

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Republique Algérienne Démocratique Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche Scientifique



Université 20 août 1955 Skikda

جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة

Faculté des Sciences
Département d'informatique

كلية العلوم
قسم الإعلام الآلي
الرقم: / ق / أ / ك.ع 2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : Dx. Ben Ouatima. Elzhar.....

Certifie que l'étudiant(e) : Talmani. Chama. R. Redim. Safa.....

Spécialité : Intelligence Artificielle.....

Ayant soutenu le projet intitulé : Conception et développement d'une plateforme E-commerce Multi-vendeurs de Vêtement avec Essaiage Virtuel par IA.

A apporté les corrections nécessaires sur son manuscrit de Master.

Signature de l'encadreur





REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE ALGERIENNE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

université 20 août 1955 Skikda

Faculté de science

Département d'informatique

Master 2 – Intelligence Artificielle

Mémoire de Fin D'études de Theme:

**conception et développement dune
plateforme E-Commerce Multi-Vendeurs de
Vêtements avec Essayage Virtuel par IA**

Réalisé par :

REHIM Safa

TABANI Chams

Encadré par :

DR BENOUDINA Lezhar



Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et le courage pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur, Monsieur BENOUDINA Lazhar, pour son soutien, sa disponibilité, ses précieux conseils et ses orientations tout au long de la réalisation de ce projet.

Nous adressons également nos sincères remerciements à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation et nous ont transmis leurs connaissances.

Nos remerciements s'adressent aussi à tous les membres de l'équipe pour leur collaboration, leur engagement et les efforts déployés durant la réalisation de ce travail.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont participé, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce projet.

بسم الله الرحمن الرحيم

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم: "من سلك طريقاً يلتمس فيه علماً سهل الله له به طريقاً إلى الجنة".

أما بعد

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، الذي وفقني وأعانني على إتمام هذا العمل، فله الحمد والشكر على ما أنعم به علي من توفيق وعون وسداد.

أتوجه بالشكر والامتنان إلى نفسي على ما بذلته من جهد ومثابرة وصبر طوال مسيرتي الدراسية، وخاصة خلال فترة إنجاز هذه المذكرة، فقد آمنت بقدراتي واجتهدت رغم الصعوبات، وأسأل الله أن يبارك لي فيما حققته وأن يوفقي لما هو أفضل.

أهدي ثمرة جهدي إلى أبي وأمي، أنتما أجمل عطايا الله في حياتي؛ فما أنا اليوم إلا ثمرة تعبكمما، وسهركمما، ودعائكمما الذي لم ينقطع يوماً. وإن عجزت الكلمات عن رد جميلكمما، فأسأل الله أن يجزيكمما عني خير الجزاء، وأن يديمكمما نوراً يضيء دربي ما حييت

و إلى إخوتي وأخواتي: زينب، شعيب، أيمن، عبد الرحمن، بشرى، كلثوم، ياسر، أنفال، نوفل، ورقية. أهديكم تخرجي هذا

و أقول لكم شكراً على دعمكم ووقوفكم إلى جانبي، فقد كنتم حقا خير سند

وإلى صغار عائلتي: أيهم، ريان، رهام، عبد الكريم، رغد، قصي، إياد، رامي، حموز، أريام، رنا، وسيم، أمجد، سنود، وسارة، أهديكم عملي هذا، راجية من المولى عز وجل أن يجعل لكم مستقبلاً زاهراً وحياة علمية مليئة بالنجاح والتوفيق كما لا أنسى نساء إخوتي: مفيدة، بشرى، وخولة، فشكراً لكنّ على الدعم والمساندة

كما أوجه شكري ومحبي وامتثاني إلى رفيقات الدرب: آية، آية، إكرام، شهرزاد، وشمس اللواتي كنّ مصدر دعم وتشجيع طوال هذه السنوات. فقد جمعنا طريق العلم وتقاسمنا لحظات التعب والنجاح، وها نحن اليوم نقف على أعتاب التخرج، حيث يفرض علينا الزمن فراقاً قد تفرقه المسافات، لكنه لن يمحو الذكريات الجميلة التي سكنت القلوب. وإن كان الوداع صعباً، فإن الأثر الطيب الذي تركته في حياتي سيبقى خالداً ما حييت. أسأل الله أن يوفق كل واحدة منكن في مسيرتها القادمة، وأن تدوم بيننا المحبة مهما باعدت بيننا الأيام

وأقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى الأستاذ المشرف لزهرة بن اودينة على مرافقته لنا طيلة إنجاز هذا العمل، وإشرافه القيم

على جميع مراحل إنجازته

وفي الختام، لا يسعني إلا أن أتمنى أن يصل شكري هذا إلى كل من ساندني، وأن يوفقي الله إلى نجاحات أخرى بإذن الله، وألا يكون هذا آخر إنجاز في مسيرتي

رحيم صفاء

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين تبارك وتعالى له الكمال وحده

والصلاة والسلام على سيدنا محمد نبيه ورسوله الأمين

وعلى سائر الأنبياء والمرسلين.

إلى من ينبض قلبي باسمهم.....

إلى من كلله الله بالوقار و كان سنداً لي في مسيرتي والذي العزيز أطل الله في عمره

إلى نبع الحنان ومن كانت دعواتها بلسماً يمسح تعبتي والدتي الغالية

إلى من بهم يشتد عضدي.....

إلى إخوتي وأخواتي وكل أفراد عائلتي الذين لم يخلو علي بالدعم والتشجيع

إلى رفقاء الدرب.....

إلى صديقتي وشريكتي في هذا العمل رحيم صفاء. وإلى كل من ساندي ولو بكلمة طيبة

أهديكم ثمرة جهدي وعملي المتواضع

تعباني شمس

Table des matières

Resumé	1
Introduction générale	2
Chapitre 1 : Le Commerce Électronique	
Introduction.....	4
1. Définition du commerce électronique.....	5
2. Historique et évolution du commerce électronique	6
3. Les types de commerce électronique	7
4. Les avantages du commerce électronique	9
5. Les limites et les défis du commerce électronique	10
6. Les technologies au service du commerce électronique	11
7. Le commerce électronique dans le secteur de la mode	12
8. Les tendances actuelles et futures du commerce Électronique	14
Conclusion	15
Chapitre 2 : La Réalité Virtuelle et la Réalité Augmentée	
Introduction	17
1. Définitions et concepts fondamentaux	18
2 Historique et évolution de la RA et de la RV	20
3. Les technologies de la réalité augmentée	23
4. Les technologies de la réalité virtuelle	27
5. Différences entre RA, RV et réalité mixte	29
6. Applications de la RA dans le commerce électronique	30
7. Applications de la RA dans le secteur de la mode	32
8. Avantages de la RA pour le commerce électronique	35
9. Limites et défis de la RA dans le commerce électronique	37
10. Études de cas	40
11. Perspectives d'avenirConclusion	43
Conclusion	45

Chapitre 3 : La Conception du Système

Introduction	47
1. Analyse des Besoins	48
1.1 Besoins Fonctionnels	48
1.2 Besoins Non Fonctionnels	49
2. Diagramme des Cas d'Utilisation	51
3. Architecture du Système	54
4. Modélisation UML	57
4.1 Diagramme de Classes	57
4.2 Diagramme de Séquence — Essayage Virtuel	60
4.3 Diagramme d'Activité — Processus d'Essayage Virtuel	62
5. Conception de la Base de Données	63
6. Conception de l'Interface Utilisateur	65
7. Choix Technologiques et Justification	67
8. Conception de la Gestion des Erreurs	69
Conclusion	70

Chapitre 4 : La Réalisation et Implementation

Introduction	72
1. Les outils et langage utilisés	73
2. Implémentation côté Vendeur	77
3. Implémentation côté Acheteur	82
4. L'implémentation de l'Essayage Virtuel	85
4. Résultats et Discussion	88
Conclusion	91
Conclusion Générale	93
Perspectives d'Amélioration	94
Références bibliographiques	95

Liste des figures

Figure 3.1:Diagramme cas d'utilisation	51
Figure 3.2:Architecture Diagram (couches)	54
Figure 3.3:Diagramme de Classe	57
Figure 3.4:Diagramme de Séquence	60
Figure 3.5:Diagramme d'Activité	62
Figure 3.6: Modèle Entité-Association	63
Figure 4.1 : page de connexion du vendeur	77
Figure 4.2 : page de sélection –créer une boutique accéder à ma boutique ou retour..	78
Figure 4.3 : page de création de boutique	78
Figure 4.4: upload multi-images d'un produit	79
Figure 4.5 : creation d'une offer promotionnelle sur un produit	80
Figure 4.6 : modification d'un produit	80
Figure 4.7 : tableau de bord-statistiques	80
Figure 4.8 : liste des commandes.....	81
Figure 4.9 : liste des acheteurs ayant commandé auprès du vendeur	81
Figure 4.10 :page d'historique des commandes de l'acheteur	82
Figure 4.11 : page de connexion (login)	82
Figure 4.12 : page d'accueil	83
Figure 4.13 : Page panier(cart)	84
Figure 4.14 :Page profile et historique des commandes	84
Figure 4.15: activation de la camera et capture de la photo utilisateur	87
Figure 4.16 :interface d'essayage virtuel	88
Figure 4.17 : Comparaison avant/après l'essayage virtuel	88
Figure 4.18 : Comparaison avant/après l'essayage virtuel	89
Figure 4.19 : Comparaison avant/après l'essayage virtuel	90

Liste des tableaux

Tableau 1,1 : Les différents types de commerce électronique	9
Tableau 2.1 : Chronologie des étapes clés de l'évolution de la RA et de la RV	22
Tableau 2.2 : Comparaison des types de réalité augmentée.....	25
Tableau 2.3: Comparaison entre la réalité augmentée, la réalité virtuelle et la réalité mixte...	29
Tableau 2.4: Applications de la RA dans le secteur de la mode	34
Tableau 2.5 : Synthèse des résultats des études de cas d'intégration de la RA dans le e-commerce	42
Tableau 3.1 : Schéma relationnel de la base de données	64

Resumé:

La réalité augmentée constitue une innovation majeure dans le domaine du commerce électronique, car elle améliore considérablement l'expérience utilisateur en la rendant plus interactive et immersive. En effet, elle permet de visualiser les produits en trois dimensions dans un environnement réel et offre également la possibilité d'un essayage virtuel, notamment dans le secteur de la mode. Ainsi, elle réduit l'incertitude liée aux achats en ligne et renforce la confiance des consommateurs dans leurs décisions. De plus, elle contribue à diminuer les retours de produits grâce à un choix plus précis. Par ailleurs, elle rend l'expérience d'achat plus attractive et engageante, tout en procurant un avantage concurrentiel important aux entreprises. Enfin, elle améliore les performances commerciales en augmentant les ventes et la satisfaction des clients.

Introduction générale

Introduction générale

Au cours des dernières années, le commerce électronique a connu une croissance rapide, devenant un élément essentiel de l'économie numérique. Il permet aux consommateurs d'acheter des produits en ligne facilement et rapidement, sans contrainte de temps ni de lieu. Toutefois, malgré ces avantages, ce mode de commerce présente certaines limites, notamment dans le domaine de l'habillement, où l'absence d'essayage réel rend le choix des produits difficile et augmente le risque d'erreur.

Dans ce contexte, les technologies immersives, en particulier la réalité augmentée (AR), offrent des solutions innovantes pour améliorer l'expérience utilisateur. En effet, la réalité augmentée permet aux utilisateurs d'interagir avec les produits de manière plus réaliste, notamment grâce à l'essayage virtuel via la caméra. Cette fonctionnalité permet aux clients de visualiser les vêtements portés sur eux à distance, ce qui réduit l'incertitude et améliore la qualité de la décision d'achat.

La problématique principale de ce travail est donc de savoir comment intégrer la réalité augmentée dans une plateforme de commerce électronique afin d'offrir une expérience d'essayage virtuelle efficace pour les vêtements destinés aux femmes, aux hommes et aux enfants.

Pour répondre à cette problématique, nous proposons de concevoir et de développer un site web e-commerce intégrant une fonctionnalité d'essayage virtuel basée sur la caméra. Cette solution vise à améliorer l'expérience utilisateur, à réduire les retours de produits et à renforcer la satisfaction des clients.

Ce mémoire est structuré comme suit : le premier chapitre présente le commerce électronique, le deuxième traite de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée, le troisième est consacré à la conception du système, et le quatrième décrit l'implémentation de la solution proposée.

Chapitre 1 : Le Commerce Électronique

Introduction

Le commerce électronique, communément appelé e-commerce, représente l'une des transformations les plus significatives de l'économie mondiale au cours des dernières décennies. Grâce à l'essor d'Internet et des technologies numériques, les transactions commerciales ont évolué d'un modèle traditionnel basé sur les magasins physiques vers un modèle numérique accessible à tout moment et depuis n'importe quel endroit. Ce chapitre vise à présenter les fondements du commerce électronique, ses différentes formes, ses avantages et ses limites, ainsi que son évolution et ses perspectives d'avenir.

1. Définition du commerce électronique

Le commerce électronique désigne l'ensemble des transactions commerciales réalisées par voie électronique, principalement via Internet. Il englobe l'achat et la vente de biens et de services, ainsi que le transfert de fonds et de données, effectués à travers des réseaux informatiques. Selon Laudon et Traver (2021), le commerce électronique se définit comme « l'utilisation d'Internet, du Web et d'applications mobiles pour réaliser des transactions commerciales entre organisations et individus » [1].

De manière plus large, Turban et al. (2018) définissent le commerce électronique comme « le processus d'achat, de vente, de transfert ou d'échange de produits, de services et/ou d'informations via des réseaux informatiques, y compris Internet » [2]. Cette définition inclut non seulement les transactions financières, mais aussi les échanges d'informations et les services associés au processus commercial.

L'Organisation mondiale du commerce (OMC) propose une définition encore plus englobante : « Le commerce électronique comprend la production, la distribution, la commercialisation, la vente ou la livraison de biens et de services par voie électronique » [3].

2. Historique et évolution du commerce électronique

L'histoire du commerce électronique remonte aux années 1960, bien avant l'avènement d'Internet tel que nous le connaissons aujourd'hui. Voici les principales étapes de son évolution :

2.1 Les origines (1960-1990)

1960 : L'Electronic Data Interchange (EDI) est développé pour permettre aux entreprises d'échanger des documents commerciaux de manière électronique. Ce système a posé les bases du commerce électronique en automatisant les processus de commande et de facturation entre les entreprises [4].

1979 : Michael Aldrich invente le concept du « teleshopping » (achat à distance par voie électronique) en connectant un téléviseur modifié à un ordinateur de traitement des transactions via une ligne téléphonique [5].

1982 : Le Minitel est lancé en France par France Télécom, offrant aux utilisateurs la possibilité de faire des achats en ligne, de consulter des annuaires et de réaliser des opérations bancaires [4].

2.2 L'émergence (1990-2000)

1991 : Le World Wide Web devient accessible au grand public, ouvrant la voie au commerce en ligne moderne.

1994 : La première transaction en ligne sécurisée est réalisée via le site NetMarket. La même année, Jeff Bezos fonde Amazon en tant que librairie en ligne [6].

1995 : eBay est lancé comme plateforme d'enchères en ligne, et Amazon ouvre officiellement ses portes au public.

1998 : PayPal est fondé, révolutionnant les paiements en ligne en offrant une alternative sécurisée aux cartes bancaires [5].

1999 : Alibaba est fondé en Chine par Jack Ma, devenant rapidement la plus grande plateforme de commerce électronique B2B au monde [6].

2.3 La croissance et la maturité (2000-2015)

2000-2003 : L'éclatement de la bulle Internet entraîne la disparition de nombreuses entreprises en ligne, mais les acteurs solides comme Amazon et eBay survivent et se renforcent.

2005 : Amazon lance le programme Amazon Prime, offrant la livraison gratuite en deux jours.

2007 : Le lancement de l'iPhone par Apple marque le début de l'ère du commerce mobile (m-commerce) [7].

2010 : Le commerce social émerge avec l'intégration de fonctionnalités d'achat sur les réseaux sociaux comme Facebook.

2.4 L'ère moderne (2015-présent)

2015-2020 : L'intelligence artificielle, la réalité augmentée et le big data transforment l'expérience d'achat en ligne avec des recommandations personnalisées et des essayages virtuels.

2020 : La pandémie de COVID-19 accélère considérablement l'adoption du commerce électronique à l'échelle mondiale. Selon Statista (2023), les ventes mondiales du e-commerce ont atteint 5 700 milliards de dollars en 2022 [8].

2023-2025 : L'intégration de technologies immersives comme la réalité augmentée (AR) et la réalité virtuelle (VR) dans les plateformes e-commerce devient une tendance majeure [9].

3. Les types de commerce électronique

Le commerce électronique peut être classifié en plusieurs catégories selon la nature des acteurs impliqués dans les transactions :

3.1 Business-to-Consumer (B2C)

Le modèle B2C représente les transactions entre une entreprise et un consommateur final. C'est la forme la plus courante du commerce électronique, illustrée par des plateformes comme Amazon, Zara ou Jumia. Le consommateur navigue sur le site web ou l'application mobile, sélectionne des produits, effectue le paiement et reçoit la livraison à domicile [1].

3.2 Business-to-Business (B2B)

Le modèle B2B concerne les transactions entre entreprises. Il représente le volume le plus important du commerce électronique en termes de valeur. Des plateformes comme Alibaba.com et ThomasNet facilitent les échanges commerciaux entre fabricants, grossistes et distributeurs [2].

3.3 Consumer-to-Consumer (C2C)

Le modèle C2C permet aux consommateurs de vendre directement à d'autres consommateurs via des plateformes intermédiaires. eBay, Le Bon Coin et Vinted sont des exemples emblématiques de ce modèle [10].

3.4 Consumer-to-Business (C2B)

Dans le modèle C2B, les individus proposent des produits ou des services aux entreprises. Les plateformes de freelance comme Upwork et Fiverr illustrent ce modèle, où les professionnels indépendants offrent leurs compétences aux entreprises [2].

3.5 Business-to-Government (B2G)

Le modèle B2G désigne les transactions entre les entreprises et les administrations publiques, notamment dans le cadre des marchés publics et des appels d'offres en ligne [10].

Le m-commerce désigne les transactions commerciales réalisées via des appareils mobiles (smartphones et tablettes). Selon Statista (2023), le commerce mobile représente environ 73% des ventes totales du e-commerce mondial en 2023 [8]

Le tableau 1.1 résume les différents types de commerce électronique :

Type	Description	Exemples
B2C	Entreprise vers consommateur	Amazon, Zara, Jumia
B2B	Entreprise vers entreprise	Alibaba.com, ThomasNet
C2C	Consommateur vers consommateur	eBay, Vinted, Le Bon Coin
C2B	Consommateur vers entreprise	Upwork, Fiverr
B2G	Entreprise vers gouvernement	Marchés publics en ligne
M-Commerce	Commerce via mobile	Applications mobiles

Tableau 1.1 : Les différents types de commerce électronique

4. Les avantages du commerce électronique

Le commerce électronique offre de nombreux avantages tant pour les entreprises que pour les consommateurs :

4.1 Avantages pour les consommateurs

Accessibilité 24h/24 et 7j/7 : Les consommateurs peuvent effectuer des achats à tout moment, sans être

limités par les horaires d'ouverture des magasins physiques [1].

Large choix de produits : Internet offre un accès à une variété quasi illimitée de produits provenant du monde entier, permettant aux consommateurs de comparer facilement les prix et les caractéristiques [11].

Gain de temps : L'achat en ligne élimine le besoin de se déplacer physiquement, ce qui représente un gain de temps considérable, notamment pour les personnes ayant un emploi du temps chargé [2].

Comparaison des prix : Les moteurs de comparaison de prix et les avis des utilisateurs permettent aux consommateurs de prendre des décisions d'achat plus éclairées [11].

Livraison à domicile : La possibilité de recevoir les produits directement chez soi constitue un avantage majeur, en particulier pour les produits volumineux ou lourds.

4.2 Avantages pour les entreprises

Réduction des coûts : Le commerce en ligne permet de réduire les coûts liés à la location de locaux commerciaux, au personnel de vente et à la gestion des stocks [12].

Portée mondiale : Une boutique en ligne est accessible depuis n'importe quel pays, ce qui permet aux entreprises d'atteindre un marché mondial sans investissement physique dans chaque région [1].

Personnalisation : Grâce à l'analyse des données et à l'intelligence artificielle, les entreprises peuvent offrir des expériences d'achat personnalisées, avec des recommandations adaptées aux préférences de chaque client [12].

Marketing ciblé : Les outils de marketing numérique permettent de cibler précisément les audiences et de mesurer l'efficacité des campagnes publicitaires en temps réel [11].

5 Les limites et les défis du commerce électronique

Malgré ses nombreux avantages, le commerce électronique présente également des limites et des défis importants :

5.1 L'impossibilité d'essayer les produits

L'un des principaux inconvénients du commerce en ligne est l'impossibilité pour le consommateur de toucher, d'essayer ou de tester les produits avant l'achat. Ce problème est particulièrement important dans le secteur de l'habillement, où la taille, la coupe et le rendu visuel du vêtement sur le corps sont des critères essentiels de décision d'achat. Selon une étude de **Narvar (2022)**, environ 30% des produits achetés en ligne sont retournés, contre seulement 8,89% pour les achats en magasin [13].

5.2 La sécurité et la confidentialité

Les transactions en ligne impliquent le partage d'informations sensibles (données bancaires, adresses personnelles), ce qui expose les consommateurs à des risques de fraude et de vol de données. Selon **Cybersource (2023)**, les pertes liées à la fraude en ligne ont atteint 48 milliards de dollars en 2023 [14].

5.3 La logistique et la livraison

Les délais de livraison, les coûts d'expédition et les problèmes de logistique (colis endommagés, retards) constituent des obstacles majeurs à la satisfaction des clients en ligne [12].

5.4 La fracture numérique

L'accès au commerce électronique nécessite une connexion Internet et un minimum de compétences numériques, ce qui exclut une partie de la population, notamment dans les pays en développement et parmi les personnes âgées [15].

5.5 Le taux élevé de retours

Le taux de retour élevé dans le commerce en ligne, en particulier dans le secteur de la mode, représente un coût significatif pour les entreprises. Les retours entraînent des frais de logistique inversée, de reconditionnement et parfois de dépréciation des produits [13].

6 Les technologies au service du commerce électronique

Pour surmonter les défis mentionnés ci-dessus, plusieurs technologies innovantes sont intégrées dans les plateformes de commerce électronique :

6.1 L'intelligence artificielle (IA)

L'IA est utilisée pour personnaliser l'expérience d'achat grâce à des systèmes de recommandation, des

chatbots de service client et des outils d'analyse prédictive. Selon **McKinsey (2023)**, les entreprises qui utilisent l'IA dans leur stratégie e-commerce constatent une augmentation de 15 à 20% de leurs revenus [16].

6.2 La réalité augmentée (AR)

La réalité augmentée permet aux consommateurs de visualiser les produits dans leur environnement réel ou sur eux-mêmes avant l'achat. Des entreprises comme IKEA (avec l'application IKEA Place), Sephora (avec Virtual Artist) et Zara ont intégré des fonctionnalités AR dans leurs plateformes pour améliorer l'expérience utilisateur [9]. Cette technologie sera détaillée dans le chapitre 2.

6.3 Le Big Data et l'analyse des données

L'exploitation des données massives permet aux entreprises de mieux comprendre le comportement des consommateurs, d'optimiser les stocks et de prévoir les tendances du marché [16].

6.4 La blockchain

La technologie blockchain offre des solutions pour améliorer la transparence et la sécurité des transactions en ligne, notamment en matière de traçabilité des produits et de protection contre la contrefaçon [17].

6.5 L'Internet des objets (IoT)

L'IoT contribue à l'optimisation de la chaîne logistique du commerce électronique grâce au suivi en temps réel des expéditions et à la gestion intelligente des entrepôts [17].

7 Le commerce électronique dans le secteur de la mode

Le secteur de la mode occupe une place prépondérante dans le commerce électronique mondial. Selon **Statista (2023)**, le marché mondial de la mode en ligne a atteint 871 milliards de dollars en 2023 et devrait dépasser 1 200 milliards de dollars d'ici 2027 [8].

7.1 Les spécificités du e-commerce de mode

Le commerce en ligne de vêtements présente des caractéristiques particulières qui le distinguent des autres secteurs :

L'importance de l'aspect visuel : Les consommateurs s'appuient fortement sur les images et les descriptions des produits pour prendre leurs décisions d'achat [18].

La variabilité des tailles : Les différences de tailles entre les marques et les pays constituent un défi majeur pour les acheteurs en ligne [13].

Le besoin d'essayage : Contrairement aux produits électroniques ou aux livres, les vêtements nécessitent un essayage pour vérifier la coupe, le confort et le rendu visuel [18].

Le taux de retour élevé : Le secteur de la mode enregistre les taux de retour les plus élevés du commerce en ligne, avec environ 40% des vêtements achetés en ligne qui sont retournés .

7.2 Les solutions technologiques pour le e-commerce de mode

Pour répondre aux défis spécifiques du commerce en ligne de mode, plusieurs solutions technologiques ont été développées :

Les guides de tailles intelligents : Des algorithmes analysent les mensurations des clients pour recommander la taille la plus adaptée [18].

L'essayage virtuel par réalité augmentée : Cette technologie permet aux clients de visualiser les vêtements sur eux-mêmes via la caméra de leur appareil, réduisant ainsi l'incertitude liée à l'achat en ligne [9].

Les mannequins virtuels 3D : Des modèles 3D personnalisables permettent aux clients de voir comment les vêtements s'adaptent à différentes morphologies [18].

Les avis et photos des clients : Les retours d'expérience des autres acheteurs, accompagnés de photos réelles, aident les nouveaux clients à mieux évaluer les produits [11].

8 Les tendances actuelles et futures du commerce Électronique

Le commerce électronique continue d'évoluer rapidement, porté par l'innovation technologique et les changements de comportement des consommateurs :

8.1 Le commerce social (Social Commerce)

L'intégration de fonctionnalités d'achat directement dans les réseaux sociaux (Instagram Shopping, TikTok Shop, Facebook Marketplace) transforme la manière dont les consommateurs découvrent et achètent des produits. Selon **Accenture (2023)**, le commerce social devrait atteindre 1 200 milliards de dollars d'ici 2025 [19].

8.2 Le commerce vocal (Voice Commerce)

L'utilisation d'assistants vocaux comme Alexa (Amazon), Google Assistant et Siri pour effectuer des achats en ligne est en pleine croissance. Cette tendance offre une expérience d'achat mains libres et plus naturelle [16].

8.3 Le commerce immersif

L'intégration de la réalité augmentée (AR) et de la réalité virtuelle (VR) dans les plateformes e-commerce représente l'une des tendances les plus prometteuses. Ces technologies permettent de créer des expériences d'achat immersives qui comblent le fossé entre le commerce en ligne et le commerce physique [9].

8.4 La durabilité et le commerce responsable

Les consommateurs sont de plus en plus sensibles aux enjeux environnementaux et sociaux. Les plateformes e-commerce intègrent progressivement des options de livraison écologique, des produits durables et des informations sur l'empreinte carbone des achats [19].

Conclusion

Ce chapitre a présenté les fondements du commerce électronique, depuis sa définition et son historique jusqu'à ses différentes formes, ses avantages et ses limites. Nous avons également mis en lumière les technologies innovantes qui transforment l'expérience d'achat en ligne, en particulier dans le secteur de la mode. Parmi ces technologies, la réalité augmentée se distingue comme une solution prometteuse pour résoudre le problème majeur de l'impossibilité d'essayer les produits en ligne. Le chapitre suivant sera consacré à l'étude approfondie de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée, ainsi que de leurs applications dans le domaine du commerce électronique.

Chapitre 2 : La Réalité Virtuelle et la Réalité Augmentée

Introduction

Le chapitre précédent a mis en évidence les nombreux avantages du commerce électronique, tout en soulignant ses limites, notamment l'impossibilité pour les consommateurs de toucher, d'essayer ou de visualiser les produits dans leur environnement réel avant l'achat. Cette contrainte, particulièrement problématique dans le secteur de la mode, engendre un taux de retour élevé et une insatisfaction croissante des clients. Face à ces défis, les technologies immersives — en particulier la réalité augmentée (RA) et la réalité virtuelle (RV) — émergent comme des solutions innovantes capables de transformer radicalement l'expérience d'achat en ligne.

La réalité augmentée et la réalité virtuelle ne sont pas des concepts nouveaux ; leurs origines remontent à plusieurs décennies. Cependant, c'est la convergence récente de plusieurs facteurs — la puissance croissante des smartphones, l'amélioration des capteurs et des caméras, les progrès de l'intelligence artificielle et la démocratisation de l'accès à Internet haut débit — qui a permis leur adoption à grande échelle dans le domaine commercial. Aujourd'hui, des géants du commerce comme IKEA, Sephora, Amazon et Zara intègrent ces technologies dans leurs plateformes pour offrir à leurs clients des expériences d'achat enrichies et personnalisées.

Ce chapitre propose une étude approfondie de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée. Nous commencerons par définir ces concepts et retracer leur évolution historique, avant d'examiner en détail les technologies sous-jacentes, leurs différences fondamentales et leurs applications spécifiques dans le commerce électronique. Une attention particulière sera accordée au secteur de la mode et à l'essayage virtuel. Enfin, nous analyserons les avantages, les limites et les perspectives d'avenir de ces technologies dans le contexte du e-commerce.

1. Définitions et concepts fondamentaux

1.1 La réalité augmentée (RA)

La réalité augmentée (RA), ou Augmented Reality (AR) en anglais, est une technologie qui superpose des éléments virtuels — images, textes, sons, modèles 3D — au monde réel perçu par l'utilisateur, en temps réel. Contrairement à la réalité virtuelle qui plonge l'utilisateur dans un environnement entièrement artificiel, la RA enrichit la perception du monde réel en y ajoutant des couches d'informations numériques [20].

Selon **Azuma (1997)**, considéré comme l'un des pionniers de la recherche sur la RA, un système de réalité augmentée doit satisfaire trois critères fondamentaux : (1) combiner le réel et le virtuel, (2) être interactif en temps réel, et (3) être enregistré en trois dimensions (3D) [20]. Cette définition reste la référence dans la littérature scientifique et permet de distinguer la RA d'autres technologies de visualisation.

Milgram et Kishino (1994) ont proposé le concept de « continuum réalité-virtualité » (Reality-Virtuality Continuum), qui situe la RA sur un spectre allant de l'environnement entièrement réel à l'environnement entièrement virtuel. Dans ce modèle, la RA se positionne plus près de l'extrémité réelle du continuum, car elle conserve le monde réel comme base tout en y intégrant des éléments virtuels [21].

De manière plus pratique, **Craig (2013)** définit la RA comme « une technologie qui permet à l'utilisateur de voir le monde réel avec des objets virtuels superposés ou composés avec le monde réel. La RA complète la réalité plutôt que de la remplacer entièrement » [22]. Cette définition souligne le caractère complémentaire de la RA par rapport à la perception naturelle de l'environnement.

1.2 La réalité virtuelle (RV)

La réalité virtuelle (RV), ou Virtual Reality (VR) en anglais, est une technologie qui crée un environnement numérique entièrement immersif dans lequel l'utilisateur peut interagir. Contrairement à la RA qui enrichit le monde réel, la RV remplace complètement l'environnement

physique de l'utilisateur par un monde virtuel généré par ordinateur [23].

Selon **Burdea et Coiffet (2003)**, la réalité virtuelle se définit par trois caractéristiques essentielles, souvent désignées par le triangle « 3I » : **l'Immersion** (le sentiment d'être physiquement présent dans l'environnement virtuel), **l'Interaction** (la capacité de l'utilisateur à manipuler les objets virtuels) et **l'Imagination** (la capacité du système à stimuler la créativité et l'engagement de l'utilisateur) [23].

Steuer (1992) propose une définition centrée sur l'expérience utilisateur : « La réalité virtuelle est un environnement réel ou simulé dans lequel un percevant fait l'expérience de la téléprésence » [24]. La notion de téléprésence — le sentiment d'être présent dans un environnement médiatisé — est centrale dans la compréhension de la RV.

L'expérience de RV est généralement rendue possible par l'utilisation de casques de réalité virtuelle (tels que l'Oculus Quest, le HTC Vive ou le PlayStation VR), de contrôleurs de mouvement et parfois de combinaisons haptiques qui fournissent un retour tactile à l'utilisateur [25].

1.3 La réalité mixte (RM)

La réalité mixte (RM), ou Mixed Reality (MR) en anglais, représente une fusion de la réalité augmentée et de la réalité virtuelle. Elle permet aux objets virtuels et réels de coexister et d'interagir en temps réel dans un même espace. Contrairement à la RA simple où les éléments virtuels sont simplement superposés au monde réel, la RM permet une intégration plus profonde : les objets virtuels peuvent être occultés par des objets réels, réagir à la physique de l'environnement réel et être manipulés de manière naturelle [21].

Le casque Microsoft HoloLens est l'un des exemples les plus emblématiques de dispositif de réalité mixte, permettant aux utilisateurs de placer des hologrammes dans leur environnement réel et d'interagir avec eux par des gestes et des commandes vocales [26].

2 Historique et évolution de la RA et de la RV

2.1 Les origines et les pionniers (1960-1990)

L'histoire de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée commence bien avant l'ère numérique moderne :

1962 : Morton Heilig crée le Sensorama, considéré comme le premier dispositif de réalité virtuelle. Il s'agissait d'une machine mécanique qui stimulait plusieurs sens (vue, ouïe, odorat, toucher) pour offrir une expérience immersive lors du visionnage de films [25].

1965 : Ivan Sutherland publie son article fondateur « The Ultimate Display », dans lequel il décrit la vision d'un système informatique capable de créer un monde virtuel indiscernable du monde réel. Ce texte est considéré comme la base théorique de la RV et de la RA [27].

1968 : Ivan Sutherland et Bob Sproull développent le premier casque de réalité augmentée, surnommé « The Sword of Damocles » en raison de son poids et de sa taille imposants. Ce dispositif rudimentaire superposait des graphiques filaires simples au champ de vision de l'utilisateur [27].

1975 : Myron Krueger crée Videoplace, un environnement de réalité artificielle qui permettait aux utilisateurs d'interagir avec des objets virtuels projetés sur un écran, en utilisant leurs mouvements corporels captés par des caméras [25].

1989 : Jaron Lanier, fondateur de VPL Research, popularise le terme « Virtual Reality » (réalité virtuelle) et commercialise les premiers gants de données (DataGlove) et casques VR (EyePhone) destinés au grand public [23].

2.2 Le développement technologique (1990-2010)

1990 : Tom Caudell, ingénieur chez Boeing, invente le terme « Augmented Reality » (réalité augmentée) pour décrire un système d'affichage tête haute destiné à guider les ouvriers dans l'assemblage des câblages électriques des avions [28].

1992 : Louis Rosenberg développe Virtual Fixtures au laboratoire de recherche de l'armée

américaine (USAF), l'un des premiers systèmes de RA fonctionnels permettant d'améliorer les performances humaines dans des tâches de manipulation [28].

1994 : Paul Milgram et Fumio Kishino publient leur article fondateur sur le « continuum réalité-virtualité », établissant le cadre théorique qui définit les relations entre la réalité, la RA, la RM et la RV [21].

1997 : Ronald Azuma publie sa définition de référence de la réalité augmentée, qui reste la plus citée dans la littérature scientifique [20].

1999 : Hirokazu Kato développe ARToolKit, la première bibliothèque logicielle open source pour le développement d'applications de réalité augmentée, démocratisant ainsi l'accès à cette technologie pour les développeurs [29].

2000 : Bruce Thomas présente ARQuake, le premier jeu de réalité augmentée en extérieur, démontrant le potentiel de la RA pour le divertissement [29].

2008 : La première application de RA pour smartphone est lancée, marquant le début de la RA mobile accessible au grand public [28].

2.3 L'ère de la démocratisation (2010-présent)

2012 : Google présente les Google Glass, des lunettes de réalité augmentée destinées au grand public. Bien que le produit n'ait pas connu le succès commercial escompté, il a contribué à sensibiliser le public à la RA [26].

2014 : Facebook (désormais Meta) acquiert Oculus VR pour 2 milliards de dollars, signalant l'intérêt massif des géants technologiques pour la réalité virtuelle [25].

2016 : Le jeu Pokémon GO, développé par Niantic, devient un phénomène mondial avec plus de 500 millions de téléchargements en quelques mois. Ce jeu de RA mobile démontre le potentiel commercial et l'attrait grand public de la réalité augmentée [30].

2017 : Apple lance ARKit et Google lance ARCore, des plateformes de développement qui permettent de créer facilement des applications de RA pour iOS et Android respectivement. Ces

outils ont considérablement accéléré l'adoption de la RA dans le commerce [31].

2018 : IKEA lance IKEA Place, une application de RA permettant aux utilisateurs de visualiser des meubles dans leur intérieur avant l'achat [32].

2020-2025 : La pandémie de COVID-19 accélère l'adoption des technologies de RA et de RV dans le commerce électronique, les consommateurs recherchant des alternatives à l'expérience d'achat en magasin. Le marché mondial de la RA et de la RV atteint 72,8 milliards de dollars en 2024, selon **Grand View Research (2024)** [33]

Le tableau 2 résume les étapes clés de l'évolution de la RA et de la RV :

Année	Événement	Importance
1962	Sensorama (Morton Heilig)	Premier dispositif d'expérience immersive
1968	The Sword of Damocles (Sutherland)	Premier casque de RA
1989	Popularisation du terme « VR » (Lanier)	Naissance de l'industrie VR
1990	Invention du terme « AR » (Caudell)	Naissance du concept de RA
1994	Continuum réalité-virtualité (Milgram)	Cadre théorique fondateur
1999	ARToolKit	Démocratisation du développement RA
2014	Acquisition d'Oculus par Facebook	Investissement massif dans la VR
2016	Pokémon GO	Démocratisation de la RA mobile
2017	ARKit (Apple) et ARCore (Google)	Plateformes de développement RA
2020- 2025	Accélération post-COVID	Adoption massive dans le e-commerce

Tableau 2.1 : Chronologie des étapes clés de l'évolution de la RA et de la RV

3. Les technologies de la réalité augmentée

3.1 Les composants d'un système de RA

Un système de réalité augmentée repose sur plusieurs composants technologiques essentiels qui travaillent de concert pour superposer des éléments virtuels au monde réel [22] :

3.1.1 Les capteurs et les caméras:

Ils capturent les informations sur l'environnement réel de l'utilisateur (images, profondeur, position, orientation). Les smartphones modernes intègrent des caméras haute résolution, des capteurs de profondeur (LiDAR sur les iPhone Pro), des gyroscopes et des accéléromètres qui fournissent les données nécessaires au fonctionnement de la RA [31].

3.1.2 Le processeur et le logiciel de traitement :

Les algorithmes de vision par ordinateur analysent les images capturées pour identifier les surfaces, les objets et les points de référence dans l'environnement réel. Ces informations sont utilisées pour calculer la position et l'orientation exactes des éléments virtuels à superposer [29].

3.1.3 Le moteur de rendu 3D :

Il génère les objets virtuels (modèles 3D, textures, animations) et les intègre de manière réaliste dans la scène réelle, en tenant compte de l'éclairage, des ombres et de la perspective [22].

3.1.4 Le dispositif d'affichage :

Il présente le résultat final à l'utilisateur. Il peut s'agir de l'écran d'un smartphone ou d'une tablette, de lunettes de RA (comme les HoloLens ou les Magic Leap), ou d'un affichage tête haute (HUD) [26].

3.1.5 L'interface d'interaction :

Elle permet à l'utilisateur d'interagir avec les éléments virtuels par le toucher (écran tactile), les gestes (reconnaissance gestuelle), la voix (commandes vocales) ou le regard (suivi oculaire) [22].

3.2 Les types de réalité augmentée

La réalité augmentée se décline en plusieurs types, classés selon la méthode de déclenchement et d'affichage des contenus virtuels [29] :

3.2.1 La RA basée sur les marqueurs (Marker-based AR)

Ce type de RA utilise des marqueurs visuels prédéfinis tels que des codes QR, des images spécifiques ou des motifs géométriques comme points de référence pour déclencher l'affichage des contenus virtuels. Lorsque la caméra de l'appareil détecte un marqueur, le système superpose l'objet virtuel correspondant à l'emplacement du marqueur [29]. Cette approche est largement utilisée dans les catalogues interactifs et les emballages de produits.

3.2.2 La RA sans marqueur (Markerless AR)

Également appelée RA basée sur la localisation ou RA SLAM (**Simultaneous Localization and Mapping**), cette technologie utilise les capteurs de l'appareil (GPS, accéléromètre, gyroscope, caméra) pour déterminer la position et l'orientation de l'utilisateur dans l'espace, sans nécessiter de marqueur physique. Les plateformes ARKit d'Apple et ARCore de Google utilisent cette approche pour permettre le placement d'objets virtuels sur des surfaces réelles détectées automatiquement [31].

3.2.3 La RA par projection (Projection-based AR)

Ce type de RA projette des images ou des informations numériques directement sur des surfaces physiques de l'environnement réel. Des projecteurs sont utilisés pour afficher des contenus interactifs sur des murs, des tables ou des objets, sans nécessiter de lunettes ou d'écran [22].

3.2.4 La RA par superposition (Superimposition-based AR)

Cette forme de RA remplace partiellement ou totalement la vue d'un objet réel par une version augmentée de celui-ci. Elle est particulièrement utilisée dans le domaine médical (visualisation d'organes en superposition sur le corps du patient) et dans le commerce (essayage virtuel de vêtements ou de maquillage) [29].

Le tableau 3: compare les différents types de réalité augmentée :

Type de RA	Méthode de déclenchement	Avantages	Inconvénients	Exemples d'application
Basée sur marqueurs	Codes QR, images	Simple, précise	Nécessite un marqueur physique	Catalogues interactifs
Sans marqueur (SLAM)	Capteurs, caméra	Flexible, pas de marqueur requis	Plus complexe, consomme plus de ressources	IKEA Place, essaiage virtuel
Par projection	Projecteurs	Pas d'appareil porté	Limité aux environnements contrôlés	Vitrines interactives
Par superposition	Reconnaissance d'objets	Remplacement réaliste	Nécessite une reconnaissance précise	Essaiage de maquillage

Tableau 2.2 : Comparaison des types de réalité augmentée

3.3 Le fonctionnement technique de la RA

Le processus de fonctionnement d'un système de RA peut être décomposé en quatre étapes principales :

Étape 1 «La capture de l'environnement» :

La caméra de l'appareil capture en continu les images de l'environnement réel. Les capteurs supplémentaires (accéléromètre, gyroscope, capteur de profondeur) fournissent des données complémentaires sur la position et l'orientation de l'appareil.

Étape 2 «L'analyse et la compréhension de la scène» :

Les algorithmes de vision par ordinateur analysent les images capturées pour détecter les surfaces planes (sols, murs, tables), identifier les points caractéristiques de l'environnement et construire une carte 3D de l'espace. Cette étape utilise des techniques avancées comme le SLAM (**Simultaneous Localization and Mapping**) et la détection de plans.

Étape 3 «Le positionnement et le rendu des objets virtuels» :

Sur la base de la carte 3D de l'environnement, le système calcule la position, l'orientation et l'échelle appropriées pour les objets virtuels. Le moteur de rendu 3D génère ensuite ces objets avec un éclairage et des ombres cohérents avec l'environnement réel, créant une illusion de coexistence naturelle entre le réel et le virtuel.

Étape 4 « L'affichage et l'interaction» :

Le résultat composite (image réelle + objets virtuels) est affiché sur l'écran de l'appareil en temps réel. L'utilisateur peut interagir avec les objets virtuels par le toucher, les gestes ou la voix, et le système met à jour l'affichage en continu pour maintenir la cohérence spatiale.

4 Les technologies de la réalité virtuelle

4.1 Les composants d'un système de RV

Un système de réalité virtuelle complet comprend plusieurs éléments technologiques :

4.1.1 Le casque de réalité virtuelle (HMD Head-Mounted Display) :

C'est le composant principal qui isole visuellement l'utilisateur du monde réel et affiche l'environnement virtuel. Les casques modernes comme l'Oculus Quest 3, le HTC Vive Pro 2 et le PlayStation VR2 offrent des résolutions élevées, un large champ de vision et un suivi précis des mouvements de la tête [25].

4.1.2 Les contrôleurs de mouvement :

Ils permettent à l'utilisateur d'interagir avec l'environnement virtuel en reproduisant les mouvements de ses mains. Les contrôleurs modernes intègrent des boutons, des joysticks, des capteurs de pression et un retour haptique [23].

4.1.3 Les systèmes de suivi (Tracking) :

Ils détectent les mouvements de l'utilisateur (tête, mains, corps) et les traduisent en mouvements correspondants dans l'environnement virtuel. Le suivi peut être réalisé par des capteurs internes au casque (inside-out tracking) ou par des capteurs externes placés dans la pièce (outside-in tracking) [25].

4.1.4 Le système de rendu graphique :

Un ordinateur puissant ou un processeur intégré au casque génère les images 3D en temps réel, à une fréquence suffisamment élevée (généralement 90 Hz ou plus) pour éviter le mal des transports (motion sickness) [23].

4.1.5 Le système audio spatial :

L'audio 3D spatialisé contribue à l'immersion en reproduisant les sons de manière réaliste, en fonction de la position de l'utilisateur et des sources sonores dans l'environnement virtuel [25].

4.2 Les niveaux d'immersion en RV

La réalité virtuelle peut être classée en trois niveaux d'immersion :

RV non immersive: L'utilisateur interagit avec un environnement virtuel via un écran d'ordinateur classique, sans casque. Les jeux vidéo 3D et les visites virtuelles sur navigateur web en sont des exemples.

RV semi-immersive : L'utilisateur est partiellement immergé grâce à de grands écrans ou des systèmes de projection multi-écrans (comme les systèmes CAVE Cave Automatic Virtual Environment). Ce niveau est souvent utilisé dans les simulateurs de vol et les applications industrielles.

RV totalement immersive : L'utilisateur est complètement isolé du monde réel grâce à un casque VR, des contrôleurs et parfois des combinaisons haptiques. Ce niveau offre l'expérience la plus réaliste et engageante.

5. Différences entre RA, RV et réalité mixte

Bien que la réalité augmentée, la réalité virtuelle et la réalité mixte partagent certaines technologies communes, elles se distinguent par des caractéristiques fondamentales.

Critère	Réalité Augmentée (RA)	Réalité Virtuelle (RV)	Réalité Mixte (RM)
Environnement	Monde réel enrichi d'éléments virtuels	Monde entièrement virtuel	Fusion du réel et du virtuel
Niveau d'immersion	Partiel	Total	Variable (partiel à total)
Interaction avec le réel	Maintenue	Supprimée	Maintenue et enrichie
Dispositifs principaux	Smartphone, tablette, lunettes AR	Casque VR (HMD)	Casque MR (HoloLens)
Mobilité de l'utilisateur	Libre	Limitée (espace défini)	Libre
Coût d'entrée	Faible (smartphone suffit)	Élevé (casque + PC)	Très élevé
Accessibilité grand public	Élevée	Moyenne	Faible
Applications e-commerce	Essayage virtuel, visualisation produits	Magasins virtuels immersifs	Showrooms interactifs
Position sur le continuum de Milgram	Proche du réel	Extrémité virtuelle	Centre du continuum

Tableau 2.3: Comparaison entre la réalité augmentée, la réalité virtuelle et la réalité mixte

La RA se distingue par son accessibilité, car elle ne nécessite généralement qu'un smartphone, un appareil que possèdent déjà la majorité des consommateurs. Cette caractéristique en fait la technologie immersive la plus adaptée au commerce électronique grand public, car elle ne requiert aucun investissement supplémentaire de la part du consommateur [34]. La RV, en revanche, offre une immersion plus profonde mais nécessite un équipement dédié, ce qui limite son adoption dans le contexte du e-commerce quotidien.

6. Applications de la RA dans le commerce électronique

La réalité augmentée transforme le commerce électronique en offrant aux consommateurs de nouvelles façons d'interagir avec les produits avant l'achat. Les applications de la RA dans le e-commerce peuvent être classées en plusieurs catégories [9] [34] :

6.1 La visualisation de produits en 3D

La RA permet aux consommateurs de visualiser des produits en trois dimensions et sous tous les angles, directement depuis leur smartphone ou leur tablette. Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour les produits dont l'apparence et les dimensions sont des critères d'achat importants, tels que les meubles, les appareils électroménagers et les objets de décoration [32].

L'application **IKEA Place**, lancée en 2017, est l'un des exemples les plus réussis de cette application. Elle permet aux utilisateurs de placer virtuellement des meubles IKEA dans leur intérieur, à l'échelle réelle, pour vérifier leur compatibilité avec l'espace disponible et le style de décoration existant. Selon IKEA, l'application offre une précision de 98% en termes de dimensions et de proportions [32].

6.2 L'essayage virtuel (Virtual Try-On)

L'essayage virtuel est l'une des applications les plus prometteuses de la RA dans le e-commerce. Il permet aux consommateurs d'essayer virtuellement des produits — vêtements, chaussures, lunettes, maquillage, bijoux — en utilisant la caméra de leur appareil. Cette technologie utilise la reconnaissance faciale, la détection du corps et le suivi des mouvements pour superposer les produits virtuels sur l'image de l'utilisateur en temps réel [35].

6.3 Les catalogues et emballages interactifs

La RA transforme les supports marketing traditionnels en expériences interactives. En scannant un catalogue imprimé, une étiquette de produit ou un emballage avec leur smartphone, les consommateurs peuvent accéder à des contenus enrichis : vidéos de démonstration, modèles 3D du produit, informations détaillées et avis des clients [34].

6.4 La navigation en magasin augmentée

Certaines enseignes utilisent la RA pour améliorer l'expérience en magasin physique. Des applications de navigation augmentée guident les clients dans les rayons, affichent des informations sur les produits lorsqu'ils pointent leur smartphone vers eux, et proposent des promotions personnalisées en temps réel [9].

6.5 La personnalisation de produits

La RA permet aux consommateurs de personnaliser les produits avant l'achat. Par exemple, les constructeurs automobiles comme BMW et Audi proposent des configurateurs en RA qui permettent aux clients de visualiser leur voiture personnalisée (couleur, jantes, intérieur) dans leur allée ou leur garage [34].

7. Applications de la RA dans le secteur de la mode

Le secteur de la mode est l'un des domaines où la réalité augmentée a le potentiel d'impact le plus significatif, en raison du besoin fondamental d'essayage qui caractérise l'achat de vêtements et d'accessoires [35] [18].

7.1 L'essayage virtuel de vêtements

L'essayage virtuel de vêtements utilise des technologies avancées de vision par ordinateur et de modélisation 3D pour permettre aux consommateurs de voir comment un vêtement s'adapte à leur morphologie. Le processus technique comprend plusieurs étapes [35] :

7.1.1 La capture du corps :

La caméra de l'appareil capture l'image de l'utilisateur et les algorithmes de détection de pose (pose estimation) identifient les points clés du corps (épaules, hanches, genoux, etc.).

7.1.2 La modélisation corporelle :

Un modèle 3D du corps de l'utilisateur est généré à partir des points détectés, en tenant compte des proportions et des mensurations estimées.

7.1.3 L'habillage virtuel :

Le modèle 3D du vêtement est ajusté au modèle corporel de l'utilisateur, en simulant le drapé, les plis et le tombé du tissu de manière réaliste.

7.1.4 Le rendu en temps réel :

Le résultat est affiché en temps réel sur l'écran, permettant à l'utilisateur de se voir porter le vêtement et de bouger naturellement.

7.2 L'essayage virtuel d'accessoires

Au-delà des vêtements, la RA est largement utilisée pour l'essayage virtuel d'accessoires de mode :

Lunettes : Des marques comme **Warby Parker** et **Ray-Ban** proposent des applications de RA qui permettent aux clients d'essayer virtuellement des montures de lunettes en utilisant la caméra frontale de leur smartphone. La technologie de reconnaissance faciale détecte les contours du visage et ajuste les lunettes virtuelles en conséquence [18].

Maquillage : Sephora Virtual Artist et L'Oréal Makeup Genius utilisent la RA pour permettre aux clientes d'essayer virtuellement des produits de maquillage (rouge à lèvres, fond de teint, ombre à paupières) en temps réel. Selon Sephora, cette fonctionnalité a augmenté le taux de conversion de 11% [36].

Bijoux et montres : Des marques de luxe comme **Cartier** et **Rolex** ont développé des expériences de RA permettant aux clients de visualiser des bijoux et des montres à leur poignet ou à leur cou [18].

Chaussures : Nike a lancé Nike Fit, une fonctionnalité de RA qui scanne les pieds de l'utilisateur pour recommander la taille idéale et permet de visualiser les chaussures en 3D [39].

7.3 Les cabines d'essayage virtuelles

Certaines enseignes de mode ont développé des cabines d'essayage virtuelles, aussi bien en ligne qu'en magasin. Ces systèmes utilisent des miroirs intelligents équipés de caméras et de capteurs de profondeur pour créer une expérience d'essayage sans contact. Le client se place devant le miroir, sélectionne les vêtements qu'il souhaite essayer, et le système superpose les vêtements virtuels sur son reflet en temps réel [35].

Le tableau 5 résume les principales applications de la RA dans le secteur de la mode :

Application	Technologie utilisée	Exemples de marques	Impact sur le e-commerce
Essayage de vêtements	Détection de pose, modélisation 3D	Zara, ASOS, H&M	Réduction des retours de 25-35%
Essayage de lunettes	Reconnaissance faciale	Warby Parker, Ray-Ban	Augmentation des conversions de 15%
Essayage de maquillage	Suivi facial en temps réel	Sephora, L'Oréal	Augmentation des conversions de 11%
Essayage de chaussures	Scan 3D des pieds	Nike, Adidas	Réduction des erreurs de taille de 60%
Essayage de bijoux	Détection des mains/poignets	Cartier, Tiffany	Engagement client accru de 40%
Cabines virtuelles	Miroirs intelligents, capteurs	Ralph Lauren, Uniqlo	Expérience omnicanale améliorée

Tableau 2.4: Applications de la RA dans le secteur de la mode

8. Avantages de la RA pour le commerce électronique

L'intégration de la réalité augmentée dans le commerce électronique offre de nombreux avantages, tant pour les consommateurs que pour les entreprises [9] [34] [38] :

8.1 Avantages pour les consommateurs

8.1.1 Réduction de l'incertitude d'achat

L'un des principaux freins à l'achat en ligne est l'incapacité de voir, toucher ou essayer les produits. La RA comble partiellement ce fossé en permettant aux consommateurs de visualiser les produits dans leur contexte réel (un meuble dans leur salon, un vêtement sur leur corps). Selon une étude de **Hilken et al. (2017)**, la RA réduit significativement l'incertitude perçue par les consommateurs et augmente leur confiance dans la décision d'achat [38].

8.1.2 Amélioration de l'expérience d'achat

La RA transforme l'achat en ligne en une expérience interactive et engageante. Au lieu de simplement regarder des photos statiques, les consommateurs peuvent interagir avec les produits en 3D, les faire pivoter, changer les couleurs et les visualiser sous différents angles. Cette interactivité augmente le plaisir d'achat et le temps passé sur la plateforme [34].

8.1.3 Prise de décision éclairée

En permettant aux consommateurs de voir comment un produit s'intègre dans leur environnement ou sur leur personne, la RA facilite la prise de décision. Les consommateurs sont plus susceptibles de choisir le bon produit du premier coup, ce qui réduit la frustration liée aux mauvais achats [9].

8.1.4 Accessibilité et commodité

La RA est accessible directement depuis un smartphone, sans nécessiter d'équipement supplémentaire. Les consommateurs peuvent essayer des produits depuis chez eux, à tout moment, sans avoir à se déplacer en magasin [31].

8.2 Avantages pour les entreprises

8.2.1 Augmentation du taux de conversion

Plusieurs études montrent que l'intégration de la RA dans les plateformes e-commerce augmente significativement le taux de conversion. Selon **Shopify (2022)**, les produits présentés avec des fonctionnalités de RA enregistrent un taux de conversion supérieur de 94% par rapport aux produits présentés sans RA [41]. **Threekit (2023)** rapporte que les interactions en RA augmentent le taux de conversion de 40% en moyenne [40].

8.2.2 Réduction du taux de retour

En permettant aux consommateurs de mieux évaluer les produits avant l'achat, la RA contribue à réduire significativement le taux de retour. Selon **Vertebrae (2022)**, les entreprises qui ont intégré la RA dans leur processus de vente en ligne ont constaté une réduction des retours allant de 25% à 40% [41].

8.2.3 Renforcement de l'image de marque

L'adoption de la RA positionne l'entreprise comme innovante et à la pointe de la technologie, ce qui renforce son image de marque et attire une clientèle technophile et exigeante [34].

8.2.4 Collecte de données comportementales

Les applications de RA génèrent des données précieuses sur le comportement des consommateurs : quels produits sont essayés virtuellement, combien de temps les utilisateurs passent à interagir avec chaque produit, quelles couleurs ou tailles sont les plus populaires. Ces données permettent d'optimiser l'offre et les stratégies marketing [9].

8.2.5 Différenciation concurrentielle

Dans un marché e-commerce de plus en plus concurrentiel, la RA offre un avantage compétitif significatif en proposant une expérience d'achat unique et mémorable qui fidélise les clients [39].

9. Limites et défis de la RA dans le commerce électronique

Malgré ses avantages considérables, l'intégration de la réalité augmentée dans le commerce électronique se heurte à plusieurs obstacles et défis [9] [42] :

9.1 Défis technologiques

9.1.1 La précision du rendu

La qualité de l'expérience de RA dépend fortement de la précision du rendu des objets virtuels. Les différences de couleur entre l'écran et la réalité, les problèmes d'éclairage et les imprécisions dans la détection des surfaces peuvent conduire à une représentation inexacte des produits, ce qui peut induire le consommateur en erreur [42].

9.1.2 La compatibilité des appareils

Bien que les smartphones modernes soient de plus en plus performants, tous les appareils ne sont pas capables de faire fonctionner les applications de RA de manière fluide. Les appareils plus anciens ou d'entrée de gamme peuvent offrir une expérience dégradée, avec des temps de chargement longs et des rendus de moindre qualité [31].

9.1.3 La modélisation 3D des produits

La création de modèles 3D réalistes et détaillés pour chaque produit du catalogue représente un investissement considérable en temps et en ressources. Pour un catalogue de plusieurs milliers de références, comme c'est le cas pour les grandes enseignes de mode, ce processus peut s'avérer extrêmement coûteux [42].

9.1.4 La simulation réaliste des tissus

Dans le secteur de la mode, la simulation réaliste du drapé, de la texture et du mouvement des tissus reste un défi technique majeur. Les algorithmes actuels peinent encore à reproduire fidèlement le comportement de certains matériaux (soie, mousseline, dentelle) sur un corps en mouvement [35].

9.2 Défis liés à l'adoption par les utilisateurs

9.2.1 La courbe d'apprentissage

Certains consommateurs, en particulier les personnes âgées ou les moins familiarisées avec la technologie, peuvent éprouver des difficultés à utiliser les fonctionnalités de RA, ce qui limite l'adoption de cette technologie [9].

9.2.2 Les préoccupations liées à la vie privée

L'utilisation de la RA nécessite souvent l'accès à la caméra de l'appareil et, dans le cas de l'essayage virtuel, la capture d'images du corps ou du visage de l'utilisateur. Ces exigences soulèvent des préoccupations légitimes en matière de protection de la vie privée et de sécurité des données personnelles [42].

9.2.3 Les attentes élevées des consommateurs

Les consommateurs qui utilisent la RA s'attendent à une expérience fluide, réaliste et précise. Une expérience de RA de mauvaise qualité peut avoir un effet négatif sur la perception de la marque et décourager les achats futurs [38].

9.3 Défis économiques et organisationnels

9.3.1 Le coût d'investissement

Le développement et le déploiement d'une solution de RA pour le e-commerce nécessitent des investissements significatifs en termes de développement logiciel, de création de contenu 3D, d'infrastructure technique et de maintenance [42].

9.3.2 L'intégration avec les systèmes existants

L'intégration de la RA dans les plateformes e-commerce existantes peut s'avérer complexe, nécessitant des modifications de l'architecture technique, des bases de données produits et des flux de travail [9].

9.3.3 La mesure du retour sur investissement (ROI)

Il peut être difficile de mesurer précisément l'impact de la RA sur les ventes et la satisfaction client, ce qui complique la justification des investissements auprès des décideurs [42].

10. Études de cas

10.1 IKEA Place

IKEA Place est l'une des applications de RA les plus emblématiques dans le domaine du commerce électronique. Lancée en 2017 en collaboration avec Apple, l'application utilise la technologie ARKit pour permettre aux utilisateurs de placer virtuellement plus de 2 000 produits IKEA dans leur intérieur [32].

Fonctionnement : L'utilisateur pointe la caméra de son iPhone ou iPad vers la pièce où il souhaite placer un meuble. L'application détecte automatiquement le sol et les surfaces planes, puis permet à l'utilisateur de sélectionner un meuble dans le catalogue et de le positionner dans l'espace. Le meuble virtuel est affiché à l'échelle réelle, avec des textures et des couleurs fidèles au produit réel.

Résultats : Selon IKEA, l'application a été téléchargée plus de 2 millions de fois dans les premiers mois suivant son lancement. L'entreprise rapporte une augmentation de 11% des ventes en ligne pour les produits disponibles dans l'application et une réduction de 35% des retours pour ces mêmes produits [32].

10.2 Sephora Virtual Artist

Sephora Virtual Artist est une fonctionnalité de RA intégrée à l'application mobile de Sephora, permettant aux clientes d'essayer virtuellement des produits de maquillage [36].

Fonctionnement : L'application utilise la technologie de reconnaissance faciale développée par ModiFace (acquise par L'Oréal en 2018) pour détecter les traits du visage de l'utilisatrice en temps réel. Les produits de maquillage (rouge à lèvres, fond de teint, ombre à paupières, mascara) sont ensuite appliqués virtuellement sur le visage, avec un rendu réaliste qui tient compte de la couleur de peau et de l'éclairage ambiant.

Résultats : Sephora rapporte que les utilisatrices de Virtual Artist ont essayé virtuellement plus de 200 millions de teintes de produits depuis le lancement de la fonctionnalité. Le taux de

conversion des utilisatrices de la RA est supérieur de 11% à celui des utilisatrices qui n'utilisent pas cette fonctionnalité. De plus, le panier moyen des utilisatrices de la RA est 2,7 fois plus élevé [36].

10.3 Zara et l'expérience AR en magasin

En 2018, **Zara** a lancé une expérience de RA innovante dans ses magasins physiques. En pointant leur smartphone vers les vitrines ou les présentoirs du magasin, les clients pouvaient voir des mannequins virtuels porter les dernières collections de la marque et défiler dans le magasin [43].

Fonctionnement : L'application Zara AR utilisait la technologie de RA basée sur les marqueurs pour déclencher des animations de mannequins virtuels lorsque le smartphone détectait des points de vente spécifiques dans le magasin. Les clients pouvaient ensuite acheter directement les articles portés par les mannequins virtuels via l'application.

Résultats : L'initiative a généré un buzz médiatique considérable et a attiré de nombreux clients en magasin, en particulier parmi la génération Z et les millennials. Zara a rapporté une augmentation de 15% du trafic en magasin pendant la période de la campagne AR [43].

10.4 Amazon AR View

Amazon a intégré une fonctionnalité de RA appelée **AR View** dans son application mobile, permettant aux utilisateurs de visualiser des milliers de produits (meubles, appareils électroniques, jouets, objets de décoration) dans leur environnement réel avant l'achat [39].

Fonctionnement : L'utilisateur sélectionne un produit compatible avec la RA dans le catalogue Amazon, active la fonctionnalité AR View, et pointe la caméra de son smartphone vers l'espace où il souhaite placer le produit. Le produit virtuel est affiché à l'échelle réelle, et l'utilisateur peut le déplacer, le faire pivoter et le visualiser sous différents angles.

Résultats : Amazon rapporte que les produits présentés avec la fonctionnalité AR View enregistrent un taux de retour inférieur de 25% par rapport aux produits similaires sans RA. Le

temps moyen passé sur les pages produits avec RA est 2,7 fois plus long, indiquant un engagement accru des consommateurs [39].

10.5 Warby Parker — Essayage virtuel de lunettes

Warby Parker, marque américaine de lunettes, a été pionnière dans l'utilisation de la RA pour l'essayage virtuel de montures. L'application utilise la technologie de reconnaissance faciale et la caméra TrueDepth de l'iPhone pour créer une cartographie 3D précise du visage de l'utilisateur .

Résultats : Warby Parker rapporte que les clients qui utilisent la fonctionnalité d'essayage virtuel sont 50% plus susceptibles de finaliser un achat. Le taux de retour des lunettes achetées après un essai virtuel est inférieur de 27% par rapport aux achats sans essai virtuel [18].

Le tableau 6 synthétise les résultats des principales études de cas :

Entreprise	Secteur	Application RA	Impact sur les conversions	Impact sur les retours
IKEA	Ameublement	IKEA Place	+11% ventes en ligne	-35% retours
Sephora	Cosmétiques	Virtual Artist	+11% taux de conversion	N/A
Zara	Mode	Zara AR	+15% trafic en magasin	N/A
Amazon	Généraliste	AR View	+2,7x temps sur page	-25% retours
Warby Parker	Lunettes	Virtual Try-On	+50% finalisation d'achat	-27% retours

Tableau 2.5 : Synthèse des résultats des études de cas d'intégration de la RA dans le e-commerce

11. Perspectives d'avenir

L'avenir de la réalité augmentée dans le commerce électronique s'annonce prometteur, porté par plusieurs tendances et innovations technologiques [33] [44] :

11.1 L'intelligence artificielle et la RA

La convergence de l'intelligence artificielle (IA) et de la RA ouvre de nouvelles possibilités pour le e-commerce. Les algorithmes d'IA permettent d'améliorer la précision de la reconnaissance d'objets, la qualité du rendu 3D et la personnalisation de l'expérience utilisateur. Par exemple, l'IA peut analyser les préférences de style d'un utilisateur et recommander des produits à essayer virtuellement, créant ainsi une expérience d'achat hyper-personnalisée [44].

11.2 La 5G et le cloud computation

Le déploiement de la 5G et l'essor du cloud computing permettront de réduire la latence et d'augmenter la bande passante disponible pour les applications de RA, rendant les expériences plus fluides et plus réalistes. Le rendu 3D pourra être déporté dans le cloud, permettant aux appareils moins puissants d'offrir des expériences de RA de haute qualité [33].

11.3 Les lunettes de RA grand public

Le développement de lunettes de RA légères, élégantes et abordables comme les projets d'Apple (Apple Vision Pro), de Meta (Ray-Ban Meta Smart Glasses) et de Google pourrait transformer radicalement l'expérience d'achat. Les consommateurs pourraient visualiser des informations sur les produits, comparer les prix et essayer virtuellement des articles simplement en regardant autour d'eux [26].

11.4 Le Web AR

Le Web AR (**Web-based Augmented Reality**) permet d'accéder à des expériences de RA directement depuis un navigateur web, sans nécessiter le téléchargement d'une application dédiée. Cette approche élimine une barrière majeure à l'adoption de la RA et facilite son intégration dans les sites e-commerce existants. Des technologies comme **WebXR**, **8th Wall** et **AR.js** rendent le Web AR de plus en plus accessible et performant [44].

11.5 Le métavers et le commerce virtuel

Le concept de métavers – un univers virtuel persistant et partagé – ouvre de nouvelles perspectives pour le commerce. Des plateformes comme **Decentraland**, **The Sandbox** et les projets de **Meta** permettent déjà aux marques de créer des boutiques virtuelles immersives où les consommateurs peuvent explorer, essayer et acheter des produits sous forme d'avatars [33].

11.6 La RA et la durabilité

La RA peut contribuer à un commerce plus durable en réduisant les retours de produits (et donc les émissions de CO₂ liées au transport), en diminuant le besoin de produire des échantillons physiques et en permettant aux consommateurs de prendre des décisions d'achat plus éclairées, réduisant ainsi le gaspillage [44].

11.7 Prévisions du marché

Selon Grand View Research (2024), le marché mondial de la RA dans le commerce de détail devrait atteindre 12,4 milliards de dollars d'ici 2028, avec un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 24,8% [33]. Gartner (2024) prévoit que d'ici 2028, 75% des grandes enseignes de commerce électronique proposeront des fonctionnalités de RA sur leurs plateformes [45].

Conclusion

Ce chapitre a proposé une analyse approfondie de la réalité augmentée et de la réalité virtuelle, couvrant leur évolution historique, leurs fondements technologiques et leurs applications en e-commerce. La comparaison entre RA, RV et réalité mixte a révélé que la réalité augmentée s'impose comme la solution la plus adaptée au commerce électronique contemporain, grâce à son accessibilité via les smartphones et sa capacité à enrichir l'expérience d'achat sans rupture avec le réel.

L'étude des cas emblématiques — IKEA Place, Sephora Virtual Artist, Zara AR, Amazon AR View et Warby Parker — a confirmé, chiffres à l'appui, l'impact mesurable de la RA sur les indicateurs commerciaux : hausse des taux de conversion, réduction des retours, meilleur engagement client et image de marque renforcée. Dans le secteur de la mode, l'essayage virtuel s'affirme comme une innovation stratégique comblant le fossé entre expérience en ligne et magasin physique, en levant l'un des principaux freins à l'achat : l'impossibilité d'essayer le produit.

Des défis subsistent néanmoins — précision du rendu visuel, coûts de développement, protection des données et adoption par les utilisateurs — dont la résolution supposera une convergence entre intelligence artificielle, 5G, Web AR et une approche résolument centrée sur le consommateur.

En définitive, la réalité augmentée est devenue un levier stratégique incontournable pour l'avenir du e-commerce. C'est dans cette perspective que s'inscrit notre projet **Elegance Fashion** : en s'appuyant sur le modèle de diffusion **IDM-VTON**, notre solution génère directement des images de synthèse à partir de photos 2D, sans recourir aux modèles 3D complexes des approches AR classiques. Plus accessible et plus réaliste, elle traduit en application concrète les concepts théoriques de ce chapitre — dont la mise en œuvre fait l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 3 : La Conception du Système

Introduction

Les deux chapitres précédents ont posé les fondements théoriques de ce travail : le premier a présenté le commerce électronique dans ses dimensions économiques, technologiques et sociétales, tandis que le second a exploré en profondeur les technologies de réalité augmentée et leurs applications dans le secteur de la mode. Ces bases conceptuelles nous permettent désormais d'aborder la phase de conception de notre solution.

Ce troisième chapitre est consacré à la conception architecturale et fonctionnelle du système d'essayage virtuel développé dans le cadre de ce mémoire. La conception constitue une étape charnière dans tout projet informatique : elle traduit les exigences identifiées lors de l'analyse des besoins en une architecture logicielle cohérente, évolutive et implémentable. Une conception rigoureuse permet d'anticiper les défis techniques, de définir les interactions entre les composants du système et de garantir la qualité du produit final.

Notre système vise à intégrer une fonctionnalité d'essayage virtuel de vêtements basée sur la réalité augmentée dans une plateforme de commerce électronique. Cette solution repose sur l'utilisation de l'intelligence artificielle — notamment le modèle IDM-VTON (Improving Diffusion Models for Authentic Virtual Try-On) — pour superposer virtuellement des vêtements sur l'image d'une personne, offrant ainsi une expérience d'achat immersive et interactive.

Ce chapitre s'articule autour de plusieurs sections : nous commencerons par analyser les besoins fonctionnels et non fonctionnels du système, avant de présenter les cas d'utilisation, l'architecture globale de la solution, les diagrammes UML de conception, et enfin les choix technologiques justifiés. La modélisation sera réalisée selon la notation UML (Unified Modeling Language), standard de facto dans le domaine du génie logiciel.

1. Analyse des Besoins

1.1 Besoins Fonctionnels

Les besoins fonctionnels décrivent les fonctionnalités que le système doit offrir pour satisfaire les objectifs du projet. Ils sont identifiés à partir de l'analyse du domaine métier et des attentes des utilisateurs finaux.

1.1.1 Gestion des utilisateurs

- Inscription et authentification : le système doit permettre aux utilisateurs de créer un compte, de se connecter et de gérer leur profil personnel.
- Gestion des sessions : le système utilise les sessions uniquement pour le transfert temporaire de données entre les pages (comme les messages de confirmation et les données de formulaire), sans gestion de sessions utilisateurs persistantes.
- Gestion des rôles : le système doit distinguer trois rôles — visiteur, acheteur et vendeur

1.1.2 Catalogue de produits

- Navigation dans le catalogue : les utilisateurs doivent pouvoir parcourir les vêtements disponibles, filtrer par catégorie (homme, femme, enfant), par taille et par prix.
- Affichage des fiches produits : chaque produit doit disposer d'une fiche détaillée incluant plusieurs images (variantes de couleurs), la description, les tailles disponibles et le prix.
- Gestion du catalogue par le vendeur : chaque vendeur doit pouvoir ajouter, modifier et supprimer ses propres produits via une interface dédiée, dans le cadre d'une plateforme multi-vendeurs où chaque vendeur gère son catalogue indépendamment.

1.1.3 Fonctionnalité d'essayage virtuel

- Capture de la photo de l'utilisateur : le système doit permettre à l'utilisateur d'activer sa caméra et de capturer une photo de lui-même (portrait en pied) directement depuis l'interface pour l'essayage virtuel.
- Sélection du vêtement à essayer : l'utilisateur doit pouvoir sélectionner le vêtement qu'il souhaite essayer depuis la fiche produit.
- Génération du résultat d'essayage : le système doit traiter les images (photo capturée de l'utilisateur et image du vêtement) via le modèle IDM-VTON et retourner une image de

synthèse montrant l'utilisateur vêtu du produit sélectionné.[46]

- Affichage du résultat : l'utilisateur doit pouvoir visualiser le résultat de l'essayage virtuel.

1.1.4 Gestion du panier et des commandes

- Ajout au panier : l'utilisateur doit pouvoir ajouter des produits à son panier depuis la fiche produit ou depuis le résultat de l'essayage virtuel.
- Gestion du panier : l'utilisateur doit pouvoir modifier les quantités, supprimer des articles et consulter le total de sa commande.
- Processus de commande : le système doit guider l'utilisateur à travers un processus de commande structuré (validation du panier, saisie de l'adresse de livraison, confirmation).

1.2 Besoins Non Fonctionnels

Les besoins non fonctionnels définissent les contraintes de qualité et de performance que le système doit respecter, indépendamment des fonctionnalités spécifiques.

1.2.1 Performance

- Le temps de traitement de l'essayage virtuel ne doit pas excéder 30 secondes dans des conditions normales d'utilisation.
- Les pages du site web doivent se charger en moins de 3 secondes pour une connexion standard.
- Le système doit pouvoir gérer simultanément au moins 10 requêtes d'essayage virtuel sans dégradation significative des performances.

1.2.2 Fiabilité et disponibilité

- Le système doit être disponible 99% du temps (hors maintenance planifiée).
- En cas d'échec du traitement d'essayage, le système doit effectuer automatiquement jusqu'à trois tentatives avant d'informer l'utilisateur de l'erreur.

1.2.3 Utilisabilité

- L'interface utilisateur doit être intuitive et ne pas nécessiter de formation préalable.
- Le système doit être accessible depuis les principaux navigateurs web (Chrome, Firefox, Safari, Edge) et responsive pour les appareils mobiles.

1.2.4 Maintenabilité

- Le code source doit être documenté et structuré selon les bonnes pratiques de génie logiciel.
- L'architecture du système doit permettre l'ajout de nouvelles fonctionnalités sans modification majeure des composants existants.

1.2.5 Sécurité

- Les images utilisées pour l'essayage virtuel sont traitées temporairement via Google Colab et ne sont pas stockées de manière permanente sur le serveur de l'application.
- Les mots de passe des acheteurs et des vendeurs sont stockés sous forme hachée dans la base de données grâce à la fonction `password_hash()` de PHP, afin de garantir leur confidentialité.

2. Diagramme des Cas d'Utilisation

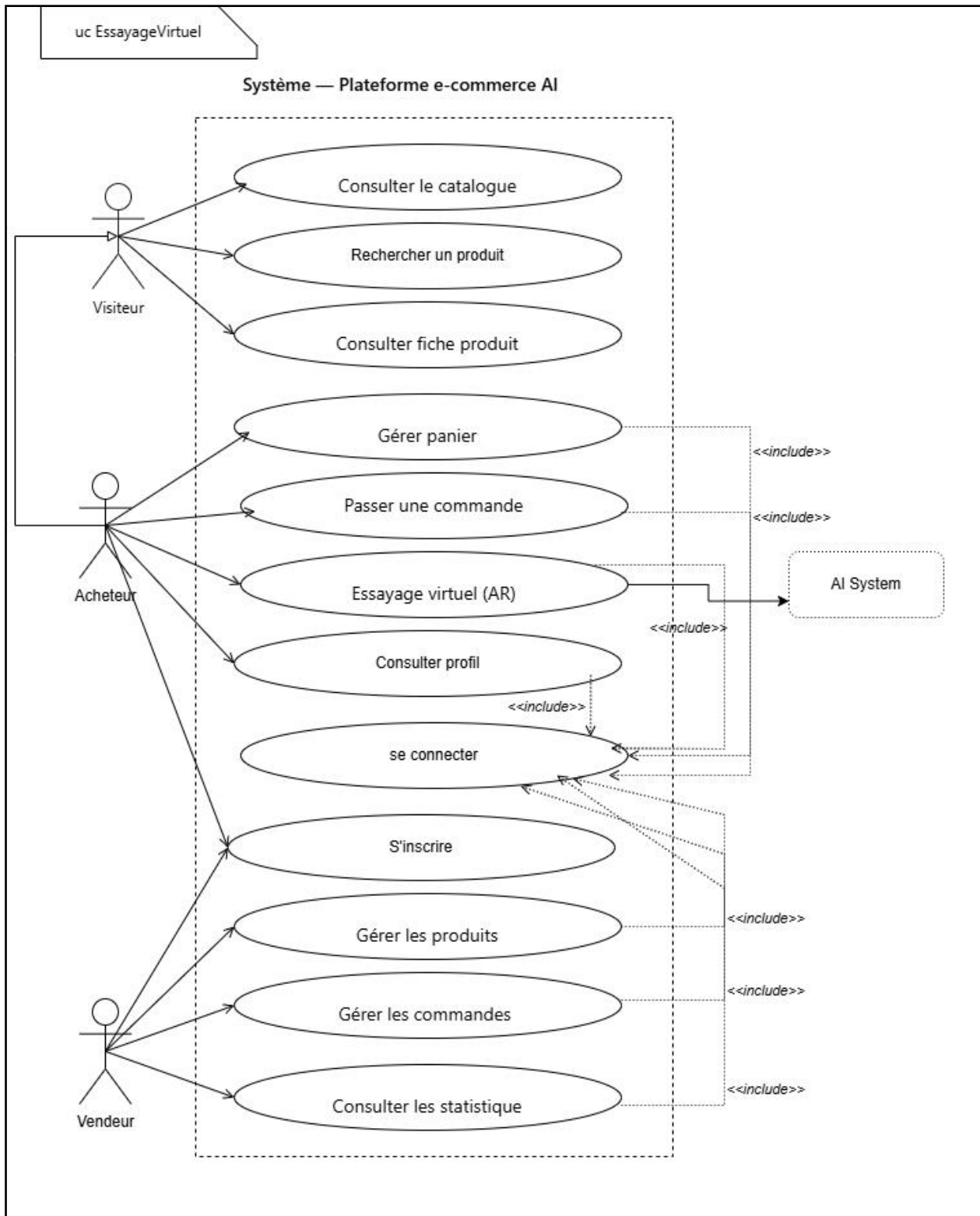


Figure 3.1: Diagramme cas d'utilisation

2.1 Identification des Acteurs

Un acteur représente tout élément externe qui interagit avec le système. Dans le cadre de notre plateforme d'essayage virtuel, nous identifions quatre acteurs principaux :

- **Visiteur (utilisateur non enregistré)** : acteur qui peut consulter le catalogue et effectuer des essayages virtuels sans inscription. L'ajout au panier et le passage de commandes nécessitent une inscription préalable.
- **Acheteur (utilisateur enregistré)** : acteur principal qui navigue dans le catalogue, effectue des essayages virtuels, gère son panier et passe des commandes.
- **Vendeur** : acteur qui gère son propre catalogue de produits (ajout, modification, suppression) et suit les commandes reçues via une interface dédiée.
- **Système IA / API Replicate** : acteur externe représentant le service d'intelligence artificielle IDM-VTON utilisé pour le traitement des essayages virtuels.

2.2.1 Cas d'utilisation : S'inscrire et se connecter

Acteur principal : Visiteur.

Précondition : le visiteur accède à la page d'inscription ou de connexion.

Flux principal : le visiteur saisit ses informations (nom, email, mot de passe), le système valide les données et crée le compte, l'utilisateur est redirigé vers la page d'accueil.

Flux alternatif : en cas d'email déjà enregistré, le système affiche un message d'erreur et invite l'utilisateur à se connecter.

2.2.2 Cas d'utilisation : Parcourir le catalogue et consulter un produit

Acteur principal : Visiteur ou Acheteur.

Précondition : le système est opérationnel et le catalogue contient des produits.

Flux principal : l'utilisateur accède à la page catalogue, filtre les produits par catégorie ou taille, sélectionne un produit, consulte la fiche détaillée incluant les images et la description.

2.2.3 Cas d'utilisation : Effectuer un essayage virtuel

Acteur principal : Visiteur ou Acheteur.

Précondition : l'utilisateur a sélectionné un produit.

Flux principal :

L'utilisateur accède à la fonctionnalité « Essayer virtuellement » depuis la fiche produit.

L'utilisateur active sa caméra et capture une photo de lui-même (portrait en pied, fond neutre recommandé).

Le système envoie les deux images (photo de l'utilisateur et image du vêtement) à l'API Replicate via le microservice Flask.

Le modèle IDM-VTON traite les images et génère une image de synthèse.

Le système affiche le résultat de l'essayage à l'utilisateur.

Postcondition : l'image résultante est affichée.

Flux alternatif : en cas d'échec du traitement (timeout, erreur API), le système effectue deux nouvelles tentatives avec un délai progressif avant d'informer l'utilisateur.

2.2.4 Cas d'utilisation : Gérer le panier et passer une commande

Acteur principal : Acheteur (utilisateur enregistré).

Précondition : l'acheteur est authentifié.

Flux principal : l'acheteur ajoute des produits à son panier, modifie les quantités si nécessaire, accède à la page de validation, saisit son adresse de livraison et confirme la commande. Le système enregistre la commande.

2.2.5 Cas d'utilisation : Gérer la boutique (Vendeur)

Acteur principal : Vendeur.

Précondition : le vendeur est authentifié.

Flux principal : le vendeur accède à son interface dédiée et peut :

Ajouter, modifier ou supprimer ses produits avec leurs images et descriptions.

Consulter la liste de ses produits disponibles.

Consulter les commandes reçues avec leurs détails.

Consulter la liste des acheteurs ayant passé des commandes.

Accéder à un tableau de bord statistique affichant les performances de sa boutique (nombre de ventes, produits les plus commandés, etc.).

3. Architecture du Système

3.1 Vue Globale de l'Architecture

Notre système adopte une architecture en couches (layered architecture) combinée à une approche orientée microservices pour le module d'essayage virtuel. Cette architecture permet de séparer les responsabilités entre les différents composants du système, facilitant ainsi la maintenance, l'évolution et le déploiement indépendant des modules.

L'architecture globale du système s'articule autour de quatre couches principales : la couche présentation (front-end), la couche logique métier (back-end PHP/Python), la couche d'intelligence artificielle (microservice Flask), et la couche données (base de données relationnelle).

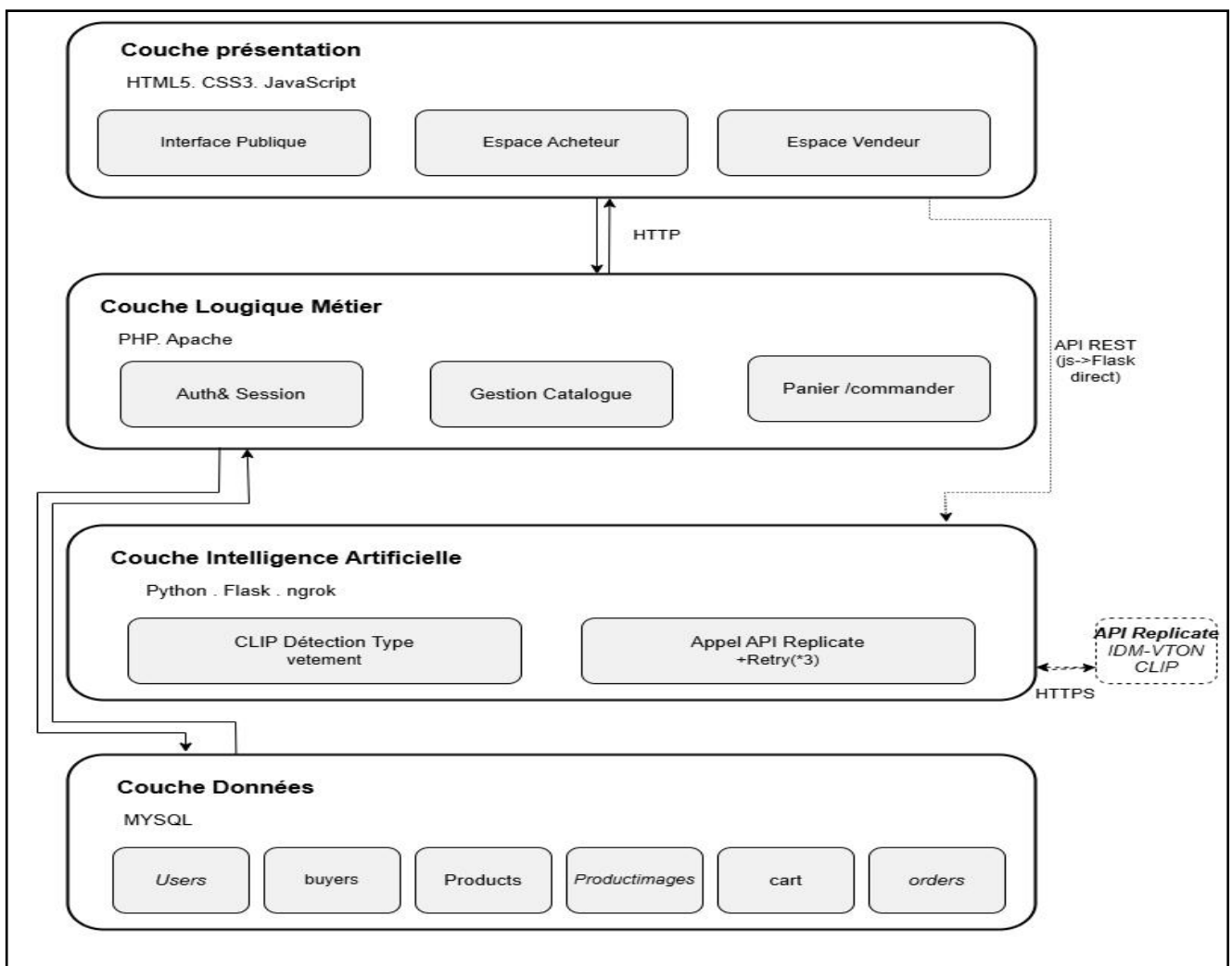


Figure 3.2:Architecture Diagram (couches)

3.2 Composants Principaux

3.2.1 Couche Présentation — Front-End

La couche présentation est responsable de l'interface utilisateur et des interactions avec l'utilisateur final. Elle est développée en HTML5, CSS3 et JavaScript vanilla, sans recours à des frameworks JavaScript lourds, afin de garantir la légèreté et la compatibilité maximale avec tous les navigateurs.

Interface publique : pages d'accueil, catalogue, fiche produit, inscription et connexion, accessibles aux visiteurs.

Interface acheteur : espace personnel, fonctionnalité d'essayage virtuel, panier et historique des commandes.

Interface vendeur : tableau de bord de gestion du catalogue, suivi des commandes reçues, consultation des acheteurs et statistiques de la boutique.

L'interface est entièrement responsive, s'adaptant aux différentes tailles d'écran (ordinateurs, tablettes, smartphones) grâce à l'utilisation de CSS Flexbox et Grid Layout. La communication avec le microservice Flask est assurée directement par JavaScript via l'API Fetch, sans passer par le back-end PHP.

3.2.2 Couche Logique Métier — Back-End PHP

Le back-end de l'application est développé en PHP, langage largement adopté pour le développement web côté serveur. Il gère l'ensemble de la logique métier de la plateforme e-commerce : authentification, gestion des sessions, traitement des formulaires et interaction avec la base de données.

Modules de gestion des utilisateurs : inscription, connexion, gestion des profils.

Modules de gestion du catalogue : CRUD (Create, Read, Update, Delete) des produits.

Module de gestion du panier : ajout, modification, suppression d'articles, calcul des totaux.

Module de gestion des commandes : création, suivi et historique des commandes.

3.2.3 Couche Intelligence Artificielle — Microservice Flask

Le microservice Flask constitue le cœur technologique de notre solution. Il est développé en Python et expose une API REST accessible directement depuis le front-end JavaScript via l'API Fetch, sans passer par le back-end PHP. Ce microservice est responsable de :

La réception et la validation des images (photo de l'utilisateur et image du vêtement) transmises en base64.

La détection automatique du type de vêtement (haut du corps, bas du corps, tenue complète) via le modèle CLIP (Contrastive Language–Image Pretraining) d'OpenAI.

L'envoi des images traitées à l'API Replicate pour l'exécution du modèle IDM-VTON.

La récupération et le retour du résultat de l'essayage directement au front-end JavaScript.

La gestion des erreurs et des tentatives automatiques en cas d'échec (Retry ×3).

Ce microservice est exposé publiquement via le service de tunneling ngrok, permettant au front-end JavaScript d'y accéder depuis n'importe quel environnement

3.2.4 Couche Données — Base de Données MySQL

La couche données est gérée par un système de gestion de base de données relationnelle (SGBDR) MySQL, administrée via phpMyAdmin. Elle stocke l'ensemble des données persistantes de l'application, organisées dans les tables suivantes :

users : contient les informations des vendeurs inscrits (nom, email, informations de la boutique, etc.).

buyers : contient les informations des acheteurs inscrits (nom, email, mot de passe, etc.).

products : contient les produits disponibles sur la plateforme (nom, description, prix, catégorie, taille, etc.).

product_images : contient les images associées à chaque produit, permettant la gestion d'une galerie multi-images par produit.

cart : contient les produits ajoutés au panier par les acheteurs en cours de session.

orders : contient les commandes passées par les acheteurs avec leurs détails (produits, quantités, adresse de livraison, statut).

Cette base de données est uniquement interrogée par le back-end PHP via des requêtes SQL. Le microservice Flask n'accède pas directement à la base de données.

4. Modélisation UML

4.1 Diagramme de Classes

Le diagramme de classes représente la structure statique du système en termes d'entités, d'attributs, de méthodes et de relations [47].

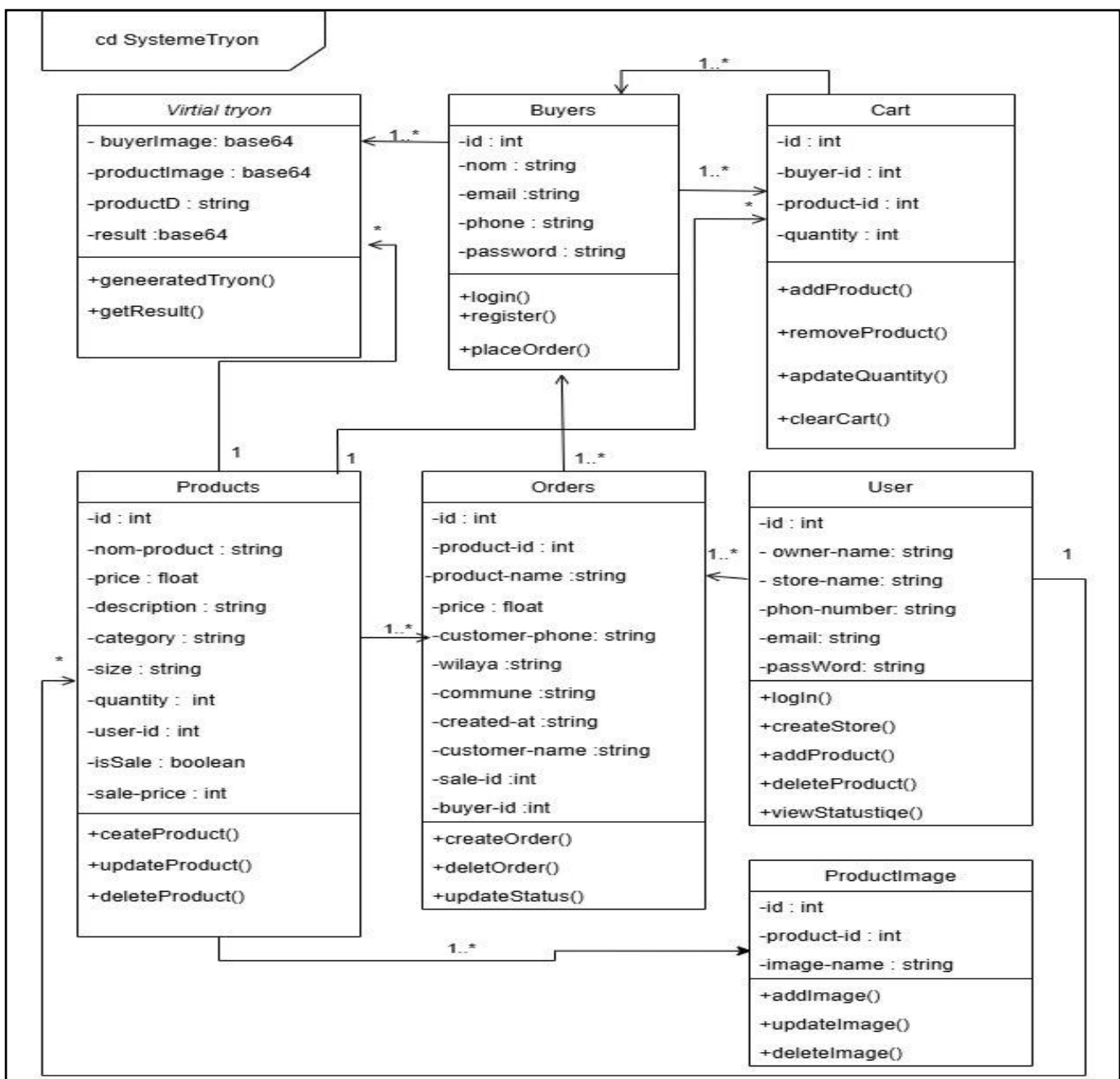


Figure 3.3:Diagramme de Classe

4.1.1 Classe Buyers

La classe Buyers modélise un acheteur enregistré sur la plateforme marketplace. Elle contient les attributs suivants : identifiant (id, int), nom (name, string), email, téléphone (phone) et mot de passe (password). Les méthodes associées incluent login(), buyClothes() et placeOrder().

4.1.2 Classe Products

La classe Products représente un article disponible dans le catalogue de la marketplace. Elle possède les attributs suivants : identifiant (id), nom du produit (nom_product), prix (price), description, catégorie (category), taille (size), quantité (quantity), vendeur associé (user_id) et indicateur de promotion (isSale, salePrice). Les méthodes incluent createProduct(), updateProduct() et deleteProduct().

4.1.3 Classe Cart

La classe Cart gère les articles sélectionnés par un acheteur avant la validation de la commande. Elle est associée à un Buyer et à un Product, et contient les attributs : identifiant (id), référence acheteur (buyerId), référence produit (productId) et quantité (quantity). Les méthodes incluent addProduct(), updateProduct(), updateQuantity() et clearCart().

4.1.4 Classe Orders

La classe Orders représente une commande passée sur la plateforme. Elle contient les attributs suivants : identifiant (id), référence produit (product_id), nom du produit (productName), prix (price), téléphone client (customerPhone), wilaya, commune (communa), date de création (created_at), nom du client (customer_name), identifiant vendeur (seller_id), identifiant acheteur (buyer_id) et catégorie (category). Les méthodes incluent createOrder(), deleteOrder() et updateStatus().

4.1.5 Classe Users (Sellers)

La classe Users modélise un vendeur enregistré sur la plateforme marketplace. Elle contient les attributs suivants : identifiant (id), nom du propriétaire (owner_name), nom du magasin (store_name), numéro de téléphone (phone_number), email, mot de passe (password). Les méthodes associées incluent login(), createStore(), addProduct(), deleteProduct() et viewStatistique().

4.1.6 Classe ProductImages

La classe ProductImages gère les images associées aux produits du catalogue. Elle contient les attributs suivants : identifiant (id), référence produit (product_id), nom de l'image (image_name). Les méthodes incluent addImage(), updateImage() et delete().

4.1.7 Classe VirtualTryOn

La classe VirtualTryOn modélise une session d'essayage virtuel permettant à l'acheteur de visualiser un vêtement sur sa propre image avant l'achat. Elle est associée à la classe Buyers et à la classe Products, et contient les attributs suivants :

id : identifiant unique de la session

buyerImage : image de l'acheteur (encodée en base64)

productImage : image du vêtement sélectionné

productDescription : description textuelle du produit utilisée pour guider le modèle de diffusion

result : image résultante générée après l'essayage virtuel

Les méthodes associées incluent generateTryOn(), qui orchestre l'envoi des données au microservice d'intelligence artificielle basé sur le modèle IDM-VTON , et getResult(), qui récupère l'image résultante une fois le traitement terminé

4.2 Diagramme de Séquence — Essayage Virtuel

Le diagramme de séquence décrit les interactions chronologiques entre les acteurs et les composants du système lors d'une session d'essayage virtuel. Les participants sont : l'Utilisateur (client), le Navigateur Web (interface front-end), le Serveur PHP (back-end), le Microservice Flask (module IA) et l'API Replicate (service externe).

La séquence se déroule comme suit : l'utilisateur téléverse sa photo et sélectionne un vêtement via le navigateur, qui envoie une requête POST au serveur PHP. Celui-ci valide les données et transmet une requête au microservice Flask, lequel détecte le type de vêtement via CLIP, ajuste la taille, puis appelle le modèle IDM-VTON sur l'API Replicate. L'API retourne l'image générée au microservice, qui la retourne au serveur PHP, lequel la transmet enfin au navigateur pour affichage à l'utilisateur.

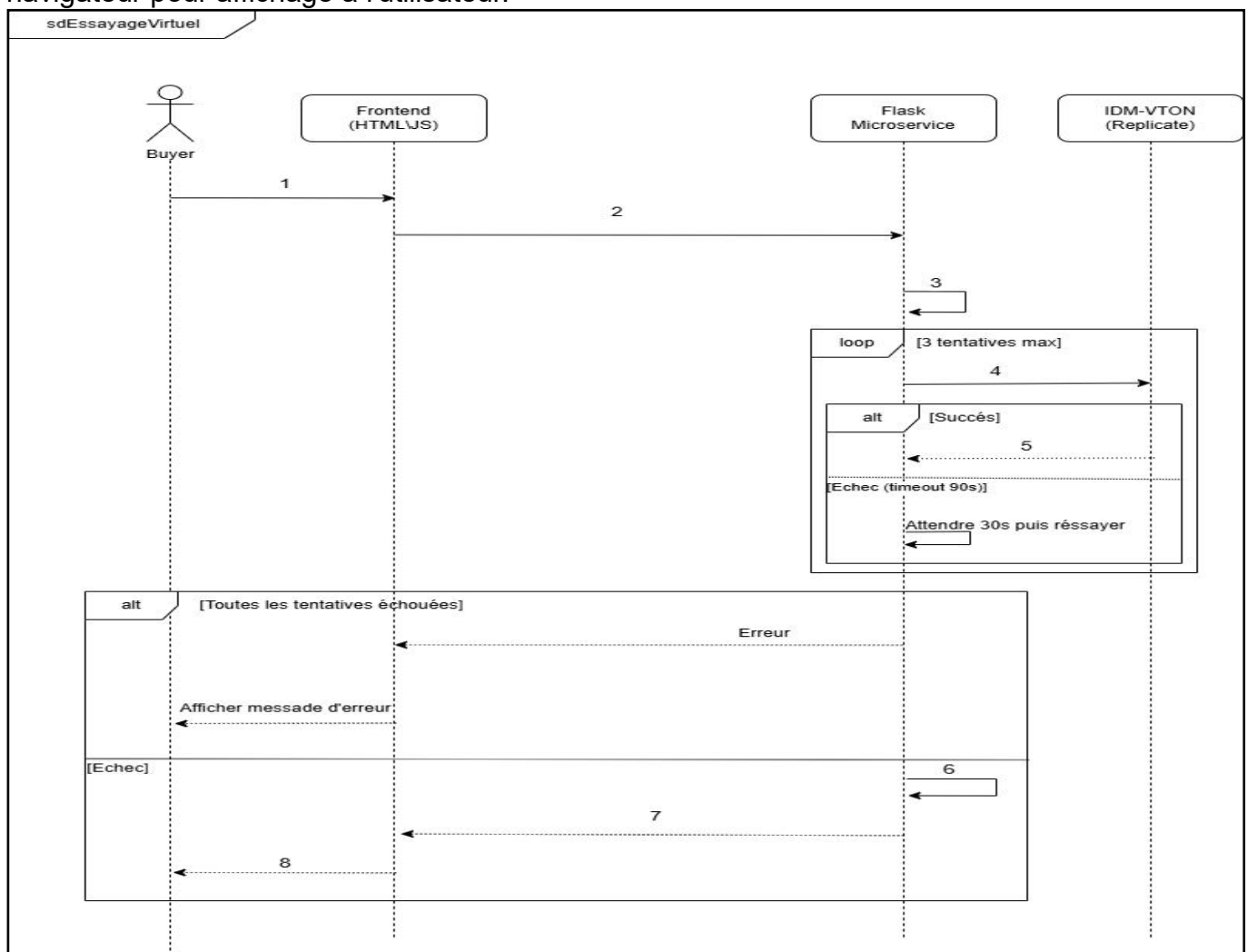


Figure 3.4:Diagramme de Séquence

1. L'acheteur sélectionne un produit et capture sa photo via la caméra.
2. Le Frontend (JavaScript) encode les deux images en base64 et les envoie directement au microservice Flask via une requête POST à l'endpoint /tryon.
3. Le microservice Flask détecte automatiquement le type de vêtement via le modèle CLIP (upper_body, lower_body ou full_body).
4. Le microservice appelle l'API Replicate avec le modèle IDM-VTON en transmettant les deux images et le type de vêtement détecté.
5. IDM-VTON génère l'image d'essayage virtuel et la retourne au microservice sous forme d'URL.
6. Le microservice télécharge l'image, l'encode en base64 et la retourne au Frontend.
7. Le microservice télécharge l'image depuis l'URL retournée par IDM-VTON, l'encode en base64 et la retourne au Frontend via la réponse HTTP
8. Le Frontend affiche l'image générée à l'utilisateur

4.3 Diagramme d'Activité — Processus d'Essayage Virtuel

Le diagramme d'activité représente le déroulement du processus d'essayage virtuel, depuis la soumission de la requête par l'utilisateur jusqu'à l'affichage du résultat final. Il met en évidence les différentes étapes du traitement ainsi que les décisions liées à la validation des données et à la gestion des erreurs.

Le flux principal comprend : le démarrage du processus, la validation des images fournies, leur encodage en Base64, la détection du type de vêtement, l'envoi des données à l'API Replicate, l'attente de la réponse, la gestion des éventuelles erreurs avec de nouvelles tentatives automatiques, puis l'affichage du résultat généré ou d'un message d'erreur en cas d'échec.

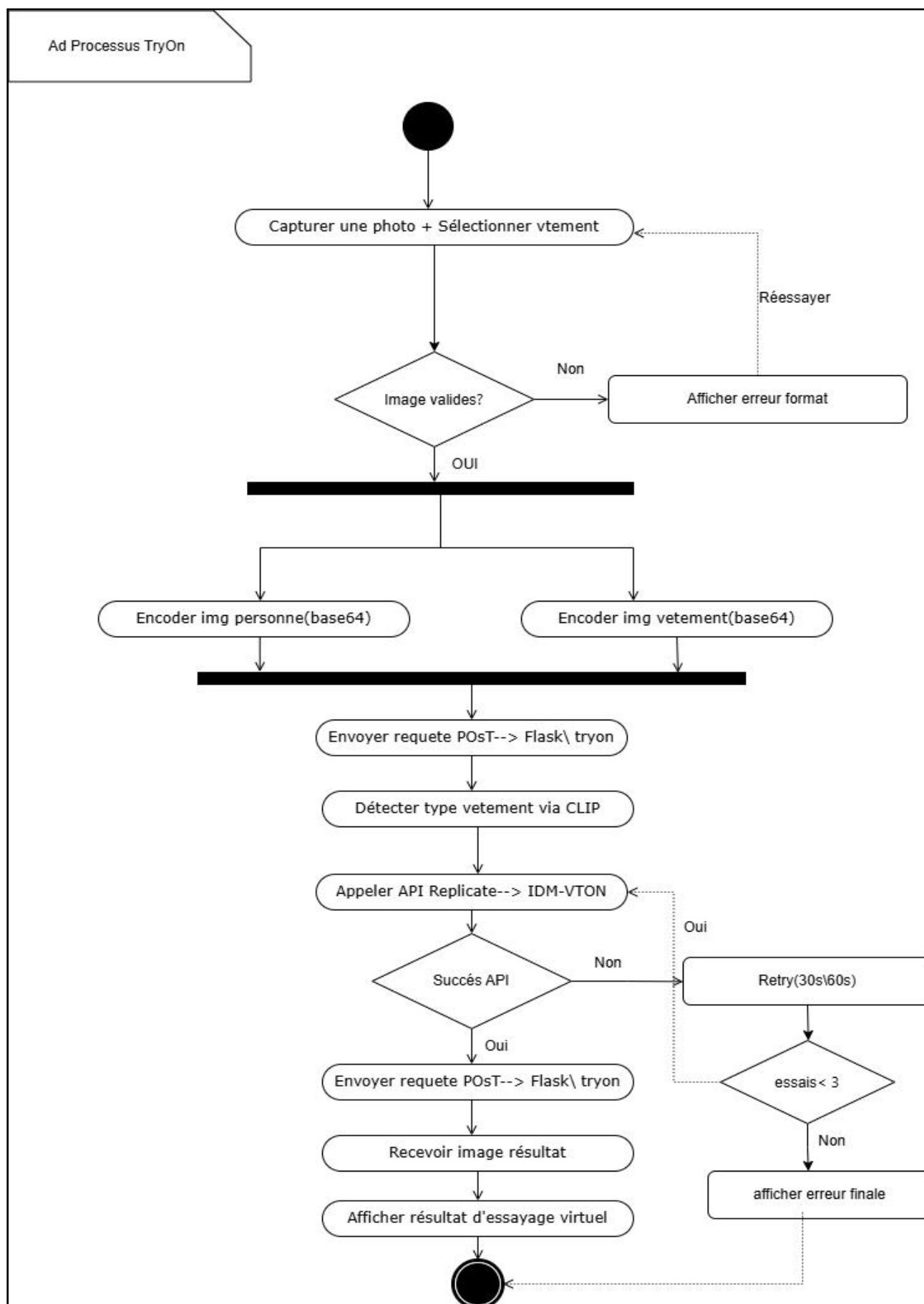


Figure 3.5: Diagramme d'Activité

5. Conception de la Base de Données

5.1 Modèle Entité-Association

Le modèle entité-association représente la structure logique des données manipulées par l'application. Les entités principales sont : User (Seller), Buyer, Product, ProductImage, Cart et Order.

Les associations sont les suivantes : un User peut publier plusieurs Produits. Un Produit possède une ou plusieurs ProductImage. Un Buyer peut ajouter plusieurs Produits au Cart. Un Buyer peut passer plusieurs Orders. Un User peut recevoir plusieurs Orders. Un Produit peut concerner plusieurs Orders

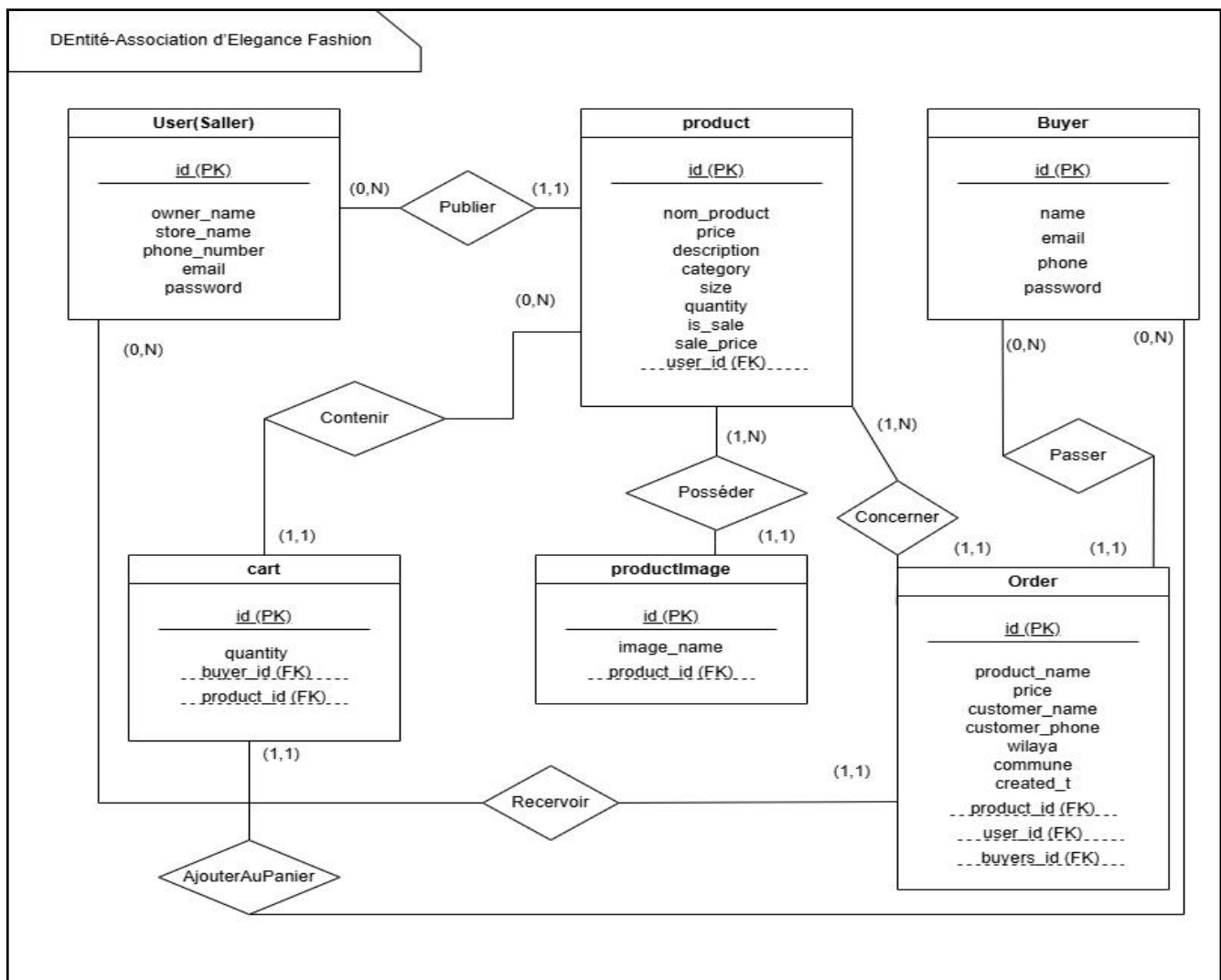


Figure 3.6: Modèle Entité-Association

5.2 Schéma Relationnel

Le schéma relationnel décrit la structure des tables de la base de données. Nous présentons ci-dessous les principales tables et leurs attributs.

Table	Clé primaire	Attributs principaux	Clés étrangères
buyers	id_utilisateur	name,email,phone_number ,password	—
products	id_produit	Nom_product,price,description,category Size,quantity,is-sale,sale_price,	User_id
cart	id	Quantity ,	Buyer_id product_id
orders	id	Customer_name,customer_phone Wilaya,commune,created_at Price	Product_id, Seller_id buyer_id
users	id	Owner_name,store_name,phone_number Email,password	—
product_image	id	Image_name,	Product_id

Tableau 3.1 : Schéma relationnel de la base de données

6. Conception de l'Interface Utilisateur

6.1 Principes de Conception

La conception de l'interface utilisateur repose sur les principes fondamentaux de l'ergonomie logicielle et de l'expérience utilisateur (UX). Les choix de conception ont été guidés par les critères suivants :

- Simplicité et clarté : l'interface est épurée et intuitive, permettant à l'utilisateur d'accéder rapidement aux fonctionnalités principales sans surcharge informationnelle.
- Cohérence visuelle : une charte graphique cohérente (palette de couleurs beige et noir, typographie Poppins) est maintenue sur l'ensemble des pages de l'application.
- Réactivité (Responsive Design) : l'interface s'adapte automatiquement à toutes les tailles d'écran grâce à l'utilisation de CSS Flexbox et Grid Layout.

6.2 Structure Navigationnelle

La structure navigationnelle est organisée en trois espaces distincts :

L'espace public comprend les pages suivantes : catalogue (all-product.php, women.php, men.php, kids.php), fiche produit (product-details.php), recherche en temps réel, inscription et connexion acheteur.

L'espace acheteur comprend : profil et historique des commandes (profile.php), essayage virtuel (tryon.php), panier (cart.php), suivi des commandes.

L'espace vendeur comprend : tableau de bord (seller.php), gestion des produits (product.php), gestion des commandes (order.php), gestion des clients (customers.php), analytiques (analytics.php).

6.3 Maquettes de l'Interface

6.3.1 Page d'accueil et catalogue

La page d'accueil constitue la vitrine de la plateforme. Elle comprend une barre de navigation avec le logo « Elegance Fashion », le menu de navigation (All, Women, Men, Kids), et les icônes d'action (boutique, profil, recherche, panier). Les produits sont affichés sous forme de cartes avec image principale, nom et prix. Un badge SALE s'affiche sur les produits en promotion avec le prix original barré.

6.3.2 Interface d'essayage virtuel

L'interface d'essayage virtuel (tryon.php) se compose de deux zones principales : à gauche, l'image du produit sélectionné avec ses conseils d'utilisation ; à droite, la caméra en direct permettant à l'utilisateur de capturer sa photo via un bouton dédié. Après traitement par le modèle IDM-VTON, l'image résultante s'affiche dans une zone dédiée avec le type de vêtement détecté automatiquement. En cas d'erreur, un message clair et un bouton pour relancer l'essayage sont affichés.

6.3.3 Interface vendeur

Le tableau de bord vendeur (seller.php) affiche les produits sous forme de cartes avec image, nom, prix et bouton de suppression. La barre latérale permet de naviguer entre les sections : Produits, Commandes, Clients et Analytiques.

7. Choix Technologiques et Justification

7.1 Technologies Front-End

Le front-end de l'application est développé en HTML5, CSS3 et JavaScript vanilla. Ce choix repose sur la volonté de garantir la légèreté, la compatibilité universelle et la maintenabilité du code. L'absence de framework JavaScript lourd (React, Angular, Vue.js) permet de réduire la complexité du projet tout en répondant pleinement aux besoins fonctionnels identifiés. Les interactions asynchrones sont réalisées via l'API Fetch native du navigateur.

7.2 Technologies Back-End

PHP a été choisi comme langage de développement côté serveur pour sa large adoption dans le développement web, sa facilité d'intégration avec MySQL, et la richesse de son écosystème. PHP assure la logique métier de l'application, la gestion des sessions séparées (vendeurs et acheteurs) et la communication avec le microservice Flask.

7.3 Microservice IA — Python et Flask

Python a été retenu pour le développement du microservice d'intelligence artificielle : c'est le langage dominant dans l'écosystème du machine learning, offrant un accès privilégié aux bibliothèques spécialisées (PyTorch, Transformers, Pillow). Flask est un micro-framework web léger, parfaitement adapté au développement de microservices et d'APIs REST. Le microservice est exécuté sur Google Colab, éliminant le besoin d'infrastructure locale.

7.4 Modèle IDM-VTON via API Replicate

IDM-VTON (Improving Diffusion Models for Authentic Virtual Try-On) est un modèle de diffusion publié en 2024, spécialisé dans l'essayage virtuel de vêtements. Il surpasse les approches précédentes basées sur les GAN en termes de réalisme et de fidélité à la texture des vêtements. L'utilisation de l'API Replicate (identifiant : cuuupid/idm-vton) permet d'exécuter ce modèle dans le cloud avec 50 étapes de débruitage.

7.5 Modèle CLIP pour la Détection du Vêtement

CLIP (Contrastive Language–Image Pretraining), développé par OpenAI, est un modèle de vision par ordinateur capable de comprendre la relation entre des images et des descriptions textuelles[48]. Dans notre système, CLIP est utilisé pour classifier automatiquement le vêtement en trois catégories : haut du corps (upper_body), bas du corps (lower_body) ou tenue complète (full_body), permettant de paramétrer correctement IDM-VTON.

7.6 Service de Tunneling ngrok

ngrok est un service de tunneling qui crée un tunnel sécurisé entre un serveur local et Internet, attribuant une URL publique accessible depuis n'importe quel appareil. Dans notre architecture, ngrok est utilisé pour exposer le microservice Flask exécuté sur Google Colab à Internet, permettant au front-end d'y accéder via HTTPS.

8. Conception de la Gestion des Erreurs

La gestion des erreurs est un aspect critique du système, particulièrement pour la fonctionnalité d'essayage virtuel qui dépend de services externes (API Replicate). Notre conception prévoit les mécanismes suivants :

- Mécanisme de réessai automatique (retry mechanism) : en cas d'échec de l'appel à l'API Replicate, le microservice Flask effectue automatiquement jusqu'à deux nouvelles tentatives, avec un délai progressif (30 secondes puis 60 secondes).
- Gestion des timeouts : des délais d'expiration sont configurés pour tous les appels réseau afin d'éviter les blocages indéfinis.
- Messages d'erreur utilisateur : en cas d'échec définitif, l'utilisateur reçoit un message clair (« Unable to connect to the server ») et peut relancer l'essayage.
- Journalisation des erreurs : toutes les erreurs sont affichées dans les logs du microservice Flask pour faciliter le débogage.

Conclusion

Ce chapitre a présenté la conception complète du système d'essayage virtuel développé dans le cadre de ce mémoire. En partant d'une analyse rigoureuse des besoins fonctionnels et non fonctionnels, nous avons élaboré une architecture technique cohérente et justifiée, articulée autour de quatre couches complémentaires : le front-end HTML/CSS/JavaScript, le back-end PHP, le microservice Flask intégrant l'intelligence artificielle, et la base de données relationnelle.

La modélisation UML réalisée — diagrammes de classes, de séquence et d'activité — a permis de formaliser les interactions entre les différents composants du système et de définir précisément le flux de traitement d'une requête d'essayage virtuel. Le choix du modèle IDM-VTON pour la génération des images de synthèse, couplé à CLIP pour la détection automatique du type de vêtement, représente une solution technologique de pointe répondant aux exigences de réalisme et de précision attendues par les utilisateurs.

La conception de la base de données et de l'interface utilisateur a été guidée par les principes de l'expérience utilisateur (UX) et de l'ergonomie logicielle, garantissant une expérience d'achat fluide, intuitive et accessible. Enfin, les mécanismes de gestion des erreurs et les mesures de sécurité intégrées dès la conception assurent la robustesse et la fiabilité du système.

L'ensemble de ces éléments de conception constitue une base solide pour la réalisation du système. Le chapitre suivant présentera l'implémentation de la solution proposée ainsi que les différents outils et technologies utilisés pour son développement.

Chapitre 4 : La Réalisation et Implementation

Introduction

Ce chapitre est consacré à la réalisation concrète de la plateforme Elegance Fashion. Après avoir défini les besoins et établi la conception dans les chapitres précédents, nous présentons ici l'implémentation effective du système, en détaillant les différents modules développés.

Nous aborderons successivement l'environnement de développement utilisé, l'implémentation de la base de données, les interfaces vendeur et acheteur, ainsi que l'intégration de la fonctionnalité d'essayage virtuel basée sur le modèle IDM-VTON. Chaque section est illustrée par des captures d'écran de l'application et des extraits de code significatifs.

1. Les outils et langage utilises

1.1 Les Langages de programmation

Les langages utilisé pour développée cette application est « html,css php,java script phyton ».

HTML (HyperText Markup Language) est un langage de balisage servant à créer et structurer le contenu des pages web. Il décrit l'organisation des différents éléments d'une page afin de permettre leur affichage dans un navigateur[49]

CSS (Cascading Style Sheets) est un langage de feuilles de style utilisé pour définir la présentation et la mise en forme des pages web écrites en HTML ou XML.[50]

php(PHP: Hypertext Preprocessor) est un langage de script open source utilisé principalement pour le développement d'applications web dynamiques et pouvant être intégré au HTML.[51]

JavaScript (JS) est un langage de programmation léger principalement utilisé pour rendre les pages web interactives et dynamiques.[52]

Python est un langage de programmation puissant et facile à apprendre, offrant des structures de données de haut niveau et prenant en charge la programmation orientée objet.[53]

1.2 L'environnement de développement

VS Code is a lightweight IDE developed and supported by Microsoft, it is free for private or commercial use. The core feature of VS Code is its extension support, users are able to add languages, debuggers, and tools to their own installation to better serve later development.[57]

XAMPP est un environnement de développement local permettant d'exécuter des applications web. [54]

phpMyAdmin est une interface web facilitant la gestion des bases de données MySQL.[56]

Google Colaboratory is a cloud service based on Jupyter Notebooks for disseminating machine learning education and research. It provides a runtime fully configured for deep learning and free-of-charge access to a robust GPU.[58]

1.3 Système de Gestion de Base de Données

MySQL est un système de gestion de base de données relationnelle (SGBDR) open source, largement utilisé dans le développement d'applications web. Dans notre projet, MySQL assure le stockage persistant de toutes les données de la plateforme : vendeurs, acheteurs, produits, images, panier et commandes, organisées en six tables interconnectées par des clés étrangères. La gestion et l'administration de la base de données sont effectuées via l'interface graphique phpMyAdmin, intégrée dans l'environnement XAMPP. [55]

1.4 Bibliothèques et Extensions PHP

`password_hash()` et `password_verify()` constituent un mécanisme complet pour la sécurisation des mots de passe dans les applications web. La fonction `password_hash()` génère un hachage sécurisé à sens unique en utilisant par défaut l'algorithme Bcrypt, tandis que `password_verify()` permet de comparer un mot de passe en clair avec son hachage stocké en base de données, sans nécessiter de stockage séparé du sel (salt)[59]

L'extension session de PHP permet de maintenir l'état de l'utilisateur entre les différentes pages d'une application web à travers la superglobale SESSION. La gestion des sessions est un mécanisme fondamental dans les applications web, permettant d'identifier et d'authentifier les utilisateurs tout au long de leur interaction avec le système. (IEEE Xplore) Dans notre application, deux espaces de session indépendants ont été mis en place : `SESSION['seller_id']` pour les vendeurs et `SESSION['buyer_id']` pour les acheteurs, afin d'isoler les contextes d'authentification et de renforcer la sécurité de la plateforme. [60]

`json_encode()` : JSON (JavaScript Object Notation) est une technologie légère d'échange de données, caractérisée par une analyse rapide, une faible redondance et une haute efficacité d'échange (IEEE Xplore) , ce qui en fait le format privilégié pour les requêtes asynchrones dans les applications web. La fonction native PHP `json_encode()` sérialise les résultats de recherche au format JSON afin de les transmettre au client sans rechargement de page. [61]

`move_uploaded_file()` : La gestion des fichiers uploadés est une fonctionnalité critique dans les applications web. Après validation, l'application web peut stocker définitivement le fichier en le déplaçant depuis son emplacement temporaire vers un emplacement permanent, en

utilisant la fonction `move_uploaded_file()`. [62]

1.5 APIs et Bibliothèques JavaScript

L'API Fetch est utilisée pour toutes les requêtes HTTP asynchrones : recherche en temps réel (`search.php`), ajout au panier (`add-to-cart.php`) et appel du microservice d'essayage virtuel (`/tryon`). [63]

L'API MediaDevices permet d'accéder à la caméra de l'appareil de l'utilisateur pour capturer sa photo dans la page `tryon.php`. [64]

L'API Canvas capture une image fixe depuis le flux vidéo de la caméra et l'encode en base64 pour l'envoi au microservice. [65]

L'API DataTransfer permet l'accumulation de plusieurs fichiers images sélectionnés pour l'upload multi-images des produits. [66]

Font Awesome 6.5 fournit les icônes vectorielles utilisées dans l'interface (panier, profil, recherche, boutique), chargée via CDN.

Google Fonts (Poppins) est la typographie principale de l'interface utilisateur, également chargée via CDN.

1.6 Bibliothèques Python (Microservice IA)

Flask est un micro-framework Python idéal pour la création de microservices fournissant des APIs RESTful, grâce à sa légèreté et sa flexibilité. Il est utilisé dans notre projet pour exposer le microservice d'intelligence artificielle via l'endpoint `/tryon`. [67]

Flask est utilisé avec l'extension `flask-cors` pour autoriser les requêtes cross-origin (CORS) depuis le front-end, une pratique standard dans les architectures microservices. [67]

PyTorch est une bibliothèque de machine learning qui adopte un style de programmation impératif et pythonique, facilitant le débogage et restant compatible avec les autres bibliothèques de calcul scientifique, tout en supportant les accélérateurs matériels tels que les GPUs. (arXiv) Il est utilisé dans notre projet pour exécuter le modèle CLIP sur Google Colab. [68]

La bibliothèque Transformers de HuggingFace regroupe des modèles pré-entraînés de pointe sous une API unifiée, conçue pour être extensible par les chercheurs, simple pour les praticiens, et robuste pour les déploiements industriels. Elle fournit les classes CLIPModel et CLIPProcessor utilisées pour la détection automatique du type de vêtement. [69]

Pillow fournit des résultats cohérents et anti-aliasés pour les opérations de redimensionnement d'images, ce qui en fait une référence standard dans le traitement d'images en Python. Elle est utilisée pour le redimensionnement des images à 768×1024 pixels, la conversion de format et la création d'images composites sur fond blanc. [70]

Les bibliothèques **pyngrok**, **requests**, **base64** et **io** sont des utilitaires Python standards utilisés respectivement pour l'exposition du serveur via tunnel HTTPS, le téléchargement d'images depuis des URLs distantes, et la manipulation des données binaires en mémoire. Ces modules font partie de l'écosystème Python standard ou sont des bibliothèques tierces largement adoptées dans la communauté. [68]

1.7 Services Externes

API Replicate : L'API Replicate est la plateforme cloud utilisée pour héberger et exécuter le modèle IDM-VTON (identifiant : cuuupid/idm-vton) sur GPU, sans nécessiter d'infrastructure locale coûteuse[71].

IDM-VTON est un modèle d'essayage virtuel basé sur la diffusion, qui génère une image d'une personne portant un vêtement sélectionné, à partir d'une paire d'images représentant respectivement la personne et le vêtement. Le modèle utilise deux modules distincts pour encoder les sémantiques du vêtement : les sémantiques de haut niveau extraites par un encodeur visuel sont fusionnées dans la couche de cross-attention, tandis que les caractéristiques de bas niveau extraites par un UNet parallèle sont fusionnées dans la couche de self-attention, ce qui permet de préserver fidèlement les détails du vêtement tout en générant des images d'essayage authentiques. [71]

Service ngrok : Le service ngrok crée un tunnel sécurisé entre le microservice Flask exécuté sur Google Colab et Internet, en attribuant une URL publique HTTPS accessible depuis n'importe quel appareil, sans nécessiter de configuration réseau complexe. [72]

2.Implémentation côté Vendeur

2.1 Inscription et Connexion

L'espace vendeur dispose d'un système d'authentification indépendant de celui des acheteurs. Lors de l'inscription, le mot de passe est sécurisé via `password_hash()` avant stockage en base de données. La connexion vérifie les identifiants avec `password_verify()` et initialise la session `SESSION['seller_id']`. Chaque page de l'espace vendeur vérifie la présence de cette session ; en son absence, l'utilisateur est redirigé vers la page de connexion.

2.1.1 Captures d'écran de l'interfaces

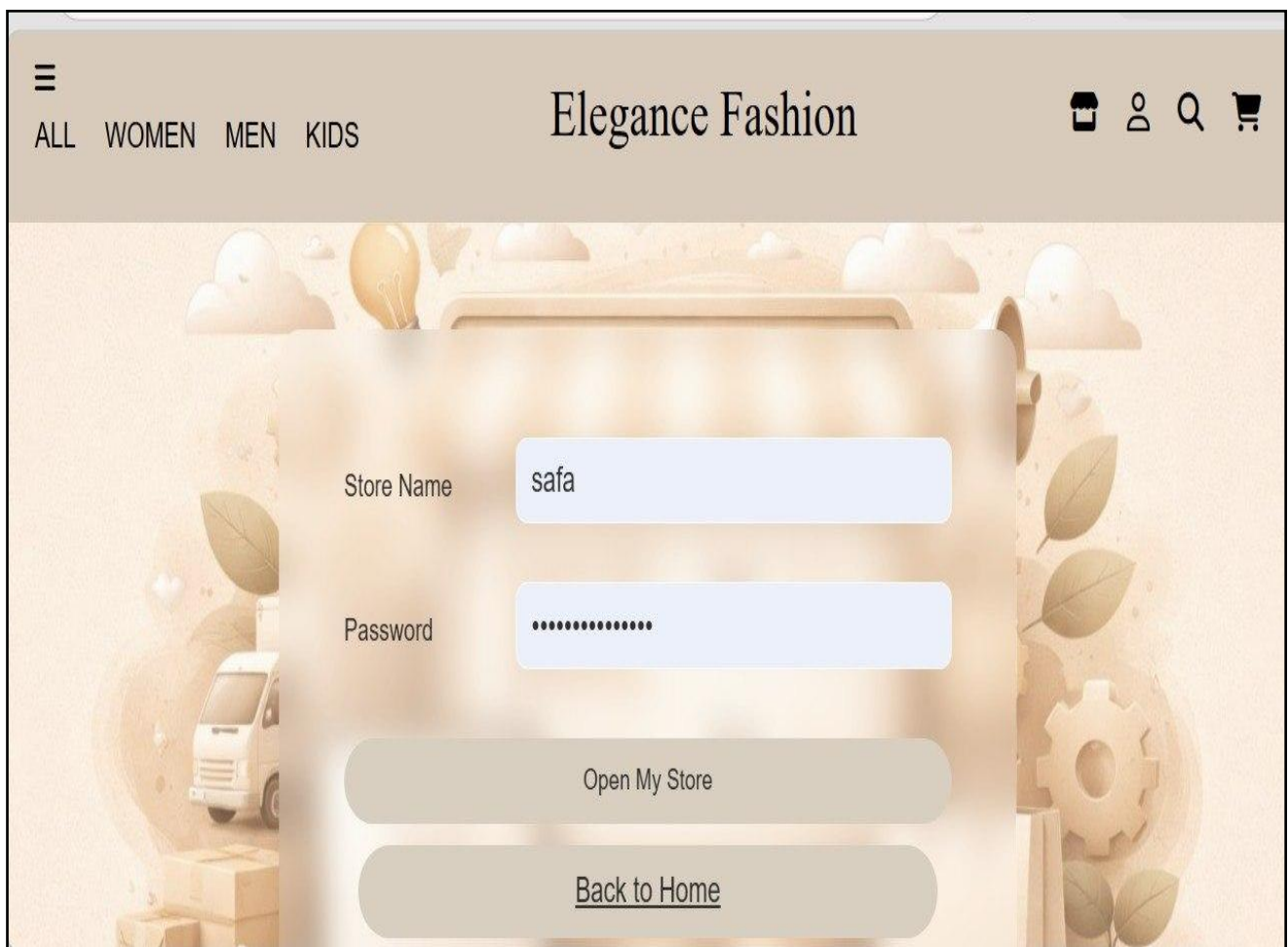


Figure 4.1 : page de connexion du vendeur

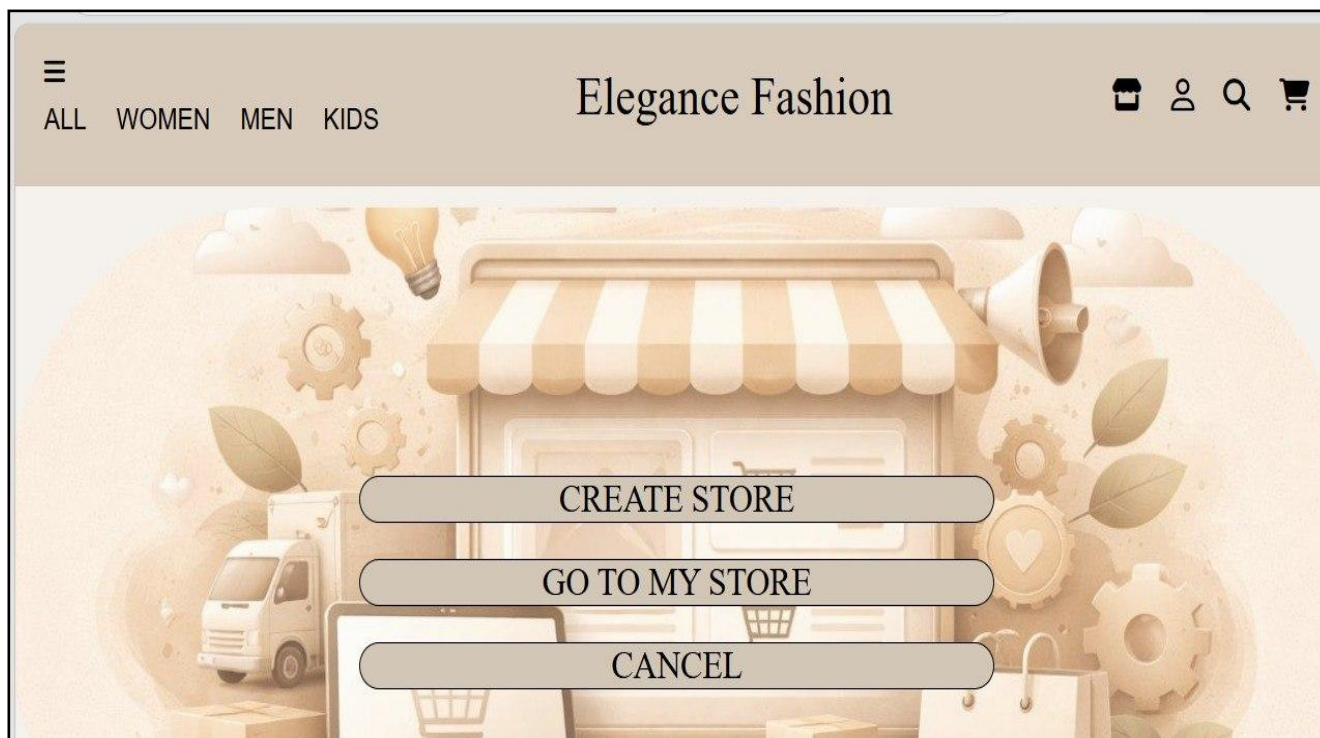


Figure 4.2 : page de sélection –créer une boutique accéder à ma boutique ou retour

The image shows a form titled "Create your store" in a large, bold, black font. Below the title is a light-brown rounded rectangle containing six input fields. Each field is preceded by a label: "Store Name", "Owner Name", "Email Address", "Phone Number", "Password", and "Confirm Password". The input fields are white with rounded ends. The background of the form area features a faint, circular illustration similar to the one in Figure 4.2.

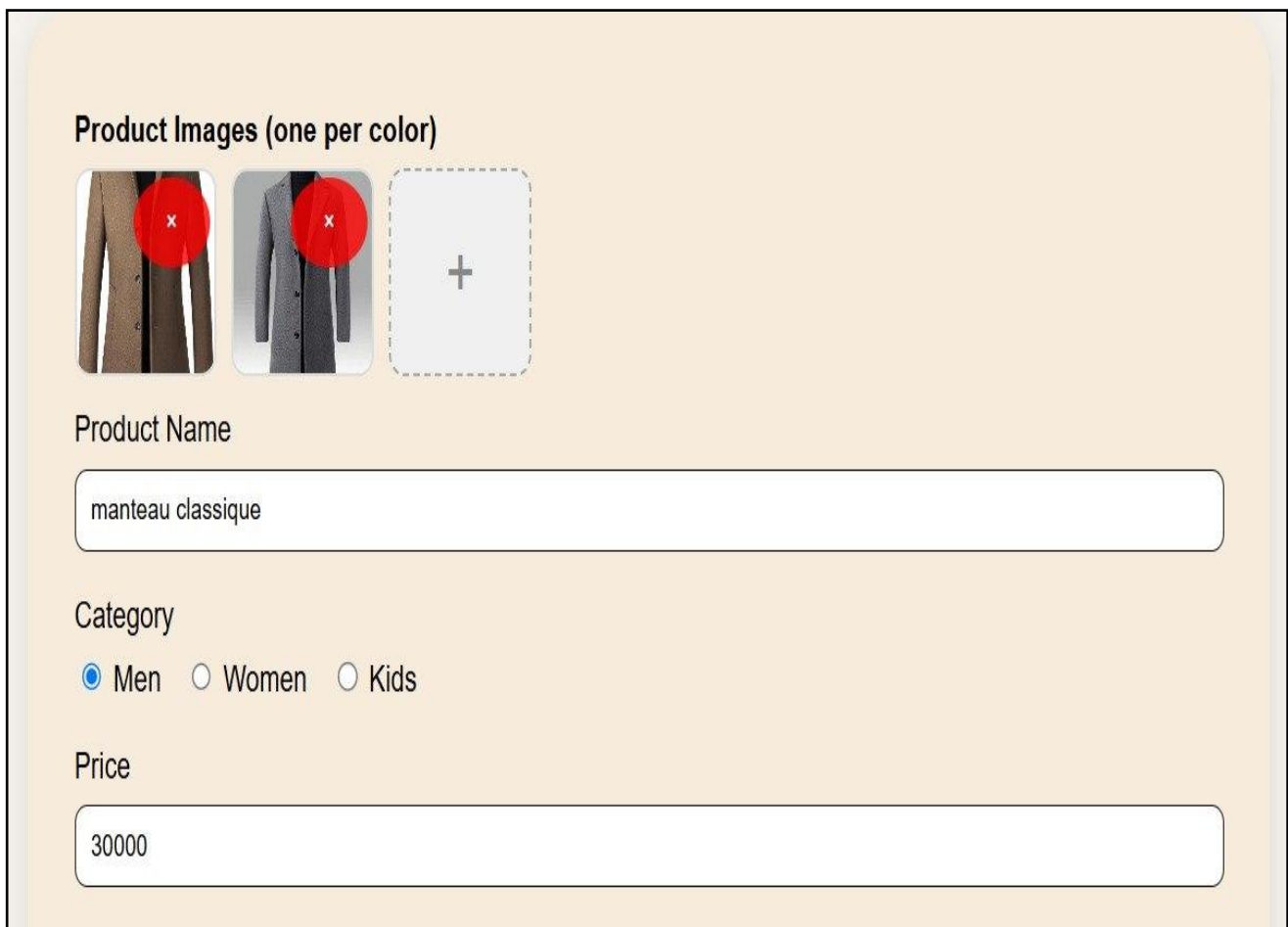
Figure 4.3 : page de création de boutique

2.2 Ajout de Produit Multi-Images

Le formulaire d'ajout permet de sélectionner plusieurs images simultanément grâce à l'API DataTransfer. Les images sont transférées sur le serveur via "move_uploaded_file()" et leurs chemins sont enregistrés dans la table "product_images", séparément de la table "products". Cette architecture relationnelle permet d'associer un nombre illimité d'images à chaque produit tout en maintenant l'intégrité des données.

Le vendeur peut également appliquer une offre promotionnelle sur un produit en définissant un pourcentage de réduction. Le système calcule automatiquement le prix remis à partir du prix initial et affiche l'offre spéciale dans le catalogue afin d'attirer davantage les acheteurs.

2.2.1 Captures d'écran de l'interfaces



The screenshot displays a product upload interface with a light beige background. At the top, the text "Product Images (one per color)" is followed by two image thumbnails of a coat, each with a red 'X' indicating a failed upload, and a dashed box with a plus sign for adding more images. Below this, the "Product Name" field contains the text "manteau classique". The "Category" section features three radio buttons: "Men" (selected), "Women", and "Kids". The "Price" field contains the value "30000".

Figure 4.4: upload multi-images d'un produit

Figure 4.5 shows a form for creating a promotional offer. It has a 'Description' field, a 'Special Offer' section with a checked checkbox 'Activate special offerdisplay' and a price input field set to '2500', and an 'Add' button at the bottom.

Figure 4.5 : creation d'une offer promotionnelle sur un produit

Figure 4.6 shows a form for modifying a product. It has a 'Description' field containing 'Beau et confortable', a 'Special Offer' section with an unchecked checkbox 'Activate special offerdisplay', and an 'Update' button at the bottom.

Figure 4.6 : modification d'un produit

2.3 Tableau de Bord

Le tableau de bord offre une vue synthétique de l'activité du vendeur. Les indicateurs clés (produits, commandes, chiffre d'affaires, clients) sont calculés dynamiquement via des requêtes SQL agrégées (COUNT, SUM) filtrées par seller_id.

2. 3.1 Captures d'écran de l'interfaces

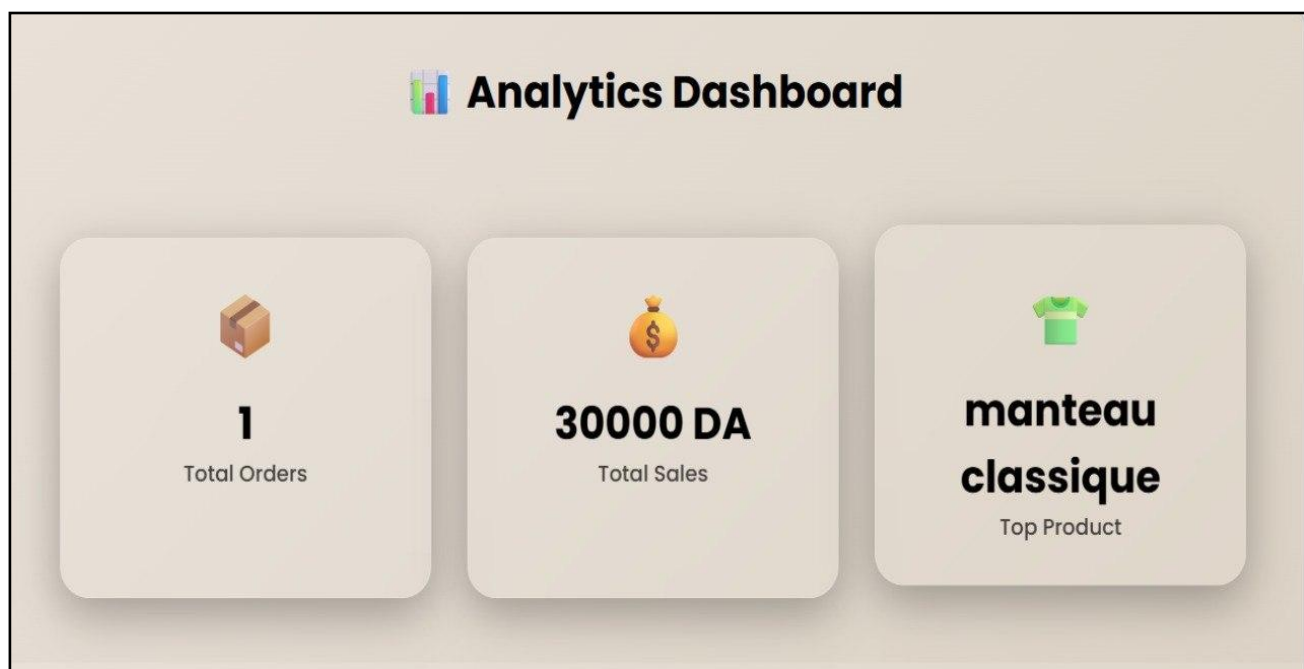


Figure 4.7 : tableau de bord-statistiques

2.4 Gestion des Commandes

La page des commandes affiche les achats effectués sur les produits du vendeur avec leur statut (en attente, livrée). Le vendeur peut mettre à jour le statut via une requête asynchrone (Fetch API) sans rechargement de page.

2.4.1 Captures d'écran de l'interfaces

My Orders										
costomer	Product	Price	Phone	Wilaya	Commune	Size	Color	Date	Status	Action
safa rehim	manteau classique	30000 DA	0770980210	SKIKDA	AWLAD ATTIA	XL		2026-06-12 15:29:16	pending	

Figure 4.8 : liste des commandes

2.5 Gestion des Clients

La page clients liste les acheteurs ayant passé au moins une commande auprès du vendeur, avec agrégation du nombre de commandes et du montant total par client via une jointure entre les tables orders et buyers.

2.5.1 Captures d'écran de l'interfaces

 Customers					
Name	Phone	Orders	Total Spent	Last Order	Action
safa rehim	0770980210	1	30,000.00 DA	2026-06-12 15:29:16	View Orders

Figure 4.9 : liste des acheteurs ayant commandé auprès du vendeur

← Back

Orders for: 0770980210

Product	Price	Size	Color	Status	Date
manteau classique	30,000.00 DA	L		pending	2026-06-12 15:42:48
manteau classique	30,000.00 DA	XL		pending	2026-06-12 15:29:16

Figure 4.10 :page d'historique des commandes de l'acheteur

3. Implémentation côté Acheteur

3.1 Inscription et Connexion

L'espace acheteur dispose d'un système d'authentification indépendant de celui des vendeurs. L'utilisateur peut se connecter à son compte en utilisant soit son adresse e-mail, soit son numéro de téléphone. Lors de l'inscription, le mot de passe est sécurisé grâce à la fonction `password_hash()`, puis vérifié lors de la connexion à l'aide de `password_verify()`. Après une authentification réussie, une session spécifique à l'acheteur est créée via `SESSION['buyer_id']`, garantissant une séparation complète avec la session vendeur `SESSION['seller_id']`.

Login

Email or Phone

Password

Login

Don't have an account? [Register](#)

Figure 4.11 : page de connexion (login)

3.2 Catalogue et Recherche en Temps Réel

La page catalogue affiche l'ensemble des produits disponibles avec leurs images, prix et tailles. Les produits sont organisés en différentes catégories afin de faciliter la navigation, notamment les vêtements pour hommes, femmes et enfants. Une recherche en temps réel est implémentée via l'API Fetch qui envoie des requêtes asynchrones vers "search.php" à chaque saisie de l'utilisateur. Les résultats sont retournés au format JSON grâce à "json_encode()" et affichés instantanément sans rechargement de la page.



Figure 4.12 : page d'accueil

3.3 Panier et Commande

L'acheteur peut ajouter des produits au panier via des requêtes asynchrones vers add-to-cart.php. Le panier est persisté en base de données et lié à SESSION['buyer_id']. Lors de la validation de la commande, une entrée est créée dans la table orders avec le statut initial en attente, et le panier est vidé.

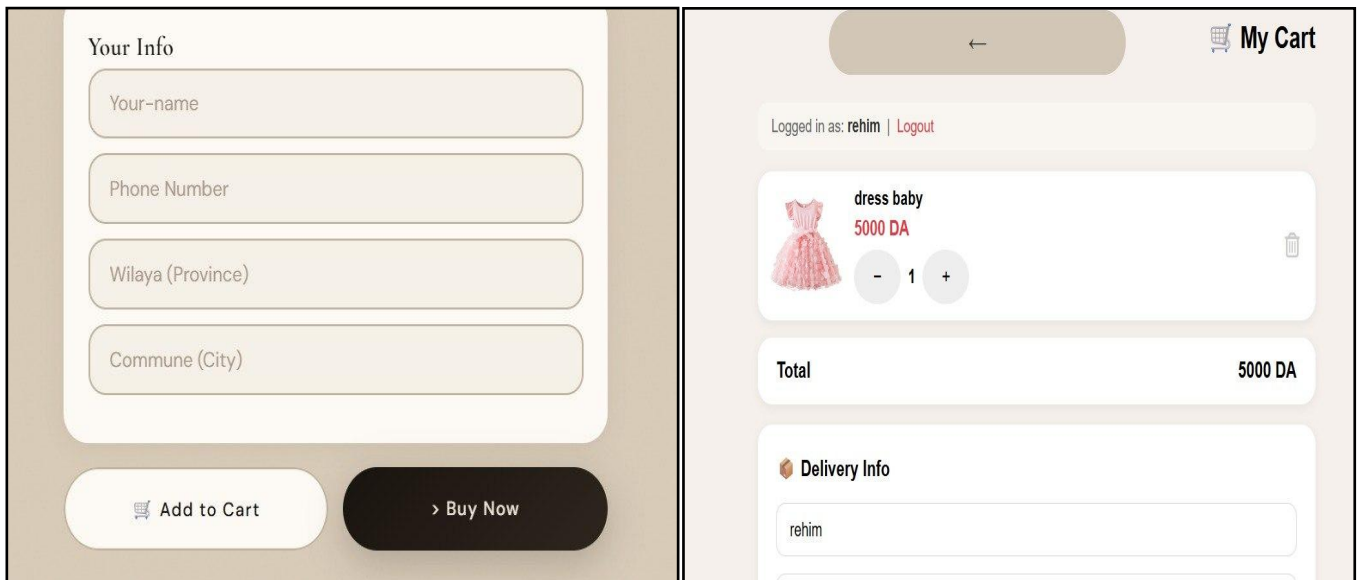


Figure 4.13 : Page panier(cart)

3.4 Profil et Historique des Commandes

La page profil permet à l'acheteur de consulter ses informations personnelles et son historique de commandes. Les commandes sont récupérées via une requête SQL filtrée par buyer_id, avec jointure sur les tables products et sellers pour afficher les détails de chaque achat.



Figure 4.14 :Page profile et historique des commandes

4.L'implémentation de l'Essayage Virtuel

La fonctionnalité d'essayage virtuel constitue le cœur du projet. Elle repose sur une architecture en trois couches : le front-end (tryon.php), le microservice Python (Flask), et le modèle IDM-VTON hébergé sur Replicate.

4.1 Capture de la photo utilisateur

L'API MediaDevices accède à la caméra de l'utilisateur pour afficher un flux vidéo en temps réel. L'API Canvas capture ensuite une image fixe et l'encode en base64 pour l'envoi. L'API MediaDevices accède à la caméra de l'utilisateur pour afficher un flux vidéo en temps réel. L'API Canvas capture ensuite une image fixe et l'encode en base64 pour l'envoi.

4.2 Détection Automatique du Type de Vêtement (CLIP)

La fonction `detect_clothing_type()` utilise le modèle CLIP (Contrastive Language-Image Pre-training) de OpenAI pour identifier automatiquement le type du vêtement sélectionné par l'acheteur, sans intervention manuelle. Cette détection est nécessaire car le modèle IDM-VTON requiert une description textuelle du vêtement en entrée.

```
from transformers import CLIPProcessor, CLIPModel

model = CLIPModel.from_pretrained("openai/clip-vit-base-patch32")
processor = CLIPProcessor.from_pretrained("openai/clip-vit-base-patch32")

labels = [
    "a t-shirt, shirt, blouse, sweater, hoodie, jacket, coat",
    "pants, jeans, trousers, shorts, skirt, leggings",
    "a dress, gown, jumpsuit, romper, overalls, abaya, robe, kaftan"
]

inputs = processor(
    text=labels,
    images=img,
    return_tensors="pt",
    padding=True
)

with torch.no_grad():
    outputs = model(**inputs)
    probs = outputs.logits_per_image.softmax(dim=1)

idx = probs.argmax().item()

categories = ["upper_body", "lower_body", "full_body"]
category = categories[idx]
```

Code 4.1 : Détection automatique du type de vêtement à l'aide du modèle CLIP

4.3 MicroserviceFlask-AppelIDM-VTON

Ce fragment de code permet au microservice Flask d'invoquer le modèle IDM-VTON hébergé sur la plateforme Replicate. Les images de la personne et du vêtement sont transmises comme entrées du modèle, accompagnées de plusieurs paramètres de génération tels que le nombre d'étapes de débruitage (`denoise_steps`) et la catégorie du vêtement détectée. Le modèle traite ces données afin de générer une image réaliste représentant la personne portant virtuellement le vêtement sélectionné.

```
output = replicate.run(
    "cuuupid/idm-
vton:c871bb9b046607b680449ecbae55fd8c6d945e0a1948644bf2361b3d021d3ff4",
    input={
        "human_img": open("/content/person.png", "rb"),
        "garm_img": open("/content/garment.png", "rb"),
        "garment_des": "clothing",
        "is_checked": True,
        "is_checked_crop": True,
        "denoise_steps": 50,
        "seed": 42,
        "category": replicate_category
    }
)
```

Code 4.2 : Appel du modèle IDM-VTON depuis le microservice Flask

4.4 Envoi au microservice et affichage du résultat

L'image capturée et l'image du vêtement sont envoyées via Fetch API au microservice Flask, qui retourne l'image générée par IDM-VTON.

```
@app.route("/tryon", methods=["POST"])
def tryon_endpoint():
    try:
        data = request.json

        size = data.get("size", "M")

        result_b64, category = tryon(
            data["person_image"],
            data["garment_image"],
            size
        )

        return jsonify({
            "status": "success",
            "result": result_b64,
            "category": category
        })

    except Exception as e:
        return jsonify({
            "status": "error",
            "message": str(e)
        })
```

Code 4.3 : Réception des données et retour du résultat au format JSON

4.5 Interface d'Essayage Virtuel(tryon.php)

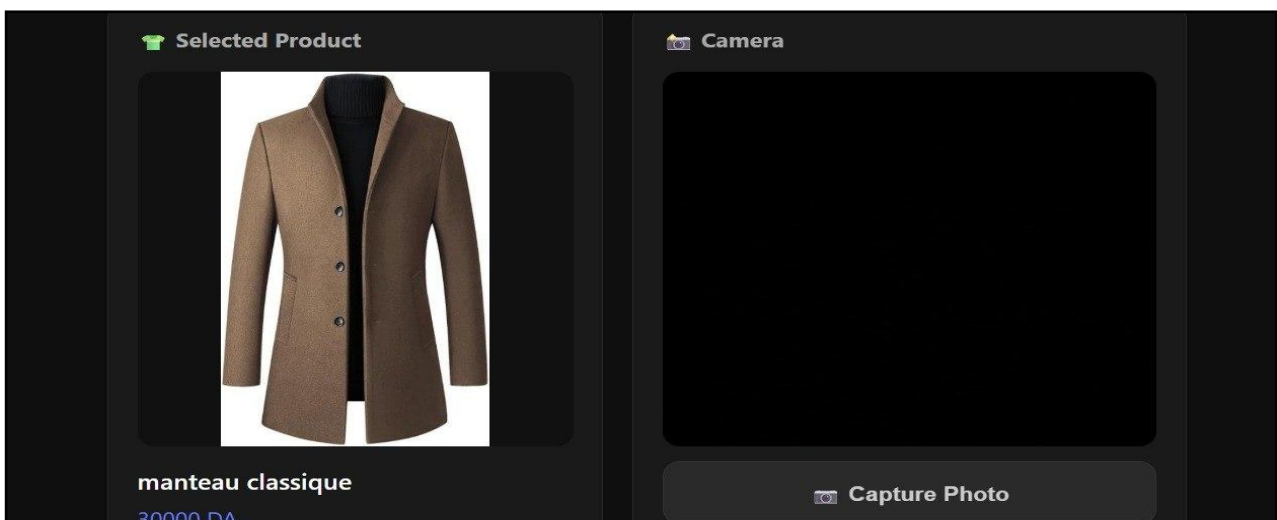


Figure 4.15: activation de la camera et capture de la photo utilisateur

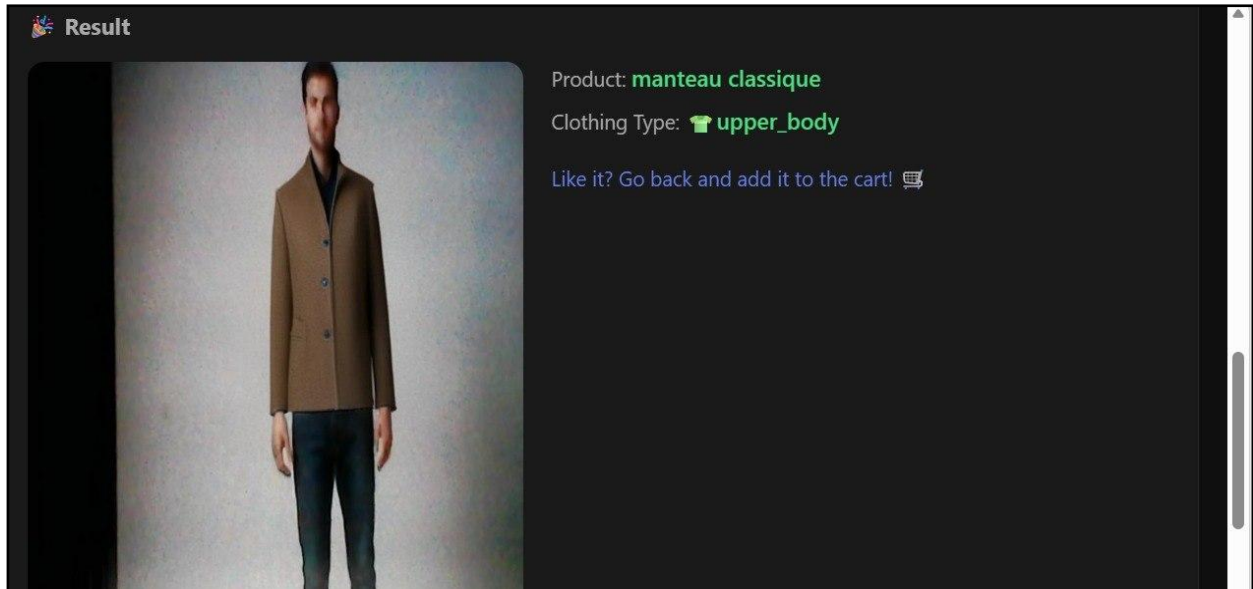


Figure 4.16 :interface d'essayage virtuel

5. Résultats et Discussion

5.1 Résultats de l'Essayage Virtuel

Les tests effectués sur la fonctionnalité d'essayage virtuel montrent que le modèle IDM-VTON est capable de générer des images réalistes représentant l'utilisateur portant le vêtement sélectionné, en préservant les détails visuels du vêtement (couleur, texture, motifs). Les résultats sont satisfaisants pour les vêtements du haut (t-shirts, vestes, robes), avec une bonne cohérence entre la posture de l'utilisateur et le rendu du vêtement.

5.1.1 captures d'ecran des Résultats Générés

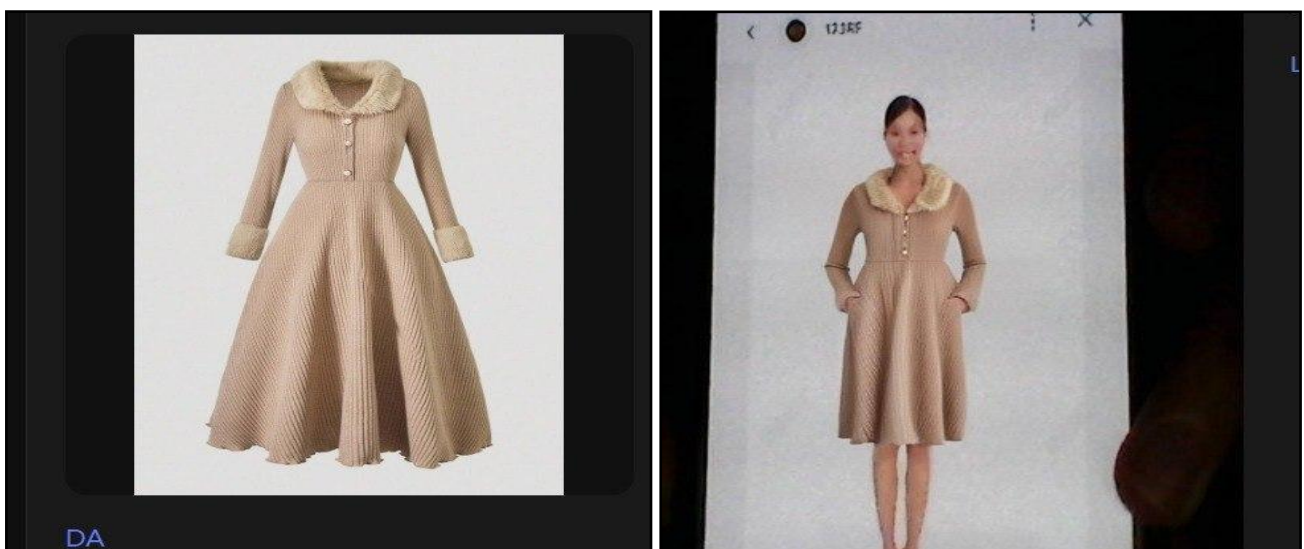


Figure 4.17 : Comparaison avant/après l'essayage virtuel



Figure 4.18 : Comparaison avant/après l'essayage virtuel



Figure 4.19 : Comparaison avant/après l'essayage virtuel

5.2 Discussion et Limites

Temps de réponse :

L'utilisation de l'API Replicate introduit une latence moyenne de 20 à 40 secondes par génération, due au temps de chargement du modèle sur l'infrastructure cloud. Cette latence est acceptable dans un contexte de démonstration, mais constitue une limite pour un déploiement en production.

Qualité des images générées :

La qualité du résultat dépend fortement de la qualité de la photo capturée par l'utilisateur (luminosité, angle, arrière-plan). Des photos prises dans de mauvaises conditions d'éclairage produisent des résultats moins fidèles. Par ailleurs, les performances du modèle IDM-VTON varient selon le type de vêtement : les vêtements du haut (t-shirts, tricot), les pantalons et les tenues d'hiver produisent des résultats satisfaisants grâce à leur structure rigide et leurs formes bien définies. En revanche, les vêtements d'été (robes légères, tenues fluides et amples) donnent des résultats moins précis, en raison de la complexité de leurs formes variables et de leur manque de structure, ce qui constitue une limite connue des modèles d'essayage virtuel basés sur la diffusion.

Conclusion

Ce chapitre a présenté l'implémentation complète de l'application, en détaillant les deux espaces principaux : l'espace vendeur couvrant l'authentification, la gestion des produits multi-images, le tableau de bord, les commandes et les clients, et l'espace acheteur intégrant la recherche en temps réel, le panier et la fonctionnalité d'essayage virtuel basée sur le modèle IDM-VTON. Les résultats obtenus confirment la faisabilité technique du projet et la cohérence de l'architecture adoptée.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce projet avait pour objectif de concevoir et développer une plateforme e-commerce de vêtements intégrant une fonctionnalité d'essayage virtuel basée sur l'intelligence artificielle, répondant ainsi à une problématique réelle rencontrée par les acheteurs en ligne : l'impossibilité d'essayer les vêtements avant l'achat.

L'application développée a abouti à un système fonctionnel et complet, offrant un espace vendeur pour la gestion des produits, des commandes et des clients, et un espace acheteur intégrant la recherche en temps réel, la gestion du panier et l'essayage virtuel via le modèle IDM-VTON. Les tests effectués ont démontré que le modèle produit des résultats satisfaisants pour les pantalons, les tricotés et les vêtements d'hiver, confirmant ainsi la faisabilité de l'intégration de l'intelligence artificielle dans une application web accessible au grand public.

Ce travail ouvre plusieurs perspectives d'amélioration, notamment la réduction du temps de réponse du modèle, l'amélioration de la précision pour les vêtements d'été, et l'ajout d'une fonctionnalité de sauvegarde des résultats générés. Ces améliorations contribueraient à rapprocher l'application d'un déploiement en production à grande échelle, et pourraient constituer le point de départ d'un projet commercial à part entière.

Perspectives d'Amélioration

Réduire le temps de réponse en adoptant un GPU dédié en production à la place de l'infrastructure cloud partagée actuelle.

Améliorer la précision du modèle pour les vêtements du bas (pantalons, jupes, shorts) et les tenues d'été (robes légères, vêtements fluides), qui produisent actuellement des résultats moins fidèles comparés aux vêtements du haut.

Mettre en place un système de cache pour les essayages déjà générés afin d'éviter de relancer le modèle pour les mêmes combinaisons utilisateur/vêtement.

Une perspective d'amélioration majeure serait de faire évoluer la fonctionnalité d'essayage virtuel vers une approche basée sur la réalité augmentée (RA), permettant à l'utilisateur de visualiser les vêtements superposés en temps réel sur son corps en trois dimensions (3D) via la caméra, sans nécessiter de capture de photo fixe. Cette évolution, rendue possible par des technologies telles qu'ARKit (Apple) ou ARCore (Google), offrirait une expérience plus fluide, interactive et réaliste, où l'utilisateur pourrait voir les vêtements se déplacer avec lui et s'adapter naturellement à ses mouvements, réduisant ainsi la latence actuellement observée avec le modèle IDM-VTON.

Références bibliographiques

- [1] K. C. Laudon and C. G. Traver, E-Commerce 2021–2022: Business, Technology, Society, 17th ed., Pearson, 2021.
- [2] E. Turban, J. Outland, D. King, J. K. Lee, T.-P. Liang and D. C. Turban, Electronic Commerce 2018: A Managerial and Social Networks Perspective, 9th ed., Springer, 2018.
- [3] Organisation mondiale du commerce (OMC), « Le commerce électronique », Programme de travail sur le commerce électronique, Genève, 2020. [En ligne]. Disponible : https://www.wto.org/french/tratop_f/ecom_f/ecom_f.htm
- [4] A. Manzoor, E-Commerce: An Introduction, Lambert Academic Publishing, 2010.
- [5] G. Schneider, Electronic Commerce, 12th ed., Cengage Learning, 2017.
- [6] B. Stone, The Everything Store: Jeff Bezos and the Age of Amazon, Little, Brown and Company, 2013.
- [7] I. Lee, « Electronic Commerce Research and Applications: Past, Present, and Future », Electronic Commerce Research and Applications, vol. 46, article 101027, 2021.
- [8] Statista, « E-commerce worldwide – Statistics & Facts », Statista Research Department, 2023. [En ligne]. Disponible : <https://www.statista.com/topics/871/online-shopping/>
- [9] P. A. Rauschnabel, R. Felix and C. Hinsch, « Augmented reality marketing: How mobile AR apps can improve brands through inspiration », Journal of Retailing and Consumer Services, vol. 49, pp. 43–53, 2019.
- [10] D. Chaffey, Digital Business and E-Commerce Management, 7th ed., Pearson, 2019.
- [11] R. T. Watson, P. Berthon, L. F. Pitt and G. M. Zinkhan, Electronic Commerce: The Strategic Perspective, Global Text Project, 2008.

- [12] V. Zwass, « Electronic Commerce and Organizational Innovation: Aspects and Opportunities », *International Journal of Electronic Commerce*, vol. 7, no. 3, pp. 7–37, 2003.
- [13] Narvar, « Making Returns a Competitive Advantage », *Narvar Consumer Report*, 2022.
[En ligne]. Disponible : <https://corp.narvar.com/resources/>
- [14] Cybersource, « Global Fraud Report 2023 », Visa Inc., 2023.
- [15] CNUCED, « Rapport sur l'économie numérique », *Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement*, Genève, 2021.
- [16] McKinsey & Company, « The State of AI in 2023: Generative AI's Breakout Year », *McKinsey Global Survey*, 2023.
- [17] S. Nakamoto et al., « Blockchain Technology in E-Commerce: A Systematic Review », *Journal of Business Research*, vol. 131, pp. 474–488, 2021.
- [18] M. Blázquez, « Fashion Shopping in Multichannel Retail: The Role of Technology in Enhancing the Customer Experience », *International Journal of Electronic Commerce*, vol. 18, no. 4, pp. 97–116, 2014.
- [19] Accenture, « Why Shopping's Set for a Social Revolution », *Accenture Research Report*, 2023.
- [20] R. T. Azuma, « A Survey of Augmented Reality », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, 1997.
- [21] P. Milgram and F. Kishino, « A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays », *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E77-D, no. 12, pp. 1321–1329, 1994.
- [22] A. B. Craig, *Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications*, Morgan Kaufmann, 2013.
- [23] G. C. Burdea and P. Coiffet, *Virtual Reality Technology*, 2nd ed., John Wiley & Sons, 2003.

- [24] J. Steuer, « Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence », *Journal of Communication*, vol. 42, no. 4, pp. 73–93, 1992.
- [25] J. Jerald, *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*, ACM Books, Morgan & Claypool, 2016.
- [26] Microsoft, « Microsoft HoloLens — Mixed Reality Technology for Business », Microsoft Corporation, 2023. [En ligne]. Disponible : <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>
- [27] I. E. Sutherland, « The Ultimate Display », *Proceedings of the IFIP Congress*, pp. 506–508, 1965.
- [28] J. Carmigniani et al., « Augmented Reality Technologies, Systems and Applications », *Multimedia Tools and Applications*, vol. 51, no. 1, pp. 341–377, 2011.
- [29] D. W. F. van Krevelen and R. Poelman, « A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations », *International Journal of Virtual Reality*, vol. 9, no. 2, pp. 1–20, 2010.
- [30] T. Althoff, R. W. White and E. Horvitz, « Influence of Pokémon Go on Physical Activity », *Journal of Medical Internet Research*, vol. 18, no. 12, article e315, 2016.
- [31] Apple Inc., « ARKit — Augmented Reality », 2023. [En ligne]. Disponible : <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>
- [32] IKEA, « IKEA Place App — Augmented Reality Furniture », 2023. [En ligne]. Disponible : <https://www.ikea.com>
- [33] Grand View Research, « Augmented Reality Market Size, Share & Trends Analysis Report », 2024.
- [34] Y. K. Dwivedi et al., « Metaverse beyond the hype », *International Journal of Information Management*, vol. 66, article 102542, 2022.

- [35] S. Yuan and C. Tao, « Development of Virtual Fitting System Based on Augmented Reality Technology », *Procedia Computer Science*, vol. 174, pp. 508–514, 2020.
- [36] Sephora, « Sephora Virtual Artist — Try On Makeup Virtually », 2023. [En ligne]. Disponible : <https://www.sephora.com/beauty/virtual-artist>
- [37] Nike Inc., « Nike Fit — Find Your Perfect Shoe Size with AR », 2023. [En ligne]. Disponible : <https://www.nike.com/nike-fit>
- [48] T. Hilken et al., « Augmenting the eye of the beholder », *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 45, no. 6, pp. 884–905, 2017.
- [49] Shopify, « The Future of Commerce », 2022. [En ligne]. Disponible : <https://www.shopify.com/research>
- [40] Threakit, « The State of 3D and AR in E-Commerce », 2023.
- [41] Vertebrae, « The Impact of AR on E-Commerce Returns », 2022.
- [42] A. Javornik, « Augmented Reality », *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 30, pp. 252–261, 2016.
- [43] Zara, « Zara AR Experience », 2018. [En ligne]. Disponible : <https://www.zara.com>
- [44] R. Scholz and A. N. Smith, « Augmented Reality », *Business Horizons*, vol. 59, no. 2, pp. 149–161, 2016.
- [45] Gartner, « Top Strategic Technology Trends », 2024. [En ligne]. Disponible : <https://www.gartner.com>.
- [46] Y. Choi, S. Kwak, K. Lee, H. Choi and J. Shin, "Improving Diffusion Models for Authentic Virtual Try-on in the Wild," in *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 2024.

- [47] M. Fowler, UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language, 3rd ed., Addison-Wesley, 2003.
- [48] A. Radford et al., "Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision," OpenAI, 2021.
- [49] MDN Web Docs, "HTML: HyperText Markup Language," Mozilla Developer Network. Available: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML>. Accessed: Jun. 11, 2026.
- [50] MDN Web Docs, "CSS: Cascading Style Sheets," Mozilla Developer Network. Available: <https://developer.mozilla.org/fr/docs/Web/CSS>. Accessed: Jun. 11, 2026.
- [51] PHP Documentation, "What is PHP?," Available: <https://www.php.net/manual/en/intro-whatis.php>. Accessed: Jun. 11, 2026.
- [52] MDN Web Docs, "JavaScript," Mozilla Developer Network. Available: <https://developer.mozilla.org/fr/docs/Web/JavaScript>. Accessed: Jun. 11, 2026.
- [53] Python Software Foundation, "The Python Tutorial," Available: <https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>. Accessed: Jun. 11, 2026.
- [54] Apache Friends, "XAMPP," Available: <https://www.apachefriends.org/>. Accessed: Jun. 11, 2026.
- [55] Oracle Corporation, "MySQL Documentation," Available: <https://dev.mysql.com/doc/>. Accessed: Jun. 11, 2026.
- [56] phpMyAdmin Team, "phpMyAdmin," Available: <https://www.phpmyadmin.net/>. Accessed: Jun. 11, 2026.
- [57] X. Feng et al., "Visual Studio Code in Introductory Computer Science Course: An Experience Report," arXiv preprint arXiv:2303.10174, 2023.

- [58] T. Carneiro, A. Nepomuceno Da Silva, L. Gomes, A. De Souza, and H. Nobrega, "Performance Analysis of Google Colaboratory as a Tool for Accelerating Deep Learning Applications," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 61677–61685, 2018.
- [59] R. Manoharan et al., "Secure Hashing Using BCrypt for Cryptographic Applications," in *Proc. IEEE Conference on Cybersecurity*, 2023, doi: 10.1109/10126956.
- [60] Z. Chenguang et al., "Session Management Vulnerabilities in Today's Web," *IEEE Internet Computing*, vol. 14, no. 5, pp. 54–59, 2010, doi: 10.1109/MIC.2010.84.
- [61] Y. Wang et al., "Research and Application of Data Exchange Based on JSON," in *Proc. IEEE Conference on Computer Science*, 2020, doi: 10.1109/9115155.
- [62] T. Krügel et al., "Bringing UFUs Back into the Air With FUEL: A Framework for Evaluating the Effectiveness of Unrestricted File Upload Vulnerability Scanners," *arXiv preprint*, 2024.
- [63] J. Chaplia et al., "Using Asynchronous Frameworks and Database Connection Pools to Enhance Web Application Performance in High-Concurrency Environments," in *Proc. IEEE Conference*, 2024, doi: 10.1109/10714639.
- [64] A. Gouaillard, "A Generic Web Component for WebRTC Pub-Sub," *arXiv preprint*, 2026.
- [65] N. M. Edan et al., "Design and Implement a New Mechanism for Audio, Video and Screen Recording Based on WebRTC Technology," in *Proc. IEEE CIC Conference*, 2017.
- [66] Y. Zhang and H. Wang, "Research on File Upload Based on HTML5," in *Proc. IEEE International Conference on Computer Science and Electronics Engineering*.
- [67] J. Lochmann, *Microservice APIs: Using Python, Flask, FastAPI, OpenAPI and More*, IEEE Xplore, 2023, doi: 10.1109/10280595.
- [68] A. Paszke et al., "PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library," in *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, vol. 32, pp. 8024–8035, 2019.

- [69] T. Wolf et al., “HuggingFace’s Transformers: State-of-the-Art Natural Language Processing,” in Proc. EMNLP 2020: System Demonstrations, pp. 38–45, 2020, doi: 10.18653/v1/2020.emnlp-demos.6.
- [70] D. Parmar et al., “On Aliased Resizing and Surprising Subtleties in GAN Evaluation,” arXiv preprint arXiv:2104.11202, 2021.
- [71] Y. Choi, S. Kwak, K. Lee, H. Choi, and J. Shin, “Improving Diffusion Models for Authentic Virtual Try-on in the Wild,” in Proc. European Conference on Computer Vision (ECCV), Milan, Italy, 2024.
- [72] ngrok Inc., “ngrok — Secure Tunnels to Localhost,” 2024. Available: <https://ngrok.com/>. Accessed: Jun. 11, 2026.