque AR.
- Tests internes pour valider la lisibilité des symptômes, le positionnement manuel et l'ergonomie globale.
- Rédaction structurée du rapport de projet, réalisation des annexes (captures d'écran, modélisation, scénario pédagogique), mise en page.
- Préparation de la présentation finale, vidéo...

7. Apports pédagogiques des enseignements MV50 dans le projet RA

7.1. Dimension ergonomique (cours de Florence Tyndiuk)

La transposition des principes d'ergonomie au contexte de la Réalité Augmentée a représenté un enjeu central dans notre démarche. L'enseignement de Florence Tyndiuk nous a permis d'appliquer, dès la conception, plusieurs règles fondamentales :

- Simplicité des interactions : en utilisant uniquement les boutons de la manette (X, Y, B) pour naviguer entre les textures pathologiques, nous avons évité les menus complexes ou les gestes non intuitifs.
- Lisibilité des éléments projetés : les textures (cyanose, marbrures, prurit) ont été positionnées sur un mannequin allongé, permettant un angle d'observation naturel.
- Adaptation de l'environnement utilisateur : en début d'usage, l'utilisateur doit agrandir manuellement la limite de jeu sur le Meta Quest 3 afin de pouvoir se déplacer librement autour du corps virtuel, condition indispensable pour garantir une exploration complète.

Bien que perfectible, l'interface actuelle constitue un socle ergonomique fonctionnel pour une démonstration pédagogique immersive.

7.2. Narration interactive et expérience utilisateur UX (cours de Marjorie Barcella)

Le cours de Marjorie Barcella nous a guidés vers une approche plus scénarisée de l'apprentissage.

Même si le projet RA est resté techniquement sobre, nous avons intégré une logique de progression narrative implicite : chaque texture représente un cas clinique visuel, que l'utilisateur doit identifier, observer et analyser, comme s'il entrait dans une salle de simulation médicale.

- Chaque appui sur un bouton (X ou Y ou A B ou grip) déclenche une transformation visible du patient virtuel, représentant un changement d'état clinique.
- Le bouton B permet de revenir à l'état neutre, simulant la fin du scénario.

Nous avons ainsi posé les bases d'un déroulé UX clair, même sans interface textuelle, à partir d'une expérience uniquement visuelle et interactive.

7.3. Design sonore et immersion acoustique (cours de Bob Antoine, UQAC Québec)

Nous n'avons pas pu intégrer de design sonore final dans ce prototype, faute de temps. Cependant, nous avons identifié plusieurs points précis où une immersion acoustique renforcée aurait amélioré considérablement l'expérience utilisateur :

- Ambiance médicale de fond : bip de monitoring, murmures d'hôpital, ventilation ambiante.
- Feedback sonore par texture : petit "clic" ou signal sonore discret à chaque changement d'état du corps.
- Guidage audio possible dans une future version (narration clinique, rappel des symptômes).

Ces éléments font partie des pistes concrètes d'amélioration technique que nous avons listées dans la section suivante. Néanmoins nous poussons que dans ce cas précis, l'immersion acoustique n'est pas indispensable puisque l'utilisateur sera accompagné d'un professionnel de santé, l'audio risquerait de déranger les explications.

8. Résultats techniques obtenus

À la date de rendu, notre application en Réalité Augmentée permet de :

- Afficher un corps humain virtuel allongé dans l'espace réel, visible sur Meta Quest 3, le déplacer grâce à un grabbable que nous avons créé. Gachette de gauche pour attraper, et gachette de droite pour relâcher. (il faut que la manette soit sur le mannequin pour que ça marche).
- Naviguer entre plusieurs textures symptomatiques : cyanose, marbrure, prurit, choc allergique.
- Changer l'état du patient par simple interaction via les boutons de la manette :
 - Bouton X : texture 1 (cyanose)
 - Bouton Y : texture 2 (marbrures)
 - Bouton A : texture 3 (prurit)
 - Grip droit : texture 4 (choc allergique, plaque rouge)
 - Bouton B : retour à l'état normal
- Observer librement le mannequin à 360°, à condition d'élargir l'aire de jeu avant le lancement.
- Intégrer un modèle Blender customisé, avec UV map, plusieurs matériaux et compatibilité totale avec Unreal + Meta XR.

Le résultat est un MVP visuel immersif, permettant de démontrer le concept pédagogique de reconnaissance de pathologies en RA, dans un cadre réaliste et exploitable.

9. Tests utilisateurs et validation pédagogique

Nous avons réalisé une série de tests internes dans un espace de test libre à l'UTBM, avec des utilisateurs non experts (étudiants ingénieurs).

Méthodologie :

- Session courte de démonstration (10 minutes par personne).
- Explication des commandes (X, Y, B).
- Observation libre du corps et tentative de deviner le cas clinique.

Résultats qualitatifs :

- Bonne lisibilité des symptômes malgré des textures simples.
- Appréciation de l'immersion grâce à la liberté de déplacement autour du mannequin.
- Certains utilisateurs ont souligné le manque de guidage textuel ou sonore, mais ont trouvé la démarche "intuitive et prometteuse".

10. Explication technique générale du projet

Le développement de notre application en Réalité Augmentée (RA) a mobilisé un ensemble de compétences techniques variées, issues à la fois de la modélisation 3D, du traitement des textures, du développement sous Unreal Engine, et de l'intégration AR via Meta XR sur casque Meta Quest 3.

10.1. Modélisation 3D et préparation sous Blender

Nous avons dans un premier temps récupéré un maillage 3D de corps humain réaliste que nous avons importé dans Blender. Bien que nous ayons également réalisé un scan 3D du mannequin réel de l'hôpital lors de notre visite du 4 juin, ce mesh scanné n'a finalement pas été utilisé dans le projet, principalement pour des raisons de temps et de difficulté d'intégration. Il reste cependant une base exploitable pour une version future du projet.

Sous Blender, nous avons procédé à plusieurs opérations clés :

- UV Unwrap complet du modèle, pour faciliter la projection des textures sur les zones ciblées du corps.
- Création de masques peints à la main (via texture paint) : les zones que nous souhaitions affecter par les symptômes étaient peintes en blanc, tandis que le reste du corps restait noir. Ces masques servent ensuite de base de décision dans Unreal pour activer ou non l'effet de texture pathologique.
- Export propre des différentes textures et masques au format compatible avec Unreal Engine (PNG/EXR, résolution fixe 2048x2048 ou plus selon les cas).



Peinture marbrure mais on voit que ça peint sur l'uv map où il y a la tête mais c'est car le mesh est découpé en plusieurs partie, on appliquera ce masque précisément aux jambes donc il n'y aura pas de problème.

10.2. Gestion des textures et fonctionnement logique

Chaque texture pathologique (prurit, marbrure, cyanose, etc.) a été soit :

- retravaillée à partir d'images médicales réelles,
- soit générée avec des IA de génération d'image pour obtenir un aspect visuellement convaincant et cohérent avec des symptômes cliniques.

L'approche repose sur un système de double vérification dans le shader Unreal :

1. Si le masque est blanc à un point donné → on regarde la texture de maladie.
2. Sinon → on garde la texture de base du corps (torse, jambe, bras, etc.).

De plus, certaines textures de symptômes (notamment pour le prurit ou le choc allergique) utilisent elles-mêmes une logique binaire :

- Si la texture maladie est noire à un pixel, cela signifie pas de pathologie ici, on remonte la texture du corps sain.

- Si la texture maladie est colorée, on applique l'effet de pathologie (plaques rouges, cyanose, etc.).

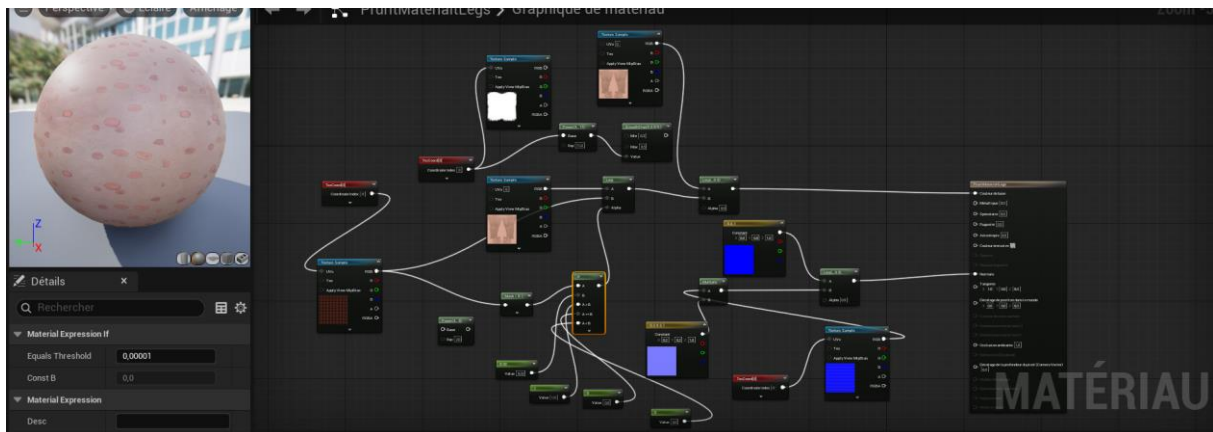


Figure 1: Purrit Matériau

Dans le cas de la marbrure, nous avons préféré une approche plus progressive, en utilisant un Lerp (Linear Interpolation) ou un SmoothStep pour fondre progressivement entre la texture du corps sain et la texture marbrée, afin d'obtenir un rendu plus réaliste, diffus, veiné, imitant mieux l'effet vasculaire réel.

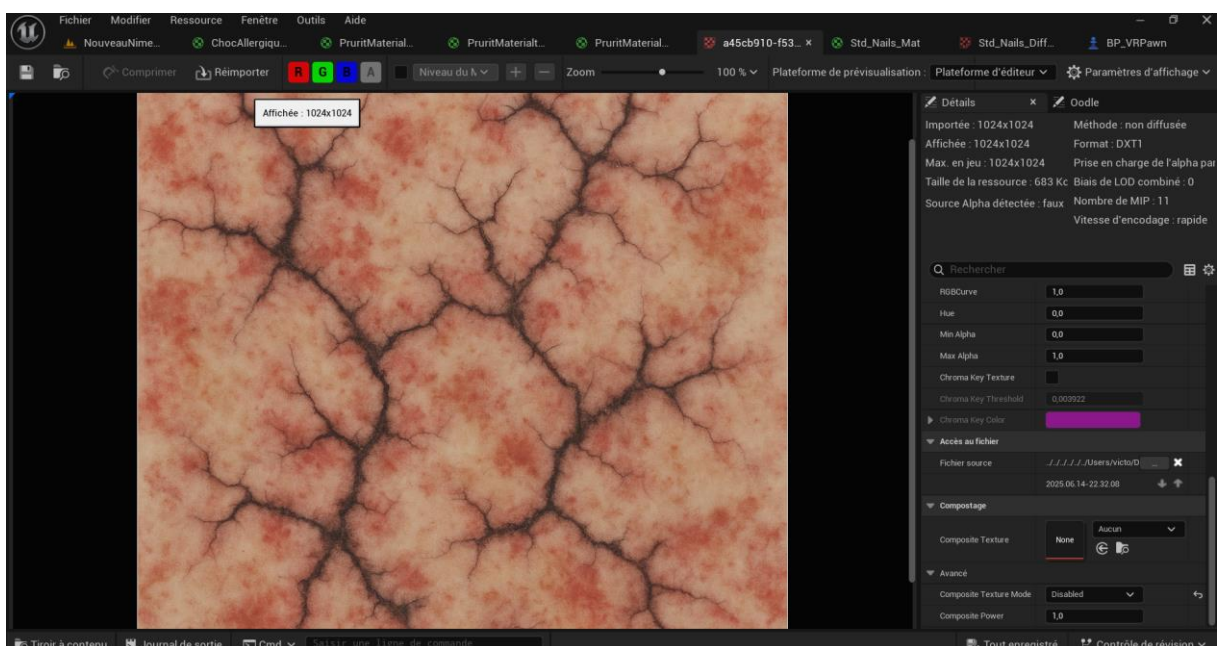


Figure 2: Image texture Marbrure

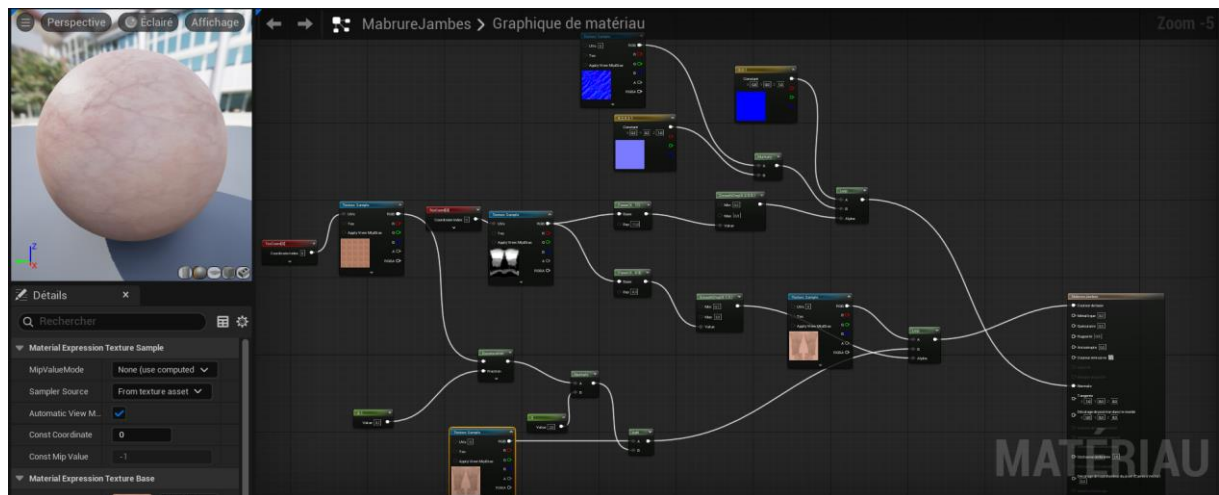


Figure 3: Matériaux marbrure

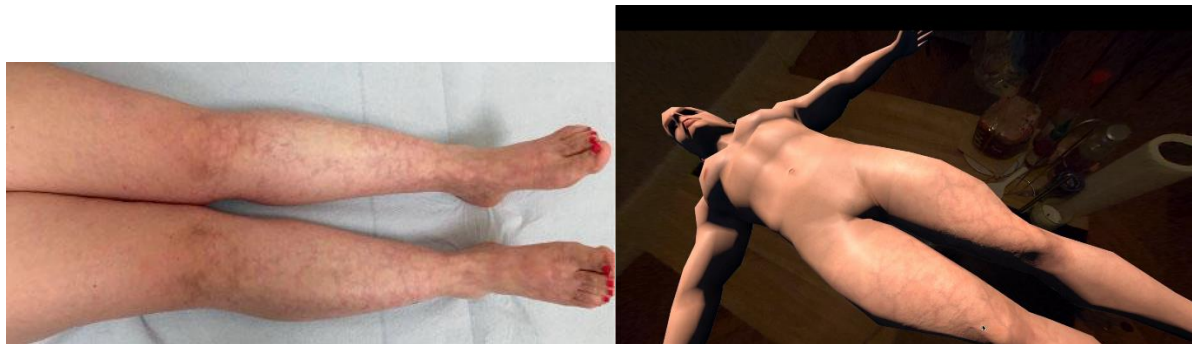


Figure 4: Cas réelle marbrure vs notre app

10.3. Construction du matériau dans Unreal Engine

Dans Unreal, chaque matériau de pathologie est construit autour d'un système de nodes Blueprint logique :

- Utilisation des masques en tant qu'Alpha dans des Blend ou Lerp.
- Application d'un Normal Map combiné selon les cas pour renforcer l'effet de relief (bien que certaines pathologies comme le prurit reposaient plus sur la couleur que sur le relief).

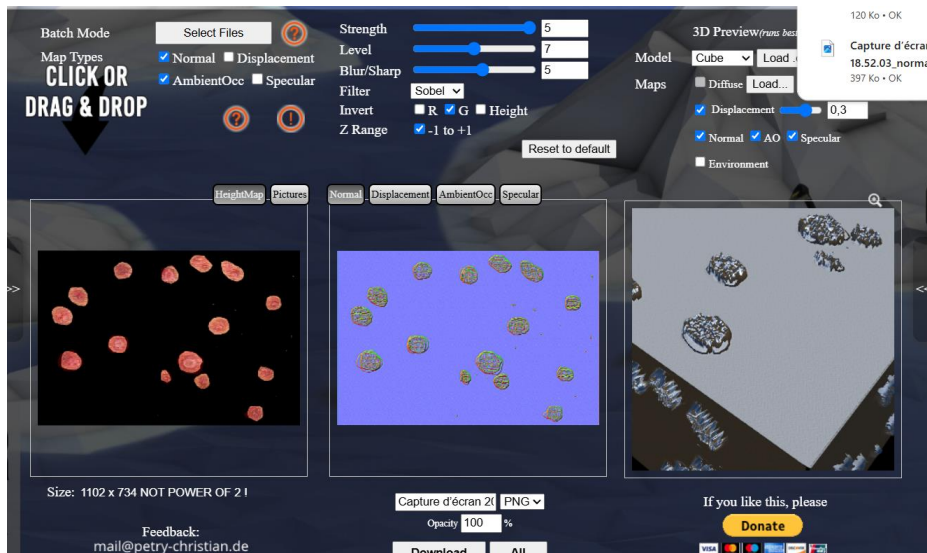


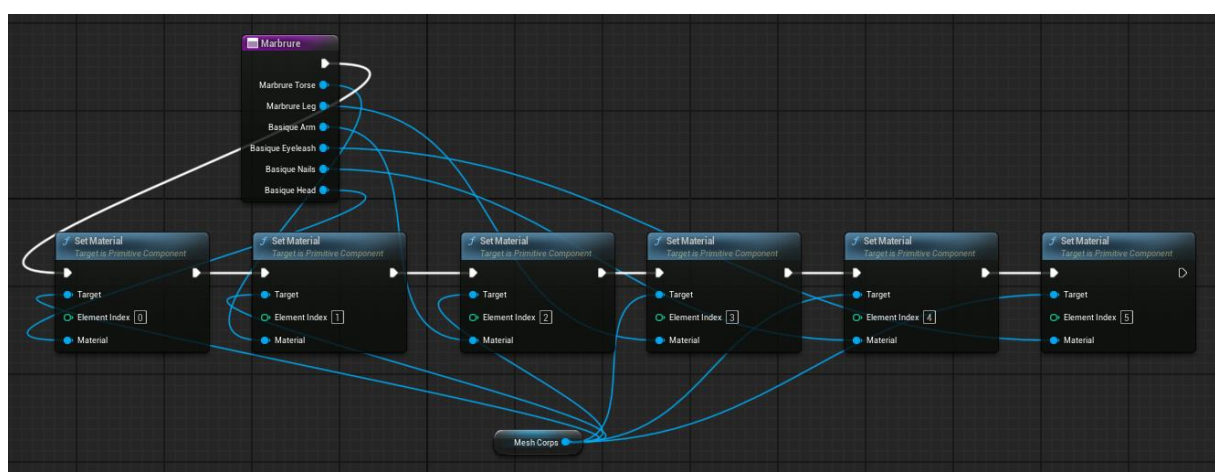
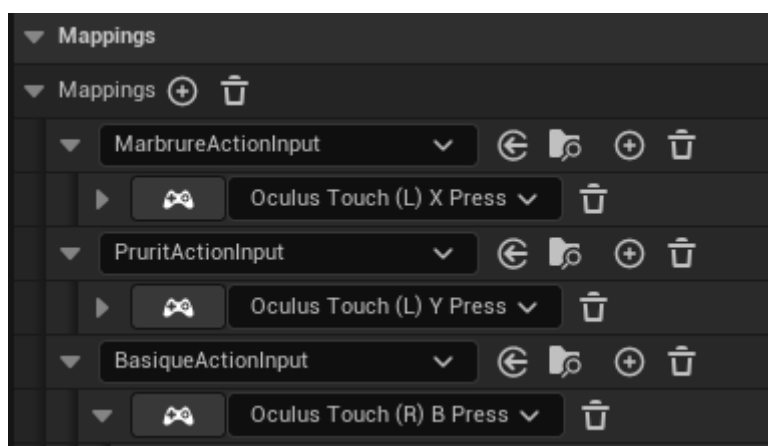
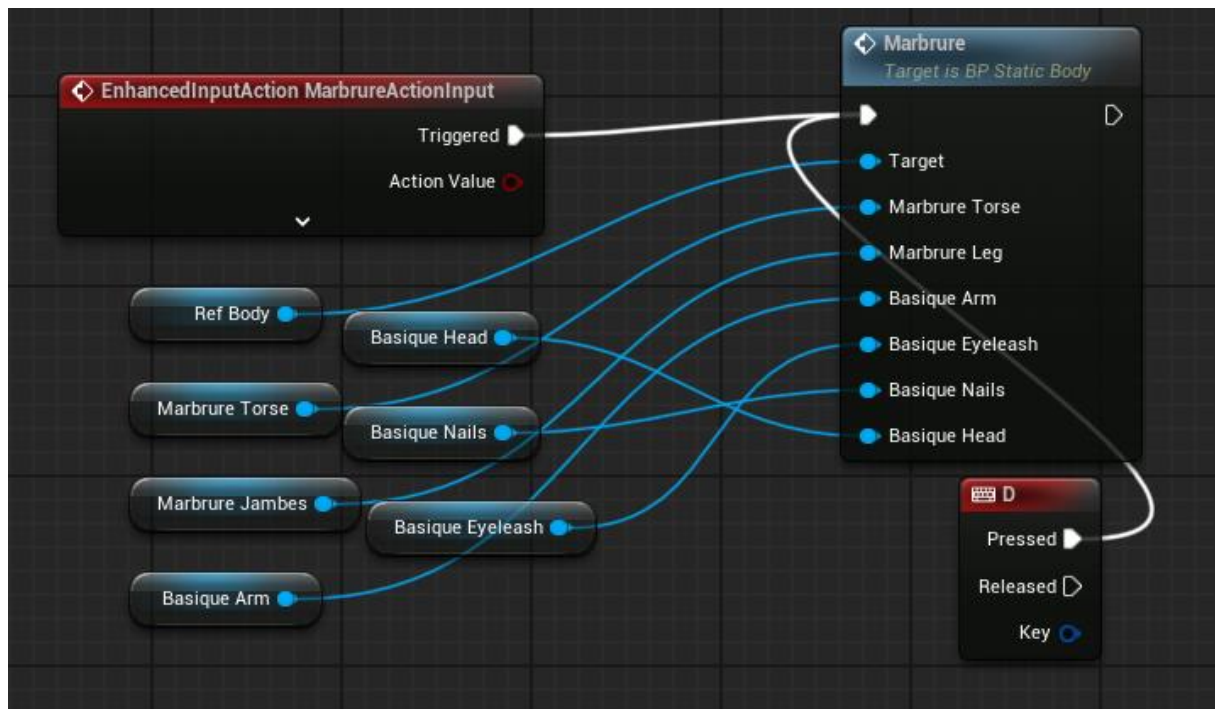
Figure 5: Normal maps site web

- Possibilité de multiplier certaines valeurs (intensité du Normal ou de la teinte rouge) pour accentuer les effets visuels selon les cas.
- Le matériau utilise aussi des UVs partagées pour permettre la réutilisation facile sur plusieurs zones du corps.

10.4. Blueprint et gestion du changement de texture en RA

L'interaction utilisateur est assurée via les manettes Oculus Touch :

- Chaque bouton (X, Y, B, Grip) est associé à une pathologie différente.
- Lors d'un appui, un Blueprint central (Ref Body) appelle la fonction correspondante (ex. Marbrure, Prurit, etc.) qui remplace dynamiquement les matériaux sur le corps virtuel (via la fonction Set Material sur les bons éléments).



Le corps humain est composé de 6 matériaux différents (corps, torse, jambes, bras, ongles, yeux) et chaque Blueprint pathologique applique une série de SetMaterial bien ordonnés.

10.5. Grabbable et positionnement en RA

Un système personnalisé de Grab & Release a été mis en place :

- Gâchette gauche (L Grip) permet d'attraper le mannequin (si la manette touche le mesh).
- Gâchette droite (R Grip) permet de le relâcher à un nouvel emplacement.
- Le mannequin RA devient alors déplaçable dans l'espace réel, ce qui compense l'absence de système d'ancrage automatique comme les QR codes.

Ce système est indispensable car l'espace réel change d'une salle à l'autre, et l'utilisateur a ainsi la main sur le placement du corps.

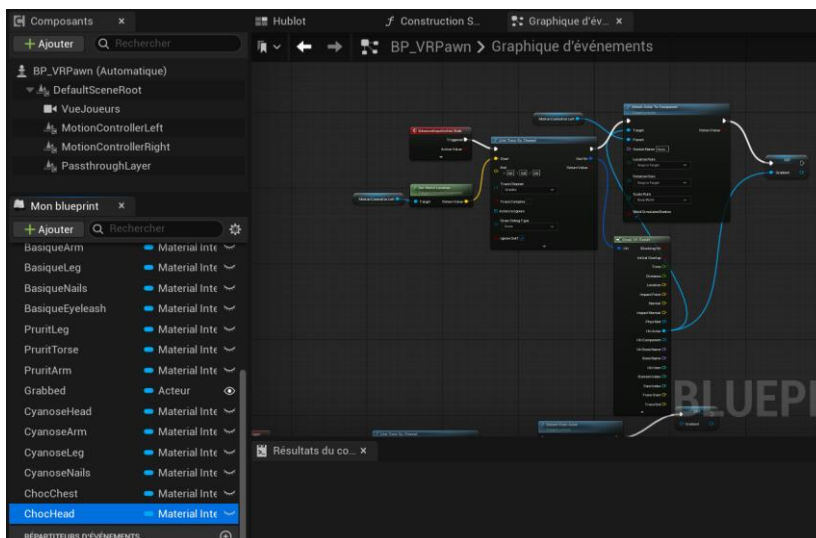
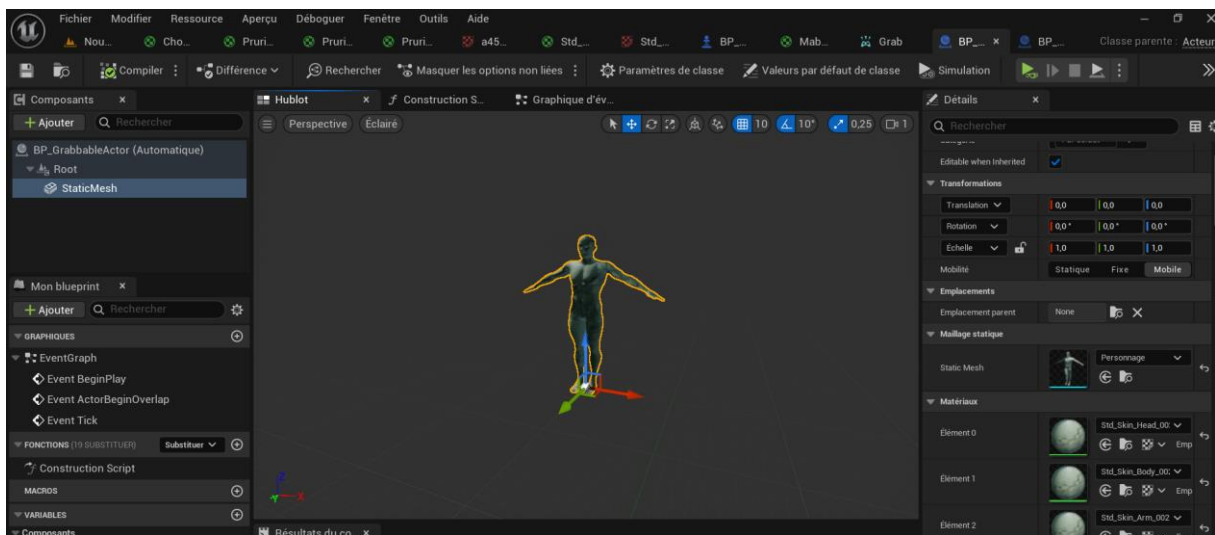


Figure 6: Action d'appuyer sur la gâchette gauche (grab)

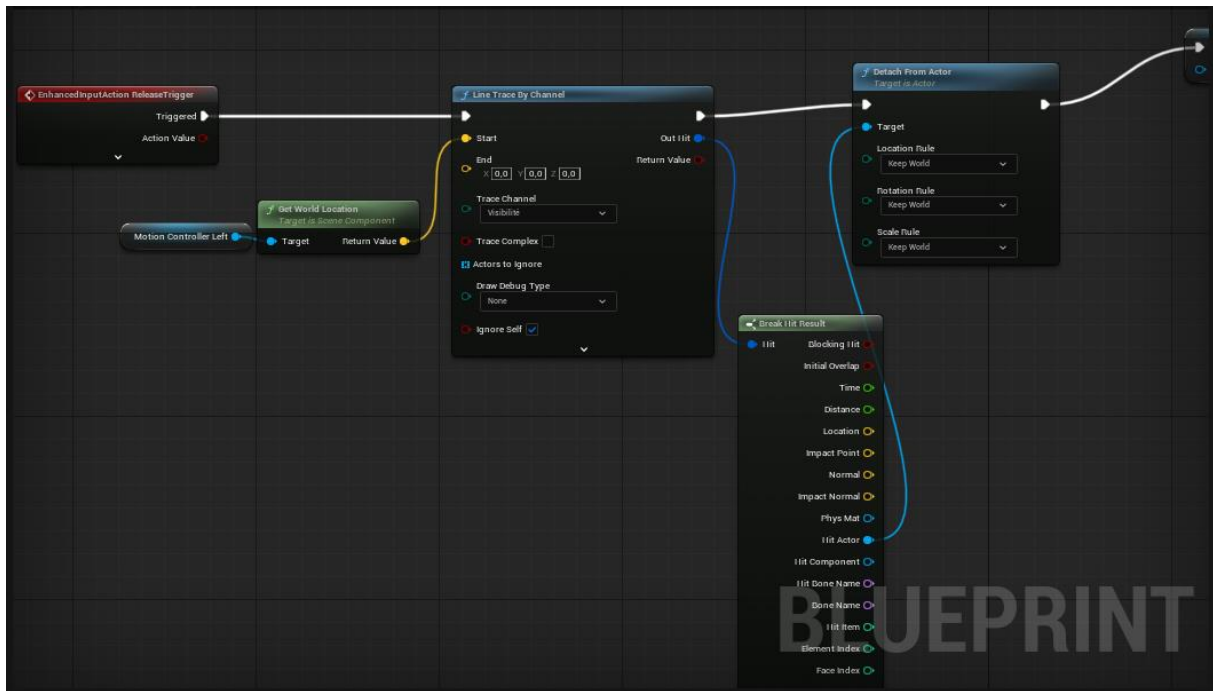


Figure 7: Action de relacher le mannequin à l'endroit actif (arreter le grab) gachette de droite

10.bis Difficultés techniques et limites identifiées

Le développement du projet RA a été limité par plusieurs contraintes majeures :

- Temps très court pour la refonte complète post-VR.
- Documentation limitée sur Meta XR dans Unreal Engine : perte de temps importante à comprendre les flux d'intégration, empaquetage etc.
- Difficulté intégration du grabbable même si réussi.
- Pas d'ancrage automatique (QR) : trop complexe à intégrer dans le temps imparti.

Malgré ces limites, nous pensons que l'objectif de produire un prototype pédagogique exploitable et cohérent a été atteint.

11. Réflexion sur un projet RA idéal en conditions optimales

Dans une logique similaire à celle développée pour notre prototype VR, nous avons réfléchi à ce que notre application de Réalité Augmentée médicale aurait pu devenir dans un cadre idéal, sans contraintes de temps, de budget, ni de matériel.

Cette projection, nourrie par les enseignements de l'UV MV50 et notre collaboration avec le Dr Faivre, nous permet d'imaginer une solution immersive, complète, et pleinement exploitable en contexte hospitalier réel.

11.1. Ergonomie augmentée (inspirée du cours de Florence Tyndiuk)

Dans un scénario de développement sans limite, nous aurions :

- Intégré une reconnaissance automatique du mannequin physique réel via SLAM, LiDAR ou reconnaissance de forme, pour projeter avec précision les symptômes directement sur un corps réel.
Cela permettrait aux utilisateurs de manipuler physiquement le mannequin, tout en observant les réactions visuelles en RA parfaitement ancrées (cyanose, sueur, rougeurs...).
- Permis un placement automatisé du corps virtuel en alternative, avec adaptation à l'environnement spatial (hauteur de lit, éclairage ambiant, etc.).
- Supprimé les manettes au profit d'un contrôle gestuel naturel ou de commandes vocales intelligentes pour rendre l'expérience fluide, mains-libres, et accessible à tous types d'utilisateurs.
- Ajouté des indications visuelles adaptatives (zones d'attention, rétroactions lumineuses) pour guider les apprenants sans alourdir l'interface.

Cette ergonomie optimisée améliorerait l'apprentissage, réduirait la charge cognitive et favoriserait une interaction naturelle avec le contenu médical simulé.

11.2. Scénarisation clinique poussée (inspirée du cours de Marjorie Barcella)

Dans notre version idéale, chaque symptôme visuel aurait été intégré dans une mise en situation narrative complète.

- L'apparition d'un symptôme sur le mannequin réel ou virtuel aurait déclenché un scénario clinique immersif :

« Une patiente de 65 ans, en salle d'attente, présente des marbrures sur les membres inférieurs et une pâleur inquiétante... »

- L'utilisateur aurait dû poser des hypothèses, questionner le patient, formuler un diagnostic différentiel, et recevoir un retour narratif adaptatif en fonction de ses décisions.
- Les scénarios auraient été progressifs (du cas simple au cas urgent), avec la possibilité de choisir un niveau de difficulté, une durée, ou une spécialité (dermatologie, réanimation, gériatrie...).

Cette profondeur narrative aurait renforcé l'engagement cognitif et émotionnel, tout en reproduisant des situations médicales proches de la réalité clinique.

11.3. Immersion sonore professionnelle (inspirée du cours de Bob Antoine, UQAC)

Dans une version avancée de notre application, le son aurait joué un rôle fondamental :

- Une ambiance réaliste de salle d'urgence ou de consultation : bruits de monitoring, pas, respiration, voix à distance... avec spatialisation 3D.
- Des retours sonores discrets et contextuels à chaque changement d'état ou d'interaction :
 - Texture activée → son clinique court.
 - Bonne identification → signal positif.
 - Mauvaise observation → son d'alerte doux, non pénalisant.
- Des sons physiologiques : respiration sifflante, toux, soupirs, gémissements discrets en lien avec l'état simulé du mannequin.
- Un guidage vocal adaptatif (voix-off) offrant des indications cliniques ou rappels protocolaires, en soutien au formateur.

Cette immersion acoustique aurait rendu la reconnaissance de symptômes plus crédible, intuitive et mémorable.

11.4. Composantes techniques et cliniques avancées

Dans notre projet RA idéal, nous aurions combiné virtuel et réel de façon fluide avec des technologies de pointe :

- Superposition dynamique de symptômes sur un mannequin physique réel, avec calibration automatique (modèle 3D du mannequin scanné à l'avance, reconnaissance de forme + ajustement en temps réel).
- Textures symptomatiques dynamiques : sueur progressive qui perle, cyanose qui s'étend lentement, urticaire animé, peau qui se tache ou palie.
- Mode collaboratif multi-utilisateur, avec plusieurs casques connectés dans une même salle de simulation, ou à distance via serveur.
- Intelligence artificielle intégrée, capable d'analyser les choix de l'apprenant et de générer une synthèse diagnostique personnalisée.

Une telle solution permettrait de reproduire fidèlement l'examen clinique visuel dans un environnement contrôlé, sans risque pour un patient réel, tout en étant hautement pédagogique et reproductible.

11.5. Intérêt pédagogique d'un tel dispositif

Ce projet RA, dans sa version idéale, deviendrait un outil clé pour la formation clinique immersive :

- Approche multi-supports : casque RA, tablette, smartphone. (Nous avons implémenté l'AR sur téléphone également)
- Adapté à tous niveaux : de la première année à la formation continue.
- Scénarios riches et adaptatifs, configurables selon les besoins pédagogiques.
- Utilisation hospitalière, universitaire ou à domicile, avec ou sans mannequin.

La combinaison entre un mannequin réel tangible et une couche virtuelle intelligente offrirait une expérience d'apprentissage unique, engageante et transférable en contexte clinique réel.

Dans cette vision idéale, notre projet dépasserait le simple démonstrateur pour devenir une plateforme de simulation clinique augmentée, modulaire, portable, et centrée sur l'apprentissage visuel des pathologies.

Un outil puissant, au croisement de la pédagogie médicale, de la technologie immersive et de l'intelligence artificielle.

12. Conclusion finale

Ce projet de Réalité Augmentée nous a permis de :

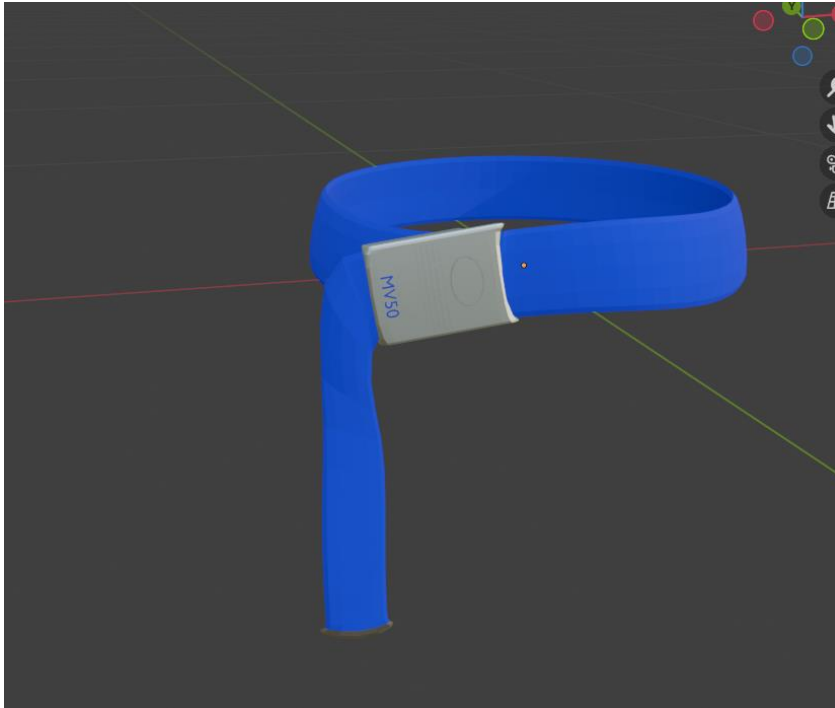
- Passer d'un prototype VR à une nouvelle application immersive RA, en moins de 3 semaines.
- Appliquer concrètement les cours suivis durant le semestre en MV.
- Proposer une solution pédagogique immersive à potentiel dans la formation médicale initiale.

En dépit des limites techniques et des choix contraints par le calendrier, notre équipe a su s'adapter rapidement, réorganiser ses objectifs, et livrer un projet fonctionnel, visuellement crédible et pédagogiquement justifié.

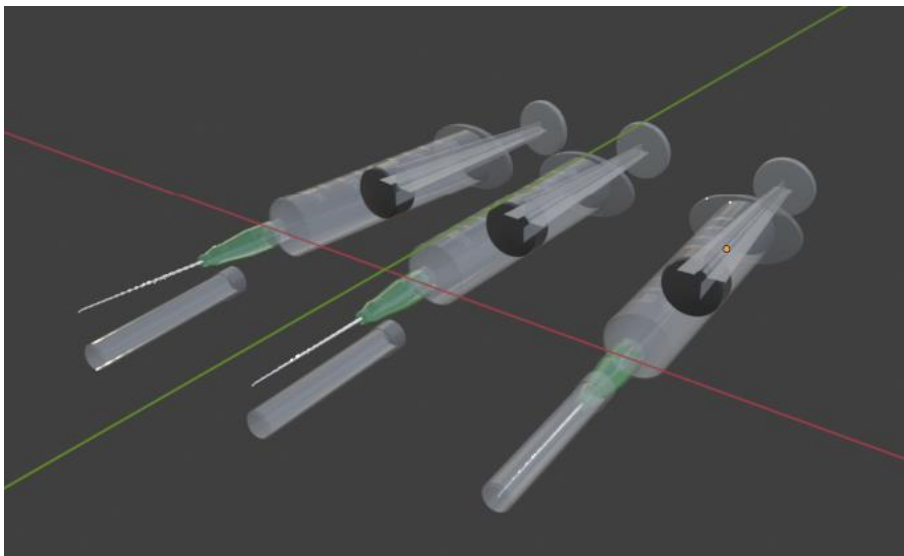
Ce travail a également constitué une expérience humaine forte : échanges avec un médecin spécialiste (Dr Faivre), un professeur (Fabrice Lauri) co-construction en équipe, montée en compétences accélérée sur Unreal, Meta XR et Blender.

Il représente pour nous une étape marquante dans notre formation, et une preuve concrète que les mondes virtuels et augmentés ont un rôle central à jouer dans les usages pédagogiques futurs.

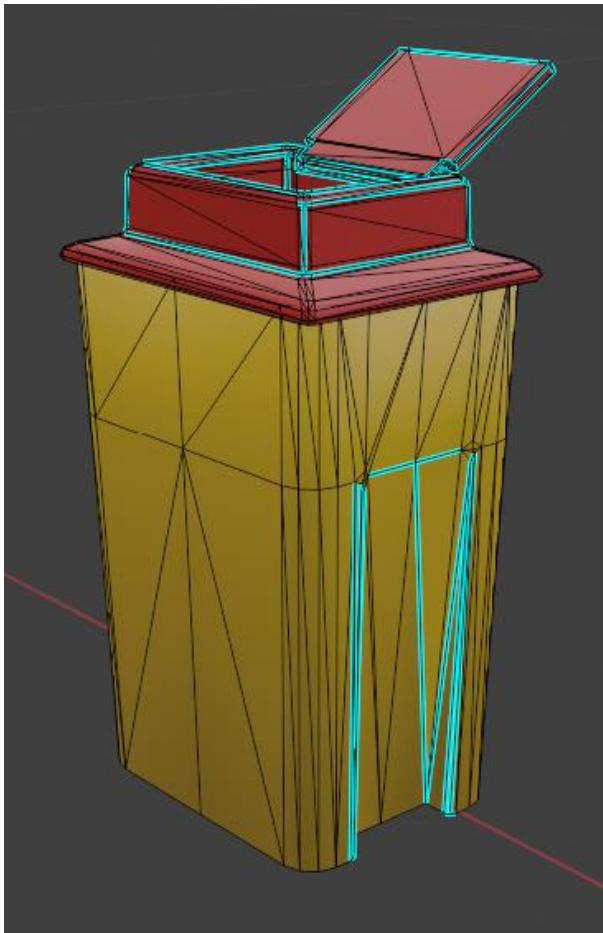
Annexe A : Éléments visuels du projet initial (Simulation VR de prise de sang)



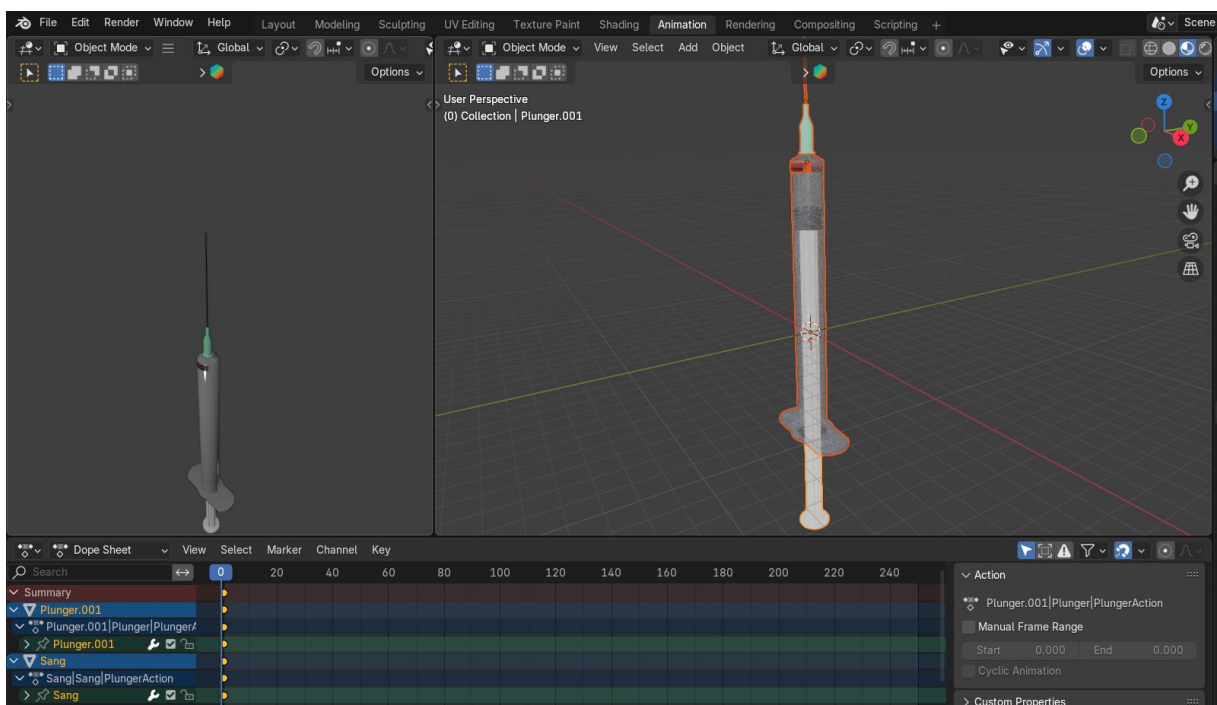
Annexe 1: Modélisation sangle médical



Annexe 2: Modélisation seringue



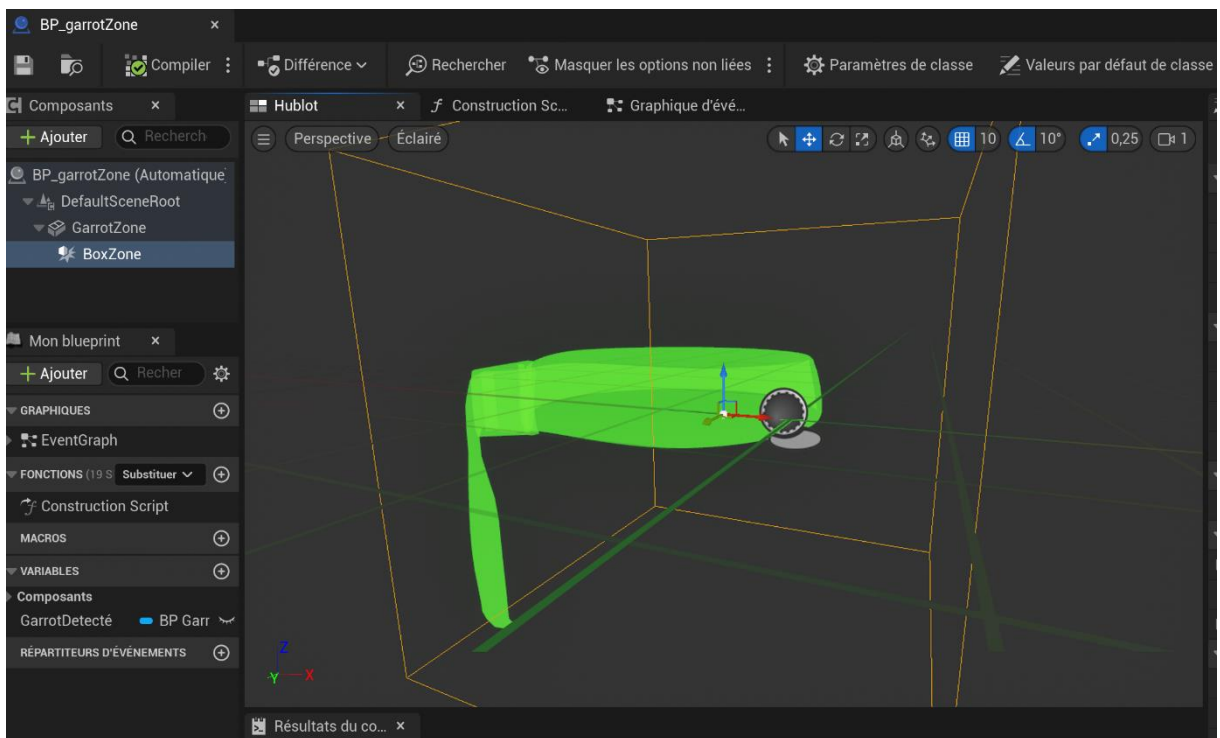
Annexe 3: Modélisation Poubelle



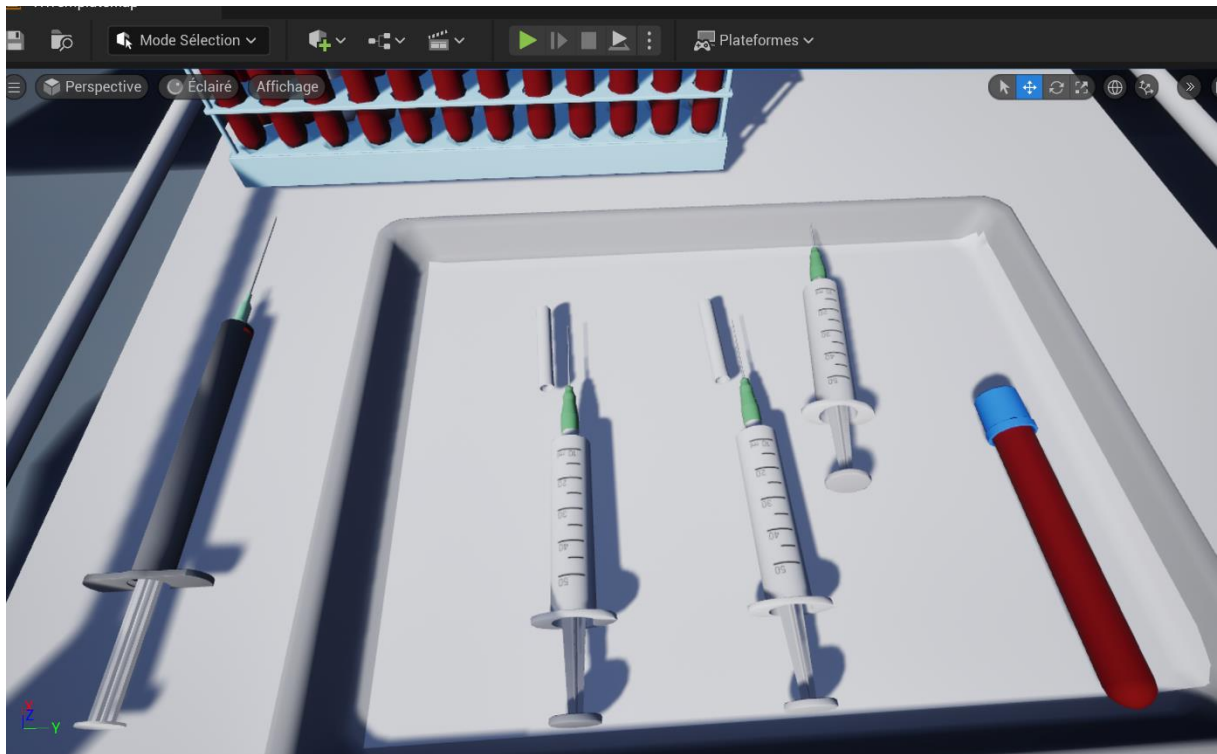
Annexe 4: Seringue modifié et animation remplissage du sang (perdu entre temps)



Annexe 5: Ancien projet capture d'écran pendant développement



Annexe 6: Grab et snap de la sangle sur le bras



Annexe 7: Plateau et seringues + tube de sang

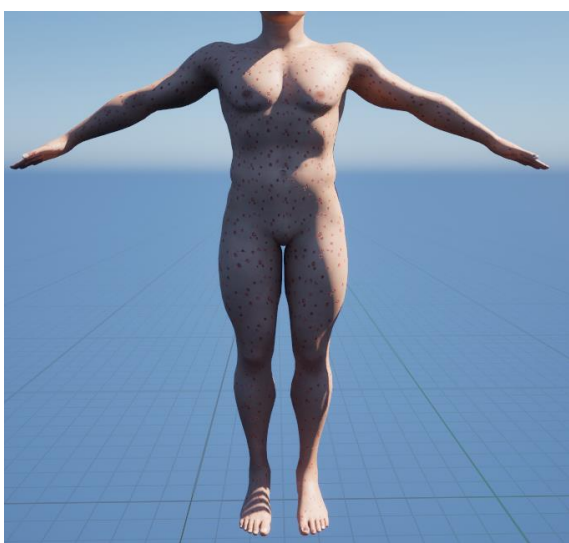
Annexe B : Projet AR Final



Annexe 8: Mannequin avec texture de base



Annexe 9: Mannequin avec marbrure



Annexe 10: Mannequin avec prurit



Annexe 11: Prurit exemple réel



Annexe 12: Mannequin avec Choc allergique



Annexe 13: Choc allergique exemple réel



Annexe 14: Cyanose



Annexe 15: Cyanose réelle