

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE 20 AOUT 1955 DE SIKDA

Faculté des sciences

Département d'Informatique



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
de Master Professionnel en Informatique**

Option : Génie Logiciel Avancé et Applications

Thème :

La Réalité Augmentée dans le Commerce électronique

Réalisé par :

KHalfi Marwa

Dirigé par :

lazhar benoudina

Année Universitaire : 2024/2025

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers le bon Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé le courage, la patience, la volonté et surtout la santé nécessaires à la réalisation de ce modeste mémoire.

J'adresse mes remerciements les plus chaleureux à mon encadreur, Monsieur lazhar benoudina , pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de me guider tout au long de ce travail, pour son aide précieuse et le temps qu'il m'a consacré.

Je remercie également les membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont accordé en évaluant mon travail.

Ma reconnaissance s'étend à l'ensemble des enseignants du département, qui ont veillé à ma formation tout au long de ces cinq années.

Enfin, j'exprime mes plus sincères remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidée et soutenue, de près ou de loin, tout au long de ce parcours.

Liste des figures

Figure 1 : relations utilisateur, monde réel et monde virtuel (VR/AR/MR)	30
Figure 2 : continuum Réalité – Virtualité (RV) et des nuances de la réalité mixte	39
Figure 3 : Le diagramme de cas d'utilisation.	60
Figure 4 : Le diagramme de classe.	62
Figure 5 : Le diagramme de Séquence.	64
Figure 6 : Diagramme de déploiement	65
Figure 7 : diagramme de compose.....	67
Figure 8 : Diagramme E/A ou E/R	69
Figure 9 : logo Vs Code.....	78
Figure 10 : Logo Docker	79
Figure 11 : Logo MongoDB	79
Figure 12 : L’interface d’ Accueil	80
Figure 13 : L’interface de collection	81
Figure 14 : L’interface de essayage.....	82

Liste des tables

Table 1 : les type de E-commerce.....	9
Table 2 : Comparaison entre e-commerce et v-commerce	14
Table 3 : Différences techniques spécifiques.....	44

Table des matières

Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 commerce virtual	3
1 Introduction.....	4
2.Historique	5
3.Les Concepts Fondamentaux.....	6
3.1.Le Commerce Électronique (E-commerce).....	6
3.1.1.Définition.....	7
3.1.2.les type de E-commerce.....	8
3.1.3.Fonctionnement de E-commerce	9
3.2.Le Commerce Virtuel (V-commerce).....	10
3.2.1.Définition.....	11
3.3.Comparaison.....	11
4.Les Technologies Sous-Jacentes.....	14
4.1.Technologies de l'E-commerce.....	14
4.2.Technologies du V-commerce	16
4.3.Convergence technologique	18
4.3.1.Essais de Vêtements Virtuels.....	18
4.3.2. Visualisation dans le Monde Réel.....	18
4.3.3.Personnalisation et Configuration	18
4.3.4.Exemple Concret : Nike	18
4.3.5. Exemple Concret : Gucci.....	19
5.Applications Pratiques.....	19
5.1 Exemples de Magasins dans le Métavers	19
5.1.1.Zara – AZ Collection.....	19
5.1.2 Dolce & Gabbana	19
5.1.3 Ralph Lauren	20
5.2 Essais Virtuels via VR/AR Essayage de vêtements.....	20
5.2.1 Meubles et décoration.....	20
5.2.2 Produits de beauté	20
5.3 Impact sur l'Expérience Client.....	21
6.Défis et Opportunités.....	21
6.1 Défis Actuels du Métavers.....	21
6.1.1 Immaturité technologique et manque de normes.....	21
6.1.2 Manque d'applications concrètes et de cas d'usage	22
6.1.3 Incertitudes réglementaires et juridiques	22
6.1.4 Coûts élevés et retour sur investissement incertain	22
6.1.5 Adoption limitée par le grand public	22
6.2 Opportunités Futures du Métavers	22
6.2.1 Commerce virtuel et retail immersif.....	22
6.2.2 Événements et expériences immersives	23
6.2.3 Nouveaux modèles économiques : Direct-to-Avatar (D2A).....	23
6.2.4 Formation et collaboration à distance.....	23

6.2.5 Personnalisation avancée de l'expérience client	23
7 Conclusion.....	23
Chapitre2 Technologies Immersives	25
1 introduction	26
2 Historique des technologies immersives (VR, AR, MR).....	28
3. Concepts Fondamentaux et Définitions.....	29
3.1. Définitions	29
3.2 Fonctionnalité de Technologies Immersives	32
4. Théories Sous-Jacentes aux Technologies Immersives	34
4.1. Théories Perceptuelles et Cognitives.....	34
4.1.1 Théorie de la Présence	34
4.1.2. Théorie de la Charge Cognitive	35
4.1.3. Théorie du Flow (Mihaly Csikszentmihalyi).....	35
4.1.4. Théorie de l'Embodiment (Incarnation).....	35
4.1.5. Théorie de la Cognition Incarnée (Embodied Cognition)	35
4.1.6. Théorie de la Coprésence Sociale.....	36
4.1.7. Neurosciences et Réalité Virtuelle.....	36
4.2. Modèles Interactionnels.....	36
4.2.1. Modèle Stimulus-Réponse (S-R).....	36
4.2.2. Modèle d'Immersion et d'Interaction.....	36
4.2.3. Modèle d'Intégration Contextuelle.....	36
4.2.4. Interaction Gestuelle Avancée	37
4.2.5. Commandes Vocales et Reconnaissance du Langage Naturel	37
4.2.6. Suivi Oculaire pour l'Interaction Focalisée.....	37
4.2.7. Collaboration Locale et Distante	37
4.2.8. Feedback Sensoriel Enrichi	38
4.2.9. Modèle IRVO (Interaction Réalité Virtuelle et Objets)	38
4.2.10. Création et Manipulation de Modèles 3D.....	38
4.3. Continuum Réalité - Virtualité	38
5. Aspects Techniques et Architecturaux.....	40
5.1. Composantes techniques communes	40
5.1.1. Composantes Matérielles Communes	41
5.1.2. Composantes Logicielles Communes.....	41
5.2. Différences techniques spécifiques	42
6. Applications et Implications Pratiques	45
6.1. Domaines d'Application de la VR	45
6.1.1 Jeux immersifs.....	45
6.1.2 Éducation et formation	45
6.1.3 Immobilier et architecture	45
6.1.4 Soins de santé et thérapie	45
6.1.5 Divertissement.....	45
6.2. Domaines d'Application de la AR	46
6.2.1 Jeux et divertissements	46
6.2.2 Commerce de détail et commerce électronique.....	46

6.2.3 Éducation.....	46
6.2.4 Soins de santé	46
6.2.5 Formation industrielle	46
6.2.6 Publicité et marketing.....	47
6.3.Domaines d'Application de la MR	47
6.3.1 Éducation et Formation	47
6.3.2 Santé et Soins Médicaux	47
6.3.3 Architecture et Construction.....	47
6.3.4 Industrie et Maintenance	48
6.3.5 Commerce et Marketing Immersif	48
6.3.6 Jeux Vidéo et Divertissement	48
6.3.7 Collaboration Professionnelle Grâce à	48
7.Avantages et Limitations	49
7.1.Avantages et Limitations de la VR	49
7.1.1 Avantages.....	49
7.1.2.Limitations.....	49
7.2.Avantages et Limitations de la AR	49
7.2.1.Avantages	49
5.2.2. Limitations.....	50
7.3.Avantages et Limitations de la MR	51
7.3.1.Avantages	51
7.3.2.Limitations.....	51
8 Conclusion.....	52
Chapitre3 Modélisation et conception.....	54
1 Introduction	55
2.Langage de conception UML	55
3.Les Diagrammes UML.....	56
3.1 Diagramme de cas d'utilisation	56
3.2 Diagramme de classe.....	56
3.3 Diagramme de séquence.....	56
3.4 Diagramme d'activité	56
3.5 Diagramme de déploiement.....	57
4.Exigence fonctionnelle	57
4.1 Diagramme de cas d'utilisation	57
4.2 Diagramme de classe.....	61
4.3 Diagramme de séquence.....	62
4.4 Diagramme de déploiement.....	64
5 Architecture du Système	65
5.1 Architecture Globale	66
5.2 Schéma architectural	66
6 Conception de la Base de Données	67
6.1 Modèle Conceptuel de Données	67
6.2 Modèle Physique de Données	70
7 Tableaux Récapitulatifs	73

8 Conclusion.....	75
Chapitre 4 Implémentation	76
1 Introduction	77
2 Les outils utilisés pour la construction du système	77
2.1 Les Langages des programmations.....	77
2.2 Visual Studio Code (VS Code).....	78
2.3 docker	79
2.4 MongoDB.....	79
3 Quelques interfaces de notre système.....	80
4 Conclusion.....	82
Conclusion Générale	83

Introduction Générale

Le commerce électronique, ou "e-commerce", a révolutionné les modes de consommation au cours des dernières décennies. Dans ce secteur en pleine expansion, la mode joue un rôle central. Avec un chiffre d'affaires en constante croissance, elle illustre parfaitement l'impact du numérique sur les habitudes d'achat. Cependant, malgré son succès, le commerce en ligne de vêtements rencontre des obstacles majeurs. Les clients éprouvent souvent des difficultés à se projeter dans les produits proposés en ligne. Ces incertitudes se traduisent par des taux de retour élevés, atteignant jusqu'à 40 % dans certains segments. Ces retours, principalement dus à des erreurs de taille, de couleur ou de style, engendrent des coûts logistiques importants et pénalisent la rentabilité des entreprises.

Face à ces défis, le concept de commerce virtuel (v-commerce) émerge comme une solution innovante. En intégrant des technologies immersives telles que la réalité augmentée (AR), il permet aux utilisateurs de visualiser virtuellement les vêtements sur eux-mêmes avant de finaliser leur achat. Cette approche améliore non seulement l'expérience utilisateur mais réduit également les frustrations liées aux achats en ligne. La réalité augmentée offre un potentiel considérable pour combler l'écart entre l'expérience physique en magasin et celle en ligne. Elle répond ainsi aux attentes des consommateurs modernes, qui recherchent personnalisation et immersion.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons aux opportunités offertes par l'intégration de la réalité augmentée dans le commerce électronique de vêtements, avec un focus particulier sur l'essayage virtuel. Cette fonctionnalité permet aux utilisateurs de "porter" numériquement des vêtements, transformant ainsi leur expérience d'achat en ligne. Nous examinerons les technologies sous-jacentes, les méthodes d'implémentation possibles, ainsi que les impacts concrets sur les indicateurs commerciaux et l'expérience utilisateur.

Cette recherche s'articule autour d'une problématique centrale : Comment l'intégration de la réalité augmentée dans un site de commerce électronique peut-elle améliorer l'expérience utilisateur, réduire les taux de retour et optimiser les performances commerciales dans le secteur de la mode ? Plus spécifiquement, nous chercherons à identifier les solutions techniques les plus adaptées pour implémenter cette innovation et à mesurer son impact sur des indicateurs clés tels que le taux de conversion, le panier moyen et le temps passé sur le site.

Ce travail repose sur plusieurs objectifs principaux. Premièrement, nous développerons une plateforme web fonctionnelle incluant une fonctionnalité d'essayage virtuel basée sur la réalité augmentée. Deuxièmement, nous étudierons les frameworks et bibliothèques

technologiques disponibles pour concevoir une solution AR performante et accessible. Troisièmement, nous analyserons les effets de cette innovation sur l'expérience utilisateur et les performances commerciales grâce à des tests utilisateurs et des analyses quantitatives. Enfin, nous explorerons les perspectives futures du v-commerce, notamment en combinant la réalité augmentée avec d'autres technologies émergentes comme l'intelligence artificielle pour des recommandations personnalisées.

À travers cette étude, nous ambitionnons de proposer une solution concrète aux défis actuels du commerce électronique de la mode. En combinant théorie et pratique, ce mémoire vise à démontrer comment l'essayage virtuel peut redéfinir les standards du shopping en ligne et contribuer à la transformation digitale du secteur de la mode

Chapitre 1

**commerce
virtual**

1 Introduction

Le commerce moderne a radicalement évolué depuis les échanges traditionnels jusqu'à l'ère des expériences numériques. Aujourd'hui, deux concepts dominent ce paysage, le v-commerce (commerce virtuel) et l'e-commerce (commerce électronique). L'e-commerce repose sur la vente de produits et services via Internet à travers des plateformes en ligne comme Amazon ou Alibaba, tandis que le v-commerce s'appuie sur des technologies immersives telles que la réalité virtuelle (VR), la réalité augmentée (AR) et même le métavers pour offrir une expérience d'achat plus interactive et immersive. Ces innovations permettent aux consommateurs non seulement d'acheter des produits, mais aussi de les tester virtuellement ou de visiter des boutiques dans un environnement 3D.

Les objectifs de ce chapitre sont multiples. D'abord, il vise à clarifier les bases du v-commerce et de l'e-commerce afin que chacun puisse comprendre leurs spécificités respectives. Ensuite, nous examinerons leurs similitudes et différences, ainsi que leurs interactions potentielles. Par exemple, bien que l'e-commerce soit centré sur des transactions en ligne standard, le v-commerce ajoute une dimension immersive qui pourrait enrichir cette expérience. Enfin, nous analyserons les opportunités qu'offrent ces modèles, tels que l'accès globalisé au marché, la personnalisation accrue des produits et des expériences, et les défis liés à leur adoption, notamment les coûts élevés des infrastructures technologiques et les questions relatives à la confidentialité des données.

Dans ce contexte, l'importance croissante des technologies immersives devient incontournable. Elles transforment non seulement la manière dont les entreprises interagissent avec leurs clients, mais également comment ces derniers perçoivent et achètent des produits. Le v-commerce, par exemple, pourrait révolutionner certains secteurs comme la mode ou l'immobilier, où les utilisateurs peuvent "essayer" virtuellement des vêtements ou visiter des appartements sans se déplacer. En somme, comprendre ces tendances est essentiel pour anticiper l'avenir du commerce numérique et saisir les opportunités qu'il offre.

2. Historique

- **1970s - Premiers Pas du Commerce Électronique**

L'e-commerce a commencé à se développer dans les années 1970 avec des systèmes précurseurs comme le commerce électronique basé sur EDI (Electronic Data Interchange), qui permettait aux entreprises d'échanger des documents commerciaux de manière électronique .

- **1980s - Début du Commerce en Ligne avec Minitel**

En France, le Minitel, lancé en 1983, est une des premières formes de commerce en ligne. Il permettait aux utilisateurs d'accéder à des services comme la réservation de billets ou l'achat de produits via un terminal connecté à des serveurs centraux .

- **1990s - Lancement du Web et Naissance de l'E-commerce Moderne**

Le lancement du World Wide Web en 1991 par Tim Berners-Lee a révolutionné le commerce en ligne en rendant accessible la création de sites web commerciaux .

En 1994, le premier site de e-commerce moderne est lancé, marquant le début de l'ère numérique pour les achats en ligne .

Vers la fin des années 1990, des géants comme Amazon (fondé en 1994) et eBay (fondé en 1995) apparaissent, contribuant à démocratiser le commerce en ligne .

- **2000s - Croissance et Diversification de l'E-commerce**

Les années 2000 voient une forte croissance de l'e-commerce grâce à l'amélioration des technologies de paiement en ligne, de la sécurité et de la logistique .

Des places de marché comme Alibaba (fondé en 1999 mais qui s'est développé dans les années 2000) deviennent des acteurs majeurs du commerce mondial .

- **2010s - Montée de l'AR/VR et Émergence du V-commerce**

Avec l'avènement des smartphones et des casques VR abordables comme Oculus Rift (lancé en 2012), les entreprises commencent à explorer les applications commerciales de ces technologies.

Le V-commerce commence à se développer sérieusement vers la fin des années 2010. Par exemple, des marques comme IKEA lancent des applications AR permettant aux clients de visualiser des meubles dans leur maison avant d'acheter .

- **2015-2020 - Transformation Numérique et Adoption Grandissante**

La pandémie de 2020 accélère l'adoption du commerce en ligne, y compris le V-commerce. Les consommateurs recherchent des solutions plus immersives pour compenser l'absence de magasins physiques . Des entreprises comme Gucci et Nike investissent massivement dans des expériences AR/VR pour offrir des produits numériques exclusifs, tels que des chaussures virtuelles ou des accessoires pour avatars dans le métavers .

- **2020s - Retail 4.0 et Métavers**

D'ici 2025, le V-commerce devient une composante centrale du commerce en ligne. Les experts anticipent une adoption massive des technologies immersives par les entreprises, transformant ainsi la manière dont les consommateurs interagissent avec les produits . Le concept de Retail 4.0, intégrant pleinement la réalité virtuelle et augmentée, devient probablement la norme. Des environnements virtuels comme le métavers sont explorés pour offrir des expériences d'achat totalement immersives .[4]

3.Les Concepts Fondamentaux

3.1.Le Commerce Électronique (E-commerce)

3.1.1.Définition

Le commerce électronique, souvent abrégé en e-commerce, représente l'ensemble des activités commerciales qui s'opèrent grâce aux réseaux électroniques, principalement Internet. Il englobe non seulement la vente de produits physiques ou numériques mais aussi les services qui peuvent être commandés et payés en ligne .

Concrètement, l'e-commerce permet aux consommateurs d'acheter des biens et services sans avoir besoin de se déplacer dans un magasin physique. Cette forme de commerce utilise diverses technologies pour faciliter les transactions, telles que les sites web dédiés, les applications mobiles, et même les réseaux sociaux.

D'après une définition donnée par l'UNESCO, le mode de commande ainsi que la livraison des produits peuvent s'effectuer via des moyens électroniques tels qu'Internet ou d'autres types de réseaux, ce qui inclut également les paiements effectués en ligne

En termes plus larges, le commerce électronique ne se limite pas seulement à la vente en ligne ; il implique également des processus comme la production, la promotion, et la distribution des produits par le biais de réseaux de télécommunications . Cela signifie que chaque étape du cycle de vie d'un produit peut potentiellement être affectée par les outils numériques.

Les plateformes d'e-commerce offrent généralement des catalogues détaillés où les clients peuvent parcourir différentes options, comparer les prix, lire des avis, et finaliser leur achat avec un système de paiement sécurisé.

Avec son expansion rapide, le commerce électronique est devenu une composante clé de l'économie mondiale, transformant profondément la manière dont les entreprises interagissent avec leurs clients. Les pays développés comme en développement cherchent donc à tirer parti des opportunités économiques que présente cet secteur en croissance constante.

3.1.2.les type de E-commerce

Le commerce électronique, ou e-commerce, se divise en plusieurs types selon les relations transactionnelles et la nature des produits vendus. Voici une explication détaillée de ces différents types :

Business-to-Consumer (B2C)	Le modèle B2C est l'une des formes les plus courantes du commerce électronique, où une entreprise vend directement ses produits ou services aux consommateurs finaux. Cela inclut des plateformes comme Amazon ou Zalando, qui offrent aux clients la possibilité d'acheter des biens physiques ou numériques en ligne 3 . Ce type de commerce est particulièrement populaire dans le secteur du retail.
Business-to-Business (B2B)	Dans ce modèle, les transactions ont lieu entre deux entreprises. Par exemple, une société peut commander des composants ou des matériaux à un autre fournisseur via une plateforme en ligne. Contrairement au B2C, les achats B2B impliquent souvent des volumes plus importants et des processus de décision complexes. Les exemples incluent Alibaba ou des plateformes spécialisées dans la vente de logiciels d'entreprise .
Consumer-to-Consumer (C2C)	Le C2C permet aux particuliers de vendre leurs propres produits ou services à d'autres particuliers via des plateformes en ligne. Cela peut inclure des ventes sur des sites comme eBay, Leboncoin ou Etsy, où les utilisateurs peuvent échanger des objets neufs ou d'occasion. Ce modèle favorise la création de marchés en ligne pour des biens personnels .
Consumer-to-Business (C2B)	le consommateur qui propose ses services ou produits à une entreprise. Un exemple typique serait un freelance qui propose ses compétences graphiques ou de rédaction à une entreprise via

	des plateformes comme Upwork ou Fiverr. Ce modèle inverse traditionnellement le rôle du vendeur et de l'acheteur, mettant le consommateur en position de fournisseur
Direct-to-Consumer (D2C)	Le modèle D2C se distingue par le fait qu'une marque vend directement à ses clients sans passer par des intermédiaires tels que des distributeurs ou des revendeurs. Cela permet aux entreprises de mieux contrôler leur chaîne d'approvisionnement et de renforcer leur relation avec les consommateurs. Des marques comme Dollar Shave Club ou Casper sont des exemples notables de ce modèle .

Table 1 : les type de E-commerce

➤ **Marketplace**

Un marketplace est une plateforme partagée de vente en ligne sur laquelle un e-commerçant peut exposer et vendre ses produits ou services aux côtés d'autres vendeurs . Il existe différentes sortes de marketplaces selon leur gestion, leur orientation vers des services commoditisés ou non-commoditisés, ainsi que leur structure managée ou non managée .

3.1.3.Fonctionnement de E-commerce

➤ **Plateforme de vente en ligne**

Les entreprises utilisent des sites web ou des applications mobiles pour présenter leur catalogue de produits ou services.

Ces plateformes permettent aux clients de parcourir les offres, de passer des commandes et de procéder au paiement en ligne.

➤ **Systèmes de paiement sécurisés**

Les transactions financières sont effectuées via des solutions de paiement électronique sécurisées, telles que les cartes bancaires, les portefeuilles numériques ou les virements en ligne.

Ces systèmes garantissent la confidentialité et la sécurité des informations sensibles des clients.

➤ **Logistique et livraison**

Une fois la commande validée, les produits sont préparés, emballés et expédiés au client par le biais de services de livraison.

Une gestion efficace de la logistique est essentielle pour assurer des délais de livraison rapides et fiables.

➤ **Marketing et acquisition de clients**

Les entreprises mettent en œuvre des stratégies de marketing numérique, telles que le référencement, la publicité en ligne et les campagnes sur les réseaux sociaux, pour attirer et fidéliser les clients.

L'analyse des données clients permet d'optimiser les campagnes et d'améliorer l'expérience utilisateur.

➤ **Service après-vente et fidélisation**

Un support client réactif et efficace est crucial pour répondre aux questions, gérer les retours et résoudre les problèmes.

Des programmes de fidélité et des offres personnalisées peuvent encourager les clients à revenir et à recommander la boutique en ligne.

3.2.Le Commerce Virtuel (V-commerce)

3.2.1.Définition

Le commerce virtuel, ou V-commerce , représente une nouvelle génération de l'e-commerce qui repose sur des environnements immersifs créés grâce à la réalité virtuelle (VR). Contrairement aux plateformes traditionnelles d'e-commerce, le V-commerce permet aux consommateurs de se plonger dans des univers totalement virtuels où ils peuvent explorer et interagir avec les produits comme s'ils étaient dans un magasin physique .

Les casques de réalité virtuelle jouent un rôle clé dans cette expérience. Ils permettent aux utilisateurs de naviguer dans des boutiques numériques 3D, d'examiner les détails des produits sous tous les angles, et même de tester leur compatibilité avec leur environnement personnel. Cette technologie transforme ainsi l'achat en ligne en une expérience beaucoup plus engageante et interactive .

L'un des principaux objectifs du V-commerce est de recréer l'atmosphère chaleureuse et immersive d'un magasin physique tout en conservant les avantages pratiques de l'e-commerce. Par exemple, un client peut visiter une boutique de vêtements virtuelle, essayer différents articles, et voir comment ils lui vont avant même de passer commande . Cela réduit considérablement les incertitudes liées à l'achat en ligne et améliore la satisfaction client.

En outre, le V-commerce utilise également la réalité augmentée (AR) et les modèles 3D pour renforcer l'expérience utilisateur. Ces technologies permettent aux consommateurs de visualiser des produits dans leur propre espace, comme un canapé dans leur salon ou un meuble dans leur bureau. Cela offre une perspective réaliste qui aide à prendre des décisions d'achat éclairées .

Finalement, le V-commerce est souvent considéré comme l'avenir de l'e-commerce car il répond aux besoins croissants des consommateurs modernes en matière d'expériences personnalisées et immersives. En combinant innovation technologique et engagement client, il a le potentiel de révolutionner la manière dont nous achetons en ligne .

3.3.Comparaison

Une comparaison initiale entre l'e-commerce et le v-commerce peut être détaillée à travers plusieurs points clés qui mettent en lumière leurs différences et similitudes

	l'e-commerce	Le v-commerce
Technologie Utilisée	L'e-commerce repose principalement sur des technologies web traditionnelles comme les sites internet et les applications mobiles, facilitant ainsi l'accès aux consommateurs via des appareils courants tels que les smartphones ou ordinateurs .	Le v-commerce, quant à lui, utilise des technologies avancées telles que la réalité virtuelle (VR) et augmentée (AR), créant des environnements immersifs pour les utilisateurs, nécessitant souvent des équipements spécifiques comme des casques VR .
Expérience Client	Dans l'e-commerce, l'expérience client est généralement basée sur la navigation simple et rapide à travers des catalogues produits, avec un accent mis sur la facilité d'utilisation et la disponibilité des informations produit .	Le v-commerce propose une expérience beaucoup plus immersive où les clients peuvent interagir directement avec les produits dans un espace virtuel, offrant une sensation plus proche de celle d'un magasin physique .
Coût de Mise en Œuvre	L'e-commerce a généralement des coûts initiaux plus faibles car il n'exige pas de matériel spécialisé ni	Le v-commerce, bien qu'étant une opportunité pour améliorer significativement l'expérience utilisateur,

	d'investissements importants dans des infrastructures technologiques complexes .	nécessite des investissements plus élevés pour développer et maintenir des plateformes compatibles avec la réalité virtuelle et augmentée .
Accessibilité	L'e-commerce est accessible à presque tout le monde ayant accès à Internet, indépendamment du niveau technologique de l'utilisateur .	Le v-commerce reste encore limité à ceux qui possèdent les dispositifs nécessaires pour profiter pleinement de cette expérience, ce qui peut exclure certains groupes démographiques moins équipés technologiquement .
Adoption par les Consommateurs	L'e-commerce bénéficie déjà d'une large adoption mondiale grâce à sa simplicité et son efficacité prouvée dans divers secteurs commerciaux .	le v-commerce est encore en phase de développement et d'adoption progressive, attirant surtout des consommateurs intéressés par les nouvelles technologies innovantes .
Impact sur le Taux de Conversion	Les études montrent que les taux de conversion dans l'e-commerce peuvent être affectés positivement par des facteurs comme	le v-commerce, ces taux peuvent être encore plus élevés grâce à des expériences interactives permettant aux utilisateurs

	des descriptions détaillées et des images haute qualité	de "tester" les produits avant l'achat, ce qui réduit les incertitudes liées à l'achat en ligne
Personnalisation et Interaction	L'e-commerce offre des niveaux variés de personnalisation, souvent basés sur l'historique de navigation et les préférences exprimées par les utilisateurs .	Le v-commerce va plus loin en proposant des interactions personnalisées dans des environnements virtuels, pouvant inclure des essais de produits ou visites guidées adaptées aux goûts individuels des utilisateurs .[12]

Table 2 : Comparaison entre e-commerce et v-commerce

4.Les Technologies Sous-Jacentes

4.1.Technologies de l'E-commerce

Les technologies clés dans le domaine de l'e-commerce jouent un rôle crucial pour améliorer l'efficacité, renforcer la sécurité, et offrir des expériences client optimisées. Voici quelques-unes des technologies les plus importantes :

➤ Plateformes de commerce électronique

Certaines des plateformes de commerce électronique les plus populaires incluent Shopify, WooCommerce, Magento, et BigCommerce, qui fournissent aux entreprises les outils nécessaires pour créer et gérer leurs boutiques en ligne efficacement .

➤ Systèmes de gestion de la relation client (CRM)

Les systèmes CRM aident les entreprises à mieux comprendre et servir leurs clients grâce à une gestion centralisée des interactions client. Ces systèmes sont essentiels pour améliorer l'expérience utilisateur et maximiser la fidélité des clients .

➤ **Réalité augmentée (RA) et réalité virtuelle (RV)**

Ces technologies permettent aux consommateurs d'interagir avec les produits de manière plus immersive avant d'acheter. Par exemple, ils peuvent visualiser comment un meuble s'intégrerait dans leur maison ou tester virtuellement des vêtements .

➤ **Intelligence artificielle (IA)**

L'IA est utilisée pour divers cas d'usage dans e-commerce, tels que les recommandations personnalisées, la réduction du taux d'abandon des paniers, et l'amélioration des services clients via des chatbots intelligents. L'IA générative devient également un élément clé pour innover dans ce secteur .

➤ **Blockchain**

Cette technologie offre une traçabilité transparente et sécurisée des transactions, ce qui est particulièrement utile pour garantir la sécurité des paiements en ligne ainsi que pour suivre les chaînes d'approvisionnement complexes .

➤ **Technologies mobiles et applications de vente au détail**

Avec la montée en puissance des achats sur appareils mobiles, il est crucial pour les entreprises d'avoir une présence solide via des applications dédiées ou des sites web adaptés aux mobiles afin de faciliter l'accès aux produits pour les consommateurs en déplacement 5 .

➤ **Technologies de sécurité**

Les certificats SSL, les systèmes de détection de fraude et les protocoles de sécurité sont essentiels pour protéger les données des clients et les transactions.

Ces technologies combinées non seulement soutiennent mais aussi transforment continuellement le paysage du commerce électronique, permettant aux entreprises de rester compétitives tout en offrant une meilleure expérience utilisateur.

4.2. Technologies du V-commerce

➤ Réalité Virtuelle (VR)

La VR est une technologie essentielle qui permet de créer des environnements totalement immersifs où les utilisateurs peuvent interagir avec des produits et explorer des magasins virtuels. Par exemple, elle peut être utilisée pour simuler des visites de boutiques ou d'expositions sans que l'utilisateur ne quitte son domicile .

➤ Réalité Augmentée (AR)

Contrairement à la VR, l'AR superpose des éléments virtuels sur le monde réel, facilitant ainsi des expériences comme l'essayage virtuel de vêtements ou la visualisation de meubles dans un espace personnel avant achat . Cette technologie aide les consommateurs à mieux évaluer les produits avant de les acheter.

➤ Intelligence Artificielle (IA)

L'IA joue un rôle crucial dans le V-commerce pour personnaliser les recommandations de produits, optimiser les parcours clients, et même améliorer les interactions via des chatbots intelligents capables de répondre aux questions complexes des utilisateurs .

➤ Modélisation 3D

Les modèles 3D sont fondamentaux pour représenter fidèlement les produits dans des environnements virtuels. Ils permettent aux utilisateurs de manipuler numériquement des objets, tels que des voitures ou des appareils électroménagers, et de les examiner sous tous les angles, offrant ainsi une expérience plus immersive et convaincante .

➤ **Plateformes de Commerce Électronique Adaptées au V-commerce**

Pour soutenir le V-commerce, il est nécessaire d'avoir des plateformes spécialement conçues pour intégrer des fonctionnalités VR/AR. Ces plateformes doivent pouvoir gérer des contenus multimédias complexes tout en assurant une navigation fluide pour les utilisateurs .

➤ **Systèmes CRM Avancés**

Les systèmes de gestion de la relation client (CRM) dans le cadre du V-commerce doivent être capables de collecter et analyser des données provenant d'interactions dans des environnements virtuels afin d'améliorer continuellement l'expérience utilisateur et de proposer des offres personnalisées basées sur ces interactions .

➤ **Technologies de Paiement Sécurisé**

Comme pour l'e-commerce traditionnel, le V-commerce nécessite des passerelles de paiement sécurisées adaptées aux transactions effectuées dans des environnements virtuels. Cela inclut également la prise en compte des nouvelles méthodes de paiement telles que les cryptomonnaies ou les tokens spécifiques au métavers .

➤ **Blockchain**

Bien que moins évidente dans le contexte du V-commerce, la blockchain peut être utilisée pour garantir la sécurité et la transparence des transactions, ainsi que pour certifier l'authenticité des biens numériques acquis dans ces environnements virtuels .

Ces technologies combinées créent une infrastructure robuste qui permet au V-commerce de se développer et d'offrir des expériences inédites aux consommateurs.

4.3. Convergence technologique

La convergence technologique entre l'AR (réalité augmentée) et l'e-commerce peut transformer significativement la manière dont les consommateurs interagissent avec les produits en ligne. Voici comment l'AR enrichit spécifiquement l'e-commerce, avec des exemples concrets tels que Nike et Gucci :

4.3.1. Essais de Vêtements Virtuels

L'AR permet aux utilisateurs d'essayer virtuellement des vêtements avant d'acheter, ce qui réduit les incertitudes liées à la taille ou au style. Par exemple, une application AR pourrait superposer un vêtement sur une image de l'utilisateur pour montrer comment il lui irait .

4.3.2. Visualisation dans le Monde Réel

Les clients peuvent utiliser leur appareil mobile pour voir comment un produit s'intègre dans leur environnement réel. Cela est particulièrement utile pour les articles comme les chaussures ou les accessoires, où la perception visuelle joue un rôle crucial dans la décision d'achat.

4.3.3. Personnalisation et Configuration

Grâce à l'AR, les consommateurs peuvent personnaliser certains aspects des produits, tels que la couleur ou le design, en temps réel. Cette fonctionnalité améliore non seulement l'expérience utilisateur mais encourage également une relation plus étroite entre le client et la marque.

4.3.4. Exemple Concret : Nike

Nike a adopté l'AR pour son e-commerce en lançant une fonctionnalité appelée "Just Try It", qui permet aux utilisateurs d'essayer virtuellement des chaussures sur leurs pieds

grâce à leur smartphone. Cette innovation aide les clients à prendre des décisions éclairées avant d'acheter, tout en rendant l'expérience shopping plus engageante et interactive .

4.3.5. Exemple Concret : Gucci

Bien que Gucci soit principalement connu pour ses expériences dans le métavers, l'entreprise a également exploré l'utilisation de l'AR pour permettre aux utilisateurs de visualiser des produits dans leur environnement quotidien. Par exemple, les clients peuvent essayer des lunettes de soleil virtuelles via une application AR avant de finaliser leur achat. De plus, Gucci propose des produits virtuels exclusivement disponibles sous forme de NFTs, qui peuvent être portés par des avatars dans le métavers, créant ainsi un pont entre le monde physique et numérique .

En somme, l'intégration de l'AR dans l'e-commerce ne se limite pas seulement à offrir une expérience d'achat améliorée ; elle crée également de nouvelles opportunités pour les marques de se connecter avec leurs clients de manière unique et mémorable. Des leaders du secteur comme Nike et Gucci montrent clairement le potentiel transformateur de cette technologie.

5.Applications Pratiques

5.1 Exemples de Magasins dans le Métavers

5.1.1.Zara – AZ Collection

En collaboration avec la marque sud-coréenne Ader Error, Zara a lancé la collection AZ, disponible à la fois physiquement et dans le métavers via la plateforme Zepeto.

Cette initiative vise à offrir une expérience de mode immersive aux jeunes générations, en combinant le monde réel et virtuel.[7]

5.1.2 Dolce & Gabbana

La marque italienne a présenté vingt vêtements sur mesure dans le métavers lors de la première Metaverse Fashion Week, organisée par Decentraland en partenariat avec UNXD.

Ces créations numériques permettent aux utilisateurs de porter des vêtements virtuels uniques dans des environnements numériques.[8]

5.1.3 Ralph Lauren

Ralph Lauren a développé une boutique virtuelle immersive, située dans un chalet de ski enneigé, mettant en avant sa collection saisonnière à l'aide de la technologie 3D.

La marque a également lancé des expériences virtuelles sur des plateformes comme Roblox, visant à toucher une audience jeune et connectée.[9]

5.2 Essais Virtuels via VR/AR Essayage de vêtements

Des technologies de réalité augmentée permettent aux clients d'essayer virtuellement des vêtements, améliorant l'expérience d'achat en ligne. Des entreprises comme WANNA offrent des solutions AR pour visualiser les vêtements sur soi, réduisant ainsi les retours produits.

5.2.1 Meubles et décoration

Des applications comme IKEA Place et Amazon AR View permettent aux utilisateurs de visualiser des meubles dans leur espace réel via la caméra de leur smartphone. Cette technologie aide les clients à s'assurer que les articles correspondent à leur style et à l'espace disponible. AI Interior Design Tools | NewRoom.io

5.2.2 Produits de beauté

Des outils d'essai virtuel, tels que ceux proposés par L'Oréal Paris, permettent aux utilisateurs de tester différentes teintes de maquillage en temps réel grâce à la réalité augmentée. Ces solutions offrent une expérience immersive, aidant les clients à choisir les produits qui leur conviennent le mieux.

5.3 Impact sur l'Expérience Client

➤ Personnalisation

Les technologies VR/AR permettent d'adapter les produits aux préférences individuelles des clients, offrant une expérience d'achat sur mesure. Des plateformes comme WEARFITS utilisent l'IA et la réalité augmentée pour créer des avatars corporels, facilitant un ajustement précis des vêtements.

➤ Immersion

Les environnements virtuels immersifs renforcent l'engagement des clients en leur offrant une expérience interactive et mémorable.

Des marques comme Ralph Lauren utilisent des boutiques virtuelles pour plonger les clients dans des univers thématiques, augmentant ainsi leur connexion émotionnelle avec la marque.

➤ Taux de conversion

L'intégration de technologies immersives dans le parcours client peut entraîner une augmentation significative des taux de conversion. Selon une étude, les détaillants utilisant la réalité augmentée et virtuelle ont constaté une augmentation de 20 % des taux de conversion et une réduction de 25 % des retours produits.

6. Défis et Opportunités

6.1 Défis Actuels du Métavers

6.1.1 Immaturité technologique et manque de normes

Les technologies de réalité virtuelle et augmentée ne sont pas encore pleinement développées, ce qui limite l'interopérabilité entre les plateformes. L'absence de standards universels freine la création d'environnements cohérents et compatibles.

6.1.2 Manque d'applications concrètes et de cas d'usage

De nombreuses entreprises peinent à identifier des bénéfices tangibles dans le métavers, ce qui ralentit leur investissement.

Une enquête a révélé que 76 % des entreprises considèrent le manque d'applications pratiques comme un obstacle majeur.

6.1.3 Incertitudes réglementaires et juridiques

La protection des données personnelles et la conformité aux réglementations, comme le RGPD, posent des défis importants. L'absence de cadre juridique clair pour les transactions et la propriété numérique crée des zones d'ombre.

6.1.4 Coûts élevés et retour sur investissement incertain

Le développement d'environnements virtuels immersifs nécessite des investissements significatifs, sans garantie de rentabilité à court terme. Les entreprises hésitent à allouer des ressources sans visibilité claire sur les retours.

6.1.5 Adoption limitée par le grand public

Le métavers peine à séduire une large audience en dehors des secteurs du jeu vidéo et de la technologie. Le manque d'intérêt des consommateurs freine l'expansion des initiatives métavers.

6.2 Opportunités Futures du Métavers

6.2.1 Commerce virtuel et retail immersif

Les marques peuvent créer des boutiques virtuelles offrant des expériences d'achat interactives et personnalisées. L'intégration de technologies comme les NFT et la gamification peut renforcer l'engagement des clients.

6.2.2 Événements et expériences immersives

Le métavers permet l'organisation d'événements virtuels, tels que des concerts ou des salons, accessibles à un public mondial. Des entreprises comme Coca-Cola ont déjà exploité ces opportunités pour renforcer leur image de marque.

6.2.3 Nouveaux modèles économiques : Direct-to-Avatar (D2A)

La vente directe de biens numériques aux avatars ouvre de nouvelles sources de revenus pour les entreprises. Ce modèle permet de monétiser des produits virtuels tels que des vêtements ou des accessoires.

6.2.4 Formation et collaboration à distance

Le métavers offre des environnements immersifs pour la formation professionnelle et la collaboration entre équipes dispersées géographiquement. Cela peut améliorer l'efficacité et réduire les coûts liés aux déplacements.

6.2.5 Personnalisation avancée de l'expérience client

Grâce à l'analyse des données et à l'IA, les entreprises peuvent offrir des expériences sur mesure dans le métavers. Cela favorise la fidélisation et augmente la satisfaction des clients.

7 Conclusion

Le commerce en ligne a connu une évolution remarquable au cours des dernières décennies, passant d'un modèle centré sur des sites web traditionnels (e-commerce) à des environnements de plus en plus immersifs et interactifs (v-commerce). Le e-commerce, aujourd'hui largement adopté, repose sur des plateformes numériques où les consommateurs peuvent rechercher, comparer et acheter des produits avec simplicité et rapidité.

Ce modèle a révolutionné la vente au détail, en supprimant les barrières géographiques et en rendant l'acte d'achat accessible à tout moment. Toutefois, l'arrivée de nouvelles

technologies comme la réalité virtuelle (VR) et la réalité augmentée (AR) a donné naissance au v-commerce, une nouvelle forme de commerce numérique qui cherche à reproduire l'expérience d'achat physique dans un environnement virtuel.

Grâce à ces innovations, les utilisateurs peuvent désormais visualiser un produit en 3D, essayer virtuellement des vêtements ou interagir dans un magasin simulé, ce qui renforce l'engagement et la confiance avant l'achat. Cette mutation du commerce digital ne répond pas seulement à un besoin d'innovation, mais aussi à une demande croissante des consommateurs pour des expériences plus personnalisées, immersives et crédibles.

En somme, si le e-commerce reste la base solide du commerce numérique actuel, le v-commerce ouvre de nouvelles perspectives en intégrant des expériences sensorielles plus riches. L'objectif de ce chapitre était donc d'analyser en profondeur cette transition du e-commerce vers le v-commerce, en mettant en évidence leurs caractéristiques, leurs avantages respectifs et les enjeux liés à cette évolution technologique et comportementale.

Chapitre2

**Technologies
Immersive**

1 introduction

Les technologies immersives, telles que la réalité virtuelle (VR), la réalité augmentée (AR) et la réalité mixte (MR), révolutionnent notre interaction avec le monde numérique en intégrant des éléments virtuels dans notre environnement quotidien. Elles ouvrent de nouvelles perspectives dans des domaines variés tels que l'éducation, la santé, l'industrie et le divertissement.

Dans le secteur éducatif, ces technologies permettent des expériences d'apprentissage interactives, où les étudiants peuvent explorer des concepts complexes à travers des simulations réalistes. Par exemple, des applications permettent de visualiser des structures anatomiques en trois dimensions ou de simuler des expériences scientifiques sans les contraintes d'un laboratoire physique.

En médecine, elles offrent des outils avancés pour la formation des professionnels de santé, la planification chirurgicale et la rééducation des patients. Des plateformes spécialisées permettent de pratiquer des interventions chirurgicales en environnement simulé, réduisant ainsi les risques associés à l'apprentissage sur des patients réels.

L'industrie bénéficie également de ces innovations, notamment pour la maintenance prédictive, la formation des techniciens et la conception de prototypes. Les travailleurs peuvent interagir avec des modèles virtuels superposés à des équipements réels, facilitant ainsi la compréhension et la résolution de problèmes complexes.

Dans le domaine du divertissement, ces technologies offrent des expériences immersives inédites, que ce soit à travers des jeux vidéo interactifs ou des attractions thématiques où les utilisateurs interagissent avec des environnements virtuels intégrés à leur espace physique.

Enfin, elles favorisent la collaboration à distance en permettant à des équipes dispersées géographiquement de travailler ensemble dans des environnements virtuels partagés, manipulant des objets numériques comme s'ils étaient présents dans la même pièce.

Ces avancées technologiques redéfinissent les frontières entre le réel et le virtuel, offrant des opportunités sans précédent pour améliorer l'efficacité, la formation et l'expérience utilisateur dans de nombreux secteurs.

Les objectifs de ce chapitre sont multiples. Premièrement, il s'agit de comprendre les bases théoriques sous-jacentes à ces technologies, en explorant comment elles fonctionnent techniquement et quels sont les principaux composants matériels et logiciels nécessaires à leur fonctionnement. Nous examinerons également les similitudes et différences entre ces technologies, en comparant leurs approches respectives (immersion totale vs superposition partielle) et en analysant leurs champs d'application spécifiques. Enfin, nous discuterons de leur potentiel d'application dans différents secteurs, tout en abordant les défis actuels liés à leur adoption, tels que le coût élevé des équipements, les problèmes de confort utilisateur (latence, nausée, fatigue oculaire) et les questions éthiques concernant la vie privée et la sécurité des données.

Les technologies immersives marquent une étape majeure dans l'évolution des interfaces homme-machine, rendant les interactions plus naturelles, intuitives et engageantes. Comprendre ces concepts est essentiel pour anticiper leur impact futur et maximiser leurs bénéfices tout en minimisant leurs risques. Ce chapitre fournira donc une base solide pour explorer ces technologies et leur rôle croissant dans notre société, soulignant leur potentiel à transformer non seulement nos modes de vie mais aussi notre rapport au monde numérique et physique. Avec leur développement continu, ces technologies promettent de redessiner les limites de ce que nous considérons aujourd'hui comme possible.

2 Historique des technologies immersives (VR, AR, MR)

- **Années 1950–1960**

Premiers concepts immersifs

1956 : Morton Heilig conçoit le Sensorama, un simulateur multisensoriel intégrant images, sons, vibrations et odeurs, préfigurant les expériences immersives.

1968 : Ivan Sutherland et Bob Sproull développent le Sword of Damocles, premier casque de réalité virtuelle rudimentaire, suspendu au plafond, affichant des images générées par ordinateur superposées au monde réel.

- **Années 1980–1990**

1989 : Jaron Lanier popularise le terme Virtuel Reality et fonde VPL Research, pionnière dans les interfaces immersives comme les gants haptiques.

Des institutions comme la NASA et Boeing explorent la VR pour la formation et la simulation en environnements extrêmes.

- **Années 1990–2000**

Émergence de la Réalité Augmentée

1994 : Paul Milgram et Fumio Kishino introduisent le concept de Réalité Mixte, définissant un continuum entre réalité réelle et virtuelle.

Développement des premiers systèmes AR, notamment pour des applications militaires et industrielles.

- **Années 2000–2010**

Démocratisation via les smartphones L'intégration de capteurs (caméras, GPS, accéléromètres) dans les smartphones permet l'essor d'applications AR accessibles au grand public.

Des projets comme Google Street View offrent des expériences immersives basées sur des données réelles.

- **Années 2010–2020**

Avancées majeures et convergence

2012 : Lancement du projet Oculus Rift via Kickstarter, marquant une nouvelle ère pour la VR.

2015 : Microsoft dévoile le HoloLens, casque de réalité mixte permettant des interactions avancées entre éléments virtuels et environnement réel.

Des applications comme Pokémon GO popularisent l'AR auprès du grand public.

- **2020–2025**

Maturité et intégration sectorielle Les casques VR deviennent plus accessibles, avec des modèles comme l'Oculus Quest 2 offrant une expérience sans fil et autonome.

La MR se développe dans des domaines variés : formation professionnelle, médecine, architecture, etc.

2023 : Apple annonce le Vision Pro, un casque combinant VR et AR, illustrant la convergence des technologies immersives.[20]

3.Concepts Fondamentaux et Définitions

3.1.Définitions

Premièrement, il faut définir ce qu'est la Réalité Augmentée de manière à la différencier de ces technologies qui lui sont proche ; la Réalité Virtuelle et la Réalité Mixte.

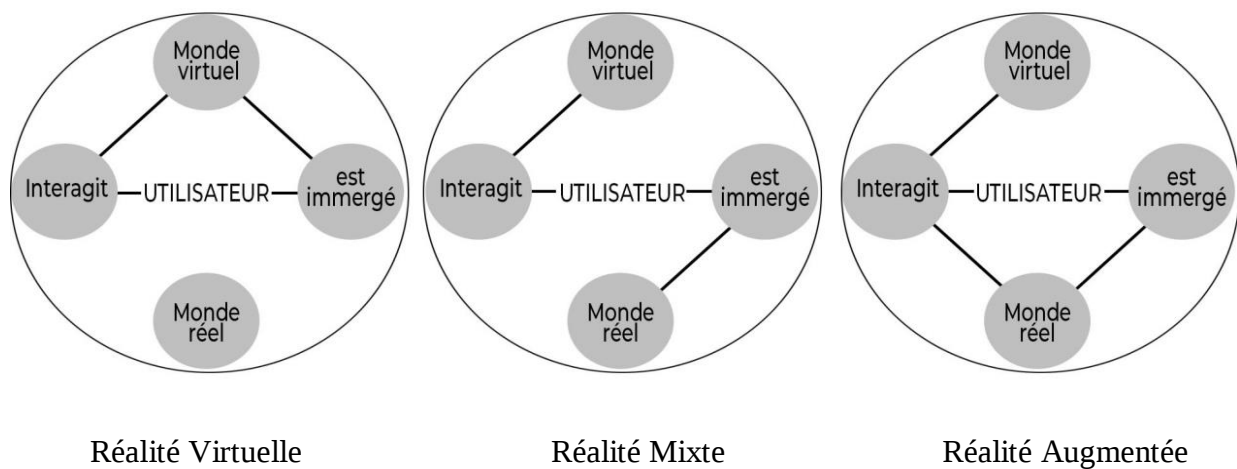


Figure 1 : relations utilisateur, monde réel et monde virtuel (VR/AR/MR)

➤ La réalité virtuelle (VR)

désigne l'ensemble des technologies permettant de simuler un environnement artificiel généré numériquement. Elle immerge l'utilisateur dans un univers en trois dimensions, où il peut interagir avec des éléments virtuels à travers plusieurs sens : principalement la vue, mais aussi l'ouïe, le toucher, et parfois même l'odorat. Cette immersion sensorielle permet à l'individu d'accomplir des actions senso-motrices dans un monde entièrement simulé.

Pour vivre une expérience pleinement immersive, l'utilisateur doit être équipé d'un casque de réalité virtuelle doté d'un affichage 3D stéréoscopique. Ce dispositif le coupe du monde réel et le plonge visuellement dans l'environnement virtuel. Il peut alors se déplacer, tourner la tête à 360°, et interagir avec les objets à l'aide de manettes ou de capteurs de mouvement.

La VR permet de s'immerger dans des environnements conçus de toutes pièces en 3D ou créés à partir de prises de vues réelles à 360°. Que ce soit avec un casque haut de gamme ou un simple smartphone muni d'un adaptateur de type cardboard, l'utilisateur peut accéder à cette expérience immersive. [24]

Il est important de noter que la réalité virtuelle ne se limite pas aux technologies modernes comme les casques VR. Elle englobe toutes les méthodes visant à projeter une personne dans un univers artificiel, quels que soient les sens sollicités.

➤ **La réalité augmentée (AR)**

est une technologie qui superpose en temps réel des éléments virtuels en 2D ou 3D à un environnement réel. Contrairement à la réalité virtuelle, qui plonge l'utilisateur dans un univers totalement artificiel, la réalité augmentée enrichit le monde réel en y intégrant des informations ou objets numériques, visualisables via un smartphone, une tablette ou des lunettes spécialisées. Lorsqu'elle est perçue à travers des lunettes, on parle plus précisément de réalité mixte (MR).

L'un des principaux atouts de l'AR réside dans sa capacité à améliorer la perception du réel sans le remplacer. Par exemple, dans le domaine immobilier, une agence peut utiliser la réalité augmentée sur site pour projeter en temps réel une maison virtuelle sur un terrain réel, intégrant dans la vue les éléments environnants comme les arbres ou les bâtiments existants. Cela permet aux clients de mieux se projeter dans un futur bien immobilier.

Initialement réservée à des usages militaires et industriels, la réalité augmentée a progressivement conquis de nombreux secteurs tels que l'ingénierie, la médecine, les sciences, l'éducation, l'immobilier, mais aussi le commerce en ligne.

Dans le domaine du e-commerce, l'AR améliore considérablement l'expérience utilisateur. Des applications comme Zugara permettent par exemple d'essayer virtuellement des vêtements à domicile. L'utilisateur peut importer une photo ou utiliser sa webcam pour visualiser des articles (robes, jupes, costumes, etc.) directement sur son corps, avec un rendu réaliste et adapté à sa morphologie. Ce type d'outil réduit significativement les incertitudes d'achat et les retours de produits, tout en renforçant l'engagement du client.

➤ **La Réalité Mixte (MR)**

désigne une technologie immersive qui combine de manière fluide le monde réel et les éléments virtuels, permettant une interaction en temps réel entre les deux. Elle se situe à la croisée des chemins entre la Réalité Virtuelle (VR), qui plonge l'utilisateur dans un univers totalement artificiel, et la Réalité Augmentée (AR), qui superpose des éléments numériques à la réalité sans interaction poussée.

Pour expérimenter la MR, l'utilisateur doit être équipé de dispositifs spécifiques tels que des casques de réalité augmentée avancés, comme le Microsoft HoloLens ou le Magic Leap. Ces appareils sont capables de cartographier l'environnement en temps réel et de suivre avec précision les mouvements de l'utilisateur. Cela permet d'interagir physiquement avec les objets virtuels, par des gestes, des commandes vocales ou des manettes.

À l'instar de l'AR, la MR intègre des contenus virtuels – comme des hologrammes – dans l'espace réel. Toutefois, la différence majeure entre les deux réside dans le niveau d'interaction et le matériel utilisé. Là où l'AR fonctionne principalement via des smartphones ou tablettes, la MR repose sur des casques capables de fusionner les deux mondes avec une grande précision spatiale.

Malgré cette distinction, les termes Réalité Augmentée et Réalité Mixte sont souvent utilisés de manière interchangeable dans le langage courant, sous l'appellation générale de « technologies de réalité augmentée » ou de « vision augmentée ». Néanmoins, il est important de noter que la MR offre une immersion plus poussée et des possibilités d'interaction enrichies, se rapprochant davantage des expériences de réalité virtuelle tout en conservant un ancrage dans le monde réel.[27]

3.2 Fonctionnalité de Technologies Immersives

➤ la réalité virtuelle

Pour accéder à l'univers simulé par la réalité virtuelle, il faut utiliser un support. Couramment, il s'agit du casque de réalité virtuelle. Vous entendez sûrement beaucoup parler

en ce moment de Meta Quest 3, par Meta (anciennement appelé Oculus Rift) Certains appareils mobiles permettent également cette immersion, dans une moindre mesure.

Une tout autre scène se dévoile alors à l'utilisateur qui se retrouve comme « plongé » dans un autre monde grâce à l'écran stéréoscopique. La parallaxe et des jeux d'angles sont utilisés pour créer la profondeur et mettre en mouvement les objets à différentes vitesses pour recréer un certain réalisme.

Le gyroscope, l'accéléromètre ou le magnétomètre font partie des autres outils et des capteurs utilisés et combinés au « head-tracking » pour donner l'impression à l'utilisateur qu'il agit en temps réel et en situation. Le son spatialisé permet lui aussi plus de réalisme sur les sons.

Ensuite, le niveau d'immersion et de réalisme de l'aventure immersive dépend beaucoup de la qualité des technologies utilisées dans le casque. Plus l'expérience VR est bien faite, plus l'utilisateur se retrouve isolé du monde réel et a la sensation que ses actions virtuelles sont réelles.[14]

➤ **la réalité augmentée**

L'AR fonctionne avec un appareil équipé d'une caméra, par exemple un smartphone, une tablette ou des lunettes intelligentes. Une fois le logiciel AR installé, cet appareil peut détecter des objets spécifiques et télécharger du texte, des graphiques, de l'audio et toute autre amélioration sensorielle. Ces éléments se superposent alors à ce que voit l'utilisateur·ice.

Exemples de réalité augmentée

IKEA, la célèbre marque suédoise d'ameublement, propose à ses client·es de superposer des produits dans leur intérieur avec l'application IKEA Kreativ. La technologie AR permet même à ses utilisateur·ices de « supprimer » des meubles existants à l'écran afin de créer une toile vierge.

Les expériences d'achat personnalisées sont améliorées grâce à l'AR, qui permet d'essayer avant d'acheter. La marque de cosmétiques Sephora propose à sa clientèle de tester virtuellement des produits de maquillage grâce à un scan du visage : une alternative

hygiénique aux testeurs mis à disposition en magasin, qui facilite la prise de décision. [27]

➤ **la réalité mixte**

Un casque MR fusionne les mondes virtuel et physique. Dans le cas du Meta Quest Pro, ce casque sans fil est équipé de manettes Touch dotées de capteurs avec suivi automatique pour localiser vos mains dans la VR. Pour des conversations plus naturelles, elle prend également en charge les avatars 3D, dont les expressions faciales sont rendues plus réalistes grâce au suivi avancé des yeux et du visage. Face aux défis spécifiques des différents secteurs, un riche écosystème d'applications peut être déployé.

Exemples de réalité mixte

Le constructeur automobile Porsche utilise la réalité mixte pour ses démonstrations de produits. L'entreprise allemande s'est équipée de casques Meta Quest 3 pour partager ses designs avec la presse, convaincue que les modèles virtuels parlent bien plus aux personnes qui les regardent, et utilise des vues explosées pour montrer des pièces auparavant cachées.

Les expert·es en aviation de la SITA ont réimaginé la gestion des aéroports grâce à un produit nommé Control Bridge. Les lourds écrans ont été remplacés par une solution plus portable et plus pratique : une représentation 3D des aéroports, complétée par des tableaux de bord dynamiques et alimentée par des données pertinentes. Le logiciel cartographie les mouvements des véhicules et des passager·ères en temps réel pour améliorer la prise de décisions. La MR évite également le recours à des présentations fastidieuses et des manuels interminables, en proposant à la place une formation personnalisée pour la remise à niveau. Les employé·es peuvent ainsi commencer à contribuer à l'entreprise plus rapidement et se sentent intégré·es dès le premier jour. [26]

4. Théories Sous-Jacentes aux Technologies Immersives

4.1. Théories Perceptuelles et Cognitives

4.1.1 Théorie de la Présence

Définition : La sensation subjective d'« être là » dans un environnement virtuel.

Origine : Issue des recherches sur la téléopération, cette théorie examine dans quelle mesure l'utilisateur ressent une immersion dans un environnement distant ou virtuel.

Applications : Cruciale pour les environnements immersifs, la présence est influencée par des facteurs tels que la qualité sensorielle, l'interactivité et la cohérence spatiale. TU Delft Research Portal

4.1.2. Théorie de la Charge Cognitive

Définition : Cette théorie examine la charge mentale imposée à un individu lors du traitement de l'information.

Application aux environnements immersifs : Une conception soignée des environnements immersifs peut réduire la charge cognitive, facilitant ainsi l'apprentissage et la mémorisation. ScienceDirect

4.1.3. Théorie du Flow (Mihaly Csikszentmihalyi)

Définition : État optimal de concentration et d'engagement, où l'individu est pleinement immergé dans une activité.

Utilisation : Les technologies immersives cherchent à provoquer cet état en offrant des défis adaptés aux compétences de l'utilisateur, favorisant ainsi l'engagement et la motivation.

4.1.4. Théorie de l'Embodiment (Incarnation)

Définition : Expérience subjective de posséder et de contrôler un corps virtuel.

Lien avec la présence : Un fort sentiment d'embodiment renforce la présence, améliorant ainsi l'efficacité des environnements immersifs. NSF Public Access

4.1.5. Théorie de la Cognition Incarnée (Embodied Cognition)

Définition : Cette théorie propose que la cognition est profondément enracinée dans les interactions corporelles avec l'environnement.

Application : Les environnements immersifs exploitent cette théorie en permettant des interactions physiques, renforçant ainsi l'apprentissage et la compréhension.

4.1.6. Théorie de la Coprésence Sociale

- **Définition** : Sentiment d'être avec d'autres personnes dans un même espace, même virtuel.
- **Enjeu** : Crucial pour les expériences collaboratives ou multi-utilisateurs en VR/AR, la coprésence sociale améliore la communication et la collaboration.

4.1.7. Neurosciences et Réalité Virtuelle

- **Neuroplasticité** : L'exposition répétée à des environnements immersifs peut remodeler les circuits cérébraux, influençant ainsi la perception et le comportement.
- **Multisensorialité** : La VR/AR engage plusieurs modalités sensorielles simultanément, amplifiant la perception et la mémorisation.

2.2. Modèles Interactionnels

4.2.1. Modèle Stimulus-Réponse (S-R)

En réalité augmentée, l'utilisateur perçoit des informations numériques superposées à son environnement réel et réagit en conséquence. Par exemple, lorsqu'un objet numérique apparaît dans le champ de vision, l'utilisateur peut interagir avec lui via des commandes vocales ou des gestes détectés par l'appareil.

4.2.2. Modèle d'Immersion et d'Interaction

La réalité virtuelle offre une immersion totale dans un environnement numérique généré par ordinateur. Les interactions se font via des dispositifs tels que des contrôleurs, des gants haptiques ou des interfaces basées sur le suivi oculaire et gestuel. Par exemple, dans un simulateur de formation professionnelle, un utilisateur peut manipuler virtuellement des objets complexes grâce à ces outils, créant ainsi une expérience immersive et interactive.

4.2.3. Modèle d'Intégration Contextuelle

La réalité mixte permet d'intégrer dynamiquement des informations numériques au contexte physique. Par exemple, un objet virtuel peut être placé sur une surface réelle et interagir avec celle-ci selon des règles physiques simulées, comme l'éclairage ambiant ou les ombres.

4.2.4.Interaction Gestuelle Avancée

Ces technologies exploitent de plus en plus les interactions gestuelles pour offrir une expérience naturelle. Grâce à des capteurs avancés, les mouvements des mains et des doigts peuvent être reconnus et traduits en actions dans l'environnement numérique, permettant des interactions précises sans nécessiter de périphériques supplémentaires.

4.2.5.Commandes Vocales et Reconnaissance du Langage Naturel

Les commandes vocales et la reconnaissance du langage naturel permettent aux utilisateurs de communiquer verbalement avec leur environnement immersif, facilitant ainsi des interactions complexes sans effort supplémentaire. Par exemple, un utilisateur peut demander à afficher certaines informations ou modifier un paramètre simplement en parlant.

4.2.6.Suivi Oculaire pour l'Interaction Focalisée

Le suivi oculaire est un modèle interactionnel crucial qui permet aux systèmes de comprendre où l'utilisateur regarde et d'adapter l'environnement en conséquence. Cette technologie est particulièrement utile pour réduire la charge cognitive en concentrant les ressources sur ce que l'utilisateur observe activement, optimisant ainsi l'expérience immersive.

4.2.7.Collaboration Locale et Distante

Les environnements immersifs permettent des modèles d'interaction collaborative, que ce soit en local ou à distance. Par exemple, plusieurs utilisateurs peuvent interagir simultanément dans un même espace virtuel ou augmenté, partageant des informations et collaborant en temps réel malgré leur position géographique différente.

4.2.8.Feedback Sensoriel Enrichi

Les modèles interactionnels modernes intègrent des feedbacks sensoriels avancés, tels que les vibrations ou les sensations tactiles simulées via des dispositifs haptiques. Ces retours sensoriels renforcent l'immersion en donnant aux utilisateurs des sensations physiques correspondant à leurs actions numériques.

4.2.9.Modèle IRVO (Interaction Réalité Virtuelle et Objets)

Le modèle IRVO s'intéresse spécifiquement aux interactions entre objets réels et virtuels dans un cadre de réalité mixte. Il propose une approche où les objets physiques et numériques coexistent et interagissent harmonieusement, créant ainsi des expériences hybrides riches et cohérentes.

4.2.10.Création et Manipulation de Modèles 3D

Un modèle interactionnel important concerne la création et la manipulation de modèles 3D en temps réel. Cela implique que les utilisateurs puissent non seulement visualiser ces modèles mais également les modifier ou les ajuster selon leurs besoins spécifiques, offrant ainsi une grande flexibilité et précision dans divers domaines tels que l'architecture ou le design industriel.

4.3.Continuum Réalité - Virtualité

La réalité virtuelle (VR) fait référence aux technologies qui permettent de simuler à l'aide de programmes informatiques, un environnement existant ou imaginaire généré artificiellement avec lequel l'utilisateur peut interagir.est permettre à des utilisateurs de vivre une expérience cognitive, immersive, interactive, multi-sensorielle et tridimensionnelle, centrée sur l'utilisateur dans un monde créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel.

La réalité augmentée (AR) est une vue directe en temps réel d'un environnement physique qui a été enrichi en ajoutant des informations générées numériquement. Elle est caractérisée par trois aspects importants :

- la combinaison d'objets virtuels et réels,
- la capacité d'interagir avec ces objets en temps réel,
- l'enregistrement précis des objets réels et virtuels dans un espace tridimensionnel.

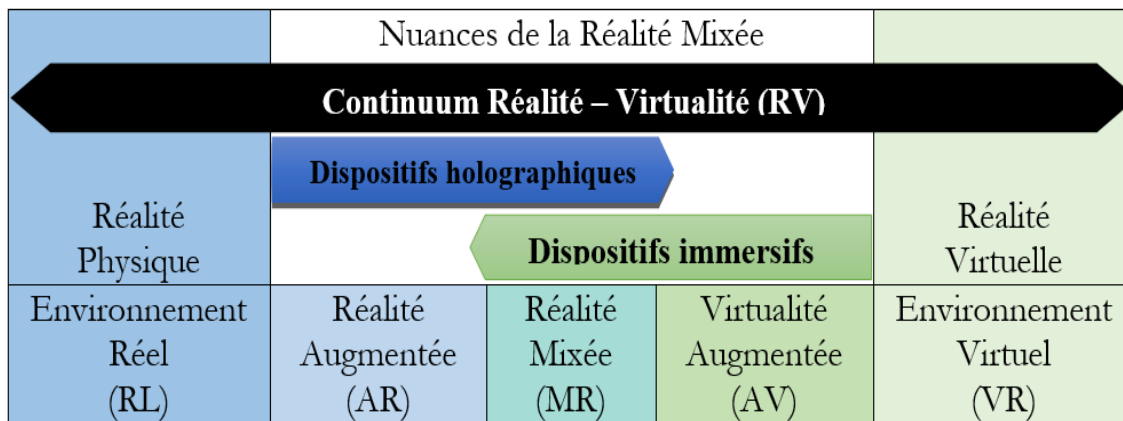


Figure 2 : continuum Réalité – Virtualité (RV) et des nuances de la réalité mixte

Milgram et Kishino (1994) décomposent le continuum Réalité-Virtualité en un spectre dont la réalité physique et la virtualité forment les deux extrémités :

La réalité physique appelée aussi vie réelle [Real-Life (RL)] se réfère à l'extrémité du spectre où les utilisateurs perçoivent et interagissent avec l'environnement du monde réel.

La réalité virtuelle (VR) se réfère à l'autre extrémité du spectre où les utilisateurs (à travers leurs avatars) sont complètement immergés dans un monde virtuel.

La réalité augmentée (AR) superpose de l'information numérique à ce que l'utilisateur perçoit dans la réalité. L'interaction se passe dans le monde réel et elle est augmentée numériquement par ordinateur.

La virtualité augmentée (AV) fonctionne de telle sorte que l'environnement virtuel devient sensible aux informations de la vie réelle. L'interaction avec la machine est

augmentée par des objets et des actions dans le monde réel comme par exemple, détecter et interpréter les mouvements et signes d'un utilisateur.

La réalité mixée (MR) englobe généralement toute les nuances du spectre, autres que la réalité physique et la réalité virtuelle.

La MR utilise indifféremment des éléments de la AR et de la VR.

Plus succinctement, la AR ajoute des éléments virtuels dans un environnement réel afin d'améliorer et enrichir « ce qui existe », la VR crée artificiellement un environnement réel ou imaginaire afin de représenter « ce qui pourrait exister » et enfin, la MR permet de recréer ce qui existe et de le représenter tel qu'il aurait pu exister. D'un point de vue technologique, deux principaux types de dispositifs permettent des expériences de réalité mixée :

Dispositifs holographiques : caractérisés par la capacité à placer du contenu numérique dans le monde réel comme s'il était vraiment là. Ils créent de fait une réalité augmentée.

Dispositifs immersifs : caractérisés par la capacité à créer un sentiment de présence en cachant le monde physique et le remplaçant par une expérience numérique. Ils créent de fait une réalité virtuelle.

C'est la combinaison des deux types de dispositifs qui donne accès à une expérience inédite de réalité mixée.

Les innovations technologiques étant en perpétuelle évolution, nous nous attendons à une intégration plus poussée offrant des dispositifs « tout en un » de VR et de AR.

préférée utiliser "réalité mixée" qui suppose une dilution des frontières, ce qui présage des expériences immersives inédites et inattendues.

5 .Aspects Techniques et Architecturaux

5.1.Composantes techniques communes

5.1.1.Composantes Matérielles Communes

- **Casques et Affichages Montés sur la Tête (HMDs)** Les dispositifs tels que les casques VR (ex. : Meta Quest, HTC Vive) et les lunettes AR/MR (ex. : Microsoft HoloLens) intègrent des écrans haute résolution, des capteurs de mouvement et des systèmes audio pour offrir une immersion visuelle et sonore complète.
- **Capteurs de Mouvement et de Position** Ces capteurs, incluant accéléromètres, gyroscopes et capteurs de position, permettent de suivre les mouvements de l'utilisateur en temps réel, assurant une interaction fluide avec l'environnement virtuel ou augmenté.
- **Caméras et Capteurs de Profondeur** Intégrés dans les dispositifs AR/MR, ces capteurs capturent l'environnement réel pour permettre une superposition précise des éléments virtuels, facilitant ainsi l'interaction entre le monde réel et les objets numériques.
- **Contrôleurs et Interfaces Haptiques** Les manettes, gants haptiques et autres dispositifs d'entrée permettent aux utilisateurs d'interagir physiquement avec l'environnement virtuel, offrant des retours tactiles qui renforcent le réalisme de l'expérience.
- **Systèmes Audio Spatialisés** Les technologies audio 3D immersives, intégrées dans les casques ou via des écouteurs spécialisés, fournissent une spatialisation sonore qui améliore la perception de l'environnement virtuel et augmente le sentiment de présence.[15]

5.1.2.Composantes Logicielles Communes

- **Moteurs de Rendu 3D** Des moteurs tels que Unity ou Unreal Engine sont utilisés pour créer et gérer des environnements 3D interactifs, offrant des outils puissants pour le développement de contenus immersifs en VR, AR et MR.
- **Systèmes de Suivi et de Cartographie (SLAM)** La technologie SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) permet aux dispositifs AR/MR de comprendre et de cartographier l'environnement en temps réel, facilitant l'intégration cohérente des éléments virtuels dans le monde réel.

- **Interfaces de Programmation (APIs) et Standards** Des standards tels que WebXR et OpenXR offrent des interfaces unifiées pour le développement d'applications immersives, assurant la compatibilité entre différents dispositifs et plateformes.
- **Systèmes d'Intelligence Artificielle (IA)** L'intégration de l'IA permet d'améliorer l'interaction utilisateur, par exemple en reconnaissant les commandes vocales, en adaptant dynamiquement les environnements virtuels ou en facilitant la collaboration entre utilisateurs.

5.2. Différences techniques spécifiques

	VR	AR	MR
Environnement Immersif	L'utilisateur est complètement immergé dans un environnement numérique généré par ordinateur, coupé du monde réel. Les casques VR créent cet isolement pour plonger l'utilisateur dans une expérience totalement virtuelle	L'environnement reste principalement réel, avec des éléments numériques superposés sans changer profondément le cadre physique. L'utilisateur reste connecté au monde réel tout en percevant des informations supplémentaires ou des objets virtuels .	Il y a une fusion plus avancée entre le réel et le virtuel où non seulement les éléments numériques sont ajoutés à l'environnement réel, mais ils peuvent également interagir dynamiquement avec celui-ci selon des règles physiques simulées
Perception de l'Environnement	Utilise principalement des capteurs internes tels que gyroscopes et accéléromètres	Requiert des caméras et des capteurs externes (comme le LiDAR) pour analyser	Nécessite des systèmes complexes qui détectent et interprètent

	pour suivre les mouvements de l'utilisateur dans cet espace virtuel. Pas besoin de capturer directement l'environnement extérieur puisqu'il est remplacé par un monde numérique .	l'environnement réel afin d'y ajouter précisément des informations numériques .	l'environnement réel pour permettre aux objets virtuels de réagir correctement aux surfaces et conditions environnementales réelles .
Type d'Interactions	L'interaction se fait via des contrôleurs spécifiques ou des gants haptiques permettant aux utilisateurs de manipuler des objets virtuels dans cet univers fermé .	Les interactions sont basées sur des gestes simples ou des commandes vocales pour manipuler les informations ou objets numériques superposés sur le monde réel .	Les interactions sont beaucoup plus naturelles et riches car elles combinent plusieurs formes d'entrées comme le suivi oculaire, gestuel, et vocal, permettant ainsi une interaction fluide entre mondes réel et virtuel .
Matériel Nécessaire	Des casques complets tels que Oculus Rift ou HTC Vive sont nécessaires,	On peut utiliser des dispositifs variés allant des smartphones aux lunettes	Des appareils haut de gamme tels que Microsoft HoloLens sont requis, combinant

		certains modèles pouvant fonctionner sans fil grâce à des processeurs intégrés performants .	spécialisées telles que Google Glass, conçues pour projeter des informations dans le champ de vision tout en maintenant une connexion avec l'environnement réel .	puissance de calcul, reconnaissance visuelle avancée, et interfaces utilisateur sophistiquées pour offrir une expérience immersive mêlant harmonieusement réel et virtuel .
Exigences en Termes de Performance et Latence		Une faible latence (inférieure à 20 ms) et un taux de rafraîchissement élevé (>90 Hz) sont essentiels pour éviter le mal des simulateurs et maintenir une expérience fluide et confortable pour l'utilisateur .	Une latence légèrement supérieure peut être tolérée, mais elle doit rester basse pour garantir que les objets numériques apparaissent synchronisés avec leur contexte réel, préservant ainsi l'intégrité perceptive de l'expérience .	Imposent des exigences très strictes concernant la latence et la qualité graphique car elles combinent les défis rencontrés dans les deux autres domaines, nécessitant donc des processeurs puissants capables de traiter rapidement de grandes quantités de données sensorielles et graphiques [25] .

Table 3 : Différences techniques spécifiques

6 . Applications et Implications Pratiques

6.1.Domaines d'Application de la VR

6.1.1 Jeux immersifs

Beat Saber : Jeu de rythme en VR où les joueurs tranchent des blocs au rythme de la musique.

Half-Life: Alyx Jeu de tir à la première personne en VR se déroulant dans l'univers de Half-Life.

6.1.2 Éducation et formation

Osso VR : Plateforme de formation chirurgicale en VR utilisée par des professionnels de la santé.

Athlétisme aux JO 2024 : L'Institut des sciences du mouvement d'Aix-Marseille Université a développé un outil de réalité virtuelle pour entraîner les équipes françaises de relais 4 × 100 mètres, permettant de simuler des courses et d'optimiser la transmission du témoin. Le Monde.fr

6.1.3 Immobilier et architecture

Matterport : Plateforme permettant de créer et de partager des visites virtuelles d'espaces réels.

6.1.4 Soins de santé et thérapie

Limbix : Plateforme de thérapie VR pour le traitement de l'anxiété et d'autres troubles de santé mentale.

Rééducation post-amputation : La réalité virtuelle est utilisée pour traiter les douleurs fantômes chez les patients amputés, en complément de la thérapie du miroir.

6.1.5 Divertissement

Star Wars: Secrets of the Empire Attraction VR immersive où les participants vivent une mission dans l'univers Star Wars.

6.2. Domaines d'Application de la AR

6.2.1 Jeux et divertissements

Pokémon GO : Jeu mobile en AR où les joueurs capturent des Pokémon dans le monde réel.

Minecraft Earth : Jeu sandbox en AR permettant de construire dans le monde réel.

6.2.2 Commerce de détail et commerce électronique

IKEA Place : Application permettant de visualiser des meubles IKEA chez soi en AR.

Warby Parker Virtual Try-On : Application permettant d'essayer virtuellement des lunettes.

Signet Jewelers : Utilisation de la réalité augmentée pour permettre aux clients d'essayer virtuellement des bijoux, offrant une expérience d'achat personnalisée à distance.
tangiblee.com

6.2.3 Éducation

➤ **Le Corps Humain de Tinybop** : Application éducative interactive sur le corps humain.

GeoGebra AR : Application permettant de visualiser des concepts mathématiques en AR.

6.2.4 Soins de santé

AccuVein AV500 : Dispositif projetant une carte des veines sur la peau pour faciliter les injections.

EchoPixel True3D : Plateforme créant des jumeaux numériques holographiques pour la planification chirurgicale.

6.2.5 Formation industrielle

HoloLens 2 : Casque AR utilisé pour des formations immersives dans des environnements industriels.

Siemens Digital Worker : Solution AR pour optimiser les flux de travail industriels.

6.2.6 Publicité et marketing

- o **Pepsi MAX AR Bus Shelter** : Campagne publicitaire utilisant l'AR pour surprendre les passants.
- o **Nike AR Shopping** : Expérience d'achat de baskets en AR.

6.3. Domaines d'Application de la MR

6.3.1 Éducation et Formation

La MR révolutionne l'apprentissage en offrant des environnements interactifs où les étudiants peuvent manipuler des hologrammes en 3D et participer à des simulations avancées. Par exemple, dans le domaine médical, les étudiants peuvent simuler des interventions chirurgicales, améliorant ainsi leur compréhension et leur rétention des connaissances.

6.3.2 Santé et Soins Médicaux

Dans le secteur médical, la MR offre des solutions innovantes telles que la visualisation de données médicales complexes, la planification chirurgicale en temps réel et la formation pratique des professionnels de santé grâce à des simulations immersives. Des dispositifs comme le Microsoft HoloLens permettent aux chirurgiens de superposer des informations critiques directement dans leur champ de vision.

6.3.3 Architecture et Construction

Les architectes et constructeurs utilisent la MR pour superposer des modèles 3D sur des sites physiques, facilitant ainsi la compréhension des projets avant leur réalisation. Cela

permet également d'identifier des erreurs potentielles dès les premières phases de conception, améliorant la collaboration et la précision des résultats. rinf.tech

6.3.4 Industrie et Maintenance

La MR améliore les processus industriels en fournissant aux techniciens des informations contextuelles directement dans leur champ de vision, facilitant la maintenance prédictive et augmentant l'efficacité opérationnelle. Elle est également utilisée pour la formation des employés, leur permettant de pratiquer des tâches dans un environnement virtuel sécurisé.

6.3.5 Commerce et Marketing Immersif

Les entreprises exploitent la MR pour offrir des expériences commerciales uniques, telles que des espaces virtuels où les clients peuvent interagir avec des produits numériquement reconstitués. Cela renforce l'engagement client et favorise les ventes en permettant, par exemple, d'essayer virtuellement des vêtements ou de visualiser des meubles dans leur propre espace.

6.3.6 Jeux Vidéo et Divertissement

La MR transforme le divertissement en proposant des jeux vidéo et des expériences interactives où les joueurs interagissent simultanément avec leur environnement réel et virtuel. Cela crée des scénarios plus riches et engageants, offrant une immersion sans précédent dans le monde du jeu.

6.3.7 Collaboration Professionnelle Grâce à

la MR, les équipes travaillant à distance peuvent collaborer dans des environnements partagés où elles peuvent manipuler ensemble des objets virtuels ou discuter autour de projets complexes comme si elles étaient présentes dans la même pièce. Cela améliore la communication, la productivité et la prise de décision collective

7. Avantages et Limitations

7.1. Avantages et Limitations de la VR

7.1.1 Avantages

- **Immersion Totale:** La VR permet une immersion complète dans des environnements virtuels, offrant une expérience unique et engageante.
- **Amélioration des Compétences par la Simulation:** Les environnements virtuels permettent des simulations réalistes pour la formation et l'éducation, améliorant les compétences sans risques.
- **Accessibilité à des Environnements Inaccessibles:** La VR permet d'explorer des lieux difficiles ou impossibles à visiter dans le monde réel, comme des sites archéologiques, des espaces lointains, ou des environnements dangereux.

7.1.2. Limitations

- **Coût et Accessibilité:** Le coût des équipements VR et des ordinateurs performants nécessaires peut être prohibitif pour certains utilisateurs.
- **Effets Secondaires:** La VR peut provoquer des effets secondaires tels que la cinétose, des maux de tête et des troubles oculaires.
- **Limitations Technologiques Actuelles:** Malgré les progrès, la technologie VR a encore des limites en termes de résolution, de latence et de confort d'utilisation.

7.2. Avantages et Limitations de la AR

7.2.1. Avantages

- **Amélioration de l'apprentissage et de la formation**

La RA facilite la compréhension en superposant des instructions visuelles sur des environnements réels, ce qui est particulièrement utile pour la formation technique et professionnelle.

Elle permet une formation pratique sans les risques associés à des environnements réels dangereux.

➤ **Augmentation de la productivité**

En fournissant des informations en temps réel, la RA aide les travailleurs à accomplir des tâches plus rapidement et avec moins d'erreurs.

Elle optimise les processus industriels en guidant les opérateurs étape par étape. Visiativ

➤ **Amélioration de la sécurité**

La RA identifie et met en évidence les zones à risque, réduisant ainsi les accidents sur le lieu de travail.

Elle permet des simulations sécurisées pour la formation en situations dangereuses. Visiativ

➤ **Expérience client enrichie** Dans le commerce de détail, la RA offre des expériences interactives, comme l'essayage virtuel de produits, améliorant ainsi l'engagement client.

5.2.2. Limitations

➤ **Dépendance à la technologie**

La RA nécessite des équipements spécifiques (smartphones, tablettes, lunettes AR), ce qui peut limiter son accessibilité.

La performance dépend de la qualité des capteurs et de la connectivité.

➤ **Problèmes de confidentialité et de sécurité**

La collecte de données en temps réel soulève des préoccupations concernant la vie privée des utilisateurs.

Il existe des risques de cyberattaques ciblant les systèmes de RA.

➤ **Fatigue visuelle et surcharge cognitive**

Une utilisation prolongée peut entraîner une fatigue oculaire.

La surabondance d'informations peut distraire l'utilisateur et réduire l'efficacité.

➤ **Limitations techniques en extérieur**

La luminosité ambiante peut affecter la visibilité des éléments augmentés.

Les conditions météorologiques peuvent interférer avec les capteurs et la précision des données.

7.3. Avantages et Limitations de la MR

7.3.1. Avantages

- **Interaction immersive et naturelle** La MR permet aux utilisateurs d'interagir simultanément avec des éléments physiques et numériques, offrant une expérience plus intuitive que la Réalité Augmentée (AR) ou la Réalité Virtuelle (VR) .
- **Collaboration à distance améliorée** Elle facilite la collaboration en temps réel entre des individus situés à des endroits différents, permettant de travailler ensemble sur des projets complexes en utilisant des hologrammes et des annotations virtuelles
- **Applications industrielles et professionnelles** Dans l'industrie, la MR est utilisée pour la formation, la maintenance et l'assistance, en affichant des indications visuelles et multimédias dans le champ de vision des opérateurs Innoteo .
- **Expériences utilisateur enrichies** La MR offre des expériences interactives et engageantes, notamment dans les domaines du divertissement, de l'éducation et de la santé, en intégrant des objets virtuels qui s'adaptent en temps réel au monde physique .

7.3.2. Limitations

- **Inconfort et fatigue** Une exposition prolongée à la MR peut entraîner une fatigue oculaire, des nausées ou des désorientations, affectant l'expérience utilisateur .

- **Coûts élevés Les dispositifs MR**, tels que les casques et lunettes spécialisés, peuvent représenter un investissement conséquent, limitant leur accessibilité pour certaines entreprises ou particuliers.
- **Limitations techniques** La MR nécessite une compréhension avancée de l'environnement pour une interaction fluide, ce qui peut être entravé par des conditions de luminosité ou des environnements complexes .
- **Enjeux de confidentialité et de sécurité** L'utilisation de la MR implique la collecte de données en temps réel, soulevant des préoccupations concernant la vie privée et la sécurité des informations sensibles.

8 Conclusion

Au terme de cette exploration des technologies de Réalité Virtuelle (VR), de Réalité Augmentée (AR) et de Réalité Mixte (MR), il apparaît clairement que nous nous trouvons à l'aube d'une transformation profonde de notre interaction avec le monde numérique et physique. Ces technologies, bien que distinctes dans leurs mécanismes et leurs applications, partagent un fil conducteur commun : celui de l'immersion et de l'augmentation de nos capacités perceptuelles et interactives.

La VR nous transporte dans des environnements entièrement simulés, offrant des expériences immersives et engageantes pour la formation, le divertissement et la collaboration. L'AR, quant à elle, superpose des informations numériques au monde réel, enrichissant notre perception et ouvrant de nouvelles voies pour l'assistance, l'information et le marketing. Enfin, la MR fusionne les deux mondes, permettant une interaction fluide et contextuelle entre les objets réels et virtuels, promettant des avancées significatives dans des domaines tels que la conception, la maintenance et la collaboration à distance.

Si les défis techniques et les considérations éthiques liés à leur développement et à leur adoption persistent, le potentiel disruptif de la VR, de l'AR et de la MR est indéniable. Leur

impact croissant sur des secteurs variés, allant de l'éducation à la santé en passant par l'industrie et le divertissement, témoigne de leur capacité à remodeler nos pratiques et nos expériences.

En guise de conclusion, ce chapitre a posé les bases d'une compréhension fondamentale de ces technologies immersives. Les chapitres suivants exploreront plus en détail leurs applications spécifiques et les défis particuliers qu'elles soulèvent dans divers domaines. L'ère des réalités immersives est en marche, et il est essentiel de continuer à explorer, innover et réfléchir aux implications de ce nouveau paradigme pour l'avenir de notre société.

Chapitre3

Modélisation et
conception

1 Introduction

La conception constitue une phase essentielle dans le développement de tout système, application ou produit. Elle intervient généralement après l'analyse des besoins et avant la mise en œuvre concrète, jouant un rôle déterminant dans la réussite du projet. Cette étape permet de transformer les exigences fonctionnelles et non fonctionnelles en une structure organisée et opérationnelle, orientée à la fois vers les objectifs techniques et les attentes des utilisateurs.

Ce chapitre a pour but d'explorer les principes fondamentaux de la conception, en présentant ses objectifs stratégiques, les différentes étapes du processus, ainsi que les méthodes et outils couramment utilisés. Il mettra également en évidence l'importance d'une planification rigoureuse pour anticiper les défis liés au développement, garantir la qualité du produit final et faciliter son évolution future. Une attention particulière sera portée à la manière dont une conception bien structurée contribue à la clarté du projet, à sa maintenabilité et à son efficacité globale.

2. Langage de conception UML

Le langage de conception UML, ou Unified Modeling Language (Langage de Modélisation Unifié), est un langage de modélisation graphique standardisé utilisé principalement en génie logiciel. Il permet de représenter visuellement la structure, le comportement et les interactions au sein d'un système informatique, facilitant ainsi la compréhension, la conception, la documentation et la communication entre les différentes parties prenantes d'un projet .

UML repose sur une approche orientée objet et propose un ensemble de diagrammes standardisés tels que les diagrammes de classes, de cas d'utilisation, de séquence, d'activités, etc., qui permettent de modéliser différents aspects du système à développer .

Il a été conçu pour être un langage de modélisation visuelle commun et riche , adapté à la fois aux petites et grandes applications complexes, et largement adopté dans l'industrie du développement logiciel .

En résumé, UML fournit une méthode visuelle standardisée pour concevoir, analyser et documenter des systèmes logiciels, en offrant une vue claire et structurée des processus, objets et relations mis en œuvre

3. Les Diagrammes UML

utilisés UML permet de définir et de visualiser un modèle à l'aide de diagrammes. Un diagramme UML est une représentation graphique qui s'intéresse à un aspect précis du modèle, il donne à l'utilisateur un moyen de visualiser et de comprendre. Pour décrire ces diagrammes [42]. Les différents types de diagrammes d'UML utilisés dans notre étude sont :

3.1 Diagramme de cas d'utilisation

Les cas d'utilisation décrivent sous la forme d'actions et de réaction, le comportement d'un système du point d'un utilisateur. Ils permettent de définir les limites du système et les relations entre le système et l'environnement.

3.2 Diagramme de classe

Le diagramme de classe exprime de manière générale la structure statique d'un système, en termes de classes et de relations entre ces classes qui sont soit : de dépendance, de généralisation et d'association. Il contient aussi des interfaces, des collaborations, etc.

3.3 Diagramme de séquence

Un diagramme de séquence est un diagramme UML (Unified Modeling Language) qui représente la séquence de messages entre les objets au cours d'une interaction. Un diagramme de séquence comprend un groupe d'objets, représentés par des lignes de vie, et les messages que ces objets échangent lors de l'interaction.

3.4 Diagramme d'activité

Un diagramme d'activité est une variante des diagrammes d'états- transitions, organisé par rapport aux actions et principalement destiné à représenter le comportement interne d'une méthode (la réalisation d'une opération) ou d'un cas d'utilisation.

3.5 Diagramme de déploiement

Un diagramme de déploiement est une représentation statique qui met en évidence l'utilisation de l'infrastructure physique par un système et illustre la répartition des différents composants du système, ainsi que leurs relations mutuelles.

4.Exigence fonctionnelle

4.1 Diagramme de cas d'utilisation

➤ Identification des Acteurs

Utilisateur

Il représente le client final de l'application, celui qui souhaite essayer et acheter des vêtements via la plateforme AR.

Fournisseur

Il s'agit des vendeurs ou marques qui proposent leurs vêtements sur la plateforme, gèrent les articles et suivent les ventes.

Administrateur

Il administre l'ensemble du système, assure la gestion du catalogue, la modération, la supervision et la gestion des utilisateurs/fournisseurs.

➤ Identification des Cas d'Utilisation (Use Cases)

Utilisateur

- Créer/Se connecter
- Gérer profil
- Parcourir catalogue
- Essayer vêtement AR
 - Superposer vêtement sur image(<include>)

- Adapter morphologie (<include>)
 - Recommandation taille/couleur (<include>)
- Passer commande
 - Notifications (<include>)
 - Retours/échanges (<extend>)
- Historique commandes
- Retours/échanges
- Avis
- Notifications
- FAQ/Aide
- Recommandations
- Ajouter vêtements perso

Fournisseur

- Gérer profil
- Gérer vêtements
- Uploader images/3D
- Statistiques ventes
- Gérer commandes
- Notifications

Administrateur

- Gérer catalogue
- Gérer utilisateurs/fournisseurs

- Modérer avis/contenus
- Statistiques générales
- Promotions/FAQ
- Superviser logs AR
- Notifications
- Retours/échanges

Réalisation de diagramme de cas d'utilisation :

Le diagramme de cas d'utilisation est donné par la figure suivant suivante :

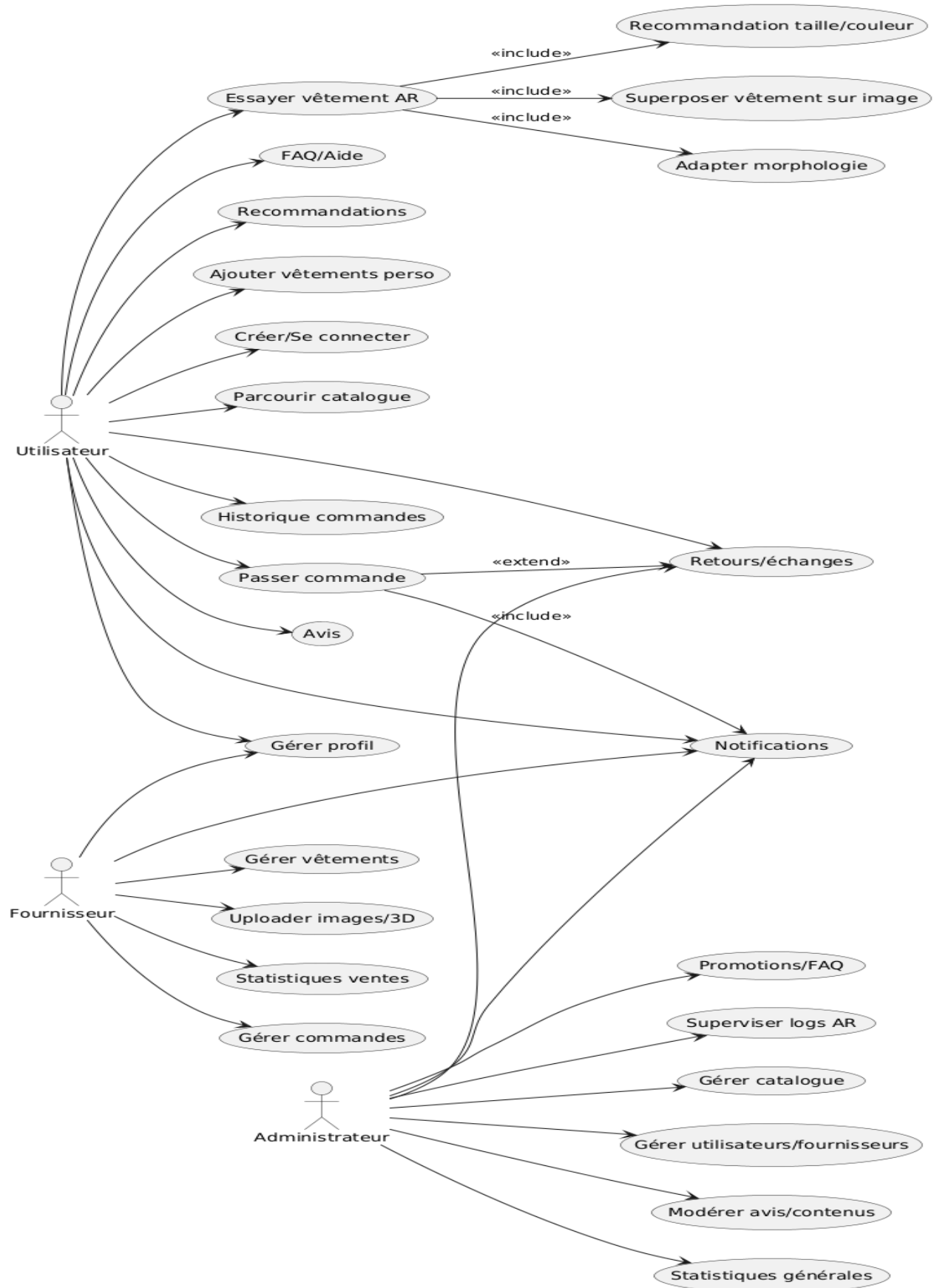


Figure 3 :Le diagramme de cas d'utilisation.

4.2 Diagramme de classe

- **Utilisateur** : Représente le client de la plateforme, avec ses informations personnelles et ses actions principales (création de compte, commandes, avis, etc.).
- **Fournisseur** : Entité qui propose et gère des vêtements sur la plateforme, consulte les statistiques et traite les commandes.
- **Administrateur** : Supervise et gère la plateforme, modère les contenus, analyse les statistiques et veille au bon fonctionnement global.
- **Vêtement** : Modélise les articles proposés, avec leurs caractéristiques (taille, couleur, images, prix, etc.).
- **Commande** : Regroupe les achats et permet leur gestion (passage, annulation, suivi, retour).
- **Panier** : Contient les articles sélectionnés avant validation d'une commande.
- **Avis** : Permet aux utilisateurs de laisser des retours sur les vêtements, modérés si nécessaire.
- **SystemeAR** : Gère les fonctionnalités d'essayage virtuel et de recommandations personnalisées.
- **HistoriqueAction** : Archive les actions importantes pour assurer la traçabilité sur la plateforme

➤ Réalisation de diagramme de classe

Le diagramme de classe est donné par la figure suivante :

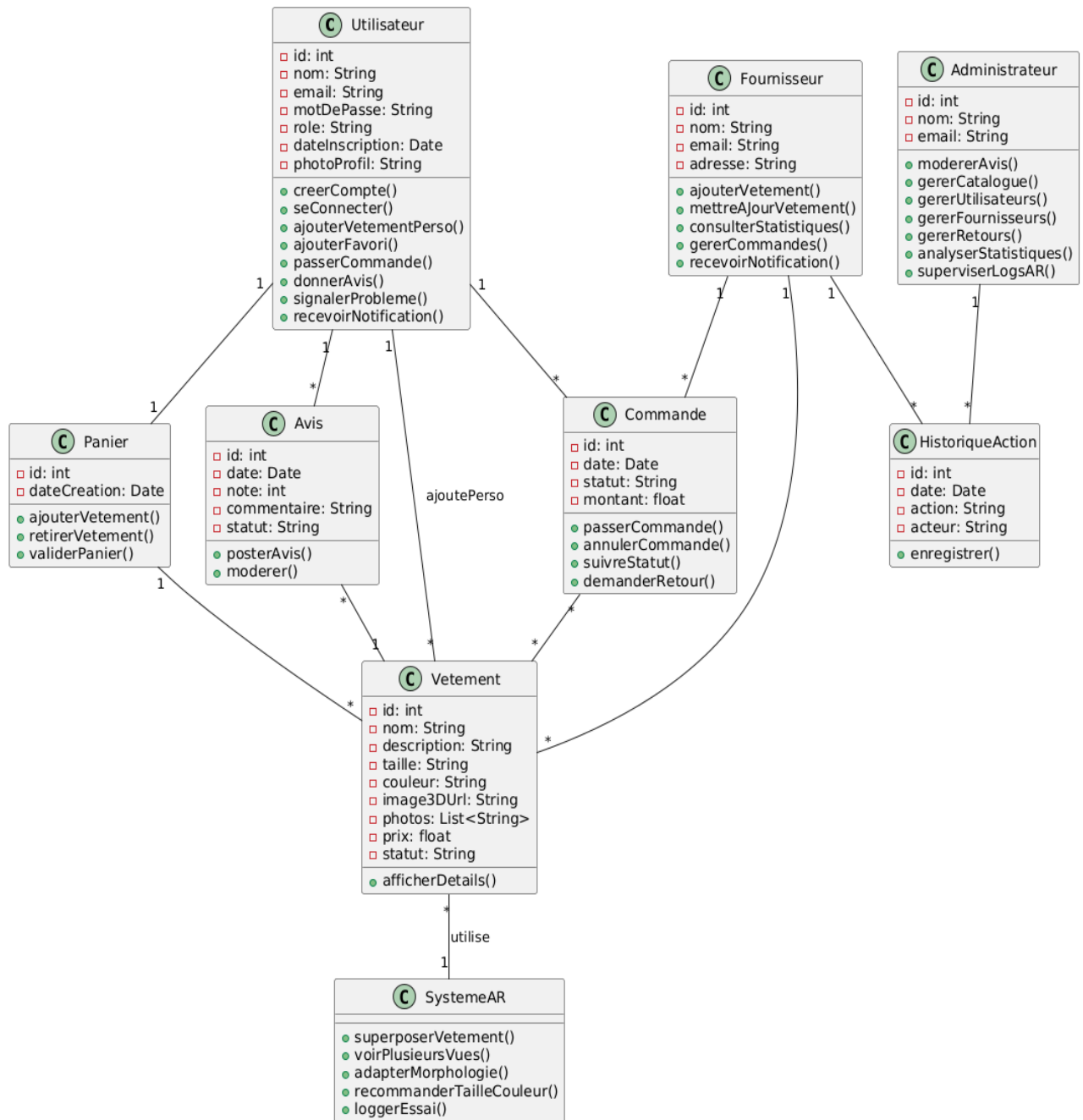


Figure 4: Le diagramme de classe.

4.3 Diagramme de séquence

Le diagramme de séquence que tu proposes décrit les interactions principales entre les différentes composantes du système d'essayage de vêtements en réalité augmentée (AR)

➤ Les acteurs et participants :

- Utilisateur : la personne qui veut essayer un vêtement virtuellement.
- Interface AR : le module qui gère l'expérience AR côté utilisateur.

- Système de Recommandation : propose des tailles ou couleurs adaptées. Serveur Images/3D : fournit le modèle 3D du vêtement sélectionné.
- Base de Données Utilisateurs : stocke et fournit les informations morphologiques de l'utilisateur.

➤ **Le scénario principal modélisé**

L'utilisateur démarre l'essayage AR d'un vêtement :

- L'utilisateur lance la fonctionnalité.
- L'interface AR demande une photo ou un scan.
- L'utilisateur transmet la photo/scan.
- L'interface AR va chercher le modèle 3D du vêtement auprès du serveur dédié.
- Le serveur renvoie le modèle 3D.
- L'interface AR récupère les données morphologiques de l'utilisateur dans la base de données.
- Elle superpose le vêtement sur la photo/scan et adapte la morphologie.
- L'interface AR interroge le système de recommandation pour la taille/couleur.
- Le système de recommandation renvoie les suggestions personnalisées.
- L'interface AR affiche le rendu augmenté et les recommandations à l'utilisateur.

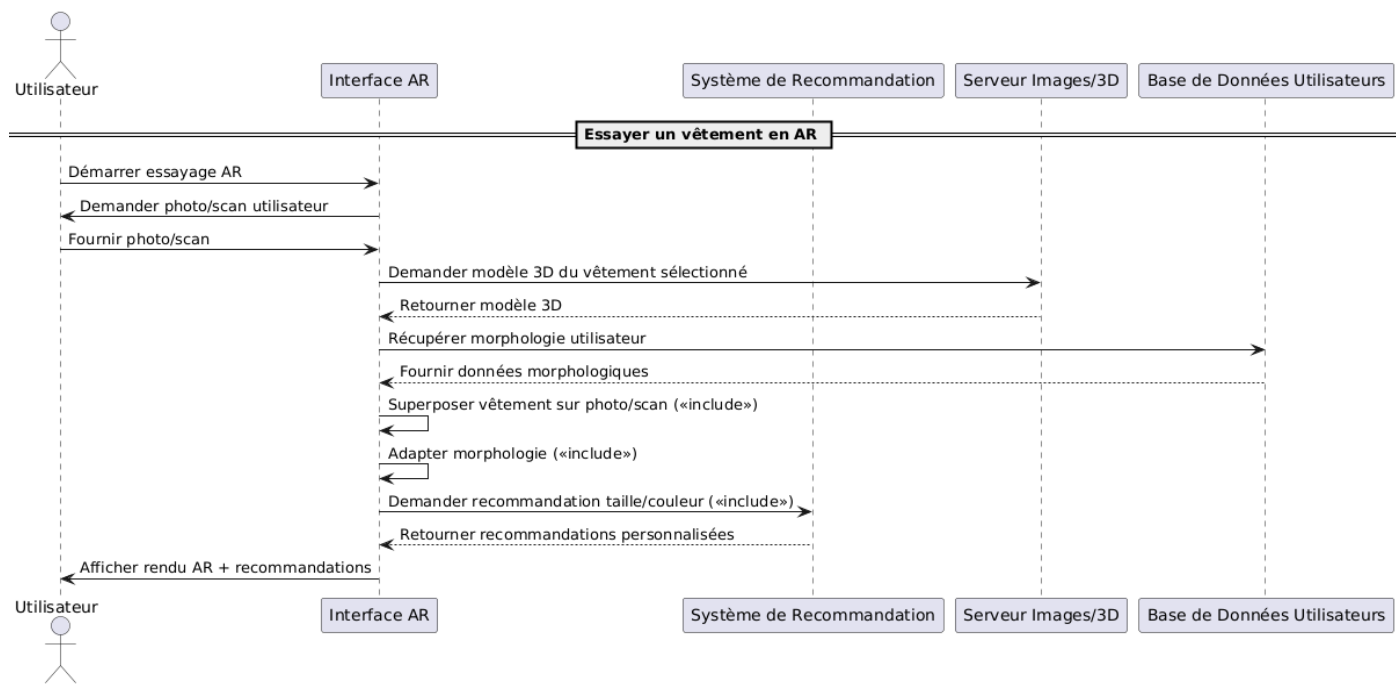


Figure 5 : Le diagramme de Séquence.

4.4 Diagramme de déploiement

Ce diagramme illustre l'architecture déployée d'un système d'essayage de vêtements en réalité augmentée (AR) avec gestion e-commerce, recommandations, et interfaces adaptées à chaque type d'utilisateur. Il montre comment les différents composants (clients, serveurs, base de données) communiquent entre eux.

➤ Composants principaux Clients

Client Utilisateur Représente l'utilisateur final (client) accédant à l'application via un navigateur web ou une application mobile. Technologies possibles: React, AR.js, etc.
Fonctionnalités: Essayage AR, navigation catalogue, achat, gestion du profil.
Client Fournisseur Fournisseur accédant à une interface dédiée pour gérer ses produits, stocks, etc.
Client Administrateur Administrateur ayant accès à une interface d'administration pour la gestion globale du système. Cloud "Internet"

Représente le réseau qui connecte tous les clients au backend via des protocoles sécurisés (HTTPS). **Serveur Applicatif (Backend)**

Gère la logique métier, l'API REST, et intègre : Module Recommandation (suggestions personnalisées) Module AR (traitement des requêtes AR) Technologies: FastAPI, Node.js, etc.
Serveur Images/3D

Stocke et diffuse les modèles 3D et images nécessaires pour l'essayage virtuel des vêtements.
Permet de gérer des fichiers volumineux séparément des autres données. Base de Données (DB)

Stocke les informations structurées (utilisateurs, commandes, vêtements, historiques, etc.).
Technologies: MongoDB, PostgreSQL.

➤ Relations et Flux

Clients (Utilisateur, Fournisseur, Administrateur) accèdent au système via Internet. Internet relaie les requêtes vers le Backend (API REST sécurisée). Backend : Interagit avec la Base de Données pour lire/écrire toutes les données métier. Communique avec le Serveur Images/3D pour récupérer ou déposer les fichiers 3D/images nécessaires à l'AR ou à l'affichage des vêtements. Intègre des modules spécialisés : Recommandation et AR. Notes descriptives sur chaque nœud précisent son rôle dans l'architecture.

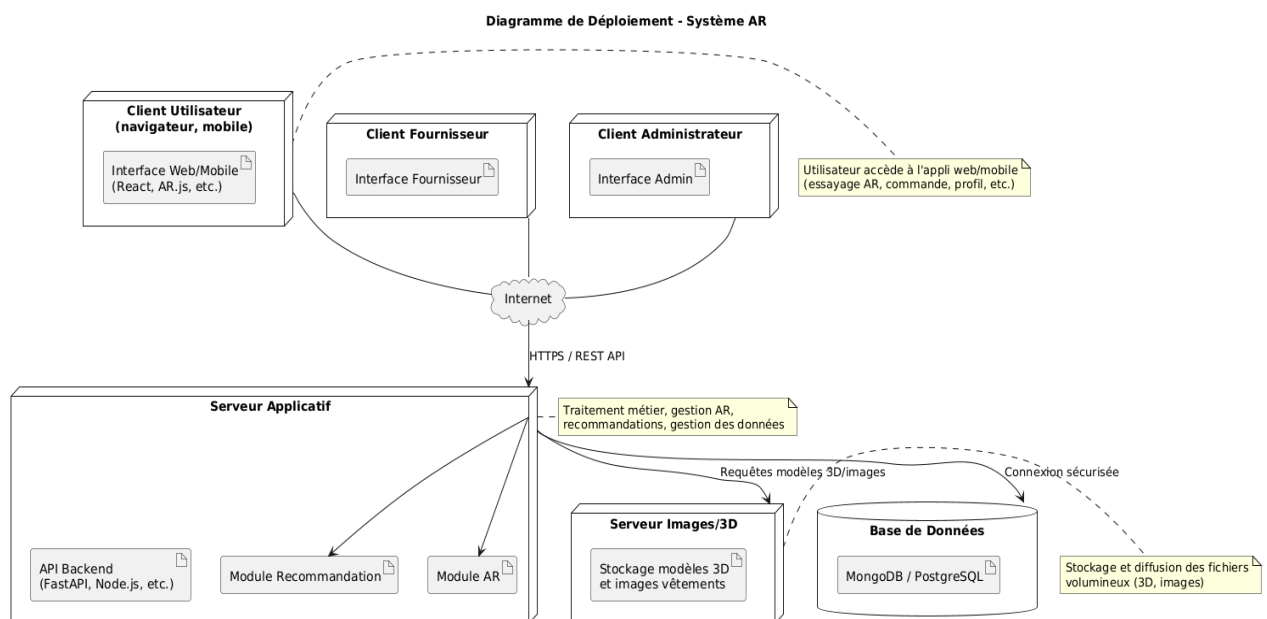


Figure 6 : Diagramme de déploiement

5 Architecture du Système

5.1 Architecture Globale

- Description des composants majeurs

Frontend (Web/Mobile UI) : L'interface utilisateur accessible via navigateur ou application mobile, permettant la visualisation du catalogue, l'essayage en AR, la gestion du compte et des commandes.

Contrôleur (Controller) : Point d'entrée du backend, il traite les requêtes des utilisateurs, orchestre la logique métier et interagit avec le modèle ainsi qu'avec les microservices spécialisés.

Modèle (Model) : Gère la structure et la persistance des données (utilisateurs, articles, commandes, historiques...) et sert d'interface avec la base de données.

Service Essayage AR : Microservice dédié au traitement des essayages en réalité augmentée, éventuellement déployé sur une infrastructure indépendante pour supporter la charge et l'isolation des traitements lourds.

Service Notifications : Microservice en charge de la gestion et de l'envoi des notifications (push, emails...) vers les utilisateurs.

Service Recommandation : Microservice analysant les données utilisateurs et historiques d'achat pour générer des recommandations personnalisées.

Base de données principale : Stocke toutes les informations structurées du système (comptes, produits, commandes...).

5.2 Schéma architectural

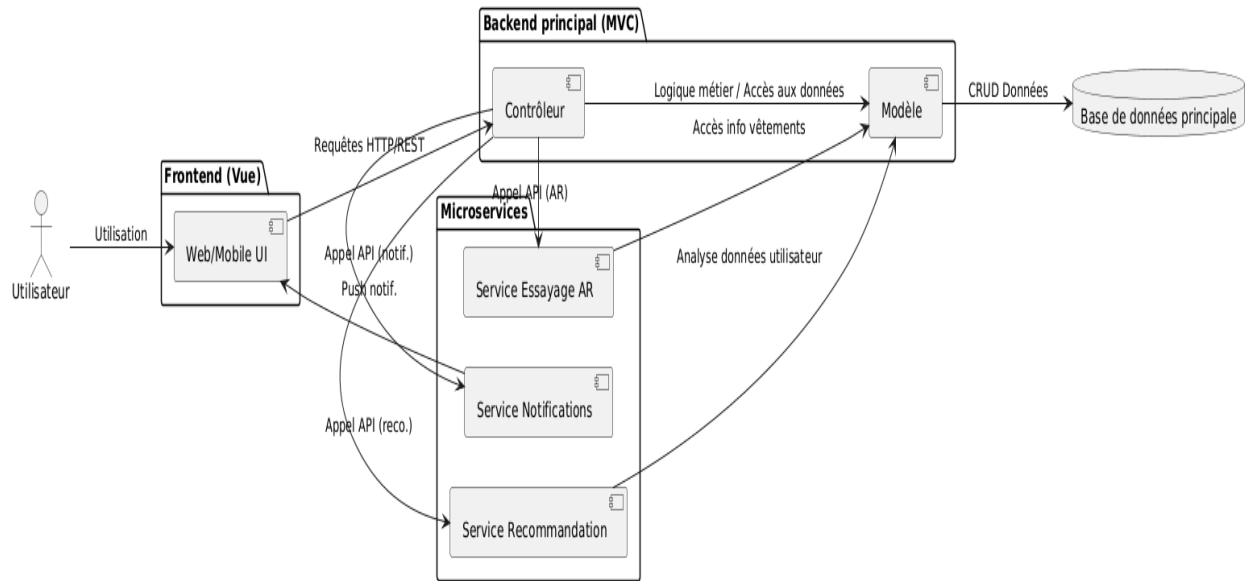


Figure 7: diagramme de compose

6 Conception de la Base de Données

6.1 Modèle Conceptuel de Données

➤ Entités principales

- Utilisateur (email, username, password, rôle, statut, date_inscription, favorites)
- Vêtement (nom, description, prix, taille, couleur, images, stock, avis, catégorie, fournisseur)
- Commande (utilisateur_id, date_commande, statut, total, adresse_livraison, moyen_paiement, lignes)
- Avis (utilisateur_id, vetement_id, note, commentaire, date, statut)
- Favori (utilisateur_id, clothingId)
- Fournisseur (nom, email, téléphone, adresse, site_web)
- Panier (utilisateur_id, articles, date_mise_a_jour)
- Paiement (order_id, user_id, method, status, amount, date_paiement)

- Offre (offer_id, title, description, valid_until, code)
- Historique Action (utilisateur_id, action, date_action, details)

➤ **Relations principales**

- Un Utilisateur peut avoir plusieurs Commandes
- Un Utilisateur peut écrire plusieurs Avis
- Un Utilisateur peut avoir plusieurs Favoris (liés à des Vêtements)
- Un Utilisateur peut avoir un Panier
- Un Utilisateur peut effectuer plusieurs Actions (Historique Action)
- Un Vêtement peut être associé à plusieurs Avis
- Un Vêtement peut appartenir à un Fournisseur
- Une Commande est liée à un Utilisateur et contient plusieurs Vêtements
- Une Commande peut être associée à un ou plusieurs Paiements
- Un Favori fait le lien entre un Utilisateur et un Vêtement
- Un Avis fait le lien entre un Utilisateur et un Vêtement
- Un Panier contient plusieurs Vêtements
- Un Vêtement peut bénéficier de plusieurs Offres
- Une Offre peut concerner plusieurs Vêtements

➤ **Visualisation synthétique**

- Utilisateur —< passe >— Commande —< contient >— Vêtement
- Utilisateur —< écrit >— Avis —< sur >— Vêtement
- Utilisateur —< possède >— Favori —< pour >— Vêtement
- Vêtement —< fourni par >— Fournisseur
- Commande —< a >— Paiement
- Panier —< appartient à >— Utilisateur et —< contient >— Vêtement
- Action —< effectuée par >— Utilisateur Vêtement —< bénéficie de >— Offre

➤ **Diagramme E/A ou E/R**

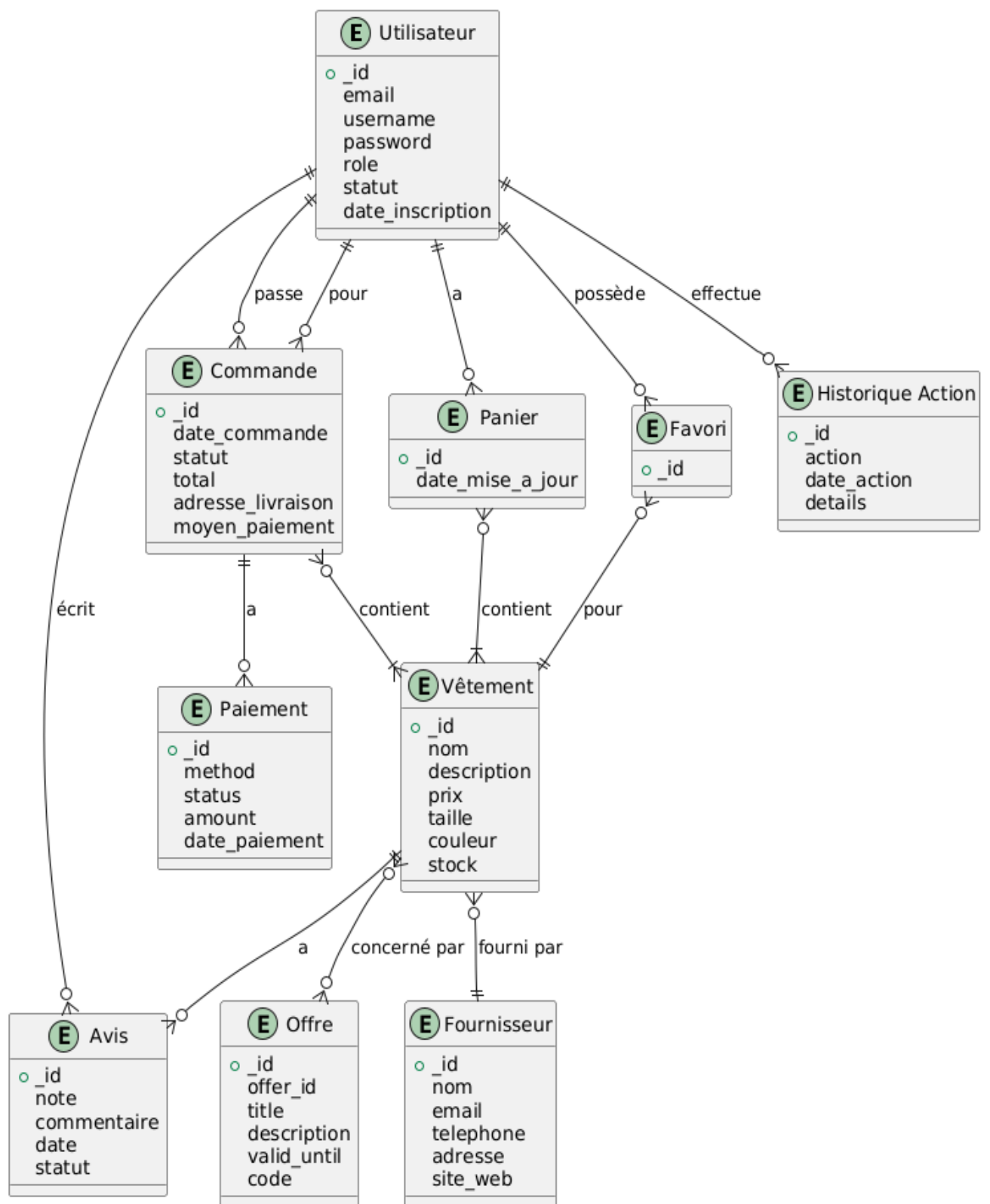


Figure 8 : Diagramme E/A ou E/R

6.2 Modèle Physique de Données

➤ Users

```
_id: ObjectId('68464cb8aedd4734958ee088')
email: "user1@email.com"
username: "johndoe"
password: "hashed_password1"
role: "user"
statut: "actif"
date_inscription: "2025-06-07T12:00:00Z"
▶ favorites: Array (empty)
```

```
_id: ObjectId('68464cb8aedd4734958ee089')
email: "admin@email.com"
username: "admin"
password: "hashed_password2"
role: "admin"
statut: "actif"
date_inscription: "2025-06-07T12:00:00Z"
▶ favorites: Array (empty)
```

➤ Clotes

```
_id: ObjectId('6845b031c8386579c1236b03')
nom: "T-shirt Rouge"
description: "Un t-shirt confortable."
prix: 29.99
▶ taille: Array (3)
▶ couleur: Array (2)
▶ images: Array (2)
stock: 10
categorie_id: null
fournisseur_id: null
▶ avis: Array (empty)
▶ fichiers_3d: Array (2)
```

➤ FOURNISSEURS

```
_id: ObjectId('68464cb8aedd4734958ee098')
nom: "TextilePro"
email: "contact@textilepro.com"
telephone: "+33123456789"
adresse: "12 rue du Textile, Paris"
site_web: "https://textilepro.com"
```

➤ ORDERS

```
_id: ObjectId('6846495bc9184939db2de02d')
utilisateur_id: "user1_id"
date_commande: "2025-06-07T12:00:00Z"
statut: "en_cours"
total: 59.98
adresse_livraison: "123 rue..."
moyen_paiement: "card"
▸ lignes: Array (1)
```

➤ commandés

```
_id: ObjectId('68464cb8aedd4734958ee099')
utilisateur_id: "user1_id"
date_commande: "2025-06-07T12:00:00Z"
statut: "en_cours"
total: 59.98
adresse_livraison: "123 rue..."
moyen_paiement: "card"
▸ lignes: Array (1)
```

➤ FAVORITES

```
_id: ObjectId('6846495bc9184939db2de02e')
clothingId: "clothing_id"
```

➤ REVIEWS

```
_id: ObjectId('6846495bc9184939db2de02f')
utilisateur_id: "user1_id"
vetement_id: "clothing_id"
note: 5
commentaire: "Super produit !"
date: "2025-06-07T12:00:00Z"
statut: "en_attente"
```

➤ OFFERS

```
_id: ObjectId('6846495bc9184939db2de030')
offer_id: "offer_id"
title: "Promo été"
description: "Réduction de 20%"
valid_until: "2025-07-01T00:00:00Z"
code: "ETE20"
```

HISTORIQUE_ACTION

```
_id: ObjectId('68464cb8aedd4734958ee08f')
utilisateur_id: "1"
action: "connexion"
date_action: "2025-06-07T09:00:00Z"
details: "Connexion réussie depuis Chrome Windows"
```

PANIER

```
_id: ObjectId('68464cb8aedd4734958ee091')
utilisateur_id: "user1_id"
▼ articles: Array (2)
  ► 0: Object
  ► 1: Object
date_mise_a_jour: "2025-06-07T11:00:00Z"
```

PAYMENTS

```
_id: ObjectId('68464cb8aedd4734958ee093')
order_id: "order1_id"
user_id: "user1_id"
method: "card"
status: "completed"
amount: 59.98
date_paielement: "2025-06-07T12:30:00Z"
```

➤ AR_LOGS

```

_id: ObjectId('68464cb8aedd4734958ee095')
utilisateur_id: "user1_id"
vetement_id: "clothing_id_1"
date_essai: "2025-06-08T12:00:00Z"
▼ actions: Array (4)
  0: "superposer_vetement_sur_image"
  1: "adapter_morphologie"
  2: "voir_plusieurs_vues"
  3: "proposer_recommandations_taille_couleur"
resultat: "succès"
capture_image: "url_image_essai.jpg"
details: "Essai AR complet avec ajustement morpho et recommandations."

```

➤ NOTIFICATIONS

```

_id: ObjectId('68464cb8aedd4734958ee097')
destinataire_id: "user1_id"
message: "Bienvenue sur la plateforme !"
envoyee_le: "2025-06-07T13:00:00Z"
statut: "envoyée"
lu: false
categorie: "info"
fieldname1: ""
fieldname2: 0

```

Faq

```

_id: ObjectId('6844ab0628ed548b8957d150')
question: "Comment suivre ma commande ?"
reponse: "Connectez-vous à votre compte et consultez la rubrique Commandes."
categorie: "Commande"
date_creation: "2025-05-01"
visible: true

```

➤ Returns

```

_id: ObjectId('6844ab0628ed548b8957d14c')
commande_id: "1"
raison: "Trop petit"
type_retour: "échange"
statut: "en_attente"
date_demande: "2025-05-22"
date_traitement: null

```

7 Tableaux Récapitulatifs

ar_logs

Storage size:	Documents:	Avg. document size:	Indexes:	Total index size:
20.48 kB	2	327.00 B	1	36.86 kB

clothes

Storage size:	Documents:	Avg. document size:	Indexes:	Total index size:
20.48 kB	1	531.00 B	1	36.86 kB

commandes

Storage size:	Documents:	Avg. document size:	Indexes:	Total index size:
20.48 kB	1	273.00 B	1	20.48 kB

faq

Storage size:	Documents:	Avg. document size:	Indexes:	Total index size:
20.48 kB	1	209.00 B	1	36.86 kB

favorites

Storage size:	Documents:	Avg. document size:	Indexes:	Total index size:
20.48 kB	1	50.00 B	1	36.86 kB

fournisseurs

Storage size:	Documents:	Avg. document size:	Indexes:	Total index size:
20.48 kB	1	179.00 B	1	20.48 kB

historique_action

Storage size:	Documents:	Avg. document size:	Indexes:	Total index size:
20.48 kB	2	156.00 B	1	36.86 kB

notifications

Storage size:	Documents:	Avg. document size:	Indexes:	Total index size:
20.48 kB	1	211.00 B	1	24.58 kB

offers

Storage size:	Documents:	Avg. document size:	Indexes:	Total index size:
20.48 kB	1	157.00 B	1	36.86 kB

orders

Storage size:	Documents:	Avg. document size:	Indexes:	Total index size:
20.48 kB	1	273.00 B	1	36.86 kB

panier				
Storage size: 20.48 kB	Documents: 2	Avg. document size: 188.00 B	Indexes: 1	Total index size: 36.86 kB
payments				
Storage size: 20.48 kB	Documents: 2	Avg. document size: 163.00 B	Indexes: 1	Total index size: 36.86 kB
returns				
Storage size: 20.48 kB	Documents: 1	Avg. document size: 159.00 B	Indexes: 1	Total index size: 36.86 kB
reviews				
Storage size: 20.48 kB	Documents: 1	Avg. document size: 177.00 B	Indexes: 1	Total index size: 36.86 kB
users				
Storage size: 20.48 kB	Documents: 2	Avg. document size: 193.00 B	Indexes: 1	Total index size: 36.86 kB

8 Conclusion

Le modèle de données développé pour ce projet e-commerce repose sur une organisation claire et structurée des entités principales (utilisateurs, vêtements, commandes, avis, panier, paiements, etc.). Il garantit la cohérence, la performance et la scalabilité nécessaires à une application moderne intégrant des fonctionnalités avancées comme l'essayage en réalité augmentée et les notifications en temps réel.

Le choix d'une base de données orientée document permet de gérer efficacement des structures complexes tout en offrant flexibilité et évolutivité. Les règles d'intégrité (unicité, indexation, relations par référence) assurent la fiabilité des données et l'efficacité des requêtes.

Enfin, la documentation complète du MCD et MPD, ainsi que les scripts et dictionnaires de données, constitue une base solide pour le développement et les évolutions futures.

Ce modèle s'inscrit donc dans une démarche robuste et adaptable, prête à évoluer avec les besoins de l'application et les innovations technologiques. Nous pouvons maintenant procéder à la mise en œuvre du système en toute confiance car nous avons une conception détaillée et soigneusement pensée. Ce sujet sera abordé dans le chapitre suivant.

Chapitre 4

Implémentation

1 Introduction

Ce chapitre présente l'implémentation du système d'essayage virtuel développé dans le cadre de ce projet. L'objectif principal est de permettre aux utilisateurs d'essayer des vêtements de façon interactive et réaliste grâce à la réalité augmentée, tout en intégrant les fonctionnalités e-commerce classiques (catalogue, panier, commandes, avis, etc.).

Dans un premier temps, ce chapitre rappelle les objectifs poursuivis : offrir une expérience utilisateur innovante, améliorer le taux de conversion, et réduire les retours produits grâce à une meilleure visualisation des articles. La démarche adoptée repose sur une architecture modulaire et évolutive, combinant des technologies web modernes (React, AR.js, etc.), une API backend robuste (FastAPI/Node.js), et une base de données flexible (MongoDB ou PostgreSQL).

La suite du chapitre détaillera les choix techniques, les étapes de réalisation, l'articulation entre les différents modules (gestion AR, moteurs de recommandation, gestion des données et des fichiers 3D), ainsi que les bonnes pratiques assurant la sécurité, la performance et la maintenabilité du système.

2 Les outils utilisés pour la construction du système

2.1 Les Langages des programmations

➤ JavaScript

JavaScript est un langage de programmation principalement utilisé pour le développement web côté client (frontend). Il permet de créer des interfaces utilisateur interactives et dynamiques, d'animer des éléments graphiques, de manipuler le contenu des pages web en temps réel, et de gérer les interactions avec l'utilisateur. Dans le cadre de ton projet, JavaScript est utilisé avec le framework React.js pour construire l'interface utilisateur de l'application d'essayage virtuel, ainsi que pour intégrer des éléments 3D interactifs (par exemple via des bibliothèques comme Three.js ou AR.js). Les fichiers JavaScript ont généralement l'extension .js ou .jsx (pour les composants React), et peuvent aussi inclure des fichiers .ts ou .tsx si TypeScript est utilisé.

➤ Python

Python est un langage de programmation polyvalent, reconnu pour sa simplicité de syntaxe, sa lisibilité et la richesse de son écosystème de bibliothèques. Il est largement utilisé pour le développement web, l'analyse de données, l'intelligence artificielle, et l'automatisation.

Dans le contexte du projet, Python a été retenu pour le développement du backend, notamment grâce au framework FastAPI. FastAPI permet de créer rapidement des APIs web performantes, sécurisées et faciles à maintenir. Les fichiers Python portent l'extension .py et regroupent le code source du serveur, la logique métier, la gestion des bases de données, ainsi que divers scripts

2.2 Visual Studio Code (VS Code)

Visual Studio Code est un éditeur de code source libre et gratuit, développé par Microsoft. Il est reconnu pour sa rapidité, sa légèreté et sa polyvalence. VS Code supporte nativement de nombreux langages de programmation et propose une vaste bibliothèque d'extensions qui enrichissent ses fonctionnalités (autocomplétion, linting, gestion de bases de données, intégration de Git, etc.).

Dans le cadre de ce projet, VS Code est l'éditeur principal utilisé pour écrire le code du frontend (JavaScript/React), du backend (Python/FastAPI), et pour gérer la configuration des différents services (Docker, scripts, etc.).

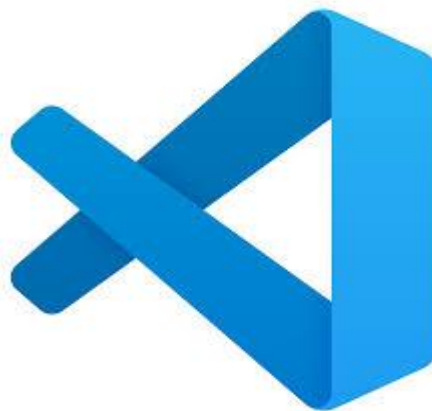


Figure 9 : logo Vs Code

Les extensions utiles incluent :

- Python : pour le linting (vérification de la qualité du code) et l'autocomplétion.
- ES7 React/Redux/GraphQL Snippets : pour accélérer le développement React. Docker : pour gérer les conteneurs directement depuis l'éditeur.

- Prettier : pour le formatage automatique du code.
- MongoDB for VS Code : pour interagir avec une base MongoDB sans quitter l'éditeur.

2.3 docker

Docker est une plateforme open source permettant de créer, déployer et exécuter des applications dans des conteneurs logiciels . Un conteneur est un environnement isolé et léger qui encapsule une application ainsi que ses dépendances, garantissant ainsi une exécution cohérente et reproductible quel que soit l'environnement (développement, test ou production).

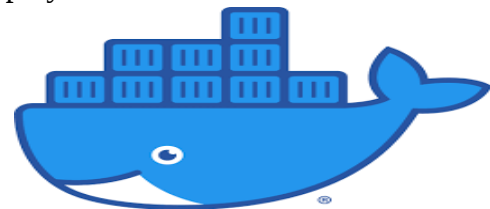


Figure 10 :Logo Docker

Docker repose sur une architecture basée sur des images (modèles immuables servant à créer des conteneurs) et des conteneurs (instances exécutables de ces images). Il simplifie la gestion des environnements de développement, facilite l'intégration continue et le déploiement automatisé, tout en assurant une bonne isolation des services.

Dans ce projet, Docker peut être utilisé pour containeriser les différents composants du système (frontend, backend, base de

données, services AR, etc.), permettant une mise en place rapide, une scalabilité accrue et une meilleure gestion des dépendances.

2.4 MongoDB

MongoDB est une base de données orientée document , appartenant à la famille des bases de données NoSQL . Elle stocke les données dans des documents au format BSON (Binary JSON), proche du format JSON, ce qui la rend flexible et adaptée à la gestion de données semi-structurées ou complexes.



Figure 11 : Logo MongoDB

Contrairement aux bases de données relationnelles traditionnelles, MongoDB ne repose pas sur des tables avec des schémas fixes, mais sur des collections contenant des documents pouvant avoir des structures différentes. Cette flexibilité permet une grande évolutivité et facilite l'intégration de données hétérogènes, comme celles nécessaires pour gérer des profils utilisateurs, des produits variés, des historiques d'actions ou des données liées à la réalité augmentée.

Dans le contexte de ce projet, MongoDB a été choisie pour sa capacité à modéliser efficacement des structures imbriquées (comme les commandes, les paniers ou les actions AR), tout en offrant une bonne performance et une scalabilité horizontale, essentielle pour répondre à une croissance future du système.

3 Quelques interfaces de notre système

➤ L'interface d'Accueil



Figure 12 : L'interface d'Accueil

➤ L'interface de collection

On peut dire que cette interface affiche les vêtements selon différentes catégories et fournit des informations détaillées sur chaque produit. Elle permet également à l'utilisateur d'être redirigé automatiquement vers une page d'essayage virtuel afin de tester les vêtements sélectionnés.

Collection

Hommes

Femmes

Enfants



T-shirt noir
49.99 €



T-shirt blanc
39.99 €

Figure 13 : L'interface de collection

➤ L'interface de essayage

Cette interface permet à l'utilisateur d'essayer virtuellement des vêtements en utilisant la caméra de son appareil. Il peut ainsi visualiser les articles choisis directement sur lui, ou bien ajouter ses propres photos pour tester les vêtements sur des images personnelles. Ce système offre une expérience interactive, pratique et personnalisée lors du choix des produits.

Essayage Virtuel

Mode Standard

Mode AR

Ajouter un vêtement

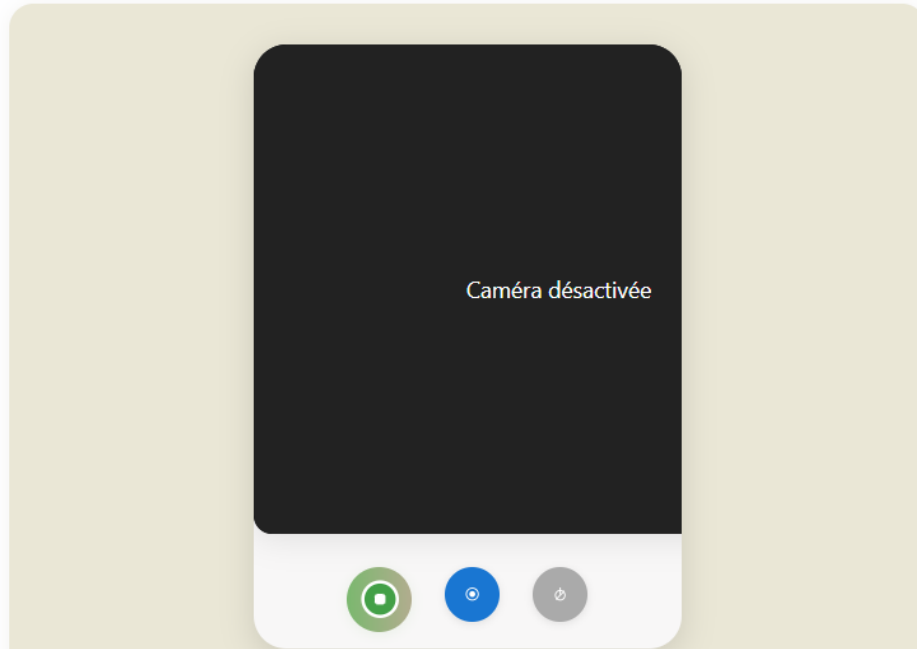


Figure 14 :L’interface de essayage

4 Conclusion

Ce chapitre a permis de détailler les choix techniques et les outils retenus pour l’implémentation du système d’essayage virtuel en réalité augmentée. Chaque composant — du frontend interactif avec React.js, au backend performant sous FastAPI, en passant par la gestion de la base de données MongoDB et la conteneurisation via Docker — a été sélectionné pour répondre aux exigences de modularité, de performance, et de maintenabilité du projet.

Grâce à cette architecture moderne et cohérente, le système peut offrir une expérience utilisateur fluide et innovante, tout en restant évolutif et facilement administrable. Les environnements de développement et d’exécution, ainsi que le choix d’outils adaptés, facilitent la collaboration, les tests et le déploiement continu.

Conclusion Générale

À l'heure de la digitalisation accélérée, le commerce en ligne se transforme profondément grâce à l'intégration de technologies immersives telles que la réalité augmentée (AR), la réalité virtuelle (VR) et la réalité mixte (MR). Ces outils offrent des réponses innovantes aux défis classiques du e-commerce, notamment dans le domaine de la mode où la possibilité d'un essayage virtuel change la donne. En permettant une interaction plus immersive avec les produits, ces avancées améliorent la prise de décision d'achat, limitent les retours et renforcent la satisfaction client.

Cette étude a exploré les bases techniques, les opportunités business et les obstacles liés au développement du v-commerce. Elle a également montré que l'utilisation efficace de l'AR repose sur un équilibre entre innovations technologiques (comme la modélisation 3D, l'intelligence artificielle et les plateformes interactives) et une approche centrée sur l'expérience utilisateur. Les tests pratiques et les exemples analysés ont confirmé l'impact positif de ces outils sur la conversion, la personnalisation et l'engagement des consommateurs.

En somme, le futur du retail s'oriente vers une fusion progressive entre monde physique et numérique. Le v-commerce ne représente pas seulement une innovation passagère, mais bien une évolution incontournable du paysage commercial. Les organisations capables d'intégrer ces outils immersifs avec agilité seront mieux positionnées pour dominer le marché. Ce travail invite aussi à approfondir plusieurs sujets émergents, comme l'interconnexion des espaces virtuels, la sécurité des données et les effets sociaux de ces bouleversements numériques.

Liste des références

[1] Les opportunités commerciales dans le Metaverse – Retail VR

<https://www.retail-vr.com/blog/les-opportunites-commerciales-dans-le-metaverse>

[2] Renaissance et défi digital en 2025 avec le métaverse – Forbes France

<https://www.forbes.fr/business/renaissance-et-defi-digital-en-2025-avec-le-metaverse/>

[3] Best Metaverse Business Opportunities – PixelPlex Blog

<https://pixelplex.io/blog/best-metaverse-business-opportunities/>

[4] Métavers : les défis d'une adoption massive – Journal du Net

<https://www.journaldunet.com/solutions/dsi/1522789-metavers-les-defis-d-une-adoption-massive/>

[5] Normes du métaverse – Xpert.digital

<https://xpert.digital/fr/normes-du-metaverse/>

[6] WearFits – Virtual fitting room solutions

<https://wearfits.com/>

[7] Zara lands in the metaverse with South Korean label Ader Error – Retail Gazette

<https://www.retailgazette.co.uk/blog/2021/12/zara-lands-in-the-metaverse-with-south-korean-label-ader-error/>

[8] Dolce&Gabbana enters the Metaverse – Dolce&Gabbana Official Website

<https://world.dolcegabbana.com/news/dolcegabbana-enters-the-metaverse>

[9] Ralph Lauren – Emperia VR Project

<https://emperiavr.com/project/ralph-lauren/>

[10] Wanna – Virtual Try-on for Fashion

<https://wanna.fashion/>

[11] Virtual Furniture Try-On: Complete Guide 2024 – Newroom.io

<https://www.newroom.io/blog/virtual-furniture-try-on-complete-guide-2024>

[12] Comparaison Réalité Virtuelle : Avantages et Limitations de la VR – Ovrdoz

[https://ovrdoz.com/comparaison-realite%20virtuelle/#Avantages et Limitations de la VR](https://ovrdoz.com/comparaison-realite%20virtuelle/#Avantages_et_Limitations_de_la_VR)

[13] Glossaire – Reality.fr

<https://reality.fr/glossaire/>

[14] Qu'est-ce que la VR ? – Artefacto

<https://www.artefacto-ar.com/blog/quest-ce-que-la-vr/>

[15] Point de vue sur la VR en architecture : La réalité virtuelle en architecture – ZeBrandCo

https://zebrandco.com/architecture_inspiration/point-de-vue-sur-vr-architecture-la-realite-virtuelle-en-architecture/

[16] Presence Platform Overview – Facebook Developers

<https://developers.facebook.com/blog/post/2023/04/25/presence-platform-overview/>

[17] Mixed Reality Overview – Meta for Developers

<https://developers.meta.com/horizon/resources/mr-overview/>

[18] Représentation et interaction en réalité virtuelle immersive – Thèse HAL

<https://theses.hal.science/tel-00152230v1>

[19] AirDesign – Design industriel – Université de Montréal Histoire de la réalité virtuelle
– Irwino Qu'est-ce que la réalité mixte ? – Artefacto

<https://effa.umontreal.ca/2023/design-industriel/airdesign>

[20] Histoire de la réalité augmentée et mixte – XR Solution

<https://www.xr-solution.com/histoire-de-la-realite-augmentee-et-mixte>

[21] [Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design – William R.

[22] Sherman, Alan B. Craig (livre)]

[23] [The Oxford Handbook of Virtuality – Mark Grimshaw (éditeur) (livre)] [Immersive Analytics – Kim Marriott et al. (livre)]

[24] Réalité virtuelle : définition, caractéristiques et utilisations – ESIEA

<https://www.esiea.fr/blog/realite-virtuelle-definition-caracteristiques-et-utilisations/#>

[25] Quelle est la différence entre VR, AR, MR et XR ? – Pimax

<https://pimax.com/fr/blogs/blogs/what-is-the-difference-between-vr-vs-ar-vs-mr-vs-xr>

[26] Qu'est-ce que la réalité mixte ? – Spectral TMS

<https://www.spectraltms.com/blog/quest-ce-que-la-realite-mixte>

[27] Définition : réalité augmentée – Digiforma

<https://www.digiforma.com/definition/realite-augmentee/>